



```
.../ss;  
(1.0+sx+sx/(ss+st2))/ss);  
(1.0/st2);  
;   
to ndata DO chi2 := chi2+ogr(y  
prt(chi2/(ndata-2));  
eiga*sigdat;  
eigb*sigdat;
```

# Toets- en Ontwerpregels



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
Projectbureau Zeeweringen



# **Handleiding toetsing en ontwerp**

Technische werkwijze van het Projectbureau Zeeweringen

Datum: 10 januari 2011  
Opgesteld door: R. Bosters  
Goedgekeurd door: S. Vereeke

Documentcode: PZDT-R-11003 ken  
Documentversie: 1



# Inhoud

<b>1. Definitief ontwerp.....</b>	<b>3</b>
1.1 Hydraulische randvoorwaarden.....	3
1.1.1 Definitie.....	3
1.1.2 Achtergrond.....	3
1.1.3 Hydraulische randvoorwaarden voor toetsing en ontwerp.....	5
1.1.4 Optimalisatie van golfrandvoorwaarden.....	7
1.2 Parameterwaarden voor toetsing en ontwerp.....	9
1.3 Ontwerpveiligheid.....	11
1.4 Dimensionering dwarsprofiel.....	12
1.4.1 Teenniveau.....	12
1.4.2 Berm.....	12
1.4.3 Taludhelling en tonrondte.....	13
1.4.4 Bovengrens steenbekleding.....	14
1.5 Dimensionering gezette steenbekleding.....	15
1.5.1 Gezette steentypes en constructie.....	15
1.5.2 Onderbeloop.....	16
1.5.3 Berm en bovenbeloop.....	17
1.5.4 Havendammen.....	17
1.5.5 Steentoets2010.....	18
1.5.6 Waterremmende onderlaag.....	20
1.5.7 Ontwerpdetails.....	21
1.6 Dimensionering asfaltbekleding.....	22
1.6.1 Algemeen.....	22
1.6.2 Waterbouwasfaltbeton (WAB).....	24
1.6.3 Open steenasfalt (OSA).....	24
1.6.4 Vol-en-zat geopenetreerde breuksteen.....	25
1.6.5 Patroongeopenetreerde breuksteen.....	26
1.6.6 Havendammen.....	27
1.6.7 Overlaging.....	27
1.7 Dimensionering losse breuksteenbekleding.....	30
1.7.1 Algemeen.....	30
1.7.2 Kreukelberm.....	31
1.7.3 Overige constructies.....	33
1.7.4 Ontwerpdetails.....	33
1.8 Dimensionering kleibekleding (kleidijk).....	34
1.8.1 Algemeen.....	34
1.8.2 Dimensionering.....	35
1.9 Toetsing grasbekleding.....	36
1.9.1 Algemeen.....	36
1.9.2 Toetsing.....	37
<b>2. Afkortingen, symbolen en formules.....</b>	<b>39</b>
2.1 Afkortingen.....	39
2.2 Symbolen.....	40
2.3 Formules.....	42
<b>3. Literatuur.....</b>	<b>44</b>
3.1 Algemeen.....	44
3.2 Memo's Project Zeeweringen.....	44



# 1. Definitief ontwerp

## 1.1 Hydraulische randvoorwaarden

### 1.1.1 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. Golftrandvoorwaarden (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.

### 1.1.2 Achtergrond

#### Ontwerppeil

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

Conform de 3<sup>e</sup> 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)

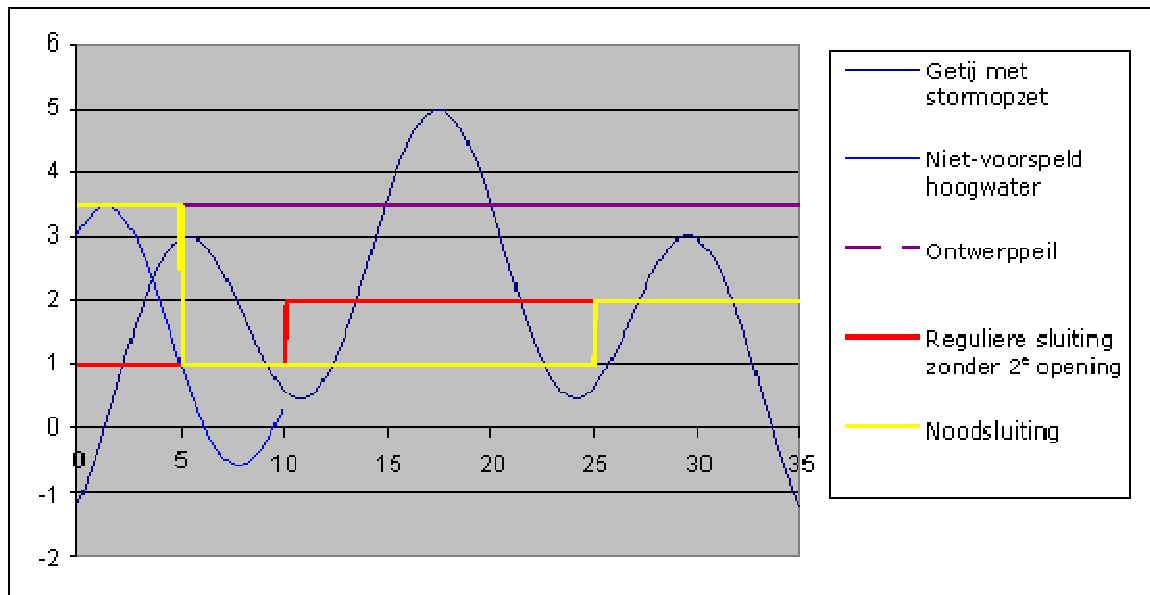
Tussen de waterlijn en ca.  $H_s$  daaronder wordt een talud belast door golfterugtrekking en golfklappen (golfklapzone). Tussen de waterlijn en ca.  $8 \cdot H_s \cdot \tan \alpha$  daarboven wordt een talud belast door golfoploop (golfoploopzone).

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 ca.  $8 \cdot H_s \cdot \tan \alpha$  *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 HR 2006 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 ( $T_p$  bij een ééntoppig en  $T_{pm}$  bij een meertoppig spectrum) afgeleid.

In het model is de bovenzijde van alle schorren, slikken en platen in Ooster- en 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 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 § 2.3. 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.

### 1.1.3 Hydraulische randvoorwaarden voor toetsing en ontwerp

De hydraulische randvoorwaarden 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 ( $\rho_w$ )	1.025 kg/m <sup>3</sup>	
Zeespiegelstijging	0,6 m/eeuw	
(Toekomstige) bodemligging, GLW, GHW, Ontwerppeil (OP)	Waarde uit Detailadvies	
Verblijftijden waterstand (h) Oosterschelde	OP -1 m < h < OP	5 uur
	OP -2 m < h < OP -1 m	25 uur
	h < OP -2 m	20 uur
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 $\xi_{op}$ 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 ( $\xi_{0p}$ ) bepaalt hoe de golf breekt op het talud.  $\xi_{0p}$  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 zullen bij een lagere windsnelheid golfvelden voorkomen met dezelfde  $H_s$ , maar met  $\xi_{0p} = 2$ . Dit betekent dat de maatgevende golfbelasting voor zuilen (met  $\xi_{0p} = 2$ ) 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 uit 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.

