

Handleiding toetsing en ontwerp

Technische werkwijze van
projectbureau Zeeweringen



Handleiding toetsing en ontwerp

Technische werkwijze van
projectbureau Zeeweringen

Datum: 23 april 2012
Opgesteld door: R. Bosters
Goedgekeurd door: S. Vereeke

Documentcode: PZDT-R-12093 ken
Documentversie: 2



Inhoud

1. Inleiding	3
1.1 Algemeen	3
1.2 Wijzigingen	3
1.3 Werkwijze	4
2. Randvoorwaarden en projectgegevens	5
2.1 Overstromingskansen en levensduur	5
2.2 Hydraulische randvoorwaarden	5
2.3 Natuurbescherming	5
2.4 Landschap, archeologie en cultuurhistorie	7
2.5 Overige randvoorwaarden	7
2.6 Projectgegevens	8
3. Hydraulische randvoorwaarden	10
3.1 Definitie	10
3.2 Achtergrond	10
3.3 Parameterwaarden en correcties	12
3.4 Detaillering	14
4. Toetsing en aanvullend onderzoek	16
4.1 Werkwijze	16
4.2 Vrijgavetoetsing	16
4.3 Aanvullend onderzoek	18
4.4 Geavanceerde toetsing	20
5. Voorontwerp	22
5.1 Werkwijze	22
5.2 Bekledingstypes en toepasbaarheid	22
5.2.1 Overzicht bekledingen	22
5.2.2 Steenzettingen	24
5.2.3 Asfaltbekleding	25
5.2.4 Losse breuksteenbekleding	27
5.2.5 Kleibekleding	28
5.2.6 Grasbekleding	28
5.2.7 Geotextiel	29
5.3 Keuze deelgebieden	29
5.4 Bekleding onderbeloop	31
5.4.1 Algemeen	31
5.4.2 Voorselectie bekledingstypes	31
5.4.3 Berekening toepasbaarheid	31
5.4.4 Opstellen ontwerpalternatieven en varianten	32
5.4.5 Keuze voorkeursalternatief	33
5.5 Overige bekleding	34

6. Definitief ontwerp	36
6.1 Werkwijze	36
6.2 Parameterwaarden	36
6.3 Ontwerpveiligheid	38
6.4 Dimensionering dwarsprofiel.....	39
6.4.1 Teenniveau	39
6.4.2 Berm.....	39
6.4.3 Taludhelling en tonrondte	40
6.4.4 Bovengrens steenbekleding.....	41
6.5 Dimensionering steenzettingen	42
6.5.1 Algemeen	42
6.5.2 Steenzetting op onderbeloop	43
6.5.3 Steenzetting op berm en bovenbeloop.....	44
6.5.4 Havendammen	44
6.5.5 Ingegoten steenzetting.....	45
6.5.6 Waterremmende onderlaag	46
6.5.7 Steentoets2010	47
6.5.8 Ontwerpdetails	48
6.6 Dimensionering asfaltbekleding.....	49
6.6.1 Algemeen	49
6.6.2 Waterbouwasfaltbeton (WAB).....	51
6.6.3 Open steenasfalt (OSA)	51
6.6.4 Vol-en-zat gepenetreerde breuksteen.....	52
6.6.5 Patroongepenetreerde breuksteen	53
6.6.6 Overlaging	54
6.6.7 Havendammen	55
6.6.8 Onderhoudsstrook en plateaus	56
6.7 Dimensionering losse breuksteenbekleding.....	57
6.7.1 Algemeen	57
6.7.2 Losse breuksteen op onderbeloop	58
6.7.3 Overlaging	58
6.7.4 Havendammen	58
6.7.5 Kreukelberm	59
6.7.6 Schorrandverdediging	60
6.8 Dimensionering kleibekleding (kleidijk)	61
6.8.1 Algemeen	61
6.8.2 Dimensionering	61
6.9 Toetsing grasbekleding	62
6.9.1 Algemeen	62
6.9.2 Toetsing	63
6.10 Dimensionering overgangen	64
6.11 Controle golfoploop	65
7. Begrippen en formules	66
7.1 Begrippen	66
7.2 Afkortingen	66
7.3 Symbolen.....	67
7.4 Formules.....	68
8. Literatuur	70
8.1 Algemeen.....	70
8.2 Memo's Project Zeeweringen	70

1. Inleiding

1.1 Algemeen

De voorliggende handleiding beschrijft de technische werkwijze bij het toetsen van bestaande dijkbekledingen en het ontwerpen van nieuwe dijkbekledingen bij het Projectbureau Zeeweringen (PBZ).

De handleiding is een nadere uitwerking van het Kwaliteitshandboek van PBZ: Het Kwaliteitshandboek omschrijft de te volgen procedures, de handleiding omschrijft hoe de diverse stappen in deze procedures worden uitgevoerd.

De handleiding is gebaseerd op het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV2006), het Technisch Rapport Steenzettingen en het Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren. In aanvulling hierop is nieuwe kennis opgenomen, die ontwikkeld is in den lande of binnen en voor het Project Zeeweringen. Dit betreft o.a. de volgende onderwerpen:

1. Detaillering en optimalisatie van hydraulische randvoorwaarden;
2. Geavanceerde toetsing en dimensionering van steenzettingen met Steentoets2010;
3. Dimensionering van kreukelbermen bestaande uit losse breuksteen;
4. Dimensionering van kleibekledingen;
5. Toetsing van grasbekledingen.

Deze nieuwe kennis is overwegend ontwikkeld voor het Project Zeeweringen en kan toegepast worden in Ooster- en Westerschelde en aan de Zeeuwse Noordzeekust. Er is niet geverifieerd of de nieuwe kennis algemeen toepasbaar is en deze kennis is slechts beperkt ingebracht bij het ENW. Er moet dus voorzichtigheid betracht worden bij toepassing van deze kennis buiten het Project Zeeweringen.

Gezien de relatie met het Kwaliteitshandboek heeft de handleiding een indeling die zoveel mogelijk parallel loopt met de toets- en ontwerpprocedure. Voor bepaalde hoofdstukken en paragrafen is deze indeling onpraktisch omdat ze leidt tot een (technisch) onlogische opbouw en veel herhaling. Daarom is op dit subniveau vaak een indeling naar bekledingstype gehanteerd.

1.2 Wijzigingen

Dit is versie 2 van de Handleiding Toetsing en Ontwerp. Dit is de eerste complete versie. In de onderdelen die reeds in versie 1 waren opgenomen zijn er de volgende wijzigingen:

1. In een zuilentafel onder Ontwerppeil moet minimaal dezelfde zuilhoogte toegepast worden als in de tabel daaronder, ook als de zuilhoogte volgens berekeningen kleiner zou mogen zijn (zie § 6.5.2);
2. Het schadegetal wat gehanteerd moet worden bij het ontwerp van een kreukelberm is genuanceerd (zie § 6.7.5);
3. De toetsmethodiek voor grasbekledingen in de golfoploopzone is beter uitgewerkt, waardoor de benodigde bovengrens van de steenbekleding beter vastgesteld kan worden (zie § 6.4.4 en § 6.9).

1.3 Werkwijze

Om te komen tot een definitief bekledingsontwerp voor een dijkvak worden de volgende stappen doorlopen:

1. Verzamelen randvoorwaarden en projectgegevens:
Alle technische en niet-technische randvoorwaarden en projectgegevens die nodig zijn voor de toetsing en het ontwerp van het dijkvak worden verzameld.
2. Uitvoeren toetsing en aanvullend onderzoek:
De toetsing van de beheerder wordt gecontroleerd, geactualiseerd en vrijgegeven voor ontwerp. Als de vrijgavetoetsing voor een bekleding geen definitief oordeel geeft wordt een geavanceerde toetsing gedaan. Ten behoeve van toetsing en ontwerp wordt aanvullend onderzoek gedaan.
3. Opstellen voorontwerp:
Er wordt een principe-ontwerp gemaakt voor de nieuwe bekleding op het dijkvak. Hierbij worden meerdere varianten opgesteld. Deze worden tegen elkaar afgewogen waarna een keuze wordt gemaakt.
4. Uitwerken definitief ontwerp:
Het definitief ontwerp bestaat uit het doorrekenen en nader detaileren van het voorontwerp.

2. Randvoorwaarden en projectgegevens

2.1 Overstromingskans en levensduur

De basisrandvoorwaarden voor de toetsing en het ontwerp van de dijkbekleding zijn:

1. Ingevolge de Waterwet moeten de primaire waterkeringen in Zeeland er voor zorgen dat de kans op overstroming kleiner is dan 1 maal per 4000 jaar. In het Project Zeeweringen wordt er van uitgegaan dat het falen van de dijkbekleding zal leiden tot een overstroming. De dijkbekleding dient daarom bestand te zijn tegen een hydraulische belasting met een overschrijdingskans van 1 maal per 4000 jaar;
2. De verbeterde dijkbekleding dient een levensduur te hebben van minimaal 50 jaar. Dit betekent dat gerekend moet worden met de verwachte bodemligging en hydraulische belasting over 50 jaar en dat de toegepaste materialen een levensduur van 50 jaar of meer moeten hebben.

2.2 Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische belasting waarmee getoetst en ontworpen moet worden is vertaald in hydraulische randvoorwaarden. De belangrijkste hydraulische randvoorwaarden zijn de maximale waterstand (het Ontwerppeil), het verloop van de waterstand (wat de belastingduur bepaalt), de bodemligging voor de dijk en de golfrandvoorwaarden.

De hydraulische randvoorwaarden worden nader uitgewerkt in de Detailadviezen, die worden opgesteld door een ingenieursbureau. Voor nadere informatie over de hydraulische randvoorwaarden wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

2.3 Natuurbescherming

Randvoorwaarden

Het bekledingsontwerp en de uitvoering daarvan moeten voldoen aan de volgende wetten en richtlijnen op het gebied van natuurbescherming:

1. EU-Vogelrichtlijn (1979) en EU-Habitatrichtlijn (1992): Regelen de bescherming van resp. vogels en habitats (leefgebieden), incl. de dier- en plantensoorten die daarin voorkomen. In het kader van deze richtlijnen zijn speciale beschermingszones (Vogelrichtlijngebieden en Habitatrichtlijngebieden) aangewezen, die samen een Europees netwerk van natuurgebieden vormen. Dit netwerk wordt Natura 2000 genoemd. De Oosterschelde is aangewezen als Vogel- en Habitatrichtlijngebied en vormt daarmee onderdeel van Natura 2000;
2. Natuurbeschermingswet (NB-wet) (1998): Nederlands uitvoeringsinstrument voor de Habitatrichtlijn dat de bescherming regelt van Natura 2000-gebieden en van gebieden waarvan de vroegere bescherming door de Habitatrichtlijn is vervallen. Beschermt met het laatste o.a. wieren en zoutplanten aan de buitenzijde van de Oosterscheldedijken;
3. Flora- en faunawet (2002): Nederlands uitvoeringsinstrument voor de Vogel- en Habitatrichtlijnen dat de bescherming van dier- en plantensoorten regelt;
4. Nota soortenbeleid Provincie Zeeland (2001): Uitvoeringsinstrument voor het Natuurbeleidsplan (1989) dat de bescherming van dier- en plantensoorten in Zeeland regelt.

Dit resulteert in de volgende randvoorwaarden op het gebied van natuurbescherming:

1. Het ontwerp of de uitvoering mogen in het projectgebied en de omgeving niet leiden tot habitatverlies of verlies of achteruitgang van beschermde dier- of plantensoorten. In verband hiermee kunnen mitigerende maatregelen nodig zijn bij de uitvoering. Soms wordt ook de bekledingskeuze hierdoor beïnvloed;
2. De begroeiing met wieren en zoutplanten die aanwezig is op de huidige bekleding moet zich op de nieuwe bekleding binnen ca. 5 jaar kunnen herstellen of verbeteren. Er moet daarom een bekleding gekozen worden met voldoende begroeiingspotentieel.

Deze randvoorwaarden worden per dijkvak gedetailleerd en concreet ingevuld in de volgende adviezen:

1. Aandachtspunten ecologie (habitatverlies en beschermde dier- en plantensoorten);
2. Detailadvies (begroeiing met wieren en zoutplanten).

Aandachtspunten ecologie

Het advies 'Aandachtspunten ecologie' wordt opgesteld door een ingenieursbureau. Het advies geeft een kort overzicht van de beschermde gebieden en dier- en plantensoorten op de dijk en in de omgeving. Dit resulteert in aanbevelingen voor het ontwerp en voorlopige voorstellen voor mitigerende maatregelen bij de uitvoering. Deze moeten de effecten op beschermde soorten en habitats minimaliseren.

Het advies loopt vooruit op de 'Passende beoordeling' en de 'Flora- en faunatoets', die in een later stadium worden opgesteld als een vergunning nodig is in het kader van de Natuurbeschermingswet. Deze is altijd nodig in de Oosterschelde. Als geen vergunning nodig is volgt een 'Quickscan'. Uit deze adviezen volgt een definitief voorstel voor mitigerende maatregelen.

Detailadvies

Het 'Detailadvies' wordt opgesteld door of in opdracht van de Meetadviesdienst van Rijkswaterstaat Zeeland. Dit advies wordt niet nader benoemd, maar kan gezien worden als het 'Detailadvies wieren en zoutplanten'.

Het advies inventariseert de begroeiing van de steenbekleding met wieren onder GHW en zoutplanten boven GHW. Het advies beoordeelt de huidige natuurwaarde van de begroeiing (aangeduid als 'herstel') en de potentiële natuurwaarde bij verbetering van de steenbekleding (aangeduid als 'verbetering'). De mogelijke oordelen zijn 'matig/slecht', 'voldoende', 'redelijk goed', 'goed' en 'uitmuntend'.

In samenhang hiermee is voor alle mogelijke bekledingstypes de potentiële begroeiingswaarde vastgesteld is (zie tabel 2). Uit het advies volgt daarom rechtstreeks welke bekledingstypes in aanmerking komen bij vernieuwing van de bekleding.

2.4 Landschap, archeologie en cultuurhistorie

Door de Dienst Landelijk Gebied is voor het Project Zeeweringen een Landschapsvisie opgesteld, waaruit randvoorwaarden volgen op het gebied van landschap en cultuurhistorie. Verder is er een archeologische randvoorwaarde:

1. Om de horizontale lijn van de dijk te benadrukken dient er naar gestreefd te worden op de ondertafel een andere bekleding toe te passen dan op de boventafel. Daarbij gaat de voorkeur uit naar een lichte bekleding op de boventafel en een donkere bekleding op de ondertafel. Hierbij kan ook gekozen worden voor een bekleding die donker wordt door wierbegroeiing;
2. Om de horizontale lijn van de dijk te benadrukken dient er naar gestreefd te worden verticale overgangen te beperken en deze niet op onder- en boventafel te laten samenvallen;
3. Er dienen bij voorkeur begroeibare bekledingen toegepast te worden;
4. Cultuurhistorische elementen dienen zoveel mogelijk behouden te worden;
5. Als zich in het werkgebied archeologisch waardevolle locaties bevinden die door de werkzaamheden verstoord worden dienen deze voorafgaand aan de werkzaamheden onderzocht te worden. Deze randvoorwaarde is niet van invloed op het ontwerp, maar wel op de uitvoering.

De randvoorwaarden vanuit landschap en cultuur worden per dijkvak gedetailleerd ingevuld in het Landschapsadvies. Dit wordt opgesteld door Rijkswaterstaat Zeeland.

2.5 Overige randvoorwaarden

Het verbeteren van de dijkbekleding kan invloed hebben op het beheer en op het functioneren van de waterkering op andere punten. Daarom zijn er voor het ontwerp een aantal specifieke randvoorwaarden met betrekking tot het beheer en de impact op de waterkering. Verder zijn er nog randvoorwaarden omtrent de aanleg- en beheerkosten, recreatie en particuliere eigendommen.

Impact op de waterkering

1. De grondmechanische stabiliteit van de dijk mag niet significant afnemen. Dit kan het geval zijn bij aanpassing (verhoging of versteiling) van het dijkprofiel;
2. De golfoploop en golfoverslag over de dijk mogen niet significant toenemen. Dit kan het geval zijn bij aanpassing van het dijkprofiel of vermindering van de ruwheid van de bekleding.

Beheer

3. Als er geen berm is dient geprobeerd te worden een berm aan te brengen ter verbetering van de toegankelijkheid. Een berm vergroot doorgaans ook de grondmechanische stabiliteit en vermindert de golfoploop;
4. Op de berm of kruin (als er geen berm is) dient een verharde onderhoudsstrook aangebracht te worden ter verbetering van de begaanbaarheid.

Hergebruik en kosten van aanleg en beheer

5. Omwille van de kosten en duurzaamheid dienen bij de werken vrijkomende bekledings- en andere materialen zoveel mogelijk hergebruikt worden;
6. De kosten van aanleg en beheer van de verbeterde bekleding moeten met elkaar in evenwicht zijn. Dit betekent enerzijds dat een besparing op de aanlegkosten niet mag leiden tot hoge beheerskosten en anderzijds dat het streven naar een onderhoudsarme dijk niet mag leiden tot buitenproportionele aanlegkosten.

Particuliere eigendommen, omgeving en recreatie

7. Er dient rekening gehouden te worden met particuliere eigendommen op de waterkering. Meestal heeft dit geen invloed op het ontwerp maar wel op de uitvoering;
8. Tijdens de werkzaamheden dient de overlast voor de omgeving geminimaliseerd te worden;
9. Bij het verbeteren van de steenbekleding dienen de aanwezige recreatieve voorzieningen behouden te blijven of na de werkzaamheden terug aangebracht te worden.

2.6 Projectgegevens

Bestaande situatie

Voor toetsing en ontwerp zijn de volgende gegevens over de bestaande situatie, c.q. over de volgende onderwerpen nodig:

1. Ligging van het projectgebied en toegankelijkheid: Dit bepaalt o.a. de mogelijke transportroutes en overlast voor de omgeving tijdens de uitvoering;
2. Bijzondere civieltechnische objecten, zoals Nolletjes, havendammen, kunstwerken: Deze kunnen het ontwerp beïnvloeden en zijn van belang bij de detaillering;
3. Dijkopbouw: Kernmateriaal, dikte en samenstelling waterremmende onderlaag, aanwezigheid van zandscheggen;
4. Dijkgeometrie: Voorlandhelling en taludhellingen, niveaus van teen, berm en kruin;
5. Dijkbekleding: Type, opbouw en afmetingen van de bekledingen, vakgrenzen en -oppervlaktes van de bekledingstafels;
6. Schorren: Omdat habitatverlies vermeden moet worden beïnvloeden deze het ontwerp van de teen en de kreukelberm;
7. Zeegras: Als zich in de werkstrook zeegras bevindt moet dit voorafgaand aan het werk verplant worden. Zeegras direct naast de werkstrook legt beperkingen op aan de uitvoering;
8. Culthuurhistorische en recreatieve objecten, zoals Muraltmuurtjes, strandjes, fietspaden: Deze moeten meestal gehandhaafd blijven en kunnen het ontwerp beperken;
9. Archeologisch waardevolle locaties: Als deze verstoord worden moeten ze voorafgaand aan de werkzaamheden onderzocht te worden, hetgeen invloed kan hebben op de planning en de uitvoering;
10. Particuliere eigendommen: Deze hebben invloed op de planning en de uitvoering.

Deze gegevens worden grotendeels verstrekt door de beheerder van het dijkvak tijdens de vrijgavetoetsing. De gegevens worden vastgelegd in het document 'Controle/Vrijgave Toetsing'. Dit document wordt opgesteld door PBZ ten behoeve van de dijkverbetering.

Resultaten toetsing

Ten behoeve van de dijkverbetering wordt door de beheerder een toetsing uitgevoerd van de bekleding. De resultaten hiervan worden vastgelegd in het document 'Actualisatie toetsing bekleding'. Deze toets geeft een eerste indicatie van de sterkte van de huidige bekleding. Dit dient als input voor de vrijgave- en de geavanceerde toetsing, die worden uitgevoerd door PBZ om vast te stellen welke bekledingstafels wel en niet gehandhaafd kunnen worden in het nieuwe ontwerp. Dit wordt vastgelegd in het document 'Controle/Vrijgave Toetsing' en in aanvullende PBZ-memo's.

De waterkering kan ook op andere punten tekortschieten, zoals de kruinhoogte, de grondmechanische stabiliteit en piping. Dit is weergegeven in het bestand 'Toetsresultaat in Beeld.xls'. In een enkel geval wordt dit meegenomen in het ontwerp.

Vrijkomende materialen

Er wordt naar gestreefd om bij de werken vrijkomende bekledings- en andere materialen opnieuw te gebruiken. Daarom is het volgende overzicht nodig van beschikbare materialen:

1. Materialen die vrijkomen uit het te verbeteren dijkvak;
2. Materialen die vrijkomen uit gelijktijdig te verbeteren dijkvakken en niet in die vakken hergebruikt kunnen worden;
3. Materialen die zijn vrijgekomen uit reeds verbeterde dijkvakken en die zijn opgeslagen in depot.

De materialen en hoeveelheden die vrijkomen bij nieuwe werken zijn af te leiden uit de documenten 'Controle/Vrijgave Toetsing' en de Steentoetsbestanden van de betreffende dijkvakken. Welke materialen aanwezig zijn in depot kan aangegeven worden door de contractmanager.

3. Hydraulische randvoorwaarden

3.1 Definitie

De toetsing en het ontwerp van een bekleding worden uitgevoerd op basis van de volgende hydraulische randvoorwaarden:

1. Dichtheid zeewater;
2. Ontwerppeil;
3. Waterstandsverloop (belastingduur);
4. Golfrandvoorwaarden (bij meerdere waterstanden):
 - a. Significante golfhoogte (H_s) van het golfveld;
 - b. Piekperiode (T_p of T_{pm}) van het golfveld;
 - c. Golfrichting.
5. Stroomsnelheid.

3.2 Achtergrond

Ontwerppeil

Het Ontwerppeil wordt zowel gebruikt voor het ontwerp als voor de vrijgave- en revisietoetsing.

Conform de 3^e kustnota is het Ontwerppeil gelijk aan de verwachte ontwerpwaterstand in 2060 ('Ontwerppeil 2060'). Daarbij wordt uitgegaan van een zeespiegelstijging van 0,6 m per eeuw. In de Oosterschelde speelt zeespiegelrijzing geen rol en is het Ontwerppeil gelijk aan het Toetspeil, zijnde de waterstand die ontstaat bij een noodsluiting van de Oosterscheldekering.

Het Ontwerppeil wordt niet verhoogd in verband met bui-oscillaties. Een bui-oscillatie is een schommeling van de waterstand gedurende enige minuten welke voor kan komen bij buien. Dit is relevant voor de golfoploop bij zeedijken nabij de Noordzeekust, maar niet of nauwelijks voor de bekleding.

Waterstandsverloop (belastingduur)

Tussen de waterlijn en ca. H_s daaronder wordt een talud belast door golfterugtrekkingen en golfklappen (golfklapzone). Tussen de waterlijn en $z_{2\%}$ daarboven wordt een talud belast door golfoploop (golfoploopzone). Daarbij is $z_{2\%}$ de golfoploop die door 2% van de golven overschreden wordt.

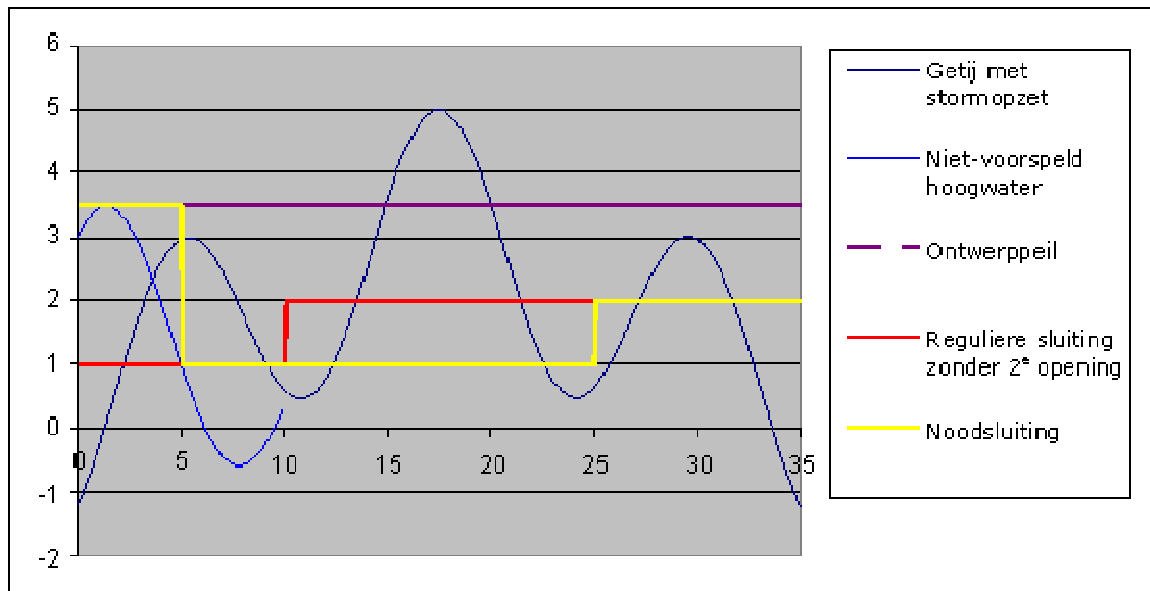
Voor een bepaald punt op het talud is de belastingduur voor golfterugtrekking en golfklappen daarmee gelijk aan de tijd dat de waterstand zich tussen dit punt en ca. H_s *hierboven* bevindt. De belastingduur voor golfoploop is gelijk aan de tijd dat de waterstand zich tussen dit punt en $z_{2\%}$ *hieronder* bevindt. De belastingduur wordt daarmee bepaald door het verloop van de waterstand tijdens de storm.

Aan de Noordzee en in de Westerschelde wordt het waterstandsverloop bepaald door het getij en de stormopzet. Door de invloed van het getij zijn er tijdens de storm meerdere waterstandstoppen en -dalen en kan een bepaald taluddeel meerdere malen belast worden. De maatgevende belastingduur voor golfterugtrekking en golfklappen bedraagt daardoor ruwweg 5 à 10 uur. De maatgevende belastingduur voor golfoploop bedraagt ruwweg 10 à 20 uur.

In de Oosterschelde wordt de waterstand bepaald door het sluitingsregime van de Oosterscheldekering. In het Project Zeeweringen wordt uitgegaan van de

waterstandsverlopen uit figuur 1. De weergegeven waterstanden gelden voor de lijn Stavenisse - Wemeldinge, het zgn. 'kantelpunt'. De stormwind veroorzaakt een scheefstand van de waterstand, waardoor de waterstanden bij de kering lager en achterin het bekken hoger zullen zijn.

De figuur wijkt enigszins af van het HR2006 omdat er van uitgegaan wordt dat bij een reguliere sluiting de kering tijdens de storm niet geopend zal worden, waardoor de waterstand (op het kantelpunt) langer op het streefpeil van NAP +2 m zal blijven.



Figuur 1: Waterstandsverlopen Oosterschelde op de lijn Stavenisse - Wemeldinge

Omdat bovenstaande waterstandsverlopen discontinu zijn, kan voor sommige taludniveaus de belastingduur niet goed bepaald worden. Daarom zijn op basis van figuur 1 drie waterstandszones gedefinieerd met een vaste verblijftijd van de waterstand. De zones en verblijftijden zijn weergegeven in tabel 1.

Golfrandvoorwaarden

De golfrandvoorwaarden die gehanteerd worden voor het Project Zeeweringen zijn berekend met het golfmodel SWAN. SWAN geeft het modelgebied weer als een rooster en berekent op basis van de bodemligging, de waterstand, de windsnelheid en de windrichting voor elk roosterpunt het golfspectrum en de golfrichting. Uit het golfspectrum worden de significante golfhoogte (H_s) en de piekperiode (T_{pm}) afgeleid.

In het model is de bovenzijde van alle schorren, slikken en platen in de Oosterschelde en het westelijk deel van de Westerschelde die momenteel boven NAP liggen verlaagd met 0,5 m om de verwachte bodemligging in 2060 weer te geven. In het oostelijk deel van de Westerschelde zijn deze ondieptes verlaagd met 1,0 m. Op basis van deze bodemligging zijn berekeningen uitgevoerd voor 3 (Westerschelde) of 4 waterstanden (Oosterschelde) in combinatie met 14 windrichtingen. Voor alle richtingen is een windsnelheid gehanteerd met een overschrijdingskans van 1 maal per 4000 jaar.

De berekeningen leveren voor elk roosterpunt per waterstand 14 combinaties op van golfhoogte, piekperiode en golfrichting. Wegens onnauwkeurigheid aan de rand van het modelgebied (de teen van de dijk) wordt voor het Project Zeeweringen uitgegaan van de rooster- of uitvoerpunten op 50 m voor de dijk. Op de aldaar gevonden H_s en T_p worden de volgende correcties toegepast:

1. H_s en T_p worden gecorrigeerd voor de invloed van stroming en voor discrepanties tussen de modelberekeningen en beschikbare metingen;
2. Wegens onnauwkeurigheid van SWAN bij kleine waterdieptes en korte golfperiodes wordt een minimale H_s van 0,25 m en een minimale T_p van 2,5 s gehanteerd.

Vervolgens worden voor alle uitvoerpunten en voor alle waterstanden de 14 combinaties gefilterd en wordt voor 4 bekledingscategoriën de maatgevende combinatie van golfrandvoorwaarden bepaald op grond van de belastingfunctie. De belastingfunctie van een bekleding geeft aan voor welke parameter zij het meest gevoelig is. De belastingfuncties voor de 4 bekledingscategoriën zijn weergegeven in § 7.4. Voor nadere informatie wordt verwezen naar 'Memo Nieuwe belastingfuncties steenbekledingen' (Svasek Hydraulics).

Tenslotte worden naast elkaar gelegen uitvoerpunten die ongeveer dezelfde maatgevende golfrandvoorwaarden opleveren gegroepeerd tot randvoorwaardevakken. De grenzen hiervan vallen meestal samen met bochten in de dijk of met een verandering van de (toekomstige) bodemligging. De golfrandvoorwaarden van het randvoorwaardevak zijn gelijk aan de golfrandvoorwaarden van het maatgevende uitvoerpunt.

Sinds 2010 worden de golfrandvoorwaarden niet meer naar boven afgerond omdat ontwerpveiligheid apart verdisconteerd wordt. De golfrandvoorwaarden worden geleverd in 2 decimalen, afgerond op het dichtstbijzijnde getal.

3.3 Parameterwaarden en correcties

Parameterwaarden

De hydraulische randvoorwaarden die bij het Project Zeeweringen gehanteerd worden voor toetsing en ontwerp van bekledingen zijn weergegeven in tabel 1. De bodemligging, de waterstanden en de golfrandvoorwaarden worden ontleend aan de Detailadviezen, die worden opgesteld door een ingenieursbureau.

Tabel 1: Hydraulische randvoorwaarden

Hydraulische randvoorwaarden		
Omschrijving	Parameterwaarde	
Dichtheid zeewater (ρ_w)	1.025 kg/m ³	
Zeespiegelstijging	0,6 m/eeuw	
(Toekomstige) bodemligging, GLW, GHW, Ontwerppeil (OP)	Waarde uit Detailadvies	
Verblijftijden waterstand (h)	OP -1 m < h < OP	5 uur
	OP -2 m < h < OP -1 m	25 uur
	h < OP -2 m	20 uur
Oosterschelde		
Golfhoogte (H_s), golfperiode (T_p of T_{pm})*	Waarde uit Detailadvies	
Minimale H_s bij extrapolatie	0,25 m	
Minimale T_p bij extrapolatie	2,5 s	
Maximale ξ_{0p} bij zuilen boven ondiep voorland	2	
Golfrichting t.o.v. dijknormaal	0° (loodrechte inval)	
* T_p en T_{pm} zijn uitwisselbaar en worden gebruikt op dezelfde manier		

Reductie golfperiode bij zuilenbekledingen als $\xi_{0p} > 2$

De brekerparameter (ξ_{0p}) bepaalt hoe de golf breekt op het talud. ξ_{0p} wordt bepaald door de taludhelling ($\tan\alpha$) en de golfsteilheid (s_{0p}). Zuilenbekledingen hebben een stabiliteitsminimum bij $\xi_{0p} = 2$. Dit betekent dat bij een toename van de golfperiode (T_p) de stabiliteit afneemt als $\xi_{0p} < 2$ en toeneemt als $\xi_{0p} > 2$. Ongeveer hetzelfde doet zich voor bij bekledingen van losse breuksteen.

Als bij een overschrijdingskans van 1 maal per 4000 jaar de golven dieptebeperkt zijn en $\xi_{0p} > 2$, dan kunnen bij een lagere windsnelheid golfvelden voorkomen met dezelfde H_s , maar met $\xi_{0p} = 2$. Dit betekent dat de maatgevende golfbelasting voor zuilen dan niet optreedt bij windkracht 12, maar bijv. bij windkracht 9.

De golven zijn dieptebeperkt als het water zodanig ondiep is dat de golven breken op het voorland. In verband hiermee wordt in het Detailadvies bij een ondiep voorland met $\xi_{0p} > 2$ de golfperiode zodanig gereduceerd dat $\xi_{0p} = 2$. In andere gevallen met $\xi_{0p} > 2$ moet intern overlegd worden of het nodig is de golfperiode te reduceren om de maatgevende situatie voor zuilen goed weer te geven.

Lichtere golftrandvoorwaarden bij hogere waterstand

In sommige gevallen wordt bij een bepaalde waterstand een kleinere golfhoogte of golfperiode afgeleid dan bij de waterstand daaronder. Dit heeft de volgende oorzaken:

1. Een andere windrichting wordt maatgevend en hoewel H_s of T_p kleiner wordt, resulteert de combinatie van H_s en T_p op grond van de belastingfuncties in een grotere belasting;
2. In de Oosterschelde wordt bij de waterstanden NAP, NAP +2 m en NAP +3 m gerekend met een open stormvloedkering. Bij NAP +4 m wordt gerekend met een gesloten kering, waardoor golven vanaf de Noordzee niet meer doordringen en de stroming sterk afneemt. Hierdoor worden soms een lagere H_s en/of T_p gevonden.

De toets- en ontwerpprogramma's interpoleren de golftrandvoorwaarden tussen de diverse waterstanden. Hierbij ontstaat altijd een kleine fout, zowel bij toename als afname van H_s of T_p . De fout is groter als op de ene waterstand een andere windrichting of situatie maatgevend is als op de andere waterstand. Vroeger werd gevreesd dat bij afname van H_s of T_p de interpolatiefout te groot zou worden en zou leiden tot een te optimistisch resultaat. Daarom werden H_s of T_p handmatig naar boven bijgesteld.

Daarbij werd onterecht verondersteld dat een verhoging van H_s of T_p altijd een conservatiever resultaat oplevert. In werkelijkheid is dit mede afhankelijk van de brekerparameter (ξ_{0p}) en kan het handmatig ophogen van H_s en T_p een te optimistisch resultaat juist in de hand werken.

In de Oosterschelde wordt bij berekeningen altijd uitgegaan van een grote belastingduur, ofwel van een dichte kering. De gehanteerde H_s en T_p op de waterstanden NAP, NAP +2 m en NAP +3 m gaan uit van een open kering en zijn daarom conservatief. Daarmee is de interpolatie tussen NAP +3 m en +4 m ook conservatief, ongeacht of H_s en T_p tussen NAP +3 m en +4 m toe- of afnemen.

Om bovenstaande redenen hoeven en mogen H_s en T_p bij het ontwerp niet meer handmatig naar boven bijgesteld worden.

Grenswaarden bij inter- en extrapolatie

Er worden golfrandvoorwaarden afgegeven voor 3 waterstanden in de Westerschelde (NAP +2 m, NAP +4 m en NAP +6 m) en 4 waterstanden in de Oosterschelde (NAP, NAP +2 m, NAP +3 m en NAP +4 m). In de toets- en ontwerpprogramma's worden deze golfrandvoorwaarden geïnter- en geëxtrapolated. Extrapolatie naar onderen kan zowel leiden tot onrealistisch kleine of negatieve waarden als tot te grote waarden. Daarom worden de volgende grenswaarden gehanteerd:

1. De golfhoogte bedraagt minimaal 0,25 m;
2. De golfperiode bedraagt minimaal 2,5 s;
3. De golfhoogte bedraagt maximaal de helft van de waterdiepte op een halve golflengte uit de teen van de dijk;
4. Als geen golfrandvoorwaarden zijn afgegeven voor de laagste waterstand(en) wegens droogvallen van het voorland of als het voorland op een halve golflengte uit de teen van de dijk droogvalt zijn H_s en T_p gelijk aan nul.

3.4 Detaillering

De golfrandvoorwaarden uit het Detailadvies zijn op een aantal punten conservatief. Bij geavanceerde toetsing en optimalisatie of detaillering van het ontwerp moeten daarom eerst de golfrandvoorwaarden gedetailleerd worden, omdat dit doorgaans de grootste invloed heeft. Dit wordt hieronder beschreven.

Splitsen randvoorwaardevakken of aanpassen vakgrenzen

In een randvoorwaardevak liggen meerdere uitvoerpunten van SWAN en de golfrandvoorwaarden van het randvoorwaardevak zijn gelijk aan de golfrandvoorwaarden van het maatgevende uitvoerpunt. Door een randvoorwaardevak te splitsen blijven de golfrandvoorwaarden in het subvak met het maatgevende uitvoerpunt gelijk, maar worden de golfrandvoorwaarden in de andere subvak(ken) minder zwaar.

Splitsen van een randvoorwaardevak is zinvol wanneer er in het randvoorwaardevak sprake is van bochten of een variabele ligging van bodem of voorland. Het randvoorwaardevak kan gesplitst worden door de opsteller van het Detailadvies.

Reductie golfrandvoorwaarden in havens en kanalen

De golfrandvoorwaarden in een haven of kanaal zijn minder zwaar dan buitengaats en worden bepaald door de golfindringing door de haven- of kanaalingang en door de grootte van de haven of het kanaal. De uitvoerpunten van SWAN liggen buiten de ingang en zijn daardoor bij een kanaal niet representatief. Bij een haven zijn ze alleen representatief als de havendammen tijdens de storm weggeslagen worden.

De golfrandvoorwaarden in havens en kanalen worden doorgaans apart berekend en weergegeven in het Detailadvies en kunnen anders op verzoek worden geleverd door de opsteller van het Detailadvies.

Afleiden golfrandvoorwaarden aan de teen van de dijk

De opgegeven golfrandvoorwaarden gelden voor een uitvoerpunt wat 50 m uit de teen van de dijk ligt. Voor bekledingsberekeningen moet in principe uitgegaan worden van de golfrandvoorwaarden aan de teen van de dijk. Tussen het uitvoerpunt en de teen van de dijk kunnen de golven breken en bijdraaien naar de dijk. Beiden resulteren in een kleinere golfhoogte. Dit is met name relevant voor het ontwerp van de kreukelberm en lage bekledingstafels.

De golven zullen breken als het water te ondiep wordt of als de golf te steil wordt. Door het breken is de golfhoogte aan de teen van de dijk maximaal gelijk aan de helft van de waterdiepte op een halve golflengte uit de teen van de dijk [1].

De golven zullen bijdraaien als het water tussen het uitvoerpunt en de teen van de dijk ondieper wordt. De maximale bijdraaiing is ca. 15°.

Bij ontwerp van de kreukelberm met het spreadsheet 'Kreukelberm2011' wordt de golfhoogte aan de teen automatisch berekend. In andere gevallen kan de golfhoogte aan de teen van de dijk berekend worden met het spreadsheet 'Berekening golfrandvoorwaarden bij dijkteen2010'. Deze spreadsheets houden alleen rekening met het breken van de golven, niet met het bijdraaien ervan.

In theorie moet deze bewerking gedaan worden voordat de golfrandvoorwaarden uit de diverse windrichtingen gefilterd worden, omdat door de bewerking een andere windrichting maatgevend kan worden. In de praktijk zijn de verschillen meestal miniem. Bij twijfel of als ook het bijdraaien van de golven verdisconteerd moet worden kunnen de golfhoogte en golfrichting aan de teen van de dijk berekend worden door de opsteller van het Detailadvies.

4. Toetsing en aanvullend onderzoek

4.1 Werkwijze

Voorafgaand aan het ontwerp wordt de bestaande steenbekleding getoetst op basis van meer nauwkeurige gegevens om vast te stellen welke bekledingstafels wel en niet gehandhaafd kunnen worden in het nieuwe ontwerp. De volgende stappen worden doorlopen:

1. Vrijgavetoetsing:
De beheerder levert een toetsing aan die wordt gecontroleerd en eventueel aangevuld op grond van een veldbezoek. De steenbekleding wordt vervolgens opnieuw getoetst met de meest actuele rekenmethodes en bij de hydraulische randvoorwaarden die gebruikt zullen worden bij het ontwerp. Hiermee wordt een beter inzicht verkregen welke bekledingstafels wel en niet gehandhaafd kunnen worden. Hierna wordt het dijkvak vrijgegeven voor het ontwerp;
2. Aanvullend onderzoek:
Bij de beheerder is relatief weinig bekend over de onderlagen van de bekleding en over de kreukelberm. Daarom worden op elk dijkvak grondboringen gedaan en worden het teenniveau en de kreukelberm ingemeten. Ten behoeve van geavanceerde toetsing wordt soms nog ander onderzoek gedaan;
3. Geavanceerde toetsing steenbekleding:
Als de vrijgavetoetsing geen uitsluitsel geeft over een bekledingstafel en als deze in te passen zou zijn in het nieuwe ontwerp dan wordt op basis van aanvullende gegevens een geavanceerde toetsing gedaan om deze definitief goed- of af te keuren.

4.2 Vrijgavetoetsing

Algemeen

De vrijgavetoetsing bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Verzamelen van projectgegevens;
2. Controle of de Steentoetsgegevens compleet en aannemelijk zijn;
3. Controle of de bekledingsgegevens voldoende nauwkeurig bepaald zijn;
4. Terugmelding aan de beheerder;
5. Veldbezoek;
6. Actualisatie van de berekeningen.

Verzamelen van projectgegevens

De volgende technische gegevens worden verzameld:

1. Rapport 'Actualisatie toetsing bekleding' met daarin de volgende gegevens:
 - a. Topografische kaart waarop het dijkvak aangegeven is;
 - b. Kaart van het dijkvak met de bekleding;
 - c. Kaart van het dijkvak met locaties van uitgevoerde brekingen;
 - d. Tabel met de gebruikte hydraulische randvoorwaarden;
 - e. Kaart van het dijkvak met de toetsresultaten.
2. Steentoetsbestand met de bekledingsgegevens en toetsresultaten.

Verder worden de volgende zaken geïnventariseerd:

1. Bijzondere civieltechnische objecten, zoals nolletjes, havendammen, kunstwerken;
2. Schorren;
3. Zeegras;
4. Culthuurhistorische en recreatieve objecten, zoals Muraltmuurtjes, strandjes, fietspaden;
5. Archeologisch waardevolle locaties;
6. Particuliere eigendommen.

Schorren zijn weergegeven op de Geomorfologische kaarten Positie schorrand die zijn opgesteld in opdracht van PBZ. De aanwezigheid van zeegras wordt bepaald op basis van de Zeegraskaarten van Rijkswaterstaat. Cultuurhistorische objecten worden ontleend aan de Cultuurhistorische Atlas. Archeologisch waardevolle locaties kunnen teruggevonden worden op de Archeologische Monumentenkaart Zeeland en de Indicatieve Kaart van Archeologische Waarden. De overige gegevens worden aangeleverd door de beheerder.

Controle of de Steentoetsgegevens compleet en aannemelijk zijn

Voor een bruikbaar toetsresultaat moeten de bekledingsgegevens voldoende betrouwbaar zijn. Daarom wordt eerst de invoer van Steentoets gecontroleerd. Deze controle bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Nagaan of de vakgrenzen aannemelijk zijn, d.w.z. of er geen overlappende of ontbrekende bekledingsvakken zijn;
2. Nagaan of alle relevante gegevens ingevoerd zijn. Dit zijn in ieder geval de karakterisering en afmetingen van toplaag, filter en onderlaag;
3. Nagaan of er onwaarschijnlijke constructies ingevoerd zijn (bijv. zuilen zonder filter);
4. Nagaan of er onrealistische (extreme) waarden voorkomen;
5. Nagaan of er waarden voorkomen die als standaardwaarden gebruikt worden en mogelijk geen reële waarden zijn.

Controle of de bekledingsgegevens voldoende nauwkeurig bepaald zijn

De bekledingsgegevens zijn alleen betrouwbaar als ze voldoende nauwkeurig bepaald zijn, c.q. als er voldoende brekingen zijn gedaan. De benodigde nauwkeurigheid hangt af van de kans op goedkeuring en daarmee van het type bekleding:

1. Basalt- of betonzuilen op filter, asfaltbekledingen, kreukelberm:
Er is een redelijke kans op goedkeuring. De bekledingsparameters (dikte en andere afmetingen, open ruimte) en de constructie-opbouw (filter, ondergrond, taludhelling, vakgrenzen) dienen daarom nauwkeurig vastgesteld te zijn op basis van brekingen of boringen in onder- en boventafel om de 100 m of minder. In de Handleiding STEENTOETS2008 wordt nader toegelicht welke gegevens verzameld moeten worden;
2. Doornikse steen, Petit granit, graniet (blokkenbekledingen op filter):
De kans op goedkeuring is klein. Het is voldoende als de bekledingsparameters en de constructie-opbouw vastgesteld zijn op basis van brekingen om de 200 m;
3. Vilvoordse steen, Lessinische steen (onregelmatige steentypes), blokken of zuilen zonder filter en overige steentypes:
De kans op goedkeuring is verwaarloosbaar. De afmetingen zijn minder belangrijk omdat deze steentypes meestal worden afgekeurd op basis van algemene kenmerken. Hiertoe dient de constructie-opbouw bepaald te zijn om de 200 m.

Terugmelding aan de beheerder

De resultaten van de controle worden teruggemeld aan de beheerder. Incomplete of ontbrekende gegevens worden door de beheerder aangevuld.

Veldbezoek

Samen met de beheerder wordt een veldbezoek gedaan ter controle van de bekleding en om de locaties voor aanvullend onderzoek te bepalen. Het veldbezoek omvat de volgende werkzaamheden:

1. Verifiëren van de bekledingstypes, de vakgrenzen, de taludhelling (visuele inschatting), de staat van de bekleding en de inwassing;
2. Verifiëren van het beheerdersoordeel;
3. Nemen van foto's om de staat van de bekleding, de kreukelberm en het voorland vast te leggen;
4. Kiezen van locaties voor grondboringen ter verkenning van de onderlagen;
5. Kiezen van locaties waar de teen moet worden vrijgegraven ter bepaling van het teenniveau.

Actualisatie van de berekeningen

De toetsing wordt door de beheerder uitgevoerd met een oudere versie van Steentoets. Verder zijn op het moment van de beheerderstoetsing de hydraulische randvoorwaarden die gebruikt zullen worden bij het ontwerp nog niet in detail bekend. In de loop van de vrijgavetoetsing kunnen bovendien de bekledingsgegevens worden aangevuld of gecorrigeerd. De toetsing van de beheerder wordt daarom op de volgende wijze geactualiseerd:

1. Alle aanvullingen en correcties van de bekledingsgegevens worden verwerkt;
2. De door de beheerder gebruikte hydraulische randvoorwaarden worden vervangen door de hydraulische randvoorwaarden die gebruikt zullen worden bij het ontwerp;
3. Steenzettingen worden opnieuw doorgerekend met Steentoets2010;
4. Asfaltbekledingen worden getoetst met het spreadsheet 'asfaltbekledingen';
5. Kreukelbermen worden getoetst met het spreadsheet 'Kreukelberm2011'.

Voor nadere uitleg over de berekeningen wordt verwezen naar hoofdstuk 6.

4.3 Aanvullend onderzoek

Algemeen

Bij de beheerder is relatief weinig bekend over de onderlagen van de bekleding en over de kreukelberm. Ook op andere punten kunnen meer gegevens nodig zijn, met name bij geavanceerde toetsing. Daarom wordt op elk dijkvak aanvullend onderzoek gedaan.

Doel hiervan is een meer nauwkeurige toetsing en ontwerp, zodat onnodig afkeuren wordt voorkomen en uitvoeringsrisico's worden beperkt. Dit laatste heeft vooral betrekking op de onderlagen van de steenbekleding, het teenniveau en de kreukelberm.

De onderzoeksresultaten worden niet gebruikt bij de vrijgavetoetsing, maar wel bij een geavanceerde toetsing en het ontwerp. De meest voorkomende onderzoeken zijn:

1. Onderzoek van de onderlagen;
2. Onderzoek van teen en kreukelberm;
3. Geotechnisch grondonderzoek;
4. Asfaltonderzoek;
5. Klemmingsonderzoek.

Onderzoek van de onderlagen

Op alle dijkvakken worden de onderlagen van de bestaande bekleding onderzocht. Doel van dit onderzoek is om de dikte, het materiaal en de draagkracht van de onderlagen vast te stellen. De dikte en het materiaal zijn nodig voor de toetsing en eventueel het ontwerp van de nieuwe steenbekleding. De draagkracht bepaalt of voor het aanbrengen van een nieuwe bekleding een grondverbetering nodig is en kan daarmee de bekledingskeuze beïnvloeden. Als de draagkracht gering is kan bijv. gekozen worden voor een overlaging om een grondverbetering te vermijden. Bij een grondverbetering wordt op grond van het onderzoek bepaald waar deze wel en niet nodig is.

Het onderzoek wordt uitgevoerd door of via de beheerder. Het onderzoek bestaat uit het openbreken of doorboren van de steenbekleding en het uitvoeren van een handsondering en een handboring in het breekgat. De handboring wordt uitgevoerd tot een diepte van 2 m. Bij het onderzoek worden de gegevens van de toplaag, een eventuele filterlaag en de onderlagen opgetekend. In elk te onderzoeken dijkprofiel wordt minimaal 1 boring op de ondertafel en 1 boring op de boventafel gedaan.

Het aantal te onderzoeken profielen heeft zich in de loop van het Project Zeeweringen sterk uitgebreid wegens slechte ervaringen bij de uitvoering. Tijdens de vrijgavetoetsing dient het onderzoek om de 100 m te worden uitgevoerd. Dit is voldoende voor de toetsing en het voorontwerp. Als bij het definitief ontwerp nauwkeurig bepaald moet worden waar een grondverbetering nodig is, wordt de onderzoeksafstand verkleind tot 50 of 33 m.

Verwerking resultaten onderzoek onderlagen

Bij de vrijgavetoetsing worden de resultaten van het onderzoek naar de onderlagen niet gebruikt. Bij geavanceerde toetsing of bij het ontwerp worden de resultaten als volgt verwerkt:

1. Loop de breekformulieren door, zet de relevante onderzoekslocaties op een rijtje en neem voor elke locatie de toplaagegegevens (type en dikte), de filterconstructie en de onderlaagegegevens over;
2. Verdeel het dijkvak op grond van de breek- en boorgegevens in deelgebieden;
3. Bereken of bepaal voor de gekozen deelgebieden de gemiddelde toplaagdikte, filterconstructie en onderlaagdikte.

Onderzoek van teen en kreukelberm

Op alle dijkvakken worden het huidige teenniveau en de dikte en breedte van de kreukelberm bepaald. Deze gegevens zijn nodig voor toetsing en ontwerp van de kreukelberm. Verder is het teenniveau van invloed op het nieuwe teenontwerp en het materiaalverbruik. Een verkeerde inschatting van het huidige teenniveau is in het verleden een belangrijk uitvoeringsrisico gebleken.