Voorheen liepen sommige toets- en ontwerpprogramma's vast bij een afname van  $H_s$  of  $T_p$ . Verder waren er alleen globale belastingfuncties beschikbaar en werd gedacht dat bij een afname van  $H_s$  of  $T_p$  de fout bij inter- en extrapolatie (zie onder) te groot zou worden. Daarom werden  $H_s$  of  $T_p$  naar boven bijgesteld of werden berekeningen uitgevoerd voor meerdere randvoorwaardensets.

Momenteel zijn de toets- en ontwerpprogramma's robuust voor een afname van  $H_s$  of  $T_p$ . Verder zijn de belastingfuncties verbeterd, met als consequenties:

1. Het is niet meer nodig om berekeningen uit te voeren voor meerdere randvoorwaardensets;
2. Een lagere  $H_s$  of  $T_p$  mag niet naar boven bijgesteld worden omdat dit kan leiden tot een te licht ontwerp;
3. Een grotere fout bij inter- en extrapolatie is niet meer aan de orde. Hooguit wordt in de Oosterschelde bij interpolatie naar het Ontwerppeil een te conservatieve waarde gevonden omdat de kering dan gesloten is terwijl de berekeningen voor NAP +3 m uitgaan van een open kering.

In het ontwerp hoeft en mag dus geen rekening meer worden gehouden met een afnemende  $H_s$  en/of  $T_p$  bij hogere waterstanden.

### **Grenswaarden bij inter- en extrapolatie van golfrandvoorwaarden**

Er worden golfrandvoorwaarden afgegeven voor 3 waterstanden in de Westerschelde (NAP +2 m, NAP +4 m en NAP +6 m) en voor 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 één 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 één golflengte uit de teen van de dijk droogvalt zijn  $H_s$  en  $T_p$  gelijk aan nul.

#### **1.1.4 Optimalisatie van golfrandvoorwaarden**

De golfrandvoorwaarden uit het Detailadvies zijn op een aantal punten conservatief. Bij optimalisatie of detaillering van het ontwerp wordt aanbevolen om eerst de golfrandvoorwaarden te optimaliseren, omdat dit doorgaans de grootste invloed heeft. Hieronder worden een aantal opties beschreven.

##### **Splitsen randvoorwaardevakken of aanpassen grenzen**

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 de grenzen van het dijkvak- of traject niet samenvallen met de grenzen van het randvoorwaardevak en 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 golfhoogte wegens dieptebeperving van de golven**

Als de golf op een halve golflengte uit de teen van de dijk te steil is of als de golfhoogte groter is dan de helft van de waterdiepte zal de golf breken en de golfhoogte aan de teen van de dijk zodanig gereduceerd zijn dat zowel aan het steilheids criterium als het dieptecriterium (op basis van de waterdiepte op een halve golflengte uit de teen van de dijk) voldaan wordt [1].

De opgegeven golfrandvoorwaarden gelden voor een uitvoerpunt wat 50 m uit de teen van de dijk ligt. Voor bekledingsberekeningen dient uitgegaan te worden van de golfrandvoorwaarden aan de teen van de dijk. De opgegeven golfhoogte is slechts deels gecorrigeerd voor de (toekomstige) waterdiepte en vooral bij lagere waterstanden kan de golfhoogte vaak verder gecorrigeerd worden. Dit is met name relevant voor het ontwerp van de kreukelberm en lage bekledingstafels.

Bij ontwerp van de kreukelberm met het spreadsheet 'Kreukelberm2010' wordt de golfhoogte aan de teen automatisch berekend. Het sheet kan ook gebruikt worden om deze golfhoogte te berekenen voor andere toepassingen.

**Golfrandvoorwaarden in havens en kanalen**

De golfrandvoorwaarden in een haven of kanaal 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.

## 1.2 Parameterwaarden voor toetsing en ontwerp

De parameterwaarden die binnen het Project Zeeweringen gehanteerd worden voor toetsing en ontwerp van bekledingen zijn weergegeven in tabel 1 t/m 5.

Tabel 2: Parameterwaarden gezette steenbekleding

Gezette steenbekleding		
Omschrijving		Parameterwaarde
Maximale taludhelling (i.v.m. afschuiving)		1:2,5
Gebruikelijke fabrieksmaten betonzuilen		30, 35, 40, 45 en 50 cm
Gebruikelijke afmetingen betonblokken		50 x 50 x 15, 20, 25 of 30 cm
Dichtheid gezette steen ( $\rho_s$ )	Betonzuilen	2.300 t/m 2.900 kg/m <sup>3</sup>
	Basalt	2.900 kg/m <sup>3</sup>
	Vlakke betonblokken	2.300 kg/m <sup>3</sup>
Fictieve dichtheid Haringman-blokken ( $\rho_{Har}$ )	D = 0,15 m	2.200 kg/m <sup>3</sup>
	D = 0,20 m	2.225 kg/m <sup>3</sup>
	D = 0,25 m	2.240 kg/m <sup>3</sup>
	D = 0,30 m	2.250 kg/m <sup>3</sup>
Open ruimte betonzuilen ( $\Omega$ )		10%
Spleetbreedte gekantelde blokken		2,5 mm
Ontwerpdikte filter (uitvullaag) ( $b_f$ )		0,10 m
D <sub>15</sub>	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 ( $\Delta_f$ )		1,0
Relatieve dichtheid onderlaag ( $\Delta_{ond}$ )		1,0
Minimale dikte te handhaven onderlaag		0,60 m
Minimale ontwerpdikte nieuwe onderlaag		0,80 m

Tabel 3: Parameterwaarden asfaltbekleding

Asfaltbekleding			
Omschrijving		Parameterwaarde	
Maximale taludhelling		Ca. 1:1,7*	
Dichtheid asfalt	WAB	2.300 kg/m <sup>3</sup>	
	OSA	1.800 kg/m <sup>3</sup>	
	Vol-en-zat gepenetreerde breuksteen	2.450 kg/m <sup>3</sup>	
	Gietasfalt	2.150 kg/m <sup>3</sup>	
Minimale laagdikte	WAB	0,10 m	
	OSA	0,15 m	
	Vol-en-zat gepenetreerde breuksteen	H <sub>s</sub> < 3 m	0,40 m
		H <sub>s</sub> > 3 m	0,50 m
	Patroongepenetreerde breuksteen	0,50 m	
Holle ruimte	Breuksteensorteringen	40%	
	Zetsteen	50%	
Parameters patroonpenetratie	b	0,6	
	$\Psi_u \cdot \Phi_{sw}$	Strokenpenetratie	5
		Stippenpenetratie	3,4

\* Onder voorwaarden, zie Technisch Rapport Asfalt, blz. 86

Tabel 4: Parameterwaarden losse breuksteenbekleding

<b>Losse breuksteenbekleding</b>		
Omschrijving		Parameterwaarde
Standaard dichtheid breuksteen ( $\rho_s$ )		2.650 kg/m <sup>3</sup>
Taludhelling kreukelberm (tang)		1:6
Doorlatendheidsfactor (P)		0,1
Schade- getal (S)	Kreukelberm	10
	Schorrandverdediging	10
	Taludbekleding	2
	Overlaging	4
Breedte kreukelberm ( $B_{kr}$ )	Sortering $\leq 60$ -300 kg	5 m
	Sortering 300-1.000 kg	10 m

Tabel 5: Parameterwaarden steensorteringen

<b>Steensorteringen</b>					
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

## 1.3 Ontwerpveiligheid

De parameterwaarden uit tabel 1 t/m 5 zijn deels verwachtingswaarden en deels conservatieve waarden. Voor het ontwerp van bepaalde steenbekledingen wordt 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 op de toplaagdikte en de onderlaagdikte toegepast van 1,2 (zie tabel 6).