Het onderzoek wordt meestal uitgevoerd na de vrijgavetoetsing, door of via de beheerder. Het onderzoek bestaat uit het vrijgraven van de constructie en het meten van het teenniveau en de dikte en breedte van de kreukelberm.

Geotechnisch grondonderzoek

Bij een geavanceerde toetsing of voor een bijzonder onderdeel van het ontwerp is soms geotechnisch grondonderzoek nodig. Doel van dit onderzoek is het verkennen van de dijkopbouw en grondlagen die onder de dijk liggen. Dit is o.a. van belang bij grondwaterproblemen (bijv. hoge grondwaterstanden, piping), bij toetsing van de grondmechanische stabiliteit van de dijk en bij het ontwerp van grondkerende constructies als damwanden.

Het onderzoek wordt meestal uitgevoerd in de ontwerpfase door een gespecialiseerd bureau. Het onderzoek bestaat doorgaans uit sonderingen en diepe grondboringen. Hierbij worden grondmonsters genomen, waarop laboratoriumonderzoek gedaan kan worden voor het bepalen van de grondmechanische parameters. In de boorgaten worden peilbuizen geplaatst voor het bepalen en monitoren van de grondwaterstand. Het monitoren wordt uitgevoerd door de beheerder.

Asfaltonderzoek

Bij geavanceerde toetsing van asfaltbekledingen is nader onderzoek nodig om de samenstelling en de sterkte-eigenschappen van het asfalt te bepalen. Op basis hiervan kan de bekleding getoetst worden en kan tevens een inschatting gemaakt worden van de resterende levensduur van de bekleding.

Het onderzoek wordt uitgevoerd na de vrijgavetoetsing door een gespecialiseerd bureau. Het onderzoek bestaat doorgaans uit valgewicht-deflectiemetingen (VGD-metingen), kernboringen en laboratoriumonderzoek voor de bepaling van de samenstelling en eigenschappen van het asfalt.

Klemmingsonderzoek

Bij geavanceerde toetsing van steenzettingen kunnen trekproeven worden uitgevoerd om aan te tonen dat een steenzetting goed geklemd is. Een goede klemming kan verdisconteerd worden in de berekening. Met name bij steenzettingen waaraan normaliter weinig of geen klemming wordt toegekend (blokkenbekledingen en basalt) zal dit leiden tot een veel grotere stabiliteit.

Het onderzoek wordt uitgevoerd na de vrijgavetoetsing door een gespecialiseerd bureau. Het onderzoek bestaat uit trekproeven om de 50 of 100 m.

4.4 Geavanceerde toetsing

Algemeen

Als de vrijgavetoetsing geen uitsluitsel geeft over een bekledingstafel dan wordt een geavanceerde toetsing gedaan om deze definitief goed- of af te keuren.

De geavanceerde toetsing is doorgaans sterk verweven met het ontwerp. Dit komt omdat de stabiliteit van een bestaande steenzetting mede afhankelijk is van de nieuw aan te brengen bekleding in het dijkprofiel. Verder vergt de geavanceerde toetsing soms een zodanige inspanning dat beter eerst beoordeeld kan worden of de bekledingstafel in zijn bestaande vorm wel in te passen is in het nieuwe ontwerp.

De geavanceerde toetsing bestaat doorgaans uit de volgende onderdelen:

1. Detaillering van de hydraulische randvoorwaarden (zie § 3.4);
2. Aanvullend onderzoek naar de bekleding (zie § 4.3);
3. Geavanceerde toetsberekening.

Geavanceerde toetsberekening steenzetting

De geavanceerde berekening van een steenzetting wordt uitgevoerd met Steentoets2010. De berekening is gelijk aan die bij de vrijgavetoetsing of dimensionering, alleen worden meer nauwkeurige gegevens gebruikt. Voor uitleg over de berekening met Steentoets2010 wordt verwezen naar § 6.5.7. In aanvulling hierop wordt bij de geavanceerde berekening als volgt te werk gegaan:

1. Detailleer de hydraulische randvoorwaarden (zie § 3.4) en voer deze in in Steentoets2010;
2. Verwerk de resultaten van het onderzoek naar de onderlagen (zie § 4.3) en voer voor alle gekozen deelgebieden de berekende gemiddelde toplaagdikte, filterconstructie en onderlaagdikte in;
3. Voer bij zuilen een open ruimte in van 12%;
4. Indien nodig wordt een bestaande zuilenbekleding opnieuw ingewassen. Geef daarom bij zuilen altijd aan dat ze goed ingewassen ($D_{15;i} = 6$ mm) en goed geklemd zijn;
5. Duid goed gezette basalt niet aan met de code 26, maar met de code 26,1 (Steentoets2010 kent meer sterkte toe als de basalt goed gezet is);
6. Als met trekproeven is aangetoond dat een steenzetting van blokken (betonblokken, koperslakblokken, petit granit, graniet, Doornikse steen) goed geklemd is, reken ze dan door met klemming: Duid ze hiertoe in Steentoets2010 aan als betonzuilen (code 27) en geef aan dat ze goed geklemd zijn. Voer verder de normale getallen voor blokken in;
7. Verwijder uit alle dwarsprofielen de reeds afgekeurde bekledingstafels en voer hiervoor de verwachte nieuwe bekleding in. Dit is nodig voor een juiste berekening van de klemming in de te toetsen steenzetting;
8. Vul de nieuwe overgangsconstructies in. Als aan de bovengrens van een te toetsen zuilentafel een nieuwe bekleding wordt aangebracht kies dan voor constructie c1 (filter geblokkeerd en overgangsconstructie ingegoten);
9. Voer de berekening uit voor 1 of meerdere hydraulische randvoorwaardenscenario's (als die er zijn). Bepaal het maatgevende toetsresultaat.

Geavanceerde toetsberekening asfaltbekleding

De geavanceerde berekening van een asfaltbekleding wordt uitgevoerd met het programma Golfklap. Als invoer worden de gegevens uit het aanvullende (asfalt)onderzoek gebruikt (zie § 4.3).

5. Voorontwerp

5.1 Werkwijze

Als het dijkvak vrijgegeven is kan begonnen worden met het ontwerp van de nieuwe bekleding. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen het voorontwerp en het definitief ontwerp. Bij het voorontwerp worden meerdere varianten opgesteld die vervolgens tegen elkaar worden afgewogen. De volgende stappen worden doorlopen:

1. Keuze deelgebieden:
Het dijkvak wordt opgeknipt in een aantal deelgebieden die verschillen qua hydraulische belasting, dijkgeometrie of ecologische randvoorwaarden. Daarbij is de verwachting dat deze verschillen zullen leiden tot een andere bekleding;
2. Opstellen ontwerpvarianten voor het onderbeloop:
Voor het onderbeloop wordt nagegaan welke bekledingstypes toepasbaar zijn. Op basis hiervan worden voor elk deelgebied de ontwerpalternatieven bepaald. Deze worden gegroepeerd tot 2 à 3 ontwerpvarianten voor het onderbeloop op het hele dijkvak;
3. Keuze voorkeursalternatief onderbeloop:
Op basis van technische, ecologische en andere criteria worden de varianten voor het onderbeloop met elkaar vergeleken en wordt het zgn. voorkeursalternatief gekozen. Dit is de variant met de hoogste kwaliteit-prijsverhouding;
4. Keuze overige bekleding:
Op basis van de technische en andere voorkeuren wordt de overige dijkbekleding (berm, kreukelberm, etc.) gekozen. De keuze geschiedt rechtstreeks omdat er weinig alternatieven zijn en de technische en ecologische voorkeur meestal hetzelfde zijn.

5.2 Bekledingstypes en toepasbaarheid

5.2.1 Overzicht bekledingen

In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de bekledingstypes die toegepast kunnen worden in het nieuwe ontwerp. Bij elk bekledingstype is weergegeven op welke taluddelen het toegepast kan worden en wat de meest gebruikelijke toepassingen zijn.

In de tabel zijn tevens de ecologische en technische toepasbaarheid weergegeven. De technische toepasbaarheid wordt vooral bepaald door de hydraulische belasting en de uitvoering. Ook het beheer en de grondmechanische stabiliteit van de dijk kunnen een rol spelen. Meer specifieke beperkingen aan de toepasbaarheid van een bekledingstype zijn weergegeven in de paragrafen hierna.

De maximale golfhoogtes in de tabel zijn een indicatie. Behalve bij steenzettingen geldt dit ook voor de maximale taludhellingen. Bij asfalt- en breuksteenbekledingen is de maximale golfhoogte vooral een praktische grens. In theorie kunnen ook grotere golven weerstaan worden, maar dit leidt tot grote en oneconomische bekledingdiktes. Of een bekledingstype daadwerkelijk toepasbaar is moet geverifieerd worden met berekeningen. Hiervoor wordt verwezen naar § 5.4.3 en hoofdstuk 6.

Tabel 2: Bekledingstypes en toepasbaarheid

Bekledingstype	Toepassingen (meest gebruikelijke zijn vet)							Potentiële begroeiingswaarde		Technische toepasbaarheid		
	Kreukel-berm	Onder-tafel	Boven-tafel	Berm	Haven-plateau	Boven-beeloop	Over-laging	Onder GHW	Boven GHW	Laagste niveau	Maximale taludhelling	Maximale golfhoogte
Steenzettingen, toplaag												
Basaltzuilen		X	X	X		X	X	Redelijk goed	Redelijk goed	GLW	1:2	Ca. 3 m
Betonzuilen		X	X	X		X	X	Redelijk goed	Redelijk goed	GLW	1:2	Ca. 4 m
Eco-zuilen		X	X	X		X	X	Goed	Redelijk goed	GLW	1:2	Ca. 4 m
Met grietasfalt ingegoten zuilen		X	X	X		X	X	Matig/slecht	Matig/slecht	GLW	1:2	Ca. 2 m
Granietblokken		X	X	X		X	X	Voldoende	Voldoende	GLW	1:2	Ca. 2 m
Doornikse steen		X	X	X		X	X	Voldoende	Voldoende	GLW	1:2	Ca. 2 m
Gekantelde vlakke betonblokken		X	X	X		X	X	Redelijk goed	Redelijk goed	GLW	1:2	Ca. 2 m
Gekantelde Haringmanblokken		X	X	X		X	X	Redelijk goed	Redelijk goed	GLW	1:2	Ca. 2 m
Koperslabblokken		X	X	X		X	X	Voldoende	Voldoende	GLW	1:2	Ca. 2 m
Steenzettingen, waterremmende onderlaag												
Klei		X ¹	X	X		X	X	N.v.t.	N.v.t.	GLW ¹	1:2,5	N.v.t.
Mijnsteen		X	X	X		X	X	N.v.t.	N.v.t.	GLW	1:2,5	N.v.t.
Hydraulische slak		X	X	X		X	X	N.v.t.	N.v.t.	GLW	1:2,5	N.v.t.
Hydraulisch steengranulaat		X ¹	X	X		X	X	N.v.t.	N.v.t.	GLW ¹	1:2,5	N.v.t.
OSA-granulaat		X	X	X		X	X	N.v.t.	N.v.t.	GLW	1:2,5	N.v.t.
Asfaltbekledingen												
Waterbouwasfaltbeton (WAB)			X	X		X	X	N.v.t.	Matig/slecht	GHW	Ca. 1:1,7 ⁶	Ca. 4 m
Wegenbouwasfaltbeton				X		X	X	N.v.t.	Matig/slecht	GHW	1:9 ⁸	Ca. 4 m
Open steenasfalt (OSA)			X ³	X		X	X	Matig/slecht	Voldoende ⁵	GHW ³	Ca. 1:1,5	Ca. 6 m ⁹
Gepene-treede	X	X	X	X		X	X	Matig/slecht	Matig/slecht	GLW	Ca. 1:1,5 ⁷	Ca. 6 m
afgestrooid met lavasteen	X	X	X	X		X	X	Voldoende	Matig/slecht	GLW	Ca. 1:1,5 ⁷	Ca. 6 m
met schone koppen	X	X	X	X		X	X	Redelijk goed	Matig/slecht	GLW	Ca. 1:1,5 ⁷	Ca. 6 m
patroonpenetratie	X	X	X	X		X	X	Redelijk goed	Matig/slecht	GLW	Ca. 1:1,5 ⁷	Ca. 3 m
Overige bekledingen												
Losse breuksteen	X	X	X	X		X	X	Voldoende	Voldoende	< GLW	Ca. 1:1,5	Ca. 3 m
Kleibekleding		X ⁴	X	X		X	X	N.v.t.	Uitmundend	GLW ⁴	Ca. 1:2	2 m
Grasbekleding			X	X		X	X	N.v.t.	Uitmundend	OP	Ca. 1:2	Ca. 3 m ⁹

Voetnoten:

- ¹ Mits in den droge aangebracht en afgedekt
- ² Alleen bij een voldoende vlakke en gesloten ondergrond
- ³ Alleen als de dagelijkse hydraulische belasting gering is
- ⁴ Mits in den droge aangebracht en alleen bij een voorland boven GHW -0,5 m
- ⁵ Alleen bij een (enigszins) doorlatende, vochtopleverende ondergrond
- ⁶ Mits de wateroverdrukken gering zijn
- ⁷ Na aanpassing van het asfaltmengsel en de uitvoeringswijze
- ⁸ Bij toepassing in de golfklapzone (onder OP)
- ⁹ Bij toepassing in de golfloopzone (boven OP)

5.2.2 Steenzettingen

Basaltzuilen

Basaltzuilen worden ingedeeld in sorteringen naar zuilhoogte. De meeste vrijkomende basaltzuilen zijn van de sortering 20/30 cm. Aan de Noordzeekust komen vaak hogere sorteringen voor. Basalt wordt ingedeeld in 2 sterktecategorieën:

1. Normale sterkte (goed gesorteerde partij): De zuilen zijn regelmatig van vorm en vertonen weinig variatie in hoogte;
2. Gereduceerde sterkte (slecht gesorteerde partij): Er zijn veel zuilen met onregelmatige vormen zoals een schuine onderkant of zijkant en er is veel spreiding in zuilgrootte en -hoogte.

Bij ontwerp wordt uitgegaan van goed gesorteerde partijen. Vanwege de ARBO-wet kan maximaal 5.000 à 10.000 m² nieuw te zetten basalt in een ontwerp opgenomen worden.

Betonzuilen en eco-zuilen

Betonzuilen zijn leverbaar in de hoogtes 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 en 50 cm.

Bij de hoogtes t/m 25 cm is de ervaring dat het inwasmateriaal te gemakkelijk uitspoelt en bij een hoogte van 50 cm gaan de zuilen te gemakkelijk 'kammen'. Daarom worden in het ontwerp bij voorkeur alleen de hoogtes 30 t/m 45 cm toegepast.

Betonzuilen worden standaard geleverd met een (natte) dichtheid van 2.300 kg/m³, maar kunnen afhankelijk van het type ook geleverd worden met een dichtheid van 2.400, 2.500, 2.600, 2.700, 2.800 en 2.900 kg/m³. De zuilen met hoge dichtheid zijn in verhouding stabielier omdat ze een groter onderwatergewicht hebben. Als deze extra stabiliteit verdisconteerd wordt zijn de prijsverschillen tot en met een dichtheid van 2.700 kg/m³ gering. Betonzuilen met een dichtheid van 2.800 en 2.900 kg/m³ zijn beduidend duurder en worden weinig toegepast.

Eco-zuilen zijn betonzuilen met een doorlatende, uitgewassen toplaag van 3 à 5 cm gebroken steen. Onder GHW zorgt deze toplaag voor een betere of snellere aangroei van wieren. Boven GHW heeft deze toplaag geen meerwaarde en is toepassing van eco-zuilen niet zinvol.

Ingegoten basalt- of betonzuilen

Om het onderhoud te verminderen of de sterkte te vergroten zijn in het verleden veel steenzettingen van basalt- of betonzuilen ingegoten met gietasfalt of beton. Binnen het Project Zeeweringen wordt een afgekeurde zuilenzetting soms eveneens verbeterd door ze in te gieten. Daarbij wordt eerst de inwassing verwijderd met een hoge drukspuit en uitsluitend ingegoten met gietasfalt.

Deze methode wordt alleen toegepast op constructie-onderdelen die moeilijk op een andere manier te verbeteren zijn en die van minder belang zijn voor de waterkering (bijv. havendammen en nollen). Dit komt omdat aan ingegoten zuilen relatief weinig sterkte toegekend wordt. Alleen bij goed of zeer goed ingegoten zuilen wordt een (iets) grotere sterkte toegekend dan aan niet-ingegoten zuilen. In alle andere gevallen wordt minder sterkte toegekend. Hierdoor is er een te groot risico dat bij de uitvoering de vereiste sterkte niet of slechts voor een te korte periode gerealiseerd wordt.

Gekantelde betonblokken

Er zijn vlakke betonblokken en Haringmanblokken (betonblokken met een uitsparing aan de bovenkant). Voor beide types zijn de meest gebruikelijke afmetingen 50 cm x 50 cm x 15, 20, 25 of 30 cm. Er komen echter ook andere afmetingen voor.

In nieuwe bekledingen worden de blokken op hun kant gezet, wat bij de genoemde afmetingen resulteert in een toplaagdikte van 50 cm. De afmeting van 15 cm levert

daarbij de sterkste bekleding op omdat er per m² meer spleten zijn waardoor er meer open ruimte is.

Bij vlakke betonblokken wordt gerekend met een dichtheid van 2.300 kg/m³. Omdat de rekenprogramma's geen rekening houden met de uitsparing bij Haringmanblokken wordt bij deze blokken gerekend met een lagere, fictieve dichtheid waarin deze uitsparing verdisconteerd is.

Overige zetsteentypes

In zeldzame gevallen kunnen nog andere gezette steentypes toegepast worden, bijvoorbeeld koperslakblokken of granietblokken. Het ontwerp, incl. het vaststellen van de parameterwaarden, wordt uitgevoerd op basis van intern overleg.

Waterremmende onderlaag

De waterremmende onderlaag bestond voorheen meestal uit klei of mijnsteen. Binnen het Project Zeeweringen wordt boven GHW klei van categorie c2 (zie VTV2006, blz. 364) toegepast. Onder GHW wordt hoofdzakelijk hydraulische fosforslak toegepast, omdat deze makkelijker aan te brengen en te verdichten zijn, terwijl klei onder GHW vrij moeilijk te verwerken is. Deze grens (GHW) is niet hard. Als de onderlaag maar tot enkele meters (langs het talud gemeten) onder of boven GHW moet worden aangebracht is de voorkeur om voor de hele onderlaag hetzelfde materiaal te gebruiken.

Hydraulische fosforslak bestaat uit gebroken fosforslak (steengranulaat) en een hydraulisch bindmiddel dat samenhang genereert en tevens de waterdoorlatendheid reduceert.

5.2.3 Asfaltbekleding

Waterbouwasfaltbeton (WAB)

Waterbouwasfaltbeton is asfaltbeton met veel bitumen en weinig holle ruimte, waardoor het een relatief grote levensduur heeft. Verder is de bitumen relatief zacht zodat WAB mee kan vervormen met de ondergrond.

In bepaalde gevallen (bijv. als hogere eisen gesteld worden aan de berijdbaarheid) kunnen binnen het Project Zeeweringen in plaats van WAB ook andere asfaltsoorten toegepast worden. In het ontwerp wordt geen onderscheid gemaakt als voldaan wordt aan de volgende voorwaarden:

1. Het asfalt bevat minimaal 4,5% bitumen;
2. Het asfalt bevat maximaal 50% asfaltgranulaat;
3. Het asfalt wordt zodanig verdicht dat er maximaal 7% holle ruimte is;
4. Direct na aanleg wordt een oppervlakbehandeling uitgevoerd.

Wegenbouwasfaltbeton

Wegenbouwasfaltbeton bevat minder bitumen en meer holle ruimte dan waterbouwasfaltbeton. Op een goede fundering kan het hydraulische belastingen even goed opnemen als waterbouwasfaltbeton, maar het is minder flexibel en heeft een kortere levensduur.

Wegenbouwasfaltbeton wordt toegepast op locaties met een kleine hydraulische belasting die goed berijdbaar moeten zijn, zoals bermen en havenplateaus. Er wordt een matig grof tot grof, maar dicht asfaltmengsel toegepast dat geschikt is voor deklagen en waarvan de bitumen niet al te hard is (AC11 surf 70/100 en AC16 surf 70/100). Deze mengsels benaderen de levensduur en flexibiliteit van waterbouwasfaltbeton het best, met name als ze goed verdicht zijn, wat vergemakkelijkt wordt door de groffe korrel.

Open steenasfalt (OSA)

Open steenasfalt is een doorlatende, relatief goedkope asfaltsoort die bestaat uit steenslag met weinig bitumen en veel holle ruimte. OSA is slecht bestand tegen erosie. Daarom wordt OSA binnen het Project Zeeweringen alleen toegepast in de golfklapzone als de dagelijkse belasting zeer gering is, bijvoorbeeld in haventjes.

OSA wordt voornamelijk toegepast in de golfoploopzone (berm en bovenbeloop), als de golfbelasting te groot is voor een grasbekleding, en in de golfoverslagzone (kruin en binnentalud) om een dijk overslagbestendig te maken. OSA is niet toepasbaar als de stroomsnelheid door golfoploop of golfoverslag groter is dan 6 m/s.

Met gietasfalt gepenetreerde breuksteen

Breuksteen kan vol-en-zat, volledig of patroongepenetreerd worden met gietasfalt. De minimale steensortering is 10-60 kg. De sortering 5-40 kg wordt in het Project Zeeweringen niet meer toegepast omdat deze in het verleden vaak onvoldoende te penetreren bleek door de aanwezigheid van te veel fijne steen.

Gietasfalt is een asfaltsoort met veel bitumen waardoor hij goed vloeit. In het verleden is binnen het Project Zeeweringen ook wel gepenetreerd met colloïdaal beton, maar dit wordt niet meer gedaan wegens slechte ervaringen.

Gepenetreerde breuksteen met schone koppen of afgestrooid met lavasteen

Bij vol-en-zat penetratie is de breuksteen volgegoten tot ca. 5 cm onder de steenkoppen. Omdat daarbij ook de meeste steenkoppen overgoten raken en wieren zich moeilijk hechten aan asfalt verloopt de aangroei van wieren op vol-en-zat gepenetreerde breuksteen moeizaam. De aangroei kan versneld worden door de koppen van de breuksteen bij de aanleg meteen schoon te borstelen (uitvoeringsvariant 'schone koppen') of door de breuksteen volledig te penetreren (tot aan de bovenkant van de steenkoppen) en de bekleding direct af te strooien met lavasteen die in de nog hete gietasfalt zakt. De wieren kunnen zich dan hechten aan de schone koppen of de lavasteen.

Steensoorten bij vol-en-zat en volledige penetratie

In plaats van breuksteen kan ook andere steen gebruikt worden, bijvoorbeeld in het werk vrijkomende natuursteen, al dan niet gebroken. Hierbij gelden de volgende eisen:

1. Vilvoordse steen en Doornikse steen zijn onvoldoende hard en komen niet in aanmerking. Vrijkomende betonzuilen, basalt, graniet, petit granit en Lessinese steen kunnen wel gebruikt worden;
2. Om voldoende penetratie te krijgen moeten de kleinere stenen minimaal even groot zijn als bij de breuksteensortering 10-60 kg: $D_{15} \geq 0,22$ m;
3. Als de steenafmetingen weinig variëren, ofwel als de steen slecht gegradeerd is (bijv. vrijkomende zetsteen) moet gerekend worden met een holle ruimte van 50%;
4. Als de steen slecht gegradeerd is en $D_{85} > 0,35$ m dienen kleinere stenen toegevoegd te worden om de gradering te verbeteren en te voorkomen dat de gietasfalt lager op het talud tussen de stenen uit loopt;
5. Mengen van verschillende steensoorten dient intern overlegd te worden. Zolang aan het bovenstaande voldaan wordt zijn er echter geen technische beperkingen.

Patroongepenetreerde breuksteen

Bij patroonpenetratie wordt minder gietasfalt gebruikt en is het de bedoeling dat alle grote stenen vast komen te liggen, maar dat de bekleding als geheel open blijft. In de praktijk blijkt dit vrijwel onuitvoerbaar en blijven te veel stenen los liggen. Verder is (ook een correct uitgevoerde) patroonpenetratie economisch niet aantrekkelijk omdat de gerealiseerde sterkte in verhouding tot het materiaalverbruik te klein is. Daarom wordt patroonpenetratie binnen het Project Zeeweringen alleen toegepast als er geen alternatief is, bijvoorbeeld op een dijk met een grote aandrang van grondwater.

5.2.4 Losse breuksteenbekleding

Steensorteringen

De steensorteringen die het meest gebruikt worden binnen het Project Zeeweringen zijn 10-60 kg, 40-200 kg, 60-300 kg en 300-1.000 kg. De sorteringen boven 60-300 kg zijn vaak ongewenst wegens de mindere begaanbaarheid, maar zijn veel goedkoper dan patroongepenetreerde breuksteen, het meest gebruikelijke alternatief. De kentallen van de meest gebruikelijke steensorteringen zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3: Kentallen steensorteringen

Steensorteringen					
Uitgaande van $\rho_s = 2.650 \text{ kg/m}^3$ (standaardwaarde)					
Sortering	M_{50} [kg]	D_{n50} [m]	D_{15} [m]	D_{50} [m]	D_{85} [m]
45/125 mm	0,8	0,067	0,059	0,08	0,114
63/180 mm	2,4	0,097	0,084	0,115	0,164
90/250 mm	6,5	0,135	0,118	0,16	0,227
5-40 kg	21	0,20	0,18	0,24	0,28
10-60 kg	37	0,24	0,22	0,29	0,33
40-200 kg	127	0,36	0,35	0,43	0,50
60-300 kg	193	0,42	0,40	0,49	0,57
300-1.000 kg	715	0,65	0,65	0,77	0,86
1-3 ton	2.088	0,92	0,94	1,10	1,21

Alternatieve steensoorten

In plaats van breuksteen kan ook andere steen gebruikt worden, bijvoorbeeld in het werk vrijkomende natuursteen. Hierbij gelden de volgende eisen:

1. Vilvoordse steen en Doornikse steen zijn onvoldoende hard en komen niet in aanmerking. Vrijkomende betonzuilen, basalt, graniet, petit granit en Lessinese steen kunnen wel gebruikt worden;
2. De gradering van de steen (variatie in steenafmetingen binnen de partij) dient gelijkwaardig te zijn aan die van een breuksteensortering. Zetsteen dient daarom gebroken te worden of gemengd te worden met andere steensoorten;
3. Bij mengen van zetsteen met breuksteen gelden de volgende eisen:
 - a. Het mediane opdrijfgewicht (ΔD_{n50}) van de zetsteen en de breuksteen moet voldoende overeenkomen. Voor de toegelaten minimum- en maximumwaardes per breuksteensortering wordt verwezen naar het bestand 'Waterbouwsteen EN 13383-DH090326.xls';
 - b. Er mag maximaal 50 vol.-% zetsteen bijgemengd worden;
 - c. Als aan het bovenstaande niet voldaan kan worden moet onderzocht worden hoe met de vrijkomende en andere steen een goed gegradeerd mengsel samengesteld kan worden wat toepasbaar is in het dijkvak.

5.2.5 Kleibekleding

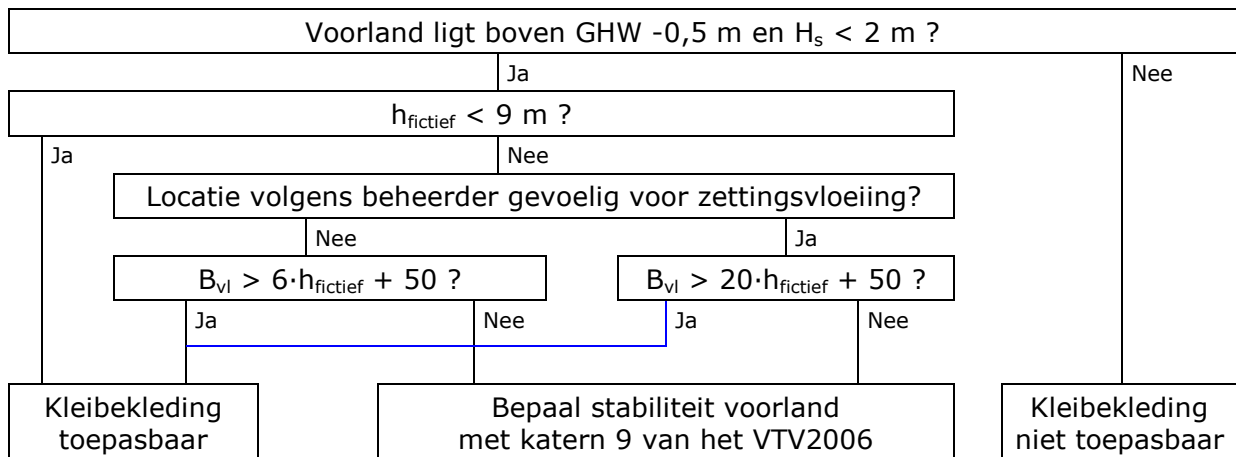
Een kleibekleding is een dijkbekleding van goed erosiebestendige klei (categorie c1, zie VTV2006, blz. 364). De erosiebestendigheid wordt bepaald door de plasticiteitsindex, de vloeigrens en het zandgehalte. Op de erosiebestendige klei wordt meestal een vegetatielaag ('make-up laag') aangebracht. Deze bestaat uit zandige, minder erosiebestendige klei (categorie c2 of c3), waarop de vegetatie zich beter kan ontwikkelen.

Een kleibekleding is toepasbaar als voldaan wordt aan de volgende eisen:

1. Het voorland van de dijk ligt boven GHW -0,5 m, zodat de dagelijkse hydraulische belasting gering is;
2. De significante golfhoogte H_s bij de maatgevende storm is kleiner dan 2 m;
3. Er is voldoende veiligheid tegen zettingsvloeiing en afschuiving van het voorland.

Met onderstaand stroomschema wordt nagegaan of een kleibekleding toepasbaar is. Daarbij moet het voorland gedurende de hele levensduur van de kleibekleding (50 jaar) voldoen aan de in het stroomschema opgenomen toepassingeisen.

Stroomschema 1: Toepasbaarheid kleibekleding



Waarin:

h_{fictief} : Fictieve geuldiepte (zie VTV2006, blz. 382-385) [m]

B_{vl} : Breedte voorland [m]

5.2.6 Grasbekleding

Een grasbekleding is een dijkbekleding van gras op een kleilaag van minimaal 0,3 m dikte. Binnen het Project Zeeweringen wordt een grasbekleding alleen toegepast in de golfoploopzone (berm en bovenbeloop), als deze tijdens de uitvoering wordt vergraven (bijv. door tijdelijke inkassing van de kruin). Verder moet in sommige gevallen worden getoetst vanaf welk niveau of vanaf welke dijkpaal volstaan kan worden met een grasbekleding, omdat tot daar een steenbekleding moet worden aangebracht.

De zodekwaliteit, en daarmee de erosiebestendigheid van het gras, kan goed, matig of slecht zijn (zie VTV2006, blz. 358-366). Bij een matige of slechte kwaliteit mag het zandgehalte van de onderliggende kleilaag maximaal 50% zijn, bij een goede kwaliteit 70%. Omdat een grasbekleding altijd goedkoper is dan een steenbekleding is het uitgangspunt binnen het Project Zeeweringen dat de beheerder de grasbekleding zodanig beheert dat de zodekwaliteit goed is of wordt.

5.2.7 Geotextiel

Een geotextiel is een flexibel doek van kunststof wat wordt toegepast onder een steenbekleding om te voorkomen dat de ondergrond erodeert door uitspoeling van fijne deeltjes of om te voorkomen dat versmering of vermenging met de ondergrond optreedt.

De toegepaste kunststof is meestal polypropeen, waaraan additieven zijn toegevoegd voor verbetering van de eigenschappen, o.a. voor verlenging van de levensduur. Om te voorkomen dat deze additieven bij contact met water uitlogen worden doorgaans zgn. 'low leach' additieven toegepast.

Het geotextiel kan een vlies (nonwoven) of een weefsel (woven) zijn. Een vlies bestaat uit kunststofvezels die met elkaar versmolten zijn tot een homogeen doek. Bij een weefsel worden draden of bandjes gemaakt van kunststofgaren en vervolgens tot een doek geweven. De belangrijkste verschillen tussen een vlies en een weefsel zijn:

1. Doordat het geweven is, is een weefsel in verhouding veel sterker dan een vlies;
2. Een vlies heeft een grotere (bezwijk)rek dan een weefsel. Daardoor is het flexibeler en makkelijker te hanteren in de uitvoering;
3. Een vlies heeft veel kleine gaatjes die homogeen verdeeld zijn. Een weefsel heeft alleen gaatjes waar de draden elkaar kruisen, maar deze gaatjes zijn beduidend groter. Bij eenzelfde waterdoorlatendheid laat een vlies daarom minder gronddeeltjes door dan een weefsel (de gronddichtheid is groter).

In het Project Zeeweringen wordt onder steenzettingen, WAB en OSA een polypropeen vlies toegepast. Onder losse of gepenetreerde breuksteen wordt een polypropeen weefsel toegepast. Bij toepassing onder losse breuksteen is op het weefsel een vlies gestikt voor extra bescherming tegen de vallende stenen. Bij overlaging wordt geen geotextiel toegepast. Het geotextiel wordt niet nader ontworpen of geoptimaliseerd.

5.3 Keuze deelgebieden

Algemeen

Nadat alle benodigde gegevens en randvoorwaarden verzameld zijn wordt het dijkvak opgeknipt in een aantal deelgebieden met duidelijke onderlinge verschillen qua hydraulische belasting, dijkgeometrie of ecologische randvoorwaarden. Daarbij is de verwachting dat deze verschillen zullen leiden tot een andere bekleding. Omdat pas later zal blijken of dit ook echt zo is, heeft de keuze van de deelgebieden een iteratief karakter en is vooral een kwestie van ervaring.

Lengte en aantal deelgebieden

Om versnippering te voorkomen en het ontwerp, de uitvoering en het beheer niet te ingewikkeld te maken wordt er naar gestreefd om het aantal deelgebieden zoveel mogelijk te beperken. Meestal worden hiermee ook de totale kosten beperkt.

Als een deelgebied betrekking heeft op een bijzonder object zoals een haven, een korte dam of een kunstwerk (bijv. een sluis) dan kan de lengte zeer klein zijn (100 m of minder), maar op een regulier dijktraject is de lengte van een deelgebied meestal 500 à 1.000 m. Bij een dijkvak van 3 à 5 km zijn er daarom doorgaans ca. 5 deelgebieden.

Hydraulische belasting

De keuze van de deelgebieden wordt sterk bepaald door de hydraulische belasting omdat hieruit rechtstreeks volgt welke bekledingstypes wel en niet mogelijk zijn. Bij een kleine belasting ($H_s < \text{ca. } 1 \text{ m}$) zijn in de golfklapzone alle bekledingstypes mogelijk, bij een gemiddelde belasting ($H_s = \text{ca. } 2 \text{ m}$) komen vooral steenzettingen en asfaltbekledingen in aanmerking en bij een grote belasting ($H_s > \text{ca. } 3 \text{ m}$) kunnen het best asfaltbekledingen toegepast worden. Vanwege de relatie met de hydraulische belasting wordt de grens van een deelgebied vaak op de grens van een randvoorwaardevak gelegd.

De belasting op de bekleding wordt niet alleen bepaald door H_s (en T_p), maar ook door de dijkoriëntatie en de taludhelling van de dijk. Als door de dijkoriëntatie de golven zeer scheef invallen wordt de belasting sterk gereduceerd. In het ontwerp wordt dit echter niet meegenomen. De invloed van de taludhelling is door verandering van de rekenregels in de loop der tijd kleiner geworden en meestal niet van invloed op de keuze van de deelgebieden.

Dijkgeometrie

De dijkgeometrie is van invloed op de keuze van de deelgebieden omdat ze bepalend kan zijn voor de keuze van de bekleding en de tafelgrenzen. Vooral de taludhelling, de bermhoogte en de kruinhoogte hebben invloed.

Bij een te steil talud worden gras, klei en steenzettingen niet toegepast omdat de hydraulische belasting te groot wordt (waardoor de bekleding niet toepasbaar meer is of economisch onaantrekkelijk wordt) of omdat de bekleding niet goed beheerd kan worden.

Als er geen ruimte is voor een berm of als de berm niet op Ontwerppeil gelegd kan worden, dan wordt de steenbekleding opgetrokken tot een bepaald niveau boven het Ontwerppeil. Verder kan boven een lage berm een ander bekledingstype gekozen worden.

Een beperkt kruinhoogtetekort kan opgelost worden door de kruin te verhogen of door de dijk overslagbestendig te maken. Als de dijk overslagbestendig gemaakt wordt dan wordt ook de bekleding op bovenbeloop, kruin en binnenbeloop ontworpen. Dit leidt tot een zwaardere bekleding dan als er geen kruinhoogtetekort is.

Ecologische randvoorwaarden

Uit het Detailadvies voor wieren en zoutplanten volgt wat de huidige ecologische waarde is van de begroeiing op de diverse delen van het dijkvak en wat de potentiële waarde is bij verbetering. Daar de gewenste waardes met asfaltbekledingen vaak niet te realiseren zijn bepalen de ecologische randvoorwaarden voor een belangrijk deel de keuze van de bekleding en daarmee de deelgebieden.

5.4 Bekleding onderbeloop

5.4.1 Algemeen

Bij de keuze van de bekleding wordt onderscheid gemaakt tussen het onderbeloop en andere delen van het dijkprofiel, zoals de teen en de berm. Dit is een voortvloeiende uit de scope van het Project Zeeweringen, die formeel beperkt is tot steenbekledingen op het onderbeloop. Verder is de technische bekledingsvoorkeur voor het onderbeloop vaak een andere dan de ecologische, terwijl voor de overige onderdelen van het dijkprofiel de voorkeuren vaak hetzelfde zijn. Zo heeft in de kreukelberm losse breuksteen zowel de technische als ecologische voorkeur en hetzelfde geldt voor gras op het bovenbeloop.

Voor het onderbeloop wordt daarom een aantal varianten opgesteld waaruit een keuze wordt gemaakt op basis van een multicriteria-analyse (met het Keuzemodel). Voor de overige onderdelen wordt de bekleding meestal direct gekozen. Hiervoor wordt verwezen naar § 5.5.

5.4.2 Voorselectie bekledingstypes

Na de (voorlopige) keuze van de deelgebieden wordt voor het onderbeloop een voorselectie gemaakt van mogelijke bekledingstypes: Er wordt nagegaan welke van de beschikbare bekledingstypes technisch toepasbaar zijn en voldoen aan de ecologische en andere randvoorwaarden.

De ecologische voorselectie wordt gemaakt op basis van het Detailadvies voor wieren en zoutplanten. De technische voorselectie wordt gemaakt op basis van de taludhelling en de hydraulische belasting. Daarbij wordt met berekeningen nagegaan of en tussen welke taludniveaus een bekledingstype bij de gegeven hydraulische belasting toepasbaar is.

5.4.3 Berekening toepasbaarheid

De technische toepasbaarheid van een bekledingstype bij de opgegeven hydraulische belasting moet geverifieerd worden met berekeningen. Dit komt neer op het berekenen van de benodigde bekledingsdikte en nagaan of deze dikte leverbaar of realiseerbaar is. Daarbij moet ontwerpveiligheid in rekening gebracht worden. Voor het berekenen van de benodigde bekledingsdikte en de te hanteren ontwerpveiligheid wordt verwezen naar hoofdstuk 6. Bij het verifiëren van de toepasbaarheid op het onderbeloop kan als volgt te werk gegaan worden:

1. Bereken of het gewenste bekledingstype toepasbaar is op het meest ongunstige dwarsprofiel (en daarmee op het hele dijkvak). Het meest ongunstige dwarsprofiel is doorgaans het steilste dwarsprofiel (onderbeloopprofiel) in het randvoorwaardevak met de grootste hydraulische belasting;
2. Als het bekledingstype niet toepasbaar is op het meest ongunstige dwarsprofiel, verflauw dan het talud (als daar ruimte voor is) of vergroot de dichtheid (bij betonzuilen) om te kijken of de bekleding hiermee alsnog toepasbaar wordt;
3. Als de bekleding niet toepasbaar is of gemaakt kan worden op het meest ongunstige dwarsprofiel, ga dan voor de minder ongunstige dwarsprofielen op dezelfde wijze na waar de bekleding wel toepasbaar is;
4. Verlaag op de dwarsprofielen waar de bekleding niet (op het hele profiel) toepasbaar is eventueel de bovengrens van de bekledingstafel om na te gaan onder welk niveau de bekleding wel toepasbaar is.

5.4.4 Opstellen ontwerpalternatieven en varianten

Ontwerpalternatieven

Na de voorselectie van de bekledingstypes worden de ontwerpalternatieven opgesteld. Een ontwerpalternatief is een nieuwe bekleding voor het onderbeloop in een deelgebied, die voldoet aan de technische, ecologische en andere randvoorwaarden.

Elk deelgebied wordt hiertoe geschematiseerd tot één profiel voor het onderbeloop, wat wordt verdeeld in een ondertafel en een boventafel. De grens hiertussen wordt meestal op GHW gelegd, maar kan afhankelijk van de beschikbaarheid en toepasbaarheid van een bekledingstype (bijv. gekantelde blokken) ook hoger of lager liggen.

Meestal zijn technisch alleen beton- of basaltzuilen, betonblokken, vol-en-zat gepenetreerde breuksteen (VZB) (al dan niet als overlaging) en waterbouwasfaltbeton (WAB) (alleen op de boventafel) toepasbaar. Hiermee kunnen 12 combinaties gevormd worden, waarvan er in de praktijk 9 worden toegepast. Deze 9 potentiële ontwerpalternatieven zijn weergegeven in tabel 4. Bij een kleine hydraulische belasting zijn ook andere bekledingstypes en ontwerpalternatieven mogelijk.

Tabel 4: Potentiële ontwerpalternatieven

Bekledings- tafel	Ontwerpalternatief								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Boventafel	Zuilen	Blokken	VZB	WAB	Zuilen	Blokken	WAB	Zuilen	WAB
Ondertafel	VZB	VZB	VZB	VZB	Blokken	Blokken	Blokken	Zuilen	Zuilen

Door de ecologische en andere randvoorwaarden zullen een aantal alternatieven afvallen. Ook een grote hydraulische belasting leidt tot minder alternatieven. Hierdoor blijven per deelgebied meestal 3 à 4 ontwerpalternatieven over.

Varianten

De ontwerpalternatieven per deelgebied worden nu gecombineerd tot een aantal varianten. Een variant is hier een combinatie van ontwerpalternatieven tot een logisch geheel voor het onderbeloop van het dijkvak. Meestal worden 2 of 3 varianten opgesteld:

1. Technische variant: In deze variant wordt gestreefd naar een optimale sterkte en betrouwbaarheid van de bekleding en naar een optimaal hergebruik van vrijkomende materialen. De nadruk zal daarom liggen op asfaltbekledingen en gekantelde betonblokken;
2. Ecologische variant: In deze variant wordt gestreefd naar een maximale ecologische waarde van de begroeiing op onder- en boventafel. De nadruk zal daarom liggen op de toepassing van betonzuilen en andere steenzettingen;
3. Optimumvariant: Bij grote variatie binnen het dijkvak van de technische, ecologische en andere randvoorwaarden wordt gezocht naar een optimum. In deelgebieden met een grote hydraulische belasting wordt de nadruk gelegd op de sterkte en gekozen voor asfalt, in deelgebieden met een hoge ecologische waarde wordt gekozen voor steenzettingen.

5.4.5 Keuze voorkeursalternatief

Keuzecriteria

Na het opstellen van de varianten wordt het voorkeursalternatief voor het onderbeloop gekozen. Dit is de variant met de beste kwaliteit-prijsverhouding. Hiertoe worden de varianten tegen elkaar worden afgewogen op basis van de volgende criteria en subcriteria:

1. Constructie:
 - a. Flexibiliteit: Hoe beter een bekleding zetting of erosie van de ondergrond kan volgen, hoe kleiner de kans op verborgen gebreken;
 - b. Overgangen: Hoe minder bekledingstafels, c.q. hoe minder overgangen, hoe minder zwakke plekken.
2. Uitvoering:
 - a. Tijd: Hoe korter de uitvoeringstijd, hoe minder overlast;
 - b. Moeilijkheidsgraad: Hoe moeilijker de bekleding aan te leggen is, hoe groter de kans op een mindere kwaliteit;
 - c. Toleranties: Hoe nauwer de uitvoeringstoleranties, hoe groter de kans dat een bekleding plaatselijk moeilijk aangelegd kan worden en niet of minder voldoet.
3. Hergebruik:
 - a. Hergebruik: Hoe meer hergebruik van materialen, hoe duurzamer de constructie;
 - b. Levenscyclusanalyse (LCA): Hoe kleiner de impact op het milieu, hoe beter.
4. Onderhoud:
 - a. Duurzaamheid: Hoe minder onderhoud nodig is, hoe beter;
 - b. Zichtbaarheid: Hoe makkelijker gebreken detecteerbaar zijn, hoe kleiner de kans dat ze verborgen blijven;
 - c. Tijd: Hoe sneller en eenvoudiger schade gerepareerd kan worden, hoe beter.
5. Landschap: Hoe meer de bekleding in het landschap past, hoe beter.
6. Natuur:
 - a. Flora: Hoe hoger de ecologische waarde van de begroeiing, hoe beter;
 - b. Habitat: Hoe minder verlies van kwalificerend habitat, zoals slikken en schorren, hoe beter.

Spreadsheet 'Keuzemodel'

De varianten worden tegen elkaar afgewogen met het spreadsheet 'Keuzemodel'. In het spreadsheet worden de varianten voor het onderbeloop ingevoerd, incl. de scores voor de subcriteria landschap, flora en habitat. Een score van 1 is slecht, 2 is neutraal en 3 is goed.

De scores voor de overige criteria worden door het spreadsheet automatisch ingevuld. Vervolgens wordt met behulp van wegingsfactoren voor elke variant een totaalscore berekend. Deze wordt gedeeld door de aanlegkosten om een kwaliteit-prijsverhouding te krijgen. Het voorkeursalternatief is de variant met de hoogste kwaliteit-prijsverhouding.

Wegingsfactoren

De wegingsfactoren in het Keuzemodel zijn gebaseerd op een onderlinge vergelijking van de 6 hoofdcriteria (zie boven). Daarbij zijn steeds 2 criteria met elkaar vergeleken. Als het ene criterium hoger gewaardeerd is heeft het een waardering 3 terwijl het andere een waardering 1 heeft. Als beiden even belangrijk zijn hebben beiden een waardering 2. Elk hoofdcriterium heeft 5 waarderingen omdat het vergeleken wordt met de 5 andere hoofdcriteria. De wegingsfactor voor elk hoofdcriterium is verkregen door de 5 waarderingen bij elkaar op te tellen en te delen door het totaal van alle waarderingen.

De wegingsfactoren voor de hoofdcriteria en de verdeling daarvan over de subcriteria zijn weergegeven in het spreadsheet. De wegingsfactoren en de verdeling daarvan kunnen desgewenst aangepast worden.

Scores

De scores voor de subcriteria landschap, flora en habitat worden handmatig ingevoerd. De score voor het subcriterium overgangen wordt door het spreadsheet berekend op basis van het aantal bekledingstafels. De scores voor de overige criteria zijn specifiek voor het bekledingstype en worden automatisch ingevuld. De standaard scores voor alle bekledingstypes zijn opgenomen in de LCA-bibliotheek.

De diverse scores zijn gebaseerd of kunnen gebaseerd worden op o.a. de volgende overwegingen:

1. Steenzettingen raken doorgaans makkelijker begroeid dan asfaltbekledingen;
2. Hoe kleiner een teenverschuiving, hoe minder verlies van kwalificerend habitat;
3. Bij gepenetreerde breuksteen is de uitvoeringstijd langer omdat het meestal in de getijdezone wordt aangebracht, waar niet continu doorgewerkt kan worden;
4. Vol-en-zat gepenetreerde breuksteen is makkelijker aan te leggen dan gepenetreerde breuksteen met schone koppen;
5. Handmatig zetten van basalt is moeilijker dan mechanisch zetten van betonzuilen;
6. Bij betonzuilen in bochten neemt de open ruimte toe waardoor de toleranties kunnen worden overschreden;
7. De duurzaamheid van steenzettingen is groter dan die van asfaltbekledingen;
8. Zetting of erosie van de ondergrond is bij steenzettingen beter zichtbaar dan bij breuksteenbekledingen;
9. Schade aan steenzettingen kan makkelijker en sneller hersteld worden dan schade aan breuksteenbekledingen omdat daarvoor minder zwaar materiaal en materieel nodig is;
10. Schade aan asfaltbekledingen kan minder snel hersteld worden omdat kleine hoeveelheden asfalt moeilijk verkrijgbaar zijn.

5.5 Overige bekleding

Algemeen

De keuze van de bekleding in de kreukelberm, op de berm, op plateaus en eventueel op het bovenbeloop, de kruin en het binnenbeloop van de dijk verloopt directer dan op het onderbeloop omdat er minder alternatieven zijn en omdat de technische, ecologische en andere bekledingsvoorkeuren op deze onderdelen van het dijkprofiel vaak hetzelfde zijn.

Kreukelberm

Voor de kreukelberm komen de volgende bekledingstypes in aanmerking:

1. Losse breuksteen;
2. Vol-en-zat gepenetreerde breuksteen;
3. Patroongepenetreerde breuksteen.

In de praktijk wordt vrijwel altijd losse breuksteen toegepast omdat dit bekledingstype de beste prijs-sterkteverhouding heeft, het meest flexibel is en ook ecologisch de voorkeur heeft. Alleen bij een steil voorland ($\tan \alpha > \text{ca. } 0,1$) en een grote hydraulische belasting ($H_s > \text{ca. } 4 \text{ m}$) wordt gekozen voor vol-en-zat gepenetreerde breuksteen omdat bij losse breuksteen in dat geval een erg grote en onpraktische steensortering nodig is.

Patroongepenetreerde breuksteen wordt niet of nauwelijks meer toegepast omdat het in de praktijk niet mogelijk blijkt om het gros van de stenen vast te leggen zonder dat de bekleding aan de onderkant dichtvloeit met gietasfalt. Verder is de prijs-sterkteverhouding zeer ongunstig: De prijs (per m dikte) is vrijwel gelijk aan die van vol-en-zat gepenetreerde breuksteen, de (reken)sterkte (per m dikte) is niet of nauwelijks groter dan bij losse breuksteen.

Onderhoudsstrook

Ten behoeve van beheer en onderhoud wordt de bermstrook die aansluit op het onderbeloop verhard. De volgende bekledingstypes komen in aanmerking:

1. Wegenbouwasfaltbeton;
2. Open steenasfalt (OSA) afgestrooid met grond en ingezaaid met gras.

Standaard wordt gekozen voor wegenbouwasfaltbeton. Alleen bij specifieke eisen vanuit ecologie of recreatie wordt OSA toegepast.

Plateaus

Voor plateaus komen de volgende bekledingstypes in aanmerking:

1. Waterbouwasfaltbeton (WAB);
2. Wegenbouwasfaltbeton;
3. Open steenasfalt (OSA) afgestrooid met grond en ingezaaid met gras.