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 6: Veiligheidsfactoren bij ontwerp*

Gezette steenbekleding	
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

## 1.4 Dimensionering dwarsprofiel

### 1.4.1 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.

### 1.4.2 Berm

#### Definitie berm

Met een berm wordt hier een stormberm bedoeld: Een taludstrook op Ontwerppeil  $\pm 0,1$  m die flauwer is dan 1:9.

#### Achtergrond bermniveau

Het niveau van de berm beïnvloedt de kruinhoogte en het oppervlak aan harde steenbekleding:

1. Hoe groter de golfoploop, hoe hoger de kruin moet worden. De golfoploop 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. 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.



**Keuze bermniveau**

In het ontwerp wordt het niveau van de (storm)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 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 grasmatten.

**1.4.3 Taludhelling en tonrondte****Achtergrond taludhelling**

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 een bekleding van gezette steen) 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.

**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.

**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<sup>e</sup> van de taludhoogte, loodrecht op het rechte talud.

Op de bestekstekeningen 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.

## 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.

### 1.4.4 Bovengrens steenbekleding

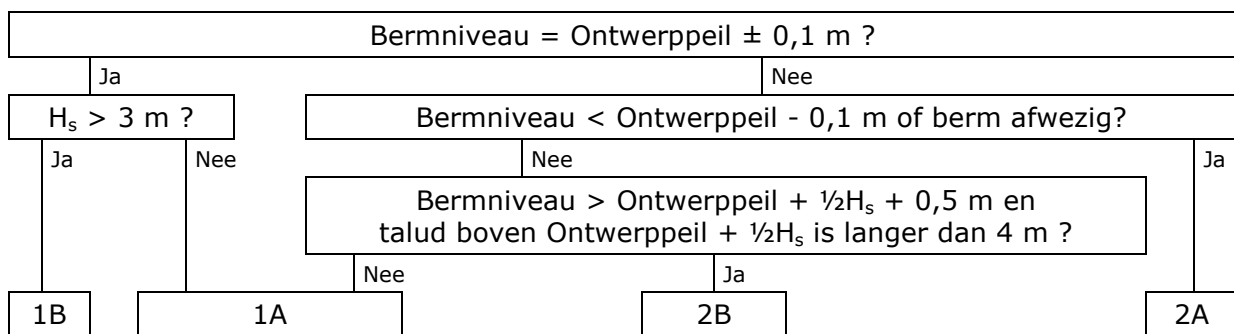
#### Achtergrond

Op de meeste dijkvakken in de Ooster- en Westerschelde is de golfbelasting zodanig dat een steenbekleding (steenzetting of asfaltbekleding) nodig is. In theorie moet een steenbekleding doorgetrokken worden tot het niveau waarop een grasbekleding voldoende is. Voor nadere informatie hierover wordt verwezen naar het Technisch Rapport Steenzettingen, deel Ontwerp, blz. 67-70.

#### Bepaling bovengrens steenbekleding

Binnen het Project Zeeweringen wordt het niveau waarop een grasbekleding voldoet meestal niet berekend. De bovengrens van de steenbekleding volgt uit onderstaand stroomschema.

*Stroomschema 1: Bepaling bovengrens steenbekleding*



Waarin:

1A	Steenbekleding aanbrengen tot de buitenrand van de onderhoudsstrook
1B	Steenbekleding aanbrengen tot de buitenrand van de onderhoudsstrook en intern overleg of deze wordt doorgezet op berm en bovenbeloop
2A	Steenbekleding aanbrengen tot Ontwerppeil + $\frac{1}{2}H_s$
2B	Steenbekleding aanbrengen tot Ontwerppeil + $\frac{1}{2}H_s$ en intern overleg of hierboven, tot de onderhoudsstrook, een steen- of grasbekleding wordt aangebracht

## 1.5 Dimensionering gezette steenbekleding

### 1.5.1 Gezette steentypes en constructie

#### Betonzuilen

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  $2.300 \text{ kg/m}^3$ , maar kunnen afhankelijk van het type ook geleverd worden met een dichtheid van 2.400, 2.500, 2.600, 2.700, 2.800 en  $2.900 \text{ kg/m}^3$ . De stabiliteit van de bekleding wordt vooral bepaald door het onderwatergewicht van de zuilen. Rekening houdende met het onderwatergewicht zijn de prijsverschillen tot en met een dichtheid van  $2.700 \text{ kg/m}^3$  gering. Betonzuilen met een dichtheid van 2.800 en  $2.900 \text{ kg/m}^3$  zijn beduidend duurder en worden weinig toegepast.

#### 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  $10.000 \text{ m}^2$  nieuw gezette basalt in een ontwerp opgenomen worden.

#### Gekantelde betonblokken

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

Betonblokken hebben een dichtheid van  $2.300 \text{ kg/m}^3$ . 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.

In nieuwe bekledingen worden de blokken op hun kant gezet, wat bij de genoemde afmetingen resulteert in een toplaagdikte van  $50 \text{ cm}$ . De afmeting van  $15 \text{ cm}$  levert daarbij de sterkste bekleding op omdat er per  $\text{m}^2$  meer spleten zijn en er dus meer open ruimte is.

#### Overige steentypes

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

#### Maximale taludhelling

Nieuwe gezette steenbekledingen worden toegepast tot een maximale taludhelling van 1:2,5 in verband met het mechanisme afschuiving.

## **Ontwerpwijze**

Het ontwerp bestaat uit het bepalen van de benodigde dikte voor de steenzetting 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 (vrijgave)toetsing 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.

## **Inwassing**

Steentypes met veel open ruimte (beton- en basaltzuilen) worden ingewassen met steenslag ter verhoging van de samenhang (klemming) en daarmee de sterkte van de (zuilen)bekleding. Voor de inwassing wordt uitgegaan van een vaste steensortering, zie tabel 2. De inwassing wordt niet nader ontworpen of geoptimaliseerd.

## **Filter (uitvullaag)**

Alle gezette steen wordt op een filterlaag van steenslag gezet. De waterdoorlatendheid van dit filter dient afgestemd te zijn op de doorlatendheid van de toplaag van gezette steen ter beperking van de waterdrukken in het filter en daarmee van de toplaagdikte. Voor elk steentype wordt uitgegaan van een vaste filterdikte en -sortering, zie tabel 2. 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.