Als het plateau onder Ontwerppeil ligt en niet intensief berijdbaar hoeft te zijn wordt gekozen voor WAB of OSA. Als het plateau onder Ontwerppeil ligt en berijdbaar moet zijn, bijv. omdat het gebruikt wordt als parkeer- of haventerrein, wordt gekozen voor wegenbouwasfaltbeton. Als het plateau op of boven Ontwerppeil ligt wordt een onderhoudsstrook aangebracht en wordt de rest meestal gelaten zoals het is.

Restant berm en bovenbeloop

Voor het restant van de berm (naast de onderhoudsstrook) en het bovenbeloop komen de volgende bekledingstypes in aanmerking:

1. Grasbekleding;
2. Kleibekleding;
3. Open steenasfalt (OSA);
4. Oploopremmende bekleding van zuilen of breuksteen.

Standaard wordt gekozen voor herstel van het meestal aanwezige gras. De beheerder is daarbij verantwoordelijk voor een optimale graskwaliteit. Als de hydraulische belasting ook voor een optimale grasbekleding te groot is ($H_s > \text{ca. } 3 \text{ m}$) of als op verzoek van de beheerder besloten is de dijk overslagbestendig te maken, wordt gekozen voor een bekleding van erosiebestendige klei of OSA.

Als er een significant kruinhoogtetekort is, dan wordt op verzoek van de beheerder op het bovenbeloop soms een oploopremmende steenbekleding aangelegd. Deze kan bestaan uit zuilen met variërende dikte of uit losse of gepenetreerde breuksteen. Losse breuksteen levert daarbij (verreweg) de beste verhouding tussen prijs en oploopreductie. Omwille van esthetiek en landschap wordt echter veelal gekozen voor zuilen.

Kruin en binnenbeloop

Voor de kruin en het binnenbeloop van de dijk komen de volgende bekledingstypes in aanmerking:

1. Grasbekleding;
2. Kleibekleding;
3. Open steenasfalt (OSA).

Standaard is een grasbekleding aanwezig. Deze wordt hersteld als ze vergraven wordt (bijv. bij een tijdelijke dijkovergang). Als er een significant kruinhoogtetekort is, dan wordt op verzoek van de beheerder de dijk soms overslagbestendig gemaakt met een erosiebestendige bekleding van klei of OSA op de kruin en het binnenbeloop.

6. Definitief ontwerp

6.1 Werkwijze

Bij het voorontwerp is de nieuwe bekleding voor het dijkvak gekozen. Bij het definitief ontwerp wordt de gekozen bekleding voor alle deelgebieden nader uitgewerkt. De volgende stappen worden doorlopen:

1. Dimensionering dwarsprofiel:
Het teenniveau en de bovengrens van de steenbekleding worden bepaald, alsmede de taludhelling op het onderbeloop;
2. Dimensionering steenzetting:
Bij betonzuilen wordt de benodigde toplaagdikte en betondichtheid berekend. Bij gekantelde blokken wordt de bovengrens van de tafel geoptimaliseerd. Voor alle steenzettingen wordt de benodigde dikte van de waterremmende onderlaag bepaald;
3. Dimensionering asfaltbekleding:
De benodigde laagdikte wordt berekend;
4. Dimensionering losse breuksteenbekleding:
De benodigde steensortering en laagdikte worden berekend;
5. Dimensionering kleibekleding:
Bij een kleidijk wordt de benodigde dikte van de kleilaag berekend;
6. Toetsing grasbekleding:
Bij een berm op Ontwerppeil en een golfhoogte (H_s) groter dan 2,5 m wordt getoetst of op het bovenbeloop volstaan kan worden met een grasbekleding;
7. Dimensionering overgangen:
De overgangen tussen de diverse bekledingstafels en op de aangrenzende dijkvakken worden gedimensioneerd;
8. Controle golfoploop:
Nagegaan wordt of de nieuwe bekleding niet leidt tot een onacceptabele toename van de golfoploop op de dijk.

6.2 Parameterwaarden

De parameterwaarden die binnen het Project Zeeweringen gehanteerd worden voor toetsing en ontwerp van bekledingen zijn weergegeven in tabel 5 t/m 7.

Tabel 5: Parameterwaarden steenzettingen

Steenzettingen		
Omschrijving		Parameterwaarde
Dichtheid zetsteen (ρ_s)	Betonzuilen	2.300 t/m 2.900 kg/m ³
	Basalt	2.900 kg/m ³
	Vlakke betonblokken	2.300 kg/m ³
Fictieve dichtheid Haringman-blokken (ρ_{Har})	D = 0,15 m	2.200 kg/m ³
	D = 0,20 m	2.225 kg/m ³
	D = 0,25 m	2.240 kg/m ³
	D = 0,30 m	2.250 kg/m ³
Open ruimte zuilen (Ω)	(Geavanceerde) toetsing	12%
	Ontwerp	10%
Elasticiteitsmodulus goed met gietasfalt ingegoten zuilen (E)	Ondergrens	2 GPa
	Ontwerpwaarde	5 GPa
	Bovengrens	10 GPa
Ingietsdiepte goed ingegoten zuilen		>0,5·D en minimaal 0,1 m
Spleetbreedte gekantelde blokken		2,5 mm
Ontwerpdikte filter (uitvullaag) (b_f)		0,10 m
D ₁₅	Filter zuilen (sortering 14/32 mm)	17 mm
	Filter betonblokken (sortering 4/20 mm)	5 mm
	Inwassing zuilen (sortering 4/32 mm)	6 mm
Relatieve dichtheid filter (Δ_f)		1,0
Relatieve dichtheid onderlaag (Δ_{ond})		1,0
Minimale dikte te handhaven onderlaag		0,60 m
Minimale ontwerpdikte nieuwe onderlaag		0,80 m

Tabel 6: Parameterwaarden asfaltbekleding

Asfaltbekleding			
Omschrijving		Parameterwaarde	
Dichtheid asfalt (ρ_s)	WAB	2.300 kg/m ³	
	OSA	1.800 kg/m ³	
	Vol-en-zat gepenetreerde breuksteen	2.450 kg/m ³	
	Gietasfalt	2.150 kg/m ³	
Minimale laagdikte	WAB	0,10 m	
	OSA	0,15 m	
	Vol-en-zat gepenetreerde breuksteen	$H_s < 3$ m	0,40 m
		$H_s > 3$ m	0,50 m
	Patroongepenetreerde breuksteen	0,50 m	
Holle ruimte	Breuksteensorteringen	40%	
	Zetsteen	50%	
Parameters patroon-penetratie	b	0,6	
	$\psi_u \cdot \phi_{sw}$	Strokenpenetratie	5
		Stippenpenetratie	3,4

Tabel 7: Parameterwaarden losse breuksteenbekleding

Losse breuksteenbekleding		
Omschrijving		Parameterwaarde
Standaard dichtheid breuksteen (ρ_s)		2.650 kg/m ³
Taludhelling kreukelberm (tan α)		1:6
Doorlatendheidsfactor (P)		0,1
Schade- getal (S)	Kreukelberm	3
	Schorrandverdediging	10
	Taludbekleding	2
	Overlaging	4
Breedte kreukelberm (B_{kr})	Sortering ≤ 60 -300 kg	5 m
	Sortering 300-1.000 kg	10 m

6.3 Ontwerpveiligheid

De parameterwaarden uit tabel 5 t/m 7 zijn deels verwachtingswaarden en deels conservatieve waarden. Bij het ontwerp wordt in een aantal gevallen extra ontwerpveiligheid in rekening gebracht.

Tot en met 2008 werd ontwerpveiligheid verdisconteerd door op sommige parameters marges toe te passen en door de hydraulische randvoorwaarden naar boven af te ronden. Vanaf 2009 zijn deze marges vervallen en wordt gerekend met hydraulische randvoorwaarden die zijn afgerond op het dichtstbijzijnde getal, op 2 decimalen. In plaats hiervan wordt bij het ontwerp van bepaalde steenbekledingen een overall veiligheidsfactor toegepast van 1,2 (zie tabel 8).

Voor het ontwerp van de overige bekledingen en voor toetsing worden geen extra veiligheidsfactoren toegepast. Er wordt van uitgegaan dat de rekenmethodieken of de parameterwaarden dermate conservatief zijn dat voldoende veiligheid aanwezig is.

Voor nadere informatie over parameterwaarden en veiligheidsfactoren wordt verwezen naar de memo's PZDT-M-09014 ken, PZDT-M-09015 ken en PZDT-M-09016 ken.

Tabel 8: Veiligheidsfactoren bij ontwerp

Steenzetting	
Factor op toplaagdikte	1,2
Factor op onderlaagdikte	1,2
Kreukelberm van losse breuksteen	
Factor op D_{n50} als hoge waterstand maatgevend is	1,2

6.4 Dimensionering dwarsprofiel

6.4.1 Teenniveau

Achtergrond

Het teenniveau wordt bepaald door de volgende factoren:

1. Als door erosie van het voorland tijdens de levensduur van de constructie (50 jaar) de kreukelberm tot onder de teen zakt of steiler wordt dan 1:6 dan zal steen bijgestort moeten worden, waardoor de onderhoudskosten toenemen;
2. Hoe dieper de teen gelegd wordt, hoe meer voorland ontgraven moet worden, hoe hoger de aanlegkosten van de constructie zijn en hoe groter de ecologische schade door habitatvernietiging is.

Keuze teenniveau

Op basis van het detailadvies voor de hydraulische randvoorwaarden wordt in overleg met de beheerder het verwachte voorlandniveau over 50 jaar ingeschat. Het teenniveau wordt als volgt gekozen:

1. Als de huidige teen hoger ligt dan het verwachte voorlandniveau over 50 jaar, dan wordt de nieuwe teen normaliter gekozen op het toekomstige voorlandniveau. Als hiervoor een erg diepe ontgraving nodig is dan zijn er de volgende alternatieven:
 - a. De teen hoger leggen en een zwaardere kreukelberm aanbrengen. Daarbij wordt het teenniveau zodanig gekozen dat de lagere aanlegkosten en de kleinere ecologische schade voldoende opwegen tegen de (mogelijk) grotere onderhoudskosten;
 - b. De teen hoger leggen en de kreukelberm aanleggen onder een helling van maximaal 1:6. Dit wordt afgeraden omdat de kreukelberm dan zwaarder belast wordt. Hierdoor wordt de (impliciet) aanwezige ontwerpveiligheid kleiner en worden de onderhoudskosten groter;
 - c. Een schorrandverdediging aanbrengen zodat het voorland minder zal eroderen en de teen dus op een hoger niveau gelegd kan worden.
2. Als de huidige teen lager ligt dan het verwachte voorlandniveau over 50 jaar, dan wordt de teen gehandhaafd op het bestaande niveau, danwel op Gemiddeld Laag Water gelegd als de bestaande teen hieronder ligt.

6.4.2 Berm

Achtergrond

Het niveau en de breedte van de berm beïnvloeden de kruinhoogte en het oppervlak aan steenbekleding:

1. Hoe groter de golfploop, hoe hoger de kruin moet worden. De golfploop is het kleinst als het bermniveau gelijk is aan het Ontwerppeil;
2. Binnen het Project Zeeweringen wordt de steenbekleding beëindigd op de berm op voorwaarde dat deze op Ontwerppeil $\pm 0,1$ m ligt en dat op en boven de berm volstaan kan worden met een grasbekleding. Als de berm boven Ontwerppeil $+0,1$ m ligt of afwezig is wordt de steenbekleding doorgezet tot een niveau wat hoger ligt dan het Ontwerppeil. Als de berm onder het Ontwerppeil $-0,1$ m ligt wordt de steenbekleding eveneens doorgezet tot boven het Ontwerppeil en wordt bovendien de berm bekleed. Het kleinste oppervlak aan steenbekleding is dus nodig als de berm op Ontwerppeil $\pm 0,1$ m ligt;
3. Om de steenbekleding te kunnen beëindigen op de berm moet niet alleen volstaan kunnen worden met gras, maar moet de berm ook voldoende breed zijn. Als de berm te smal is dan zal de golfenergie onvoldoende gedissipeerd zijn en kan turbulentie op de overgang tussen de onderhoudsstrook en het gras of bij de knik tussen berm en bovenbeloop leiden tot ontgronding.

Keuze bermniveau

In het ontwerp wordt het niveau van de berm als volgt gekozen:

1. Als de bestaande berm te laag is wordt het nieuwe bermniveau gekozen op Ontwerppeil;
2. Als de bestaande berm te hoog is, wordt de berm niet afgegraven, maar gehandhaafd op het bestaande niveau.

Keuze bermbreedte

Om op en boven de berm te kunnen volstaan met een grasbekleding dient de bermbreedte minimaal gelijk te zijn aan $2H_s$.

Keuze bermhelling

Er mag geen water op de berm blijven staan, o.a. omdat gras zich dan slecht ontwikkelt. De berm dient af te wateren naar buiten en wordt aangelegd onder een helling van ca. 1:20.

Dimensionering overgang berm op bovenbeloop

De overgang van berm naar bovenbeloop moet geleidelijk verlopen. Het mag geen scherpe knik zijn omdat een steenbekleding in een knik moeilijk aan te leggen is en omdat een grasbekleding in een knik moeilijk te maaien is met als gevolg beschadiging en verzwakking van de grasmat.

6.4.3 Taludhelling en tonrondte

Achtergrond taludhelling

De keuze van de taludhelling wordt bepaald door de volgende factoren:

1. Een flauw talud wordt minder zwaar belast dan een steil talud. Hoewel bij taludhellingen tussen ca. 1:2,5 en 1:4 de verschillen vrij klein zijn betekent dit dat op een flauw talud een minder zware bekleding nodig is;
2. Grondverzet is relatief duur. Door het bestaande talud zoveel mogelijk te handhaven worden de aanlegkosten geminimaliseerd;
3. Bestaande kleilagen (bij steenzettingen) worden bij voorkeur niet ingekast, omdat dan vaak te weinig klei overblijft en de hele kleilaag vervangen moet worden. Daarbij is het moeilijk om nieuwe klei even goed te verdichten als bestaande klei;
4. De beschikbare ruimte voor een taludverflauwing is meestal beperkt. De teen kan vanwege ecologische schade (habitatvernietiging) niet zondermeer verplaatst worden in zeewaartse richting en de bestaande berm en kruin bieden meestal geen ruimte voor versmalling.

Achtergrond tonrondte

Om visuele redenen worden taluds waarop een nieuwe bekleding wordt aangebracht voorzien van tonrondte. De tonrondte is een vloeiende bolling van het talud. De maximale opbolling of tonrondte-uitwijking wordt aangebracht op $2/3^e$ van de taludhoogte, loodrecht op het rechte talud.

Op de contracttekeningen bestaat de tonrondte uit 2 boogstralen door resp. de teen en de buitenrand van de berm. Deze gaan op het punt met de maximale opbolling vloeiend in elkaar over. De bovenste boogstraal wordt vervolgens afgevlakt richting de onderhoudstrook.

Keuze taludhelling

In het ontwerp wordt meestal uitgegaan van de bestaande taludhelling. Als het bestaande talud steiler is dan ca. 1:3 en er enige ruimte is dan wordt geprobeerd om het talud te verflauwen.

Tonrondte bij ontwerp

In het ontwerp wordt als volgt omgegaan met tonrondte:

1. Het talud met tonrondte wordt in de berekening vereenvoudigd tot 2 rechte taludsegmenten: 1 'steil' segment van de teen tot het maximale tonrondtepunt en 1 'flauw' segment van het maximale tonrondtepunt tot de buitenrand van de berm. De taludhellingen van de 2 segmenten en de coördinaten van het maximale tonrondtepunt kunnen berekend worden met het spreadsheet 'Berekening tonrondte';
2. Als de ondertafel wordt overlaagd, wordt de tonrondte alleen berekend en aangebracht over de boventafel. Als de overlaging meer dan de helft van het talud beslaat is er reeds een zodanige 'opbolling' dat in overleg besloten kan worden om af te zien van tonrondte op de boventafel;
3. Als door de tonrondte het onderste taludsegment net te steil wordt voor de toepassing van een bepaald bekledingstype kan in overleg eveneens afgezien worden van tonrondte.

Voor nadere informatie wordt verwezen naar memo PZDT-M-08362 ken.

6.4.4 Bovengrens steenbekleding

Achtergrond

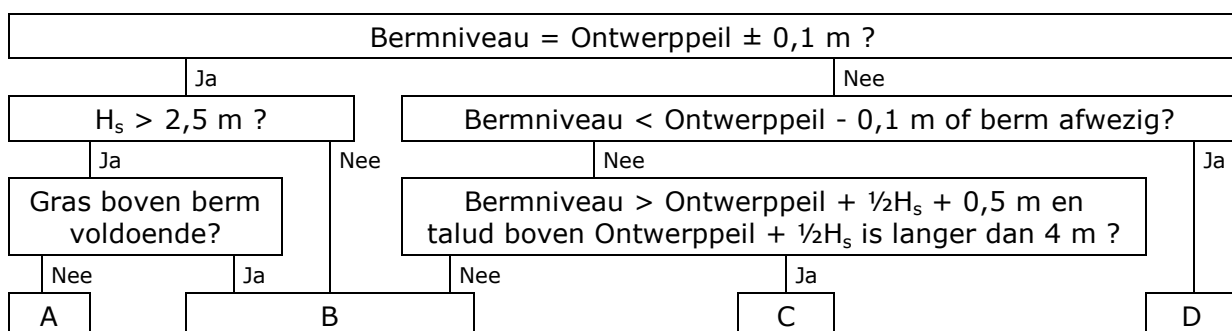
Op de meeste dijkvakken in de Ooster- en Westerschelde is de golfbelasting zodanig dat een steenbekleding nodig is. Als er daarbij geen berm is, als de berm niet rond het Ontwerppeil ligt of als de belasting door golfoploop te groot is voor een grasbekleding, moet de steenbekleding doorgetrokken worden tot boven het Ontwerppeil. Voor nadere informatie hierover wordt verwezen naar het Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren (blz. 109) en het Technisch Rapport Steenzettingen, deel Ontwerp (blz. 67-70).

Bepaling bovengrens steenbekleding

Het Technisch Rapport Steenzettingen leidt in bepaalde gevallen tot een veel hogere bovengrens dan het Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren. Verder is de toetsmethodiek voor grasbekledingen uit het VTV2006 erg conservatief (zie § 6.9.2). Daarom is binnen het Project Zeeweringen een eigen methode ontwikkeld voor de bepaling van de bovengrens van de steenbekleding.

De bovengrens van de steenbekleding wordt bepaald met onderstaand stroomschema. Hieruit volgt dat de grasbekleding boven het Ontwerppeil getoetst moet worden als er rond het Ontwerppeil een berm ligt en $H_s > 2,5$ m.

Stroomschema 2: Bepaling bovengrens steenbekleding



Waarin:

A	Intern overleg tot welk niveau boven de berm een steenbekleding wordt aangebracht
B	Steenbekleding aanbrengen tot de buitenrand van de onderhoudsstrook
C	Steenbekleding aanbrengen tot Ontwerppeil + $\frac{1}{2}H_s$ en intern overleg of hierboven, tot de onderhoudsstrook, een steen- of grasbekleding wordt aangebracht
D	Steenbekleding aanbrengen tot Ontwerppeil + $\frac{1}{2}H_s$

6.5 Dimensionering steenzettingen

6.5.1 Algemeen

Types steenzetting

Er kan onderscheid gemaakt worden in de volgende types steenzetting:

1. Zuilenzetting: Steenzetting van betonzuilen of basaltzuilen:
 - a. Ingewassen met steenslag;
 - b. Ingegoten met gietasfalt.
2. Blokkenzetting: Steenzetting van betonblokken, petit granit, graniet, Doornikse steen of koperslakblokken.

Ontwerpwijze

Het ontwerp bestaat uit het bepalen van de benodigde dikte voor de toplaag en de waterremmende onderlaag. Daar het ontwerp van de nieuwe steenzetting invloed heeft op eventueel te handhaven ondertafels en op de waterremmende onderlaag is er een interactie tussen de vrijgavetoetsing en het ontwerp en moet bij het ontwerp steeds geverifieerd worden of een bestaande ondertafel of onderlaag nog steeds (of alsnog) voldoet. Dit geldt in het bijzonder als de bovenste strook van een te handhaven steenzetting moet worden herzet en daarbij de taludhelling wordt aangepast.

Belastingen

De golfbelasting leidt tot waterdrukken in het filter, die de steenzetting kunnen doen bezwijken. Bij ingewassen zuilen treedt de maatgevende waterdruk meestal op tijdens de golfklap, bij blokken en ingegoten zuilen tijdens de golfterugtrekking.

De mate van belasting wordt bepaald door de golfgrootte en de belastingduur. Omdat de belastingduur halverwege het talud vaak groter is dan hoog op het talud is niet op voorhand te zeggen welke waterstand maatgevend is.

Belastingduur

De belastingduur is afhankelijk van het waterstandverloop, de golfrandvoorwaarden en de taludhelling. Bij getijdewerking is de belastingduur ca. 5 à 10 uur. Bij een gesloten stormvloedkering is de maatgevende belastingduur in de Oosterschelde 5 uur hoog op het talud, 25 uur halverwege het talud en 20 uur laag op het talud.

Sterkte

Zuilenzettingen hebben ca. 12% open ruimte, blokkenzettingen ca. 2%. De open ruimte bij nieuwe zuilen wordt ingewassen met steenslag, waardoor de zuilen geklemd staan. Bij blokkenzettingen is inwassen niet mogelijk, waardoor ze geen klemming hebben en minder sterk zijn dan zuilenzettingen.

De open ruimte bij bestaande zuilen wordt soms ingegoten met gietasfalt voor het verkrijgen van extra sterkte. Als de zuilen goed (voldoende diep) ingegoten zijn met gietasfalt wordt de sterkte bepaald door de elasticiteitsmodulus (E) van de bekleding. Bij een bestaande bekleding kan deze bepaald worden uit valgewicht-deflectiemetingen (VGD-metingen). Bij een goede ($E = 5 \text{ GPa}$) of zeer goede en recente ($E = 10 \text{ GPa}$) uitvoering is de sterkte beperkt groter dan bij niet-ingegoten zuilen. In bijna alle andere gevallen is de sterkte kleiner.

Inwassing

De open ruimte bij nieuwe zuilen wordt ingewassen met steenslag voor het verkrijgen van klemming en extra sterkte. Voor de inwassing wordt uitgegaan van een vaste steensortering, zie tabel 5. De inwassing wordt niet nader ontworpen of geoptimaliseerd.

Ingieting

De open ruimte bij bestaande zuilen wordt soms ingegoten met gietasfalt voor het verkrijgen van extra sterkte. Bij ontwerp wordt uitgegaan van een goed (voldoende diep) ingegoten zuilenzetting, zie tabel 5. De ingieting wordt niet nader ontworpen of geoptimaliseerd.

Filterlaag (uitvullaag)

De toplaag wordt op een filterlaag van steenslag gezet. De waterdoorlatendheid van dit filter dient afgestemd te zijn op de doorlatendheid van de toplaag ter beperking van de waterdrukken in het filter en daarmee van de toplaagdikte.

Bij het ontwerp wordt uitgegaan van een vaste filterdikte en -sortering, zie tabel 5. Het filter wordt niet nader ontworpen of geoptimaliseerd.

Geotextiel

Het filter wordt aangebracht op een geotextiel om te voorkomen dat fijne deeltjes uit de ondergrond eroderen en via het filter wegspoelen. Als geotextiel onder het filter wordt standaard een vlies (nonwoven) van polypropreen toegepast. Het geotextiel wordt niet nader ontworpen of geoptimaliseerd.

6.5.2 Steenzetting op onderbeloop

Berekenen toplaagdikte

De toplaagdikte van een niet-ingegoten steenzetting op een onderbeloop wordt als volgt bepaald:

1. Schematiseer bij toepassing van tonrondte het (betreffende deel van het) onderbeloop tot 2 rechte segmenten en bereken met het spreadsheet 'Berekening tonrondte' de taludhellingen van de 2 segmenten en het niveau van de knik (het maximale tonrondtepunt);
2. Verdeel de bekledingstafel die over het maximale tonrondtepunt valt in 2 subtafels met een verschillende taludhelling en verdeel eventueel ook andere bekledingstafels in meerdere subtafels;
3. Bereken met Steentoets2010 voor alle (sub)tafels de benodigde toplaagdiktes en vermenigvuldig deze achteraf met de veiligheidsfactor van 1,2;
4. Optioneel: Ga voor te herbruiken materialen (zoals betonblokken) na tot welke hoogte op het talud ze toegepast kunnen worden. Optimaliseer voor nieuwe materialen (zoals betonzuilen) de toplaagdiktes en de tafelgrenzen;
5. Rond bij nieuwe materialen (zoals betonzuilen) de toplaagdikte af naar boven op fabrieksmaten en stel de gevonden toplaagdiktes, betondichtheden en tafelgrenzen definitief vast.

Verschillende betonzuilen in één dwarsprofiel

Bij toepassing van betonzuilen met verschillende diktes of dichtheden in één dwarsprofiel gelden de volgende beperkingen:

1. Zuilen van gelijke dikte, maar verschillende dichtheid mogen alleen worden toegepast als ze uiterlijk verschillen, bijvoorbeeld door een eco-toplaag;
2. In een zuilentafel onder Ontwerppeil moet minimaal dezelfde zuildikte toegepast worden als in de tafel daaronder.

6.5.3 Steenzetting op berm en bovenbeloop

Achtergrond

De toplaagdikte van een niet-ingegoten steenzetting op een (lage) berm of het talud daarboven wordt bepaald door de waterdiepte op de berm. Bij een waterdiepte tussen ca. $0,5H_s$ en $2H_s$ wordt een steenzetting op een berm zwaarder belast en is een dikkere toplaag nodig dan op het talud onder de berm. Bij andere waterdieptes is de belasting meestal kleiner en de toplaag dunner.

De benodigde toplaagdikte op het talud boven de berm kan zowel groter als kleiner zijn dan op de berm. Voor nadere uitleg wordt verwezen naar het Technisch Rapport Steenzettingen, deel Ontwerp, blz. 107-111 en 187-190.