## **1.5.2 Onderbeloop**

De werkwijze bij de dimensionering van een gezette steenbekleding op het onderbeloop is als volgt:

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.

### 1.5.3 Berm en bovenbeloop

#### Definitie berm

Een berm is hier gedefinieerd als een taludstrook flauwer dan 1:9 en breder dan  $2H_s$  (als de strook hoger ligt dan Ontwerppeil  $-0,45H_s$ ) of breder dan  $H_s$  (als de strook lager ligt). Een berm op Ontwerppeil  $\pm 0,1$  m wordt ook wel aangeduid als stormberm.

#### Dimensionering gezette steenbekleding op en boven berm

De toplaagdikte van een gezette steenbekleding op een (lage) berm of het talud daarboven wordt bepaald door de waterdiepte op de berm.

Bij een waterdiepte tussen ca.  $0,45H_s$  en  $2H_s$  wordt een gezette steenbekleding 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.

Als een berm of het talud daarboven voorzien moet worden van steenbekleding (zie § 1.4.4) en daarbij gekozen wordt voor een bekleding van gezette steen, dan wordt deze als volgt ontworpen:

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 af op fabrieksmaten en stel de gevonden toplaagdikte en de betondichtheid definitief vast.

### 1.5.4 Havendammen

#### Definitie havendam

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).

#### Dimensionering op havendam

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 gezette steenbekleding 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.

Een gezette steenbekleding op een havendam wordt als volgt ontworpen:

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 de 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.

## 1.5.5 Steentoets2010

### Achtergrond

Steentoets2010 rekent alleen de stabiliteit uit van bekledingen van gezette steen, maar houdt daarbij 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 goedgetoetste 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 Gebruikershandleiding 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 gebruikershandleiding. Voor de in te vullen parameterwaarden wordt verwezen naar tabel 2.

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

- a. Kies gebied in cel F2. Dit is van belang voor de bepaling van de belastingduur;
- b. 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'

- a. Kolom A en B: Voer de grenzen van de randvoorwaardevakken in;
- b. Vul kolom C t/m E in op basis van het detailadvies voor de randvoorwaarden;
- c. 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 § 1.4.3) en deze als aparte bekledingstafels in te voeren.

- a. 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;
- b. 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;
- c. In kolom E en F worden de vakgrenzen ingevuld. Op basis hiervan wordt bepaald welke randvoorwaarden van toepassing zijn;
- d. 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;
- e. Kolom Q, R, S, U: Zie rood driehoekje in kolomhoofd;
- f. Kolom V: Zie rood driehoekje in kolomhoofd. Deze informatie wordt alleen gebruikt om de steenzetting te typeren (in kolom CR);
- g. 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 in kolom AV en AW de filterdikte en de  $D_{15}$  van het filtermateriaal in;
- k. Kolom BI en BJ zijn van belang voor de beoordeling op afschuiving. Vul in kolom BI 'kl' of 'kk' in en vul in BJ de dikte van de kleilaag of fosforslakken in;
- l. 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';
- m. 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' F9 aan om de stabiliteit van de ingevoerde bekledingen uit te rekenen;
- b. Als de cel in kolom A blauw of paars 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.

## 1.5.6 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 bekleding;
2. Bieden van reststerkte bij eventueel falen van de steenbekleding;
3. Voorkomen van overmatige infiltratie en een te hoge grondwaterstand in de dijk.

De waterremmende onderlaag bestond voorheen meestal uit klei of mijnsteen. Binnen het Project Zeeweringen wordt boven GHW doorgaans klei van categorie c2 (zie VTV2006, blz. 364) toegepast. Onder GHW worden hoofdzakelijk hydraulische fosforslakken 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 onder of boven GHW moet worden aangebracht is de voorkeur om voor de hele onderlaag hetzelfde materiaal te gebruiken.

Hydraulische fosforslakken bestaan uit fosforslakken (steengranulaat) en een hydraulisch bindmiddel dat zorgt voor samenhang en tevens de waterdoorlatendheid reduceert. Op het werk vrijkomende steen kan ook in de onderlaag worden toegepast, op voorwaarde dat ze wordt gebroken tot granulaat en dat een hydraulisch bindmiddel wordt toegevoegd. Voor details wordt verwezen naar het modelbestek.

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 bekleding van gezette steen vervangen moet worden omwille van de onderlaag.

Het ontwerp kan invloed hebben op zowel de bestaande 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.

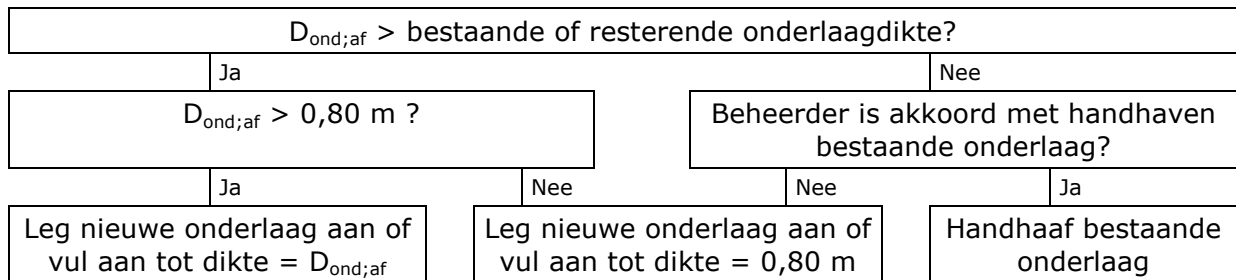
Vanwege het bovenstaande is er een interactie tussen de (vrijgave)toetsing en het ontwerp en moet bij vernieuwing van de bekleding altijd geverifieerd worden of een bestaande onderlaag nog steeds (of alsnog) voldoet.

### Dimensionering

Het ontwerp van de onderlaag verloopt als volgt:

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



*Stroomschema 2: Bepaling dikte onderlaag***1.5.7 Ontwerpdetails****Filtersprong**

Als in een dwarsprofiel de toplaagdikte van de gezette steenbekleding 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.

## 1.6 Dimensionering asfaltbekleding

### 1.6.1 Algemeen

#### Toepasbaarheid

De volgende asfaltbekledingen worden toegepast als dijkbekleding:

- A. Dichte asfaltbekledingen:
  - 1. Waterbouwasfaltbeton (WAB);
  - 2. Vol-en-zat met gietasfalt gepenetreerde breuksteen.
- B. Open asfaltbekledingen:
  - 3. Open steenasfalt (OSA);
  - 4. Met gietasfalt patroongepenetreerde breuksteen.

Met gietasfalt gepenetreerde breuksteen kan zowel onder als boven Gemiddeld Hoog Water (GHW) worden toegepast. De overige asfaltbekledingen kunnen alleen toegepast worden boven GHW.

WAB, vol-en-zat gepenetreerde breuksteen en patroongepenetreerde breuksteen kunnen ook toegepast worden als overlaging.

Onder bepaalde voorwaarden (zie § 1.6.2) kunnen binnen het Project Zeeweringen in plaats van WAB ook andere asfaltsoorten toegepast worden.

#### Onderhoudsstrook

Deze paragraaf behandelt het ontwerp van een asfaltbekleding met een waterkerende functie. Voor het ontwerp van een asfaltbekleding op de onderhoudsstrook wordt verwezen naar § (nog niet beschikbaar).

#### Ontwerpwijze

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

#### Maatgevende belastingen

De maatgevende belastingen voor asfaltbekledingen zijn golfklappen in de golfklapzone, stroming in de golfploopzone en wateroverdrukken halverwege het talud.

De maatgevende golfklappen treden op bij een waterstand aan de bovengrens van de bekleding. De maatgevende stroming treedt op aan de ondergrens van de golfploopzone (zie onder). De maatgevende wateroverdrukken treden op bij een lage buitenwaterstand. Voor nadere uitleg wordt verwezen naar het Technisch Rapport Asphalt, blz. 116-132.

#### Golfklapzone en golfploopzone

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.

### 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 de spreadsheets 'asfaltbekledingen' en 'breuksteen' 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 (geavanceerd) 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.

### 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.

## 1.6.2 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, § 7.3.5, 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, § 7.3.5, 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.

### Laagdikte op berm

De benodigde laagdikte op een berm is gelijk aan de laagdikte op het talud onder die berm.

### Andere asfaltsoorten

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 oppervlaktebehandeling uitgevoerd.

## 1.6.3 Open steenasfalt (OSA)

### Achtergrond

Open steenasfalt (OSA) is slecht bestand tegen erosie. Daarom wordt OSA binnen het Project Zeeweringen alleen toegepast in de golfklapzone (onder de berm) als de dagelijkse belasting zeer gering is, bijvoorbeeld in haventjes.

OSA wordt voornamelijk toegepast in de golfploopzone (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 golfploop of golfoverslag groter is dan 6 m/s.

In de golfklapzone wordt de laagdikte van open steenasfalt (OSA) bepaald door de belasting op golfklappen. In de golfploopzone en golfoverslagzone wordt de minimale laagdikte van 0,15 m toegepast en wordt slechts gecontroleerd of de optredende stroomsnelheid voldoende klein is.

### 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.

### Laagdikte en controle stroomsnelheid in golfploopzone en golfoverslagzone

In de golfploopzone en golfoverslagzone wordt een vaste laagdikte toegepast van 0,15 m. Gecontroleerd moet worden of de rekenwaarde van de stroomsnelheid door golfploop of golfoverslag ( $v_r$ ) kleiner is dan 6 m/s.

De maximale rekenwaarde van de stroomsnelheid door golfploop treedt op op Ontwerppeil en wordt als volgt berekend:

$$v_{r;\max} = 700 \cdot H_s / T_p \cdot (0,085 - H_s / L_{0p}) \cdot \tan \alpha$$

Waarin:

$v_{r;\max}$	: Maximale rekenwaarde van stroomsnelheid door golfploop [m/s]
$H_s$	: Significante golfhoogte op Ontwerppeil [m]
$T_p$	: Golfperiode op Ontwerppeil [s]
$L_{0p} (= 1,56 \cdot T_p^2)$	: Golflengte op Ontwerppeil [m]

Hoger op het talud is de stroomsnelheid kleiner. Als  $v_{r;\max} > 6$  m/s kan met het spreadsheet 'asfaltbekledingen' nagegaan worden vanaf welk niveau de stroomsnelheid voldoende klein is en open steenasfalt wèl toepasbaar is.

De controle op stroomsnelheid bij toepassing van OSA op kruin en binnenbeloop wordt eveneens uitgevoerd met het spreadsheet 'asfaltbekledingen'. Hierin zijn aparte formules opgenomen voor het bepalen van de stroomsnelheid op kruin en binnenbeloop.

## 1.6.4 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  $1,5D_{n50}$ . Binnen het Project Zeeweringen wordt uitgegaan van een steensortering van 10-60 kg en van een minimale laagdikte 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 ton/m<sup>3</sup> 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.

### **Alternatieve steensoorten**

In plaats van breuksteen kan ook andere steen gebruikt worden voor penetratie met gietasfalt, 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 Lessinische 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.

### **Afstrooien vol-en-zat (volledig) gepenetreerde breuksteen**

Als op grond van de Milieu-inventarisatie besloten is vol-en-zat gepenetreerde breuksteen af te strooien met lavasteen, 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.

## **1.6.5 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 formules van Pilarczyk, zie § 2.3. Deze formules is verwerkt in het spreadsheet 'breuksteen'. De daarbij gehanteerde parameterwaarden zijn weergegeven in tabel 3. Voor nadere uitleg wordt verwezen naar het Technisch Rapport Asfalt, 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<sup>3</sup> 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.

### **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 § 1.7.1.

## **1.6.6 Havendammen**

### **Dimensionering**

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

### **Ontluchtingskernen 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 ontluchtingskernen aangebracht om dit te voorkomen.

De ontluchtingskernen worden aangebracht in de kruin van de havendam met een h.o.h.-afstand van 25 m. De ontluchtingskernen 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.

## **1.6.7 Overlaging**

### **Dimensionering**

Een overlaging met asfalt wordt gedimensioneerd als een reguliere asfaltbekleding op een vrijgemaakte ondergrond. De benodigde bekleding is hetzelfde. Voor het ontwerp van een overlaging met losse breuksteen wordt verwezen naar § 1.7.3.

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

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.

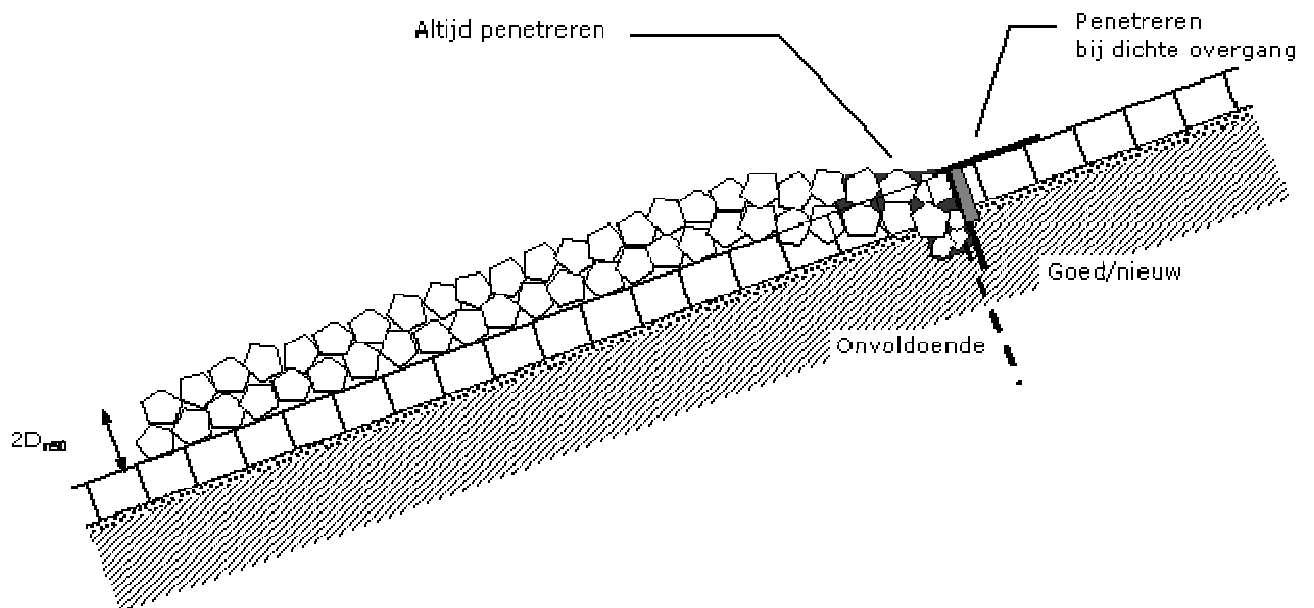
### Waterslot bij overlaging met vol-en-zat gepenetreerde breuksteen