Berekenen toplaagdikte

De toplaagdikte van een niet-ingegoten steenzetting op een berm of bovenbeloop wordt als volgt bepaald:

1. Bereken de benodigde toplaagdikte op de berm en het talud daarboven met Steentoets2010 en vermenigvuldig deze achteraf met een veiligheidsfactor van 1,2;
2. Rond bij nieuwe materialen (zoals betonzuilen) de toplaagdikte naar boven af op fabrieksmaten en stel de gevonden toplaagdikte en de betondichtheid definitief vast.

6.5.4 Havendammen

Achtergrond

Bij steenzettingen is sprake van een havendam als bij een haven- of andere dam een waterstand voorkomt waarbij de kruin minder dan $3H_s$ onder of minder dan $z_{2\%}$ boven die waterstand ligt ($z_{2\%}$: golfoploop die door 2% van de golven overschreden wordt).

Kenmerk van een havendam is dat bij hoge waterstanden de golven over de dam heen slaan of lopen. Hierdoor wordt niet alleen het buitentalud, maar ook de kruin en het binnentalud belast.

Een steenzetting op het buitentalud van een havendam wordt het zwaarst belast bij een waterstand rondom de kruin. Daarbij wordt de kop van de havendam zwaarder belast dan de rest van het buitentalud. De kruin en het binnentalud worden het zwaarst belast als de waterstand ca. $1H_s$ boven de kruin ligt.

Berekenen toplaagdikte

De toplaagdikte van een niet-ingegoten steenzetting op een havendam wordt als volgt bepaald:

1. Bereken voor de golfbelasting aan de buitenzijde van de dam de benodigde toplaagdikte op het buitentalud, op de kruin en op het binnentalud met Steentoets2010;
2. Als er ook rechtstreekse golfaanval op de binnenzijde is, bereken dan ook voor deze golfbelasting met Steentoets2010 de benodigde toplaagdiktes (het binnentalud wordt dan ingevoerd als buitentalud);
3. Selecteer uit de twee berekeningen de maatgevende toplaagdiktes voor het buitentalud, de kruin en het binnentalud;
4. Bereken de toplaagdikte op de kop van de havendam door de gevonden toplaagdikte voor het buitentalud te vermenigvuldigen met een 'kopfactor' van 1,3;
5. Als de kop van de havendam in een geul ligt, toets dan met Steentoets2010 deze vergrote toplaagdikte op (langs)stroming. Hiertoe dient de stroomsnelheid aan de kop ingevoerd te worden. Vergroot indien nodig de toplaagdikte tot deze voldoet;

6. Vermenigvuldig de gevonden toplaagdiktes voor het buitentalud, de kop, de kruin en het binnentalud met een veiligheidsfactor van 1,2. Als dit voor de kop leidt tot een onpraktische dikte, overleg dan intern of de 'kopfactor' van 1,3 gereduceerd kan worden;
7. Rond bij nieuwe materialen (zoals betonzuilen) de toplaagdiktes naar boven af op fabrieksmaten en stel de gevonden toplaagdiktes en betondichtheden definitief vast.

Voor nadere uitleg over de rekenmethodiek wordt verwezen naar het VTV2006, blz. 166-181.

6.5.5 Ingegoten steenzetting

Achtergrond

Een ingegoten steenzetting bezwijkt op een andere manier dan een niet-ingegoten steenzetting. Er is sprake van een langzame aftakeling waarin meerdere fasen te onderscheiden zijn.

In een eerste fase leiden grote golfterugtrekkingen tot kortstondig opdrijven van de toplaag, waardoor golfklappen scheuren kunnen veroorzaken in de toplaag. Naarmate het aantal scheuren toeneemt, neemt de sterkte van de toplaag af. Tegelijkertijd neemt de doorlatendheid toe, maar deze kan de sterkte-afname onvoldoende compenseren, waardoor de toplaag steeds meer gaat vervormen en het filter gaat migreren. Op een gegeven moment is de bekleding zodanig vervormd en beschadigd dat ze bij een grote golfterugtrekking of golfklap over een oppervlakte van meerdere zuilen bezwijkt.

Er is niet uitgebreid onderzocht hoe de bekledingseigenschappen en de golfparameters het bezwijkproces en de sterkte van een ingegoten steenzetting beïnvloeden. De sterkte wordt berekend met een empirische formule. Deze leidt er vaak toe dat aan een ingegoten steenzetting een kleinere sterkte wordt toegekend dan aan een niet-ingegoten steenzetting.

Controleren toplaagdikte

Omdat de toplaagdikte al vastligt bestaat het ontwerp uit het controleren of de aanwezige zuilenzetting voldoende sterk wordt als ze goed met gietasfalt wordt ingegoten. Deze controleberekening wordt uitgevoerd met Steentoets2010. Daarbij zijn er de volgende aandachtspunten:

1. Om de bekleding te berekenen als een goed ingegoten steenzetting wordt een ingietingsdiepte ingevoerd die groter is dan de helft van de toplaagdikte, met een minimum van 0,1 m;
2. Er wordt geen veiligheidsfactor toegepast omdat er minder onzekerheden zijn dan bij een geheel nieuwe steenzetting en omdat de berekening voldoende conservatief wordt geacht.

6.5.6 Waterremmende onderlaag

Achtergrond

Steenzettingen worden aangebracht op een onderlaag van cohesief (of gebonden) en slecht doorlatend materiaal. De functies van deze waterremmende onderlaag zijn:

1. Voorkomen van verweking van de ondergrond en afschuiving van de steenzetting;
2. Bieden van reststerkte bij eventueel falen van de steenzetting;
3. Voorkomen van overmatige infiltratie en een te hoge grondwaterstand in de dijk.

De benodigde onderlaagdikte in verband met afschuiving van de bekleding is doorgaans klein, waardoor de gewenste reststerkte meestal maatgevend is voor de onderlaagdikte. Binnen het Project Zeeweringen wordt voor voldoende reststerkte een minimale onderlaagdikte gehanteerd van 0,40 à 0,60 m als een bestaande onderlaag wordt gehandhaafd en van 0,80 m als een geheel nieuwe onderlaag wordt aangebracht. Dit onderscheid wordt gemaakt omdat meer reststerkte wordt toegekend aan een bestaande dan aan een nieuwe onderlaag en om te vermijden dat een goedgekeurde steenzetting vervangen moet worden omwille van de onderlaag.

Het ontwerp kan invloed hebben op zowel de bestaande dikte als de benodigde dikte van de onderlaag:

1. Een verflauwing of andere aanpassing van het talud kan leiden tot inkassing (deels afgraven) van een bestaande onderlaag;
2. De benodigde dikte van de onderlaag voor het voorkomen van afschuiving is afhankelijk van het gewicht van de nieuwe steenbekleding.

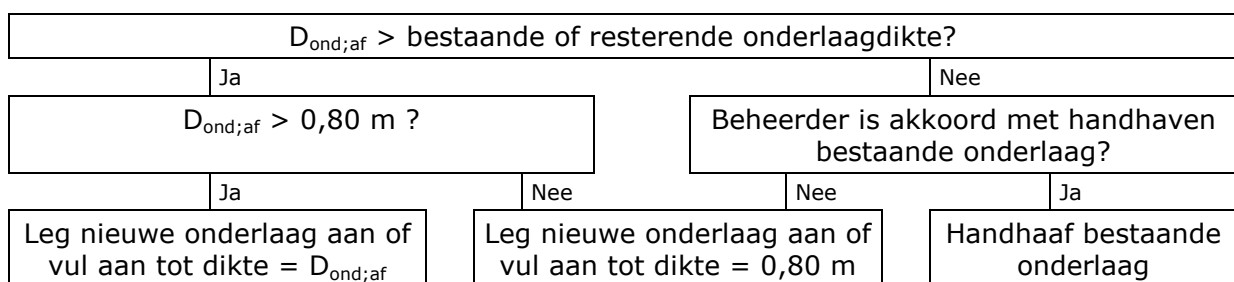
Vanwege het bovenstaande is er een interactie tussen de vrijgavetoetsing en het ontwerp en moet bij vernieuwing van de bekleding altijd geverifieerd worden of een bestaande onderlaag nog steeds (of alsnog) voldoet.

Berekenen laagdikte

De laagdikte van de waterremmende onderlaag wordt als volgt bepaald:

1. Bereken met Steentoets2010 de benodigde dikte van de onderlaag i.v.m. afschuiving ($D_{\text{ond;af}}$);
2. Bepaal met onderstaand stroomschema of de bestaande onderlaag gehandhaafd kan worden dan wel wat de benodigde dikte is voor een nieuwe of aan te vullen onderlaag.

Stroomschema 3: Bepaling dikte onderlaag



6.5.7 Steentoets2010

Achtergrond

Steentoets2010 rekent alleen de stabiliteit uit van steenzettingen, maar houdt daarbij wel rekening met het dwarsprofiel en andere bekledingen hierin. Daarom moet het hele dwarsprofiel ingevoerd worden, incl. bekledingen die Steentoets2010 niet doorrekent (bijv. asfaltbekledingen). Bij toetsing moeten ook nieuwe bekledingstafels 'voorspeld' en ingevoerd worden en bij ontwerp moeten ook goedgegeteste tafels ingevoerd worden.

Steentoets2010 berekent vervolgens voor alle mogelijke waterstanden de stabiliteit en presenteert uiteindelijk de (maatgevende) waterstand waarbij de stabiliteit van de steenzetting het kleinst is.

Voor nadere informatie wordt verwezen naar de Handleiding STEENTOETS2008.

Berekening stap-voor-stap

De belangrijkste invoer wordt toegelicht. Voor de overige invoer wordt verwezen naar de rode commentaardriehoekjes in de kolomhoofden van Steentoets2010 en naar de handleiding. Voor de in te vullen parameterwaarden wordt verwezen naar tabel 5.

1. Voer de algemene gegevens in op het werkblad 'Algemeen'

- Kies gebied in cel F2. Dit is van belang voor de bepaling van de belastingduur;
- Zet cel F10 op 'nee', omdat dit reeds is meegenomen in het detailadvies voor de randvoorwaarden.

2. Voer de hydraulische randvoorwaarden in op het werkblad 'Toetsgolven'

- Kolom A en B: Voer de grenzen van de randvoorwaardevakken in;
- Vul kolom C t/m E in op basis van het detailadvies voor de randvoorwaarden;
- Vul in kolom G t/m N en eventueel O t/m AJ de golfhoogtes en -periodes in. Kolom AK kan blanco blijven.

3. Voer de bekledingsgegevens in op het werkblad 'Toetsing'

In elke regel worden de gegevens van één bekledingstafel ingevuld. Als er in een dwarsprofiel meerdere bekledingstafels zijn of als de eigenschappen veranderen (bijv. de taludhelling), dan moet dit in aparte, opeenvolgende regels ingevoerd worden. Daarbij wordt begonnen aan de teen en geëindigd aan de bovengrens van de bekleding.

Tonrondte wordt ingevoerd door het dwarsprofiel of de bekledingstafel op te splitsen in een steiler onderste deel en een flauwer bovenste deel (zie § 6.4.3) en deze als aparte bekledingstafels in te voeren.

- In kolom B en C kunnen naam en code van de bekledingstafel, het dwarsprofiel of het dijkvak worden ingevuld. Dit heeft geen invloed op de berekening;
- In kolom D wordt het dwarsprofielnummer ingevuld. Dit moet een cijfer zijn, evt. met decimalen. Bij opeenvolgende regels die behoren tot hetzelfde dwarsprofiel moet hier steeds hetzelfde nummer ingevuld worden en dit moet anders zijn dan het nummer van het voorgaande of volgende dwarsprofiel;
- In kolom E en F worden de vakgrenzen ingevuld. Op basis hiervan wordt bepaald welke randvoorwaarden van toepassing zijn;
- In kolom K wordt het niveau van de teen of de zandlijn ingevuld. In kolom L wordt de helling van het voorland ingevuld. Dit is de helling tussen de teen en de waterbodem op 50 m uit de teen. Dit niveau is te vinden in het detailadvies voor de randvoorwaarden;
- Kolom Q, R, S, U: Zie rood driehoekje in kolomhoofd;
- Kolom V: Zie rood driehoekje in kolomhoofd. Deze informatie wordt alleen gebruikt om de steenzetting te typeren (in kolom CR);
- Vul kolom W en AB in bij zuilen en kolom W t/m AA bij gekantelde blokken;

- h. Kolom AK: Zie rood driehoekje in kolomhoofd;
- i. Vul in kolom AL in of de steenzetting ingewassen is. Zoja, dan moet in kolom AM de D_{15} van de inwassing opgegeven worden. Zonee, dan moet in kolom AN aangegeven worden dat de zetting niet goed geklemd is;
- j. Vul kolom AP en AQ in als de steenzetting ingegoten is. Vul voor een goed ingegoten steenzetting een ingietingsdiepte in die groter is dan de helft van de toplaagdikte, met een minimum van 0,1 m;
- k. Vul in kolom AV en AW de filterdikte en de D_{15} van het filtermateriaal in;
- l. Kolom BI en BJ zijn van belang voor de beoordeling op afschuiving. Vul in kolom BI 'kl' in en vul in BJ de dikte van de kleilaag of fosforslakken in;
- m. Vul in kolom BQ het type overgangsconstructie aan de bovengrens van de beschouwde bekledingstafel in. Vul 'a0' in als het filter naar boven doorloopt, vul 'b0' in als het filter geblokkeerd wordt (bijv. door een betonband) en de bovengelegen tafel niet tegen de beschouwde tafel leunt en vul 'c0' in als de bovengelegen tafel wel aanleunt, maar het filter geblokkeerd is. Als het filter doorloopt is de belasting kleiner en als de hogere tafel aanleunt wordt gerekend met klemming. Daardoor is 'a0' het meest gunstig en 'b0' het meest ongunstig. Als de overgang ingegoten wordt, wordt resp. 'a1', 'b1' en 'c1' ingevuld. Zie ook de plaatjes op het werkblad 'Info';
- n. Kolom BZ: Vul hier '1', '2' of '3' in om aan te geven met welke golventabel uit het werkblad 'Toetsgolven' gerekend moet worden.

4. Voer de berekeningen uit en interpreteer de resultaten

- a. Sla in het werkblad 'Toetsing' functietoets F9 aan om de stabiliteit van de ingevoerde bekledingen uit te rekenen;
- b. Als de cel in kolom A blauw of lila is, zijn er resp. waarschuwingen in kolom DI of foutmeldingen in kolom DH. De rekenresultaten zijn dan niet of minder betrouwbaar;
- c. Het berekende resultaat voor afschuiving (toetsoordeel en dikte-overschot) is weergegeven in kolom CI en CJ;
- d. De berekende stabiliteit van de steenzetting (toetsoordeel) is weergegeven in kolom CU;
- e. De getallen in de kolommen CS, CT en CW geven een maat voor de stabiliteit van de steenzetting, maar de nauwkeurigheid van deze getallen kan sterk variëren;
- f. De berekende maatgevende waterstand en de bijbehorende golf die hebben geleid tot het toetsoordeel voor de steenzetting zijn weergegeven in de kolommen CC t/m CE. De maatgevende waterstand is o.a. afhankelijk van de belastingduur en daardoor vaak lager dan het Toets- of Ontwerppeil.

6.5.8 Ontwerpdetails

Filtersprong

Als in een dwarsprofiel de toplaagdikte van de steenzetting verandert, bijv. bij een overgang van gekantelde blokken op zuilen, dan zal het filter dit hoogteverschil moeten overbruggen. Dit kan door het filter te onderbreken en een sprong te laten maken of door het filter te laten verlopen en over een klein gebied een grotere filterdikte toe te passen. In beide gevallen is er een negatieve invloed op de stabiliteit van de steenzetting.

Een onderbreking van het filter wordt in Steentoets2010 weergegeven door een overgangsconstructie van het type 'b' of 'c' in te voeren. Een verlopende filterdikte kan weergegeven worden door het overgangsgebied op te splitsen en in te voeren als meerdere kleine segmenten.

6.6 Dimensionering asfaltbekleding

6.6.1 Algemeen

Types asfaltbekleding

De volgende asfaltbekledingen worden toegepast als dijkbekleding:

A. Dichte asfaltbekledingen:

1. Waterbouwasfaltbeton (WAB);
2. Wegenbouwasfaltbeton;
3. Vol-en-zat met gietasfalt gepenetreerde breuksteen.

B. Open asfaltbekledingen:

4. Open steenasfalt (OSA);
5. Met gietasfalt patroongepenetreerde breuksteen.

Ontwerpwijze

Het ontwerp bestaat uit het bepalen van de laagdikte. Bij patroongepenetreerde breuksteen dient tevens de steensortering bepaald te worden.

Belastingen

Asfaltbekledingen worden belast op golfklappen en wateroverdrukken in de golfklapzone en op stroming in de golfploopzone.

De maatgevende golfklappen treden op bij een waterstand aan de bovengrens van de bekleding. De maatgevende wateroverdrukken treden op bij een lage buitenwaterstand en laag op het talud. De maatgevende stroming treedt op aan de ondergrens van de golfploopzone. Voor nadere uitleg wordt verwezen naar het Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren, blz. 116-132.

Golfklapzone, golfploopzone en golfoverslagzone

Bij asfaltbekledingen ligt de grens tussen de golfklapzone en de golfploopzone op de berm als deze op Ontwerppeil $\pm 0,1$ m ligt. Als dit niet het geval is ligt de grens op Ontwerppeil $+ \frac{1}{4}H_s$. Dit is een andere definitie dan bij steenzettingen en grasbekledingen, waar de grens op Ontwerppeil ligt.

De grens tussen de golfploopzone en golfoverslagzone ligt op de buitenrand van de kruin. Bij een berm op Ontwerppeil komt de golfploopzone overeen met het bovenbeloop en de golfoverslagzone met de kruin en het binnenbeloop van de dijk.

Wateroverdrukken

Bij een hoge grondwaterstand in een zandige kern (van een dijk of havendam) in combinatie met een lage buitenwaterstand wordt een dichte bekleding belast op wateroverdrukken. Onder een dichte bekleding wordt verstaan:

1. Een dichte asfaltbekleding die direct op een zandkern ligt;
2. Een klei- of andere slecht doorlatende onderlaag met daarop een asfalt- of andere steenbekleding.

Als de dichte asfaltbekleding of onderlaag opdrijft kan het zand hieronder zich verplaatsen met als gevolg vervorming van de steenbekleding. Er kunnen bulten laag op het talud en verzakkingen hoger op het talud ontstaan (vorming S-profiel).

Bij asfaltbekledingen moet de bekledingsdikte berekend worden die nodig is om opdrijven te voorkomen. Deze berekening is verwerkt in het spreadsheet 'asfaltbekledingen' en heeft de volgende uitgangspunten:

1. Er is geen plaatwerking en de wateroverdruk moet op elk punt kleiner zijn dan het gewicht van de bovenliggende asfaltbekleding incl. een eventuele klei- of andere slecht doorlatende onderlaag;
2. De kern en de basis van de dijk of dam hebben een homogene doorlatendheid van maximaal 10^{-4} m/s (\approx zand) en minimaal 10^{-6} m/s (\approx zwak zandige klei) en de teen is open.

In de praktijk is de doorlatendheid van de kern en de basis van de dijk of dam zelden gelijk. Zo is er langs de Ooster- en Westerschelde meestal een zandige kern op een slecht doorlatende basis. Binnen het project Project Zeeweringen wordt de doorlatendheid niet onderzocht. Hiermee wordt impliciet verondersteld dat het maatgevende verschil tussen de grondwaterstand in de kern en de buitenwaterstand in alle situaties hetzelfde is en dat een dichte teen bij een te grote wateroverdruk automatisch open wordt door welvorming.

In een aantal gevallen is deze benadering te optimistisch en kunnen de grondwaterstanden en wateroverdrukken groter worden dan verondersteld in de asfaltberekening. In de volgende gevallen moet een aangepast ontwerp gemaakt worden op basis van intern overleg:

1. Als er reeds in het dagelijks beheer (soms) problemen zijn met wateroverdrukken;
2. Als de dijk erg breed is of een hoog achterland heeft (de dijk incl. achterland is op een niveau van NAP +2,5 m breder dan 150 m);
3. Als er aan de buitenkant van de dijk een zandscheg zit.

Laagdikte op talud en berm

De laagdikte bij WAB, wegenbouwasfaltbeton en OSA wordt bepaald door het aantal en de grootte van de golfklappen tijdens de storm. Bij gepenetreerde breuksteen is meestal niet de golfbelasting maar de gebruikte steensortering maatgevend voor de laagdikte. De benodigde laagdikte op een berm is gelijk aan de laagdikte op het talud onder die berm.

Geotextiel

Behalve bij een overlaging wordt een asfaltbekleding aangebracht op een geotextiel om te voorkomen dat versmering optreedt met de ondergrond of dat de ondergrond uitspoelt in de gebruiksfase (alleen bij open asfaltbekledingen).

Onder WAB en OSA wordt een vlies (nonwoven) van polypropreen toegepast. Onder gepenetreerde breuksteenbekledingen wordt een polypropreen weefsel (woven) toegepast.

Het geotextiel wordt niet nader ontworpen of geoptimaliseerd.

6.6.2 Waterbouwasfaltbeton (WAB)

Achtergrond

Waterbouwasfaltbeton (WAB) wordt gedimensioneerd op golfklappen en wateroverdrukken, omdat beiden maatgevend kunnen zijn voor de laagdikte.

Berekenen laagdikte op talud

De benodigde laagdikte wordt bepaald met het spreadsheet 'asfaltbekledingen':

1. Vul het niveau van de onderkant van de bekleding in, zijnde het aanlegniveau aan de ondergrens van de bekleding;
2. Vul het Ontwerppeil in;
3. Vul de golfhoogte in bij een waterstand aan de bovengrens van de bekleding;
4. Vul de taludhelling in;
5. Als aan de ondergrens van de WAB een andere slecht doorlatende bekleding (bijv. een steenzetting op klei) aanwezig is, vul dan bij 'breedte gesloten teen' de breedte van deze bekleding in (zie Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren, blz. 123-124);
6. Als aan de ondergrens van de WAB een damwand aanwezig is, vul dan de lengte van deze damwand in (zie Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren, blz. 123-124);
7. Voer de ondergrond in. Als de WAB wordt toegepast als overlaging, vul dan 'zand' in. Als de WAB wordt aangelegd op klei of mijnsteen, vul dan bij 'dikte kleilaag' de laagdikte hiervan in;
8. Lees de maatgevende laagdikte af.

6.6.3 Open steenasfalt (OSA)

Achtergrond

In de golfklapzone wordt de laagdikte van open steenasfalt (OSA) bepaald door de belasting op golfklappen. In de golfoploopzone en golfoverslagzone wordt een vaste laagdikte toegepast en wordt slechts gecontroleerd of de optredende stroomsnelheid voldoende klein is.

Onderhoudsstrook en plateaus

Voor de toepassing van OSA op de onderhoudsstrook en plateaus wordt verwezen naar § 6.6.8.

Berekenen laagdikte in golfklapzone

De benodigde laagdikte wordt bepaald met het spreadsheet 'asfaltbekledingen':

1. Vul de golfhoogte in bij een waterstand aan de bovengrens van de bekleding;
2. Vul de taludhelling in;
3. Vul de ondergrond in;
4. De overige invoercellen zijn niet relevant of niet van invloed op de berekening;
5. Lees de laagdikte vanwege golfklappen af.

Berekenen laagdikte in golfoploopzone en golfoverslagzone

In de golfoploopzone en golfoverslagzone wordt de minimale laagdikte toegepast. Deze bedraagt 0,15 m.

Controle stroomsnelheid in golfoploopzone en golfoverslagzone

Met het spreadsheet 'asfaltbekledingen' moet gecontroleerd worden of de stroomsnelheid door golfoploop of golfoverslag kleiner is dan 6 m/s.

De maximale stroomsnelheid door golfoploop treedt op op Ontwerppeil. Als de stroomsnelheid hier groter is dan 6 m/s kan met het spreadsheet nagegaan worden boven welk niveau de stroomsnelheid voldoende afgenomen is en open steenasfalt wèl toepasbaar is.

6.6.4 Vol-en-zat gepenetreerde breuksteen

Achtergrond

Bij een bekleding of overlaging van vol-en-zat gepenetreerde breuksteen is voor een goede penetratie met gietasfalt een minimale laagdikte nodig van $1,5D_{n50}$. Een dunnere laag breuksteen kan onvoldoende vlak afgewerkt worden, waardoor de gietasfalt tussen de stenen uitvloeit en de laagdikte te sterk varieert.

Binnen het Project Zeeweringen wordt voor vol-en-zat penetratie een steensortering van 10-60 kg gebruikt. Op grond van het bovenstaande wordt een minimale laagdikte toegepast van 0,40 m als $H_s < 3$ m en van 0,50 m als $H_s > 3$ m.

De benodigde laagdikte vanwege golfklappen is altijd kleiner. Wateroverdrukken kunnen wel leiden tot een grotere, maatgevende laagdikte.