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 afdicht 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 bovengrens

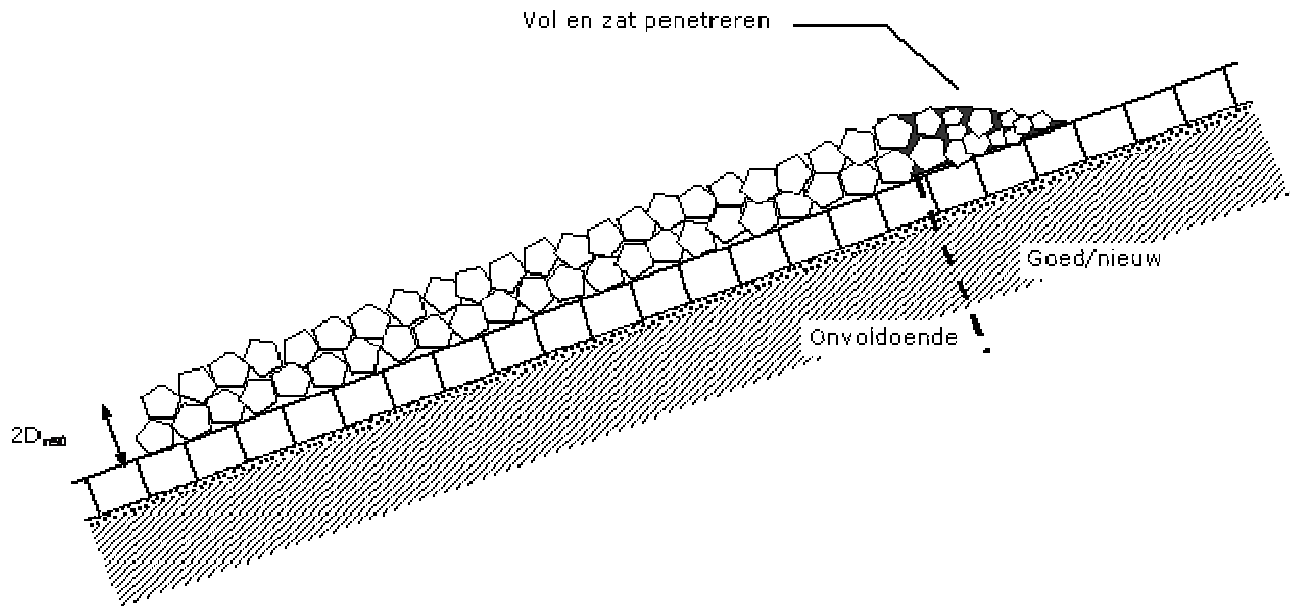
Afgezien van het waterslot is de beëindiging van een overlaging met vol-en-zat gepenetreerde, patroongepenetreerde of losse breuksteen aan de bovengrens identiek. In alle gevallen wordt de beëindiging vol-en-zat gepenetreerd met gietasfalt omdat ze zwaarder belast wordt dan de rest van de overlaging. De overlaging kan op 2 manieren beëindigd worden:

1. De overlaging wordt ingekast in de bestaande bekleding, doorgaans tegen een nieuwe overgangsconstructie waarboven een geheel nieuwe bekleding wordt aangebracht. De inkassing wordt vol-en-zat gepenetreerd met gietasfalt en afwaterend aangelegd om ophoping van veek te voorkomen (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. De wig wordt vol-en-zat gepenetreerd met gietasfalt en afwaterend aangelegd (zie figuur 3).



Figuur 2: Inkassing van overlaging in bestaande bekleding





Figuur 3: Beëindiging overlaging zonder inkassing in bestaande bekleding

### Beëindiging breuksteenoverlaging aan zijgrens

De beëindiging van een overlaging met gepenetreerde breuksteen aan de zijgrenzen wordt op dezelfde manier uitgevoerd als aan de bovengrens, behalve dat afwaterend aanleggen niet aan de orde is. Een overlaging met losse breuksteen kan op dezelfde manier beëindigd worden als aan de bovengrens of op de volgende manier:

3. 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).

### Beëindiging breuksteenoverlaging aan ondergrens (kreukelberm)

De beëindiging van een overlaging met gepenetreerde of losse breuksteen aan de ondergrens is identiek en 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.

## 1.7 Dimensionering losse breuksteenbekleding

### 1.7.1 Algemeen

#### Toepassingen

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

1. Kreukelberm;
2. Schorrandverdediging;
3. Bekleding op het talud;
4. Overlaging op het talud.

#### Steensorteringen

De steensorteringen die in aanmerking komen bij het ontwerp zijn 10-60 kg, 40-200 kg, 60-300 kg en 300-1.000 kg. De kentallen van deze en andere steensorteringen bij de standaarddichtheid van  $2.650 \text{ kg/m}^3$  zijn weergegeven in tabel 5.

#### 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 Lessinische 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. De  $M_{50}$  en de  $D_{n50}$  van de zetsteen en de breuksteen moeten 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.

#### Ontwerpwijze

Het ontwerp bestaat uit het bepalen van de steensortering en de laagdikte.

#### 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 'Kreukelberm2010' en 'breuksteen'. Een belangrijke parameter in deze formules is het schadegetal  $S$ , wat kan variëren tussen 2 en 10. 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  $2 \cdot D_{n50}$ .

**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.

**1.7.2 Kreukelberm****Achtergrond**

Omdat een kreukelberm meestal vlak of vrijwel vlak ligt wordt ze op een andere manier 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 'Kreukelberm2010'. Voor een goede vergelijking van de belasting bij verschillende waterstanden zijn de golftrandvoorwaarden aan de teen van de dijk nodig. Het sheet controleert daarom of de voor het uitvoerpunt (zie § 1.1.2) 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.

## Afmetingen

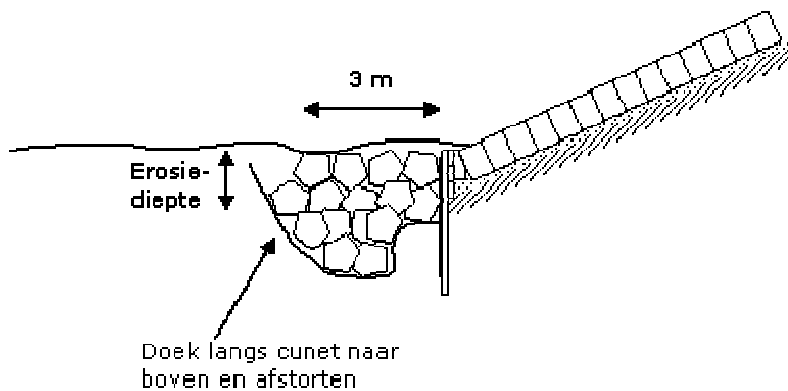
De benodigde afmetingen van de kreukelberm zijn weergegeven in tabel 7.

Tabel 7: Afmetingen kreukelberm

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

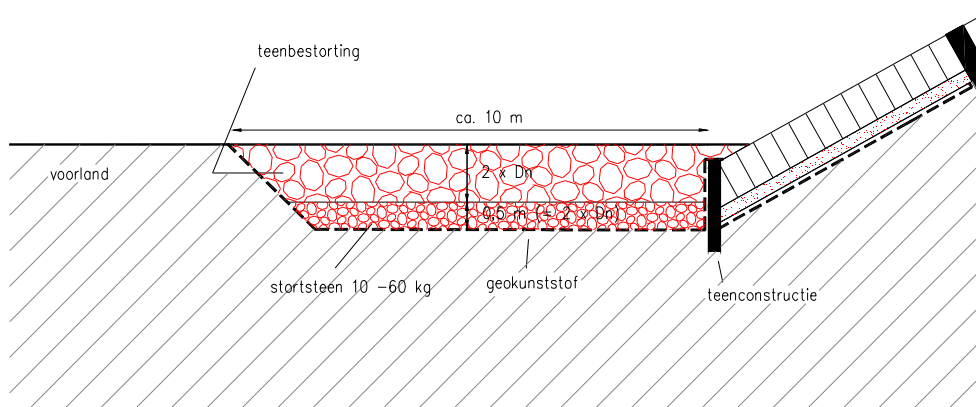
\*Bij een steendichtheid van  $2.650 \text{ kg/m}^3$

Om de ontgraving van het voorland en daarmee de ecologische schade te beperken kan in overleg met de beheerder ook een smallere, maar dikkere kreukelberm aangebracht worden. 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: Smallere en dikkere kreukelberm

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

### 1.7.3 Overige constructies

#### Achtergrond

Bij een bekleding of overlaging van losse breuksteen op een talud of en bij een schorrandverdediging van losse breuksteen treedt de maatgevende golfbelasting op bij een waterstand gelijk aan de bovengrens van de breuksteen. De steensortering wordt in alle gevallen berekend met de formules van Van der Meer, maar er worden verschillende schadegetallen gehanteerd, zie tabel 4. Verder wordt bij een overlaging de sterkte 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.

Op een havendam is dezelfde bekleding nodig is 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 bovengenoemde factor  $Y$ , maar wordt van de 2 factoren de maatgevende genomen.

#### Berekenen steensortering

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

1. Vul het gebied in en vink het van toepassing zijnde bekledingstype 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.

#### Laagdikte

De benodigde laagdikte is net als bij een kreukelberm gelijk aan  $2 \cdot D_{n50}$ , zie ook tabel 7.

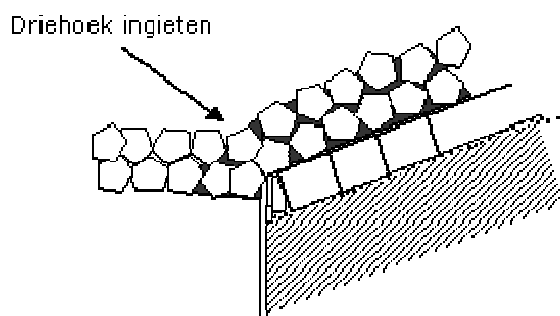
#### Beëindiging overlaging

De beëindiging van een overlaging van losse breuksteen aan de onder-, boven- en zijgrenzen is vrijwel identiek aan de beëindiging van een overlaging van gepenetreerde breuksteen. Hiervoor wordt verwezen naar § 1.6.7.

### 1.7.4 Ontwerpdetails

#### Overgang losse breuksteen op dichte bekleding

Bij de overgang van een (zeer open) bekleding van losse breuksteen op een dichte bekleding is de hydraulische belasting extra groot. Een voorbeeld hiervan is de aansluiting van een kreukelberm op een vol-en-zat gepenetreerde overlaging. Om de stabiliteit van de overgang te waarborgen dient de losse breuksteen direct tegen de overgang gepenetreerd te worden in de vorm van een driehoek, zodat de overgang minder abrupt wordt (zie figuur 6).



Figuur 6: Overgang losse breuksteen op dichte bekleding

## 1.8 Dimensionering kleibekleding (kleidijk)

### 1.8.1 Algemeen

#### Definitie en toepasbaarheid

Met een kleibekleding wordt een dijkbekleding van erosiebestendige klei bedoeld. Voor een nadere specificatie van erosiebestendige klei wordt verwezen naar het VTV2006, blz. 364-366.

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

1. Het voorland ligt boven GHW -0,50 m of er wordt een voorziening getroffen om de klei in den droge aan te kunnen brengen;
2. De significante golfhoogte  $H_s$  is kleiner dan 2 m;
3. Het voorland is gedurende de hele levensduur van de kleibekleding stabiel (er is voldoende veiligheid tegen zettingsvloeiing en afschuiving van het voorland).

#### Ontwerpwijze

Het ontwerp bestaat uit het controleren of een kleibekleding toepasbaar is en uit het berekenen van de benodigde dikte van de erosiebestendige kleilaag.

#### Dikte erosiebestendige kleilaag

De benodigde dikte van de kleilaag wordt bepaald door de verwachte erosie tijdens de maatgevende storm en door de structuurvorming tijdens de levensduur van de kleilaag.

De erosie tijdens de storm wordt bepaald door de golfhoogte en de belastingduur. De erosie 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.

In de loop van de tijd zal de erosiebestendigheid van de kleilaag aan de bovenzijde afnemen door structuurvorming (uiteenvallen door organische en biologische processen). Het verlies aan erosiesterkte wordt aangenomen op 0,01 m/jaar, zodat bij een levensduur van 50 jaar een overdikte van 0,50 m nodig is.

In totaal wordt dus minimaal 1,5 m erosiebestendige klei aangebracht.