Berekenen laagdikte

De benodigde laagdikte wordt als volgt bepaald:

1. Bepaal met het spreadsheet 'breuksteen' de benodigde laagdikte vanwege wateroverdrukken:
 - a. Vink cel D11 aan ('Breuksteen op geotextiel op klei/zand'), ook bij overlaging;
 - b. Vul in cel D15 de taludhelling in;
 - c. Vul in cel D18 de dikte van de slecht doorlatende onderlagen in. Als de bekleding wordt aangelegd op zand, vul dan niets in. Als de bekleding wordt aangelegd op een kleilaag, vul dan de dikte van de kleilaag in. Vul bij een overlaging de totale dikte van de te overlagen steenbekleding, filter en kleilaag in;
 - d. Vul in cel D70 het niveau van de onderkant van de bekleding in, zijnde het aanlegniveau aan de ondergrens van de bekleding;
 - e. Vul in cel D71 het Ontwerppeil in;
 - f. Als aan de ondergrens van de bekleding een slecht doorlatende teenconstructie (bijv. een asfaltslab) aanwezig is, vul dan in cel D73 ('breedte gesloten teen') de breedte van deze constructie in;
 - g. Als aan de ondergrens van de bekleding een damwand aanwezig is, vul dan in cel D74 de lengte van deze damwand in;
 - h. Vul in cel D75 de steendichtheid in en in cel D76 de holle ruimte (bij breuksteen resp. $2,65 \text{ ton/m}^3$ en 40%);
 - i. Lees de benodigde laagdikte vanwege wateroverdrukken af in cel D89.
2. Pas de gevonden laagdikte vanwege wateroverdrukken toe als deze groter is dan 0,40 m (bij $H_s < 3$ m) of 0,50 m (bij $H_s > 3$ m). Pas anders de minimale laagdikte toe van 0,40 of 0,50 m.

Afstrooien gepenetreerde breuksteen

Als op grond van de Milieu-inventarisatie besloten is vol-en-zat gepenetreerde breuksteen af te strooien met lavasteen, dan wordt de bekleding niet vol-en-zat gepenetreerd (tot 5 cm onder de koppen), maar volledig gepenetreerd (tot aan de koppen) en afgestrooid met lavasteen van de sortering 60/150 mm. Dit dient direct na het penetreren te gebeuren opdat de lavasteen gedeeltelijk wegzakt in de nog vloeibare gietasfalt.

6.6.5 Patroongepenetreerde breuksteen

Achtergrond

Een patroonpenetratie van breuksteen kan uitgevoerd worden in stippen of in stroken. Daarbij wordt aan een strokenpenetratie een grotere sterkte toegekend dan aan een stippenpenetratie.

De maatgevende golfbelasting treedt op bij een waterstand gelijk aan de bovengrens van de breuksteen. De benodigde steensortering voor een bekleding of overlaging van patroongepenetreerde breuksteen wordt berekend met de formule van Pilarczyk, zie § 7.4. Deze formule is verwerkt in het spreadsheet 'breuksteen'. De daarbij gehanteerde parameterwaarden zijn weergegeven in tabel 6. Voor nadere uitleg wordt verwezen naar het Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren, blz. 128-130.

Binnen het Project Zeeweringen wordt uitgegaan van een minimale steensortering van 40-200 kg en een laagdikte van $2D_{n50}$. Bij de standaard breuksteendichtheid van 2.650 kg/m^3 resulteert dit in een minimale laagdikte van 0,70 m.

Berekenen steensortering

De benodigde steensortering wordt bepaald met het spreadsheet 'breuksteen':

1. Vink cel D10 ('Breuksteen als overlaging') of D11 ('Breuksteen op geotextiel op klei/zand') aan. Dit is niet van invloed op de berekening, maar anders werkt het spreadsheet niet;
2. Vul in cel D15 de taludhelling in;
3. Vul in cel D16 de golfhoogte in bij een waterstand aan de bovengrens van de breuksteen;
4. Vul in cel D17 de golfperiode in bij een waterstand aan de bovengrens van de breuksteen;
5. Lees de benodigde steensortering af en optimaliseer deze eventueel door de bovengrens van de breuksteen aan te passen.

Berekenen laagdikte

Binnen het Project Zeeweringen wordt evenals bij een bekleding van losse breuksteen een laagdikte toegepast van $2D_{n50}$.

Alternatieve steensoorten

In plaats van breuksteen kan ook andere steen gebruikt worden voor patroonpenetratie met gietasfalt, bijvoorbeeld in het werk vrijkomende natuursteen. Voor alternatieve steensoorten gelden dezelfde eisen als bij losse breuksteen en wordt verwezen naar § 5.2.4.

6.6.6 Overlaging

Berekenen laagdikte

Een overlaging met asfalt wordt gedimensioneerd als een reguliere asfaltbekleding op een vrijgemaakte ondergrond. De benodigde bekleding is hetzelfde.

Overlaging met vol-en-zat gepenetreerde breuksteen van zetsteen op klei

Bij bekledingen zonder filterlaag, zoals blokken op klei, kunnen onder de toplaag holtes ontstaan zijn door erosie van de onderlaag. Bij overlaging met vol-en-zat gepenetreerde breuksteen dienen deze holtes gevuld te worden. Hiertoe dienen betonblokken tot een dikte van 0,25 m vooraf allemaal gebroken te worden met een pneumatische hamer. Dikkere betonblokken en zuilen kunnen op deze wijze niet gebroken worden en moeten ter plaatse van vermeende holtes weggedrukt worden.

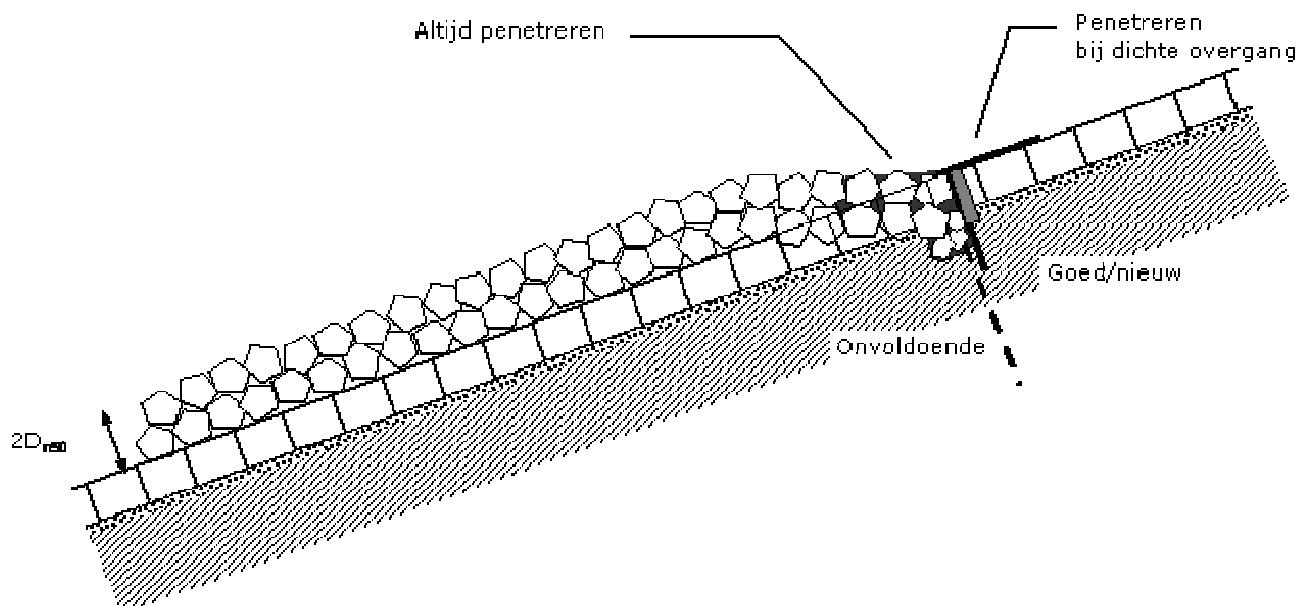
Waterslot bij overlaging met vol-en-zat gepenetreerde breuksteen

Als onder een bestaande bekleding een filterlaag aanwezig is en de bekleding overlaagd wordt met vol-en-zat gepenetreerde breuksteen, dan moet aan de bovengrens en de zijgrenzen van de overlaging het filter afgedicht worden om te voorkomen dat waterdrukken zich bij golfaanval te gemakkelijk voort kunnen planten in het filter en de constructie ondermijnen. Deze afdichting, het zogenaamde waterslot, moet tot in de onderlaag reiken en moet bestaan uit vol-en-zat met gietasfalt gepenetreerde breuksteen van de sortering 5-40 kg.

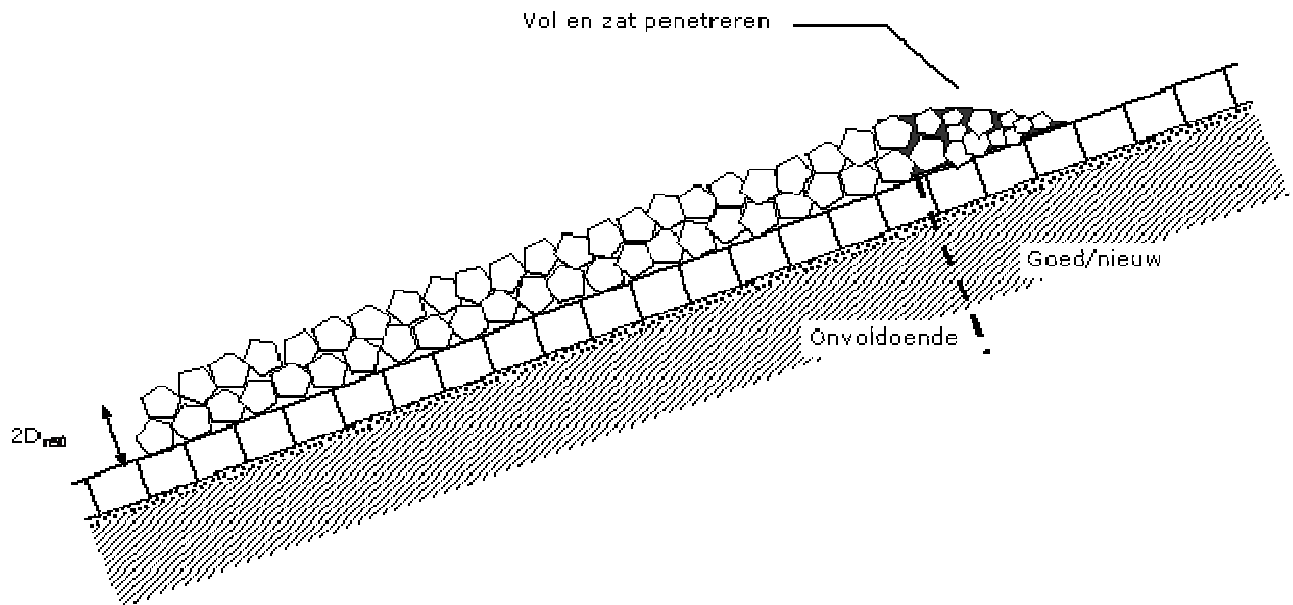
Beëindiging breuksteenoverlaging aan boven- en zijgrenzen

Aan de boven- en zijgrenzen worden alle breuksteenoverlagingen vol-en-zat gepenetreerd met gietasfalt omdat de overlaging hier het zwaarst belast wordt. Daarbij wordt de bovenbeëindiging afwaterend aangelegd om ophoping van veek te voorkomen. De overlaging kan op 2 manieren beëindigd worden:

1. De overlaging wordt ingekast in de bestaande bekleding, doorgaans tegen een nieuwe overgangsconstructie waarboven of waarnaast een geheel nieuwe bekleding wordt aangebracht (zie figuur 2);
2. De overlaging wordt beëindigd met een wig van fijnere steen (sortering 5-40 kg of 90/180 mm) voorbij de bovengrens (zie figuur 3).



Figuur 2: Inkassing van overlaging in bestaande bekleding



Figuur 3: Beëindiging overlaging zonder inkassing in bestaande bekleding

Aansluiting breuksteenoverlaging op kreukelberm

De aansluiting van een breuksteenoverlaging op een kreukelberm kan als volgt uitgevoerd worden:

1. De overlaging wordt over een breedte van 3 m doorgetrokken over de bestaande of nieuwe kreukelberm;
2. De overlaging wordt aangesloten op een nieuwe, hoger gelegen kreukelberm;
3. De overlaging wordt aangesloten op een nieuwe, meer zeewaarts gelegen kreukelberm.

6.6.7 Havendammen

Berekenen laagdikte

Op het buitentalud, de kruin, het binnentalud en de kop van een havendam is dezelfde asfaltbekleding nodig als op het buitentalud van een dijk.

Ontluchtungskernen bij dichte asfaltbekleding

Bij een stijgende waterstand kan lucht in een havendam met een zandige kern onder een dichte asfaltbekleding (of een hieronder gelegen kleilaag) samengedrukt worden en de bekleding onder druk zetten. Bij het Project Zeeweringen wordt de bekleding hierop niet gedimensioneerd, maar worden ontluchtungskernen aangebracht om dit te voorkomen.

De ontluchtungskernen worden aangebracht in de kruin van de havendam met een h.o.h.-afstand van 25 m. De ontluchtungskernen bestaan uit OSA en hebben een diameter van 0,25 m. De kernen reiken net tot in de zandige kern en worden aangebracht op een nonwoven geotextiel (vlies) om uitspoeling van het kernmateriaal te voorkomen.

6.6.8 Onderhoudsstrook en plateaus

Achtergrond

De onderhoudsstrook en plateaus die berijdbaar moeten zijn en rond het Ontwerppeil liggen worden voorzien van een asfaltbekleding. Deze wordt alleen aan de zeewaartse rand in beperkte mate belast door golfklappen. De rest van de bekleding ligt in de golfploopzone en wordt hydraulisch alleen belast door stroming. De maatgevende belasting voor de bekleding is de verkeersbelasting.

Op de onderhoudsstrook en op plateau wordt een standaard asfaltconstructie toegepast. Deze is zowel bestand tegen de hydraulische als tegen de verkeersbelasting. Voor nadere informatie hieromtrent wordt verwezen naar het rapport 'Standaard asfaltconstructie voor bermen en havenplateaus op Waterkeringen' (TU Delft). De constructie bestaat uit een asfaltverharding, een fundering en een geotextiel.

Asfaltverharding

De volgende asfaltverhardingen komen in aanmerking:

1. 8 cm dicht wegebouwwasfaltbeton, bestaande uit de volgende boven- en onderlaag:
 - a. Bij meer dan 100.000 aslasten van 10 ton in 50 jaar (drukbezochte havenplateaus): 3,5 cm AC 11 surf DL-C op 4,5 cm AC 16 surf DL-C;
 - b. Bij minder dan 100.000 aslasten van 10 ton in 50 jaar (onderhoudsstrook en overige plateaus): 3,5 cm AC 11 surf DL-B op 4,5 cm AC 16 surf DL-B.
2. 20 cm open steenasfalt (OSA), afgestrooid met grond en ingezaaid met gras.

Standaard wordt gekozen voor wegebouwwasfaltbeton. Alleen bij specifieke eisen vanuit ecologie of recreatie wordt OSA toegepast.

Fundering

De fundering bestaat uit goed verdichte hydraulische fosforslak of hieraan gelijkwaardige slak. De fundering heeft een dikte van 0,4 m bij een verharding van wegebouwwasfaltbeton en van 0,3 m bij een verharding van OSA.

Geotextiel

De fundering wordt aangelegd op een geotextiel. Er wordt een standaard polypropreen weefsel (woven) toegepast.

6.7 Dimensionering losse breuksteenbekleding

6.7.1 Algemeen

Toepassingen

Binnen het Project Zeeweringen kunnen de volgende constructie-onderdelen uitgevoerd worden in losse breuksteen:

1. Bekleding of overlaging op het onderbeloop;
2. Kreukelberm;
3. Schorrandverdediging.

Ontwerpwijze

Het ontwerp bestaat uit het bepalen van de steensortering en de laagdikte van de bekleding. Bij een kreukelberm moet tevens de breedte bepaald worden.

Belastingen

Tussen de waterlijn en ca. H_s hieronder wordt een breuksteenbekleding belast door golfklappen. Hieronder wordt ze belast door de orbitaalbeweging van de golf.

Bij losse breuksteen op het onderbeloop is de belasting door golfklappen, bij een waterstand aan de bovengrens van de bekleding, maatgevend.

Bij losse breuksteen onder een flauw talud of met een bovengrens die ver onder het Ontwerppeil ligt kan zowel de belasting door golfklappen als de orbitaalbelasting maatgevend zijn en is niet op voorhand aan te geven welke waterstand maatgevend is.

Formules van Van der Meer

De benodigde steensortering wordt in de meeste gevallen berekend met de formules van Van der Meer voor diep water, die zijn verwerkt in de spreadsheets 'Kreukelberm2011' en 'breuksteen'. Een belangrijke parameter in deze formules is het schadegetal S , wat kan variëren tussen 2 en 10 (zie tabel 7). Hoe hoger het schadegetal, hoe meer beweging of verdwijning van individuele stenen wordt geaccepteerd. Voor nadere uitleg wordt verwezen naar The Rock Manual, blz. 567-573.

Laagdikte

Losse breuksteen wordt normaliter aangebracht in een dubbele laag, omdat bij een enkele laag na een eerste schade de ondergrond meteen blootgesteld zou worden aan golfaanval en omdat de schade zich bij een enkele laag sneller en abrupter ontwikkelt. Daarom wordt binnen het Project Zeeweringen voor alle losse breuksteenbekledingen een laagdikte gehanteerd van $2D_{n50}$.

Geotextiel

Behalve bij een overlaging wordt onder de breuksteen een geotextiel aangebracht om te voorkomen dat de breuksteen wegzakt in de ondergrond of dat de ondergrond erodeert in de gebruiksfase.

Als geotextiel wordt standaard een weefsel (woven) van polypropreen toegepast. Bij toepassing onder een kreukelberm is op het weefsel een vlies gestikt voor extra bescherming tegen de vallende stenen.

Het geotextiel wordt niet nader ontworpen of geoptimaliseerd.

6.7.2 Losse breuksteen op onderbeloop

Achtergrond

Bij een bekleding van losse breuksteen op het onderbeloop treedt de maatgevende golfbelasting op bij een waterstand gelijk aan de bovengrens van de breuksteen. De steensortering wordt berekend met de formules van Van der Meer.

Berekenen steensortering

De benodigde steensortering wordt bepaald met het spreadsheet 'breuksteen':

1. Vul het gebied in en vink het van toepassing zijnde constructietype aan;
2. Vul het talud en de golftrandvoorwaarden in bij een waterstand gelijk aan de bovengrens van de breuksteen;
3. Lees de benodigde steensortering af en optimaliseer deze eventueel door de bovengrens van de breuksteen aan te passen.

Berekenen laagdikte

De benodigde laagdikte is gelijk aan $2D_{n50}$, zie ook tabel 9.

6.7.3 Overlaging

Berekenen steensortering

Een overlaging wordt, evenals een reguliere bekleding van losse breuksteen op het onderbeloop, berekend met de formules van Van der Meer. De enige verschillen zijn dat een ander schadegetal wordt gehanteerd (zie tabel 7) en dat de sterkte wordt gereduceerd met een factor Y , omdat een overlaging extra zwaar belast wordt door de golfterugloop. Voor nadere uitleg hierover wordt verwezen naar het Technisch Rapport Steenzettingen, deel Achtergronden, blz. 126-131.

Berekenen laagdikte

De benodigde laagdikte is gelijk aan $2D_{n50}$, zie ook tabel 9.

Beëindiging overlaging en aansluiting op kreukelberm

Een overlaging met losse breuksteen wordt aan de boven- en zijgrenzen op dezelfde manier beëindigd en aan de ondergrens op dezelfde manier aangesloten op een kreukelberm als een overlaging met gepenetreerde breuksteen. Hiervoor wordt verwezen naar § 6.6.6. In aanvulling hierop kan een overlaging met losse breuksteen aan de zijgrens ook nog op de volgende manier beëindigd worden:

1. De losse breuksteen wordt doorgetrokken over de aangrenzende bekleding waarbij de breedte van de overlap toeneemt van 5 m ter hoogte van de bovengrens tot 10 m ter hoogte van de ondergrens (kreukelberm).

6.7.4 Havendammen

Berekenen steensortering en laagdikte

Op een havendam is dezelfde bekleding nodig als op een dijk, maar op de kop van een havendam wordt de sterkte gereduceerd met een factor 1,3. Bij een overlaging wordt deze factor niet gecombineerd met de reductiefactor voor een overlaging (Y , zie § 6.7.3), maar wordt van de 2 factoren de maatgevende genomen.

6.7.5 Kreukelberm

Achtergrond

Een kreukelberm wordt anders belast dan losse breuksteen op een talud. Bij lage waterstanden wordt de kreukelberm belast door golfklappen en golfterugloop. Bij hoge waterstanden wordt de kreukelberm belast door de orbitaalbeweging van de golf. Omdat de golfhoogte niet bij alle waterstanden gelijk is, is niet op voorhand aan te geven welke belasting en waterstand maatgevend zijn.

De benodigde steensortering wordt daarom berekend bij meerdere waterstanden. De steensortering bij lage waterstanden wordt berekend met de methode voor geknikte taluds (zie The Rock Manual, blz. 620, onderste figuur). De steensortering bij hoge waterstanden wordt berekend met de methode voor teenbescherming bij golfbrekers (zie The Rock Manual, blz. 623, formule 5.188). Van de aldus gevonden steensorteringen wordt de maatgevende waarde genomen.

Voor nadere informatie over het ontwerp van de kreukelberm wordt verwezen naar memo PZDT-M-10189 ken.

Berekenen steensortering

De steensortering wordt berekend met het spreadsheet 'Kreukelberm2011'. Voor een goede vergelijking van de belasting bij verschillende waterstanden zijn de golftrandvoorwaarden aan de teen van de dijk nodig. De golftrandvoorwaarden uit het Detailadvies hebben betrekking op een uitvoerpunt wat 50 m voor de teen van de dijk ligt. Het sheet controleert daarom of de opgegeven golven vanwege hun steilheid of de waterdiepte zullen breken. Als dit het geval is reduceert het sheet de golfhoogte. Het sheet rekent met een default taludhelling van 1:6 en deze mag niet verflauwd worden omdat het achterliggende onderzoek beperkt was tot een taludhelling van 1:6. Het sheet werkt als volgt:

1. Vul de golftrandvoorwaarden in voor 4 waterstanden (als er maar voor 3 waterstanden randvoorwaarden zijn vul dan de middelste waterstand 2 maal in);
2. Vul het gebied in voor de bepaling van de belastingduur;
3. Vul het Ontwerppeil in;
4. Vul het kreukelbermniveau in en vul de bodemligging in direct vóór de kreukelberm en op het uitvoerpunt. Op basis hiervan wordt gecontroleerd of de opgegeven golven zullen breken en wordt de golfhoogte gereduceerd;
5. Lees de benodigde steensortering af;
6. Optimaliseer eventueel de steensortering door het kreukelbermniveau aan te passen;
7. Bij een steensortering van 60-300 kg of zwaarder kan na overleg eventueel gerekend worden met een schadegetal van $S = 10$ om de sortering terug te brengen tot 40-200 kg.

Berekenen laagdikte en breedte

De benodigde afmetingen van de kreukelberm zijn weergegeven in tabel 9.

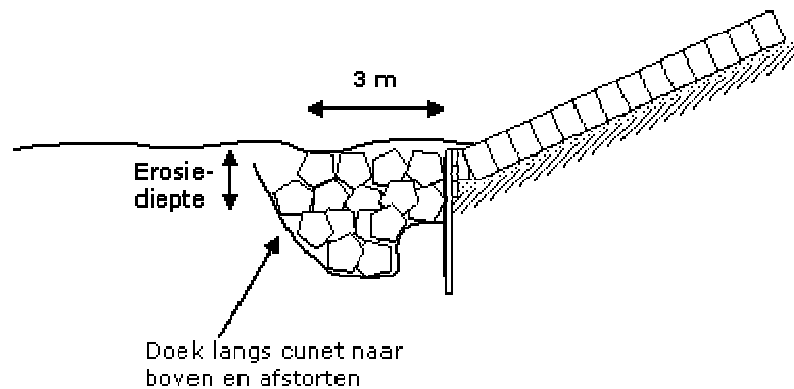
Tabel 9: Afmetingen kreukelberm

Afmeting	Steensortering			
	10-60 kg	40-200 kg	60-300 kg	300-1.000 kg
Laagdikte* ($D = 2D_{n50}$)	0,48 m	0,72 m	0,84 m	1,30 m
Breedte	5 m			10 m

*Bij een steendichtheid van 2.650 kg/m^3

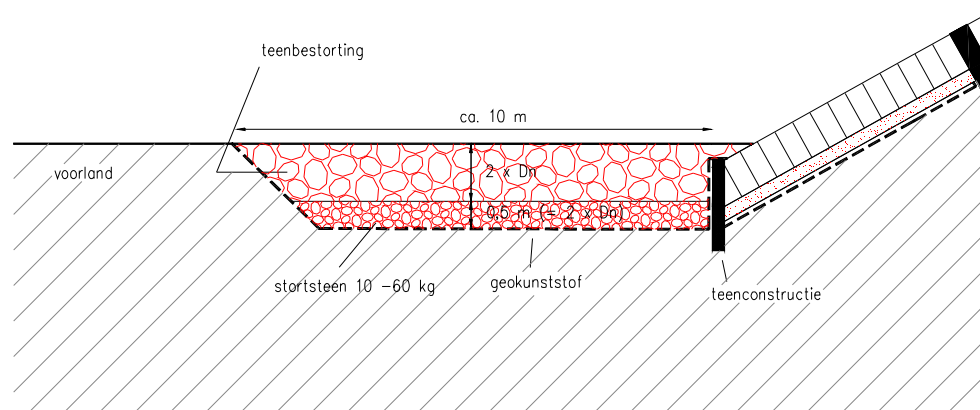
Als voor de dijk een schor ligt wordt om de ontgraving en het habitatverlies te beperken een smallere, maar dikkere kreukelberm aangebracht. Daarbij geldt een minimale breedte van 3 m en dient de versmalling geheel gecompenseerd te worden in de

laagdikte. Er dient dus dezelfde hoeveelheid breuksteen gebruikt te worden als bij een normaal ontwerp. De constructie is weergegeven in figuur 4.



Figuur 4: Smaller and thicker rubble mound

Bij een steensortering van 300-1.000 kg dient eerst een laag fijnere steen aangebracht te worden om beschadiging van het geotextiel te voorkomen. Hiervoor wordt een sortering gebruikt van 5-40 kg, 10-60 kg of fijne steen die vrijkomt in het werk. Vrijkomende steen kan ook verwerkt worden onder lichtere kreukelbermen. De constructie is weergegeven in figuur 5.



Figuur 5: Beschermende steenlaag onder zware kreukelberm

6.7.6 Schorrandverdediging

Achtergrond

Binnen het Project Zeeweringen worden schorrandverdedigingen op verschillende manieren uitgevoerd. Een schorrandverdediging kan de vorm hebben van een kleine breuksteendam, maar ook van een taludbestorting of een kreukelberm. De wijze van belasten is voor iedere constructievorm anders.

Berekenen steensortering en laagdikte

Omdat een schorrandverdediging verschillende vormen kan aannemen, worden de steensortering en de laagdikte berekend op basis van intern overleg. Per geval wordt bekeken hoe de constructie belast wordt en berekend moet worden.

6.8 Dimensionering kleibekleding (kleidijk)

6.8.1 Algemeen

Ontwerpwijze

Het ontwerp bestaat uit het berekenen van de benodigde dikte van de kleilaag.

Belastingen

Een kleibekleding wordt belast op golfklappen in de golfklapzone en op stroming in de golfoploopzone. Dit leidt tot erosie van de kleilaag. De belasting en de totale erosie worden bepaald door de golfhoogte en de belastingduur.

Belastingduur

De belastingduur is afhankelijk van het waterstandverloop, de golfrandvoorwaarden en de taludhelling. Als de maximale windopzet verschoven is ten opzichte van het maximale (spring)hoogwater leidt dit tot een ander waterstandsverloop en vaak tot een grotere belastingduur. Bij een kleibekleding is dit vaak maatgevend.

Dikte erosiebestendige kleilaag

De benodigde dikte van de kleilaag wordt bepaald door de verwachte erosie tijdens de maatgevende storm en door structuurvorming tijdens de levensduur van de kleilaag. Door structuurvorming (uiteenvallen door organische en biologische processen) neemt de erosiebestendigheid aan de bovenzijde van de kleilaag in de loop van de tijd af. Het verlies aan erosiesterkte wordt aangenomen op 0,01 m/jaar. Voor de gewenste levensduur van 50 jaar wordt daarom een overdikte van 0,50 m aangebracht.

Dikte make-up laag

Op de erosiebestendige klei wordt een vegetatielaag ('make-up laag') aangebracht van 0,5 m. Deze bestaat uit zandige, weinig of niet erosiebestendige klei, waarop de vegetatie zich beter kan ontwikkelen.

6.8.2 Dimensionering

Achtergrond

De erosie van de kleilaag wordt berekend op basis van tabel 8-2.1 uit het VTV2006 (blz. 292). De hierin vermelde laagdiktes voor erosiebestendige klei boven GHW +1 m zijn geëxtrapoleerd naar een stormduur van 35 uur. Voor de erosie wordt een minimum gehanteerd van $H_s + 0,5$ m, met een minimum van 1 m. Hierbij wordt nog 0,5 m overdikte bij opgeteld wegens structuurvorming (zie boven), zodat in totaal minimaal 1,5 m erosiebestendige klei wordt aangebracht.

Berekenen laagdikte

De benodigde laagdikte wordt berekend met het spreadsheet 'klei'. Omdat de belastingduur vaak maatgevend is voor de laagdikte, beschouwt het spreadsheet de volgende 4 situaties:

1. Storm begint op laag water bij gemiddeld tij;
2. Storm begint op laag water bij springtij;
3. Storm begint op hoog water bij springtij;
4. Storm begint op hoog water bij gemiddeld tij.

De benodigde laagdikte wordt met het spreadsheet als volgt berekend:

1. Selecteer in cel B6 het gebied;
2. Vul in cel E4 het niveau van de teen van de kleibekleding in;
3. Vul in de cellen E5, E6 en C9 t/m E10 de hydraulische randvoorwaarden in;
4. Vul in cel H4 de taludhelling in;
5. Reken het sheet door via het menu 'Kleidijk';
6. Lees in cel K9 de benodigde dikte voor de erosiebestendige kleilaag af. Deze dikte is exclusief de vegetatielaag ('make-up laag') van 0,5 m.

6.9 Toetsing grasbekleding

6.9.1 Algemeen

Relevantie

Grasbekledingen vallen formeel buiten de scope van het Project Zeeweringen en worden niet gedimensioneerd. Als $H_s > 2,5$ m dan wordt de grasbekleding boven het Ontwerppeil echter getoetst om na te gaan of en vanaf welk niveau volstaan kan worden met gras. Op basis van deze toetsing wordt de bovengrens van de nieuwe steenbekleding bepaald.

Toetswijze

De toetsing controleert of de optredende belastingduur kleiner is dan de toelaatbare belastingduur bij de optredende golfbelasting.

Belastingen

Een grasbekleding wordt belast op golfklappen in de golfklapzone en op stroming in de golfoploopzone. De mate van belasting wordt bepaald door de belastingduur.

Golfklapzone en golfoploopzone

Bij grasbekledingen wordt met de golfklapzone de zone onder Ontwerppeil bedoeld en met de golfoploopzone de zone boven Ontwerppeil.

Belastingduur

De belastingduur in de golfklapzone is afhankelijk van de golfhoogte en het verloop van de waterstand. De belastingduur in de golfoploopzone is afhankelijk van de golfoploophoogte, het verloop van de waterstand en het niveau op het talud.

In de golfklapzone is de belasting redelijk constant omdat de golfhoogte en de belastingduur doorgaans relatief weinig variëren. In de golfoploopzone neemt de belastingduur naar boven toe lineair af, waardoor de belasting maximaal is juist boven het Ontwerppeil en afloopt naar nul ter plaatse van de maximale golfoploop.

6.9.2 Toetsing

Achtergrond

In het Project Zeeweringen wordt in de golfklapzone altijd een steenbekleding aangebracht. Daarom worden alleen grasbekledingen in de golfoploopzone getoetst.

Voor toetsing in de golfoploopzone conform het VTV2006 kan het programma Grastoets gebruikt worden. Hierbij doet zich het probleem voor dat het VTV2006 impliciet uitgaat van een constante waterstand en weinig of geen rekening houdt met een berm. Daardoor zijn de toetsresultaten bij een variabele waterstand en een berm erg conservatief.

In verband hiermee is de toetsing in de golfoploopzone binnen het Project Zeeweringen verbeterd. In overleg met Deltares is een methode ontwikkeld die rekening houdt met een berm en uitgaat van een variabele waterstand. Hiertoe wordt de ontwerpstorm opgeknipt in meerdere tijdstappen en wordt voor elke tijdstap de effectieve belasting berekend. Vervolgens worden de berekende belastingen voor alle tijdstappen bij elkaar opgeteld. Als er meerdere storm- of waterstandsverlopen mogelijk zijn, dan wordt deze totale belasting berekend voor elk waterstandsverloop. De maatgevende totale belasting wordt getoetst aan de toelaatbare belasting. Voor nadere informatie wordt verwezen naar memo PZDT-M-11137 ken.

Toetsing golfoploopzone

Voor dijkvakken in de Oosterschelde wordt de toetsing uitgevoerd met het spreadsheet 'Geavanceerde grastoets voor oploopzone Oosterschelde2011'. Hierin is de verbeterde toetsmethode van Project Zeeweringen verwerkt.

In het sheet wordt het te toetsen niveau in de golfoploopzone ingevoerd. Voor dit niveau wordt door het sheet voor de 3 mogelijke graskwaliteiten (slecht, matig en goed) het toetsresultaat berekend. Dit wordt gedaan met 3 methodes. Het resultaat volgens de 'Verbeterde methode I' is doorslaggevend. De resultaten volgens de andere methodes zijn slechts ter info. Door het te toetsen niveau aan te passen kan bepaald worden vanaf welk punt in de golfoploopzone volstaan kan worden met een grasbekleding.

Voor toetsing van dijkvakken in de Westerschelde of aan de Noordzee dient intern overlegd te worden. De verbeterde toetsmethode is voor deze gebieden alleen beschikbaar in een concept-spreadsheet.

6.10 Dimensionering overgangen

Algemeen

Als een bekledingsvak aan de ondergrens of zijgrens wordt aangesloten op een bekleding van een ander type of met een andere afmeting ontstaat een overgang in de bekleding. Deze kunnen op verschillende manieren worden uitgevoerd.

Veelal worden de bekledingen direct ('koud') tegen elkaar aangebracht, maar als een bekleding met een rechte ondergrens (bijv. betonzuilen) moet worden aangesloten op een bekleding met een onregelmatige bovengrens (bijv. breuksteen) wordt een overgangsconstructie aangebracht om een rechte lijn te krijgen. Aan de zijgrens van een bekledingsvak wordt soms een overgangsconstructie aangebracht om een hoogteverschil te overbruggen. Een teenconstructie is een overgangsconstructie tussen de kreukelberm en de taludbekleding.

Achtergrond

Overgangen hebben de volgende invloed op de stabiliteit van de bekleding:

1. Bij overgangen verandert vaak de doorlatendheid van de bekleding, wat leidt tot grotere hydraulische belastingen. Dit is vooral zo bij de overgang van een volledig open op een volledig dichte bekleding, bijv. de overgang van vol-en-zat gepenetreerde breuksteen op losse breuksteen (kreukelberm) of op een steenzetting;
2. Overgangen zijn gevoelig voor erosie, wat nadelig is voor de sterkte;
3. Onder een overgang hebben steenzettingen vaak minder klemming, dus minder sterkte.

Vanwege het bovenstaande zijn overgangen potentieel zwakke plekken. Om dit te ondervangen worden overgangen in bepaalde gevallen versterkt door ze in te gieten met asfalt.

Dimensionering teen- en overgangsconstructies

Een teenconstructie bestaat uit de volgende onderdelen:

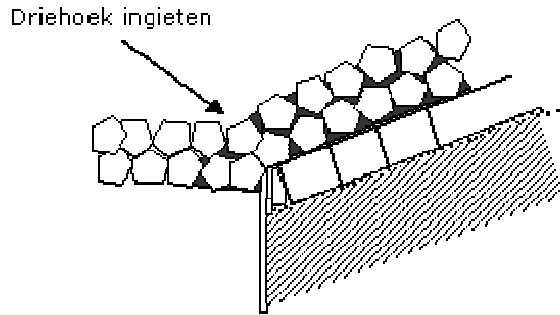
1. Een rij houten palen van 0,07 x 0,07 x 1,80 m met een h.o.h.-afstand van 0,33 m die verticaal in de ondergrond worden gedrukt;
2. Een teenschot met een hoogte van 0,60 m en een maximale dikte van 0,02 m dat tegen de palen wordt gespijkerd;
3. Een afgeschuinde betonband van 0,07/0,12 x 0,50 x 1,00 m die tegen het teenschot wordt gezet.

Een overgangsconstructie hoger op het talud (evenwijdig aan de dijk) is identiek aan een teenconstructie, behalve dat geen teenschot wordt toegepast. Een overgangsconstructie aan een zijgrens (loodrecht op de dijk) kan zowel met als zonder schot uitgevoerd worden en wordt ontworpen op basis van intern overleg.

Ingieten van overgangen

Bij overgangen worden de volgende ingietingen toegepast om deze te versterken:

1. Bij een overgang van losse breuksteen op een dichte bekleding wordt de losse breuksteen direct tegen de overgang gepenetreerd met gietasfalt in de vorm van een driehoek (zie figuur 6). Hiermee wordt de overgang minder abrupt gemaakt en de stabiliteit vergroot;
2. Met uitzondering van teenconstructies worden alle overgangsconstructies ingegoten met asfaltmastiek ter voorkoming van erosie;
3. Als een overgangsconstructie wordt aangebracht aan de bovengrens van een bekleding van basalt dan wordt de basalt over een breedte van 1 m opgenomen om de overgangsconstructie te kunnen maken. Hierna wordt de basalt teruggezet en ingegoten met gietasfalt ter compensatie van een eventueel mindere klemming.



Figuur 6: Overgang losse breuksteen op dichte bekleding

Filtersprong

Bij een overgang tussen 2 verschillende steenzettingen kan het filter verspringen of plaatselijk dikker worden. In beide gevallen is er een negatieve invloed op de stabiliteit. Voor het ontwerp van dit detail wordt verwezen naar § 6.5.8.

6.11 Controle golfloop

Algemeen

Een nieuwe bekleding en aanpassingen van het talud en de berm veranderen de golfloop op de dijk. Er moet worden nagegaan of de nieuwe bekleding niet leidt tot een onacceptabele toename van de golfloop.

Controle golfloop

De golfloop in de nieuwe situatie wordt vergeleken met die in de oude situatie met het spreadsheet 'Golfloop'. Hierin worden het Ontwerppeil en de bijbehorende golfrandvoorwaarden ingevoerd. Verder worden voor zowel de oude als nieuwe situatie de bermhoogte en -breedte en de taludhellingen onder en boven de berm ingevoerd. Het spreadsheet berekent vervolgens de verhouding tussen de toekomstige en de huidige golfloop. Als deze groter is dan 1 dan neemt de golfloop in de nieuwe situatie toe. Als de toename groter is dan enige procenten dient intern overlegd te worden.

Het spreadsheet 'Golfloop' is alleen geschikt voor bermen die in de buurt van het Ontwerppeil liggen. Voor een meer nauwkeurige berekening van de golfloop kan het spreadsheet 'Golfloop, golfoverslag en kracht op kruinmuur2011' gebruikt worden. In dit spreadsheet kan maar 1 berm ingevoerd worden, maar deze hoeft niet op Ontwerppeil te liggen. Voor meer complexe dijkprofielen kan gebruik gemaakt worden van het programma PC-Overslag of het hiervan afgeleide spreadsheet 'pcoverlag 620 mkh'. Beiden bevatten echter fouten en zijn niet geheel betrouwbaar.

7. Begrippen en formules

7.1 Begrippen

Berm	Taludstrook in een dijkprofiel die flauwer is dan 1:9
Blokkenzetting	Steenzetting van min of meer rechthoekige blokken beton of natuursteen, met weinig open ruimte
Filterlaag	Goed doorlatende, drainerende laag van bijv. steenslag of puin, die wordt aangebracht onder een steenzetting
Goed ingegoten steenzetting	Zuilenzetting die is ingegoten met gietasfalt of beton, waarbij de ingietingsdiepte groter is dan de halve toplaagdikte en minimaal 0,1 m bedraagt
Havendam	Haven- of andere dam waarvan de kruin bij een of meerdere waterstanden minder dan $3H_s$ onder of minder dan $z_{2\%}$ boven de waterstand ligt
Steenbekleding	Dijkbekleding van asfalt, gezette steen of breuksteen
Steenzetting	Dijkbekleding van aaneengesloten blokken of zuilen, die mechanisch of handmatig op het dijktalud worden gezet
Stormberm	Berm die op Ontwerppeil $\pm 0,1$ m ligt
Toplaag	Laag van blokken of zuilen die de bovenste laag van een steenzettingsconstructie vormt
Waterremmende onderlaag	Slecht doorlatende laag van klei of ander samenhangend materiaal die wordt aangebracht onder de filterlaag van een steenzetting
Zuilenzetting	Steenzetting van betonzuilen of basaltzuilen, met veel open ruimte

7.2 Afkortingen

GHW	: Gemiddeld Hoog Water
GLW	: Gemiddeld Laag Water
HR2006	: Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen voor toetsronde 2006-2011
LCA	: Levenscyclusanalyse
OP	: Ontwerppeil
OSA	: Open steenasfalt
TR	: Technisch Rapport
VTV2006	: Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor toetsronde 2006-2011
VZB	: Vol-en-zat (met gietasfalt) gepenetreerde breuksteen
WAB	: Waterbouwasfaltbeton

7.3 Symbolen

B	: Breedte Haringmanblok [m]
B_{kr}	: Breedte kreukelberm [m]
B_{vl}	: Breedte voorland [m]
b	: Empirische parameter voor patroonpenetratie [-]
b_f	: Dikte filterlaag (uitvullaag) [m]
D	: Laagdikte of toplaagdikte [m]
D_{n50}	: Nominale mediane steendiameter (ribbe van een kubus met massa M_{50}) [m]
$D_{n50;PL}$: Benodigde D_{n50} bij pluning golven (formule van Van der Meer) [m]
$D_{n50;SR}$: Benodigde D_{n50} bij surging golven (formule van Van der Meer) [m]
$D_{ond;af}$: Benodigde dikte onderlaag i.v.m. afschuiving [m]
D_{15}	: Korrel- of steendiameter die door (slechts) 15 massaprocent van het monster of de sortering wordt onderschreden [m]
D_{50}	: Steendiameter die door 50 massaprocent van het monster of de sortering wordt onderschreden (mediane steendiameter) [m]
D_{85}	: Steendiameter die door 85 massaprocent van het monster of de sortering wordt onderschreden [m]
f	: Veiligheidsfactor [-]
f_i	: Reductiefactor voor sterkte kreukelberm bij belasting op golfklappen [-]
H	: Taludhoogte [m]
H_s	: Significante golfhoogte [m]
h	: Waterstand [m NAP]
$h_{fictief}$: Fictieve geuldiepte [m]
h_t	: Waterdiepte boven kreukelberm [m]
h_v	: Waterdiepte direct vóór kreukelberm [m]
L	: Horizontale taludlengte [m]
L_{op}	: Golfhoogte bij piek van het golfspectrum [m]
M_{gem}	: Gemiddelde steenmassa in een sortering [kg]
M_{50}	: Steenmassa die door 50 massaprocent van het monster wordt onderschreden (mediane steenmassa) [kg]
N_{od}	: Schadegetal bij losse breuksteenbekledingen [-]
P	: Doorlatendheidsfactor voor ondergrond bij losse breuksteenbekledingen [-]
S	: Schadegetal bij losse breuksteenbekledingen [-]
S_{0p}	: Golfsteilheid [-]
T_m	: Gemiddelde golfperiode
T_p	: Golfperiode bij de piek van het golfspectrum [s]
T_{pm}	: Golfperiode (gewogen gemiddelde) voor het gebied met de piek of pieken van het golfspectrum [s]
u_{tr}	: Maximale tonrondte-uitwijking (loodrecht op het talud) [m]
V_{ink}	: Volume van inkassing Haringmanblok [m ³]
x	: x-coördinaat (horizontale afstand) t.o.v. teen van de dijk [m]
y	: y-coördinaat (verticale afstand) t.o.v. teen van de dijk [m]
y_s	: Terugtrekkingsdiepte van de brekende golf op het talud [m]
Z	: Maat voor de belasting [m ^a ·s ^b]
$Z_{2\%}$: golfoploop die door 2% van de golven overschreden wordt [m]

α	: (Gemiddelde) taludhelling [°]
Δ	: Relatieve dichtheid toplaag [-]
Δ_f	: Relatieve dichtheid filterlaag [-]
Δ_{ond}	: Relatieve dichtheid onderlaag [-]
Δ_s	: Relatieve dichtheid steen [-]
$\Delta_f b_f$: Opdrijfgewicht filterlaag [mwk]
ΔD	: Opdrijfgewicht toplaag [mwk]
ΔD_{n50}	: Opdrijfgewicht van de mediane steen in een monster of sortering [mwk]
ξ_{cr}	: Kritische brekerparameter bij formules van Van der Meer [-]
ξ_m	: Brekerparameter op basis van T_m [-]
ξ_{0p}	: Brekerparameter op basis van T_p [-]
ρ_{Har}	: Fictieve dichtheid Haringmanblokken [kg/m^3]
ρ_s	: Dichtheid steenbekleding of breuksteen [kg/m^3]
ρ_w	: Dichtheid zeewater [kg/m^3]
σ_{Dn50}	: Standaardafwijking van de D_{n50} (nominale mediane steendiameter) [m]
Φ_{sw}	: Empirische parameter voor patroonpenetratie [-]
Ψ_u	: Empirische parameter voor patroonpenetratie [-]
Ω	: Open ruimte steenzetting [%]

7.4 Formules

Hieronder worden een aantal basisformules gegeven en tevens de belangrijkste ontwerpformules die zijn verwerkt in de spreadsheets. Voor een verklaring van de symbolen wordt verwezen naar § 7.2. Voor de te hanteren parameterwaarden wordt verwezen naar § 1.2.

Hydraulische randvoorwaarden

$L_{0p} = g \cdot T_p^2 / 2\pi = 1,561 \cdot T_p^2$	Berekening golflengte
$s_{0p} = H_s / L_{0p}$	Berekening golfsteilheid
$\xi_{0p} = \tan \alpha / \sqrt{s_{0p}}$	Berekening brekerparameter
$Z = H_s \cdot T_p$	Belastingfunctie voor gezette blokken en patroongepenetreerde breuksteen
$Z = 0,1182 \cdot H_s^{5/6} \cdot T_p^{1/3}$	Belastingfunctie voor zuilen als $\xi_{0p} \leq 2$
$Z = H_s / (3,7622 + 1 / (7\sqrt{s_{0p}}))$	Belastingfunctie voor zuilen als $\xi_{0p} > 2$
$Z = H_s$	Belastingfunctie voor afschuiving, WAB, OSA en vol-en-zat geopenetreerde breuksteen
$Z = H_s^{0,75} \cdot T_m^{0,4}$	Belastingfunctie voor losse breuksteen in kreukelberm

Dimensionering

$$x = 2/3 \cdot L - u_{tr} \cdot \sin \alpha$$

$$y = 2/3 \cdot H + u_{tr} \cdot \cos \alpha$$

$$u_{tr} = L/100$$

Coördinaten van het taludpunt met de maximale tonrondte-uitwijking

$$\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$$

Berekening relatieve dichtheid

$$D_{n50} = (M_{50} / \rho_s)^{1/3}$$

Berekening van de D_{n50} van een steensortering

$$\rho_{Har} = ((B^2 \cdot D - V_{ink}) \cdot \rho_s) + V_{ink} \cdot \rho_w / (B^2 \cdot D)$$

$$V_{ink} = 0,00294 \text{ m}^3$$

Berekening fictieve dichtheid van Haringmanblokken

$$D_{ond;af} = f \cdot (H_s / 3 \cos \alpha - \Delta D - \Delta_f b_f) / \Delta_{ond}$$

Benodigde dikte waterremmende onderlaag i.v.m. afschuiving

$$D_{n50;PL} = H_s / \Delta \cdot P^{-0,18} \cdot S^{-0,2} \cdot N^{0,1} \cdot \xi_m^{0,5} / 6,2$$

$$T_m = T_p / 1,1$$

Benodigde D_{n50} voor losse breuksteen als $\tan \alpha \leq 1:4$ of als $\xi_m \leq \xi_{cr}$ (formule van Van der Meer voor overstortende (plunging) golven)

$$D_{n50;SR} = H_s / \Delta \cdot P^{0,13} \cdot S^{-0,2} \cdot N^{0,1} \cdot \cot \alpha^{-0,5} \cdot \xi_m^{-P}$$

$$T_m = T_p / 1,3$$

Benodigde D_{n50} voor losse breuksteen als $\tan \alpha > 1:4$ en $\xi_m > \xi_{cr}$ (formule van Van der Meer voor oplopende (surging) golven)

$$\xi_{cr} = (6,2 \cdot P^{0,31} \cdot \tan \alpha^{0,5})^{1/(P+0,5)}$$

Kritische brekerparameter in formules van Van der Meer

$$D_{n50} = D_{n50;PL} / f_i = (D_{n50;PL} - 0,09 \cdot h_t) / 0,86$$

Benodigde D_{n50} voor een kreukelberm van losse breuksteen i.v.m. belasting door golfklappen (lage waterstanden)

$$D_{n50} = (H_s / (\Delta_s \cdot N_{od}^{0,15}) - 0,24 \cdot h_t) / 1,6$$

Benodigde D_{n50} voor een kreukelberm van losse breuksteen i.v.m. orbitaalbelasting (hoge waterstanden) (Gerding)

$$D_{n50} = H_s / (\Delta_s \cdot (2 + 6,2 \cdot h_t / h_v^{2,7}) \cdot N_{od}^{0,15})$$

Benodigde D_{n50} voor een kreukelberm van losse breuksteen i.v.m. orbitaalbelasting (hoge waterstanden) (van der Meer)

$$D_{n50} = H_s \cdot \xi_{0p}^b / (\Delta_s \cdot \psi_u \cdot \phi_{sw} \cdot \cos \alpha)$$

Benodigde D_{n50} voor een bekleding van patroongepenetreerde breuksteen (formule van Pilarczyk)

8. Literatuur

8.1 Algemeen

1. Handboek voor dimensionering van gezette taludbekledingen (CUR/TAW, Gouda, 1992)
2. Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen (HR2006) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, 2007)
3. Klein Breteler, M.: Handleiding STEENTOETS2008 (Deltares, Delft, 2011)
4. Rest, P. van de: Memo Nieuwe belastingfuncties steenbekledingen (Svasek Hydraulics, Rotterdam, 2010)
5. Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren (TAW, Delft, 2002)
6. Technisch Rapport Steenzettingen (TAW, Delft, 2003)
7. The Rock Manual (CIRIA, CUR & CETMEF, London, 2007)
8. Ven, M.F.C. van de: Standaard asfaltconstructie voor bermen en havenplateaus op Waterkeringen (TU Delft, Delft, 2011)
9. Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV2006) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, 2007)

8.2 Memo's Project Zeeweringen

1. Eenduidige toepassing tonrondte bij ontwerp en uitvoering (PZDT-M-08362 ken)
2. Parameterwaarden voor toetsing en ontwerp (PZDT-M-09014 ken)
3. Overall veiligheidsfactor voor ontwerp van betonzuilen en gekantelde blokken (PZDT-M-09015 ken)
4. Ontwerp met overall veiligheidsfactor (PZDT-M-09016 ken)
5. Verbetering grastoets PBZ in golfoploopzone (PZDT-M-11137 ken)
6. Verbetering ontwerpmethodiek kreukelberm Projectbureau Zeeweringen (PZDT-M-10189 ken)