#### Belastingduur

De belastingduur is afhankelijk van de taludhelling, de golfrandvoorwaarden en het verloop van de waterstand. Als de maximale windopzet verschoven is ten opzichte van het maximale (spring)hoogwater leidt dit tot een ander verloop van de waterstand en vaak tot een grotere belastingduur. Bij een kleibekleding is dit vaak maatgevend. Om de maatgevende belasting te bepalen worden daarom de volgende 4 situaties beschouwd:

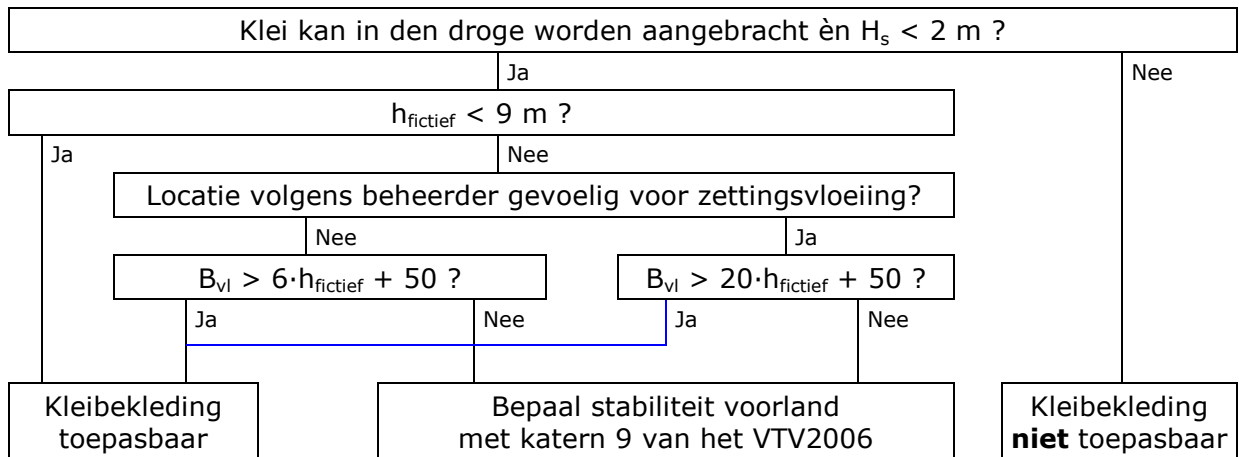
1. Storm begint op laag water bij gemiddeld tij;
2. Storm begint op laag water bij springtij;
3. Storm begint op hoog water bij springtij;
4. Storm begint op hoog water bij gemiddeld tij.

## 1.8.2 Dimensionering

### Controle toepasbaarheid

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 3: Toepasbaarheid kleibekleding



Waarin:

$h_{\text{fictief}}$  : Fictieve gueldiepte (zie VTV2006, blz. 382-385) [m]

$B_{\text{vl}}$  : Breedte voorland [m]

### Berekenen laagdikte

De benodigde laagdikte wordt berekend met het spreadsheet 'klei':

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.

### 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.

## 1.9 Toetsing grasbekleding

### 1.9.1 Algemeen

#### Definitie

Met een grasbekleding wordt hier een dijkbekleding bedoeld van gras met een goede zodekwaliteit (categorie A) op klei die matig of goed erosiebestendig is (categorie c1 of c2). Voor nadere specificatie wordt verwezen naar het VTV2006, blz. 358-366.

#### Relevantie voor Project Zeeweringen

Grasbekledingen vallen niet binnen de scope van het Project Zeeweringen en worden niet gedimensioneerd. In sommige gevallen moet echter nagegaan ('getoetst') worden vanaf welk niveau of vanaf welke dijkpaal volstaan kan worden met een grasbekleding, omdat tot daar een steenbekleding moet worden aangebracht.

#### Toetswijze

De toetsing controleert of de optredende belastingduur kleiner is dan de toelaatbare belastingduur. Voor nadere uitleg wordt verwezen naar het VTV2006, blz. 333-357.

#### Maatgevende belastingen

De maatgevende belastingen zijn golfklappen in de golfklapzone en 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. Tabel 8 geeft een ruwe indicatie van de optredende belastingduren langs de Noordzee, Westerschelde en Oosterschelde.

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.

*Tabel 8: Indicatie optredende belastingduren Noordzee, Westerschelde en Oosterschelde*

	Golfklapzone	Golfoploopzone
Noordzee en Westerschelde	Ca. 5 uur	Aflopnd van 10 à 20 uur tot 0 uur
Oosterschelde	Ca. 25 uur	Aflopnd van ca. 25 uur tot 0 uur



## 1.9.2 Toetsing

### Algemeen

De volledige toetsing kan uitgevoerd worden met het programma Grastoets. In deze paragraaf worden alleen de toelaatbare belastingduren gegeven voor een aantal specifieke situaties. Dit geeft een indicatie of een grasbekleding wel of niet toepasbaar is, c.q. of de steenbekleding wel of niet beëindigd kan worden.

### Toelaatbare belastingduur in golfklapzone

De toelaatbare belastingduur in de golfklapzone wordt bepaald door de golfhoogte en de taludhelling.

In onderstaande tabel is voor een aantal cases de toelaatbare belastingduur weergegeven om het toetsoordeel 'goed' te krijgen. De toelaatbare belastingduur voor het toetsoordeel 'voldoende' is 1,5 maal groter. De belastingduren in de tabel zijn alleen geldig voor een goede grasbekleding (zie definitie hierboven).

Tabel 9: Toelaatbare belastingduur in de golfklapzone bij een goede grasbekleding

tand [-]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>p</sub> [s]	4H <sub>r</sub> ·tand [m]	t <sub>k,'goed'</sub> [uur]
1:3	0,5	3,0	0,69	10,1
	1,0	4,0	1,33	Geavanceerd*
1:4	0,5	3,0	0,51	17,2
	1,0	4,0	1,00	5,0
1:5	0,5	3,0	0,41	26,1
	1,0	4,0	0,80	7,6

\* Grasbekleding niet of moeilijk toepasbaar

Waarin:

H<sub>r</sub> : Rekenwaarde van de golfhoogte (zie VTV2006, blz. 348) [m]

t<sub>k,'goed'</sub> : Toelaatbare belastingduur in golfklapzone voor toetsoordeel 'goed' [uur]

### Toelaatbare belastingduur in golfoploopzone

De toelaatbare belastingduur in de golfoploopzone wordt bepaald door de golfoploopsnelheid. Deze is o.a. afhankelijk van de taludhelling. Bij een berm moet uitgegaan worden van de taludhelling boven die berm.

Onderstaande tabel geeft voor een aantal cases de toelaatbare belastingduur juist boven Ontwerppeil weer om het toetsoordeel 'goed' te krijgen. Op een hoger niveau is een grotere belastingduur toelaatbaar omdat daar de belasting afneemt.

De toelaatbare belastingduren voor het toetsoordeel 'voldoende' zijn 1,5 maal groter. De belastingduren in de tabel gelden alleen voor een goede grasbekleding (zie definitie hierboven).

*Tabel 10: Toelaatbare belastingduur in de golfploopzone, juist boven Ontwerppeil, bij een goede grasbekleding*

$\tan\alpha$ [-]	$H_s$ [m]	$T_p$ [s]	$v_{r,max}$ [m/s]	$t_{s,'goed'}$ [uur]
1:3	0,5	3,0	1,9	60,3
	1,0	4,0	2,6	14,2
	1,5	5,0	3,3	5,2
1:4	1,0	4,0	2,0	54,2
	1,5	5,0	2,4	19,7
	2,0	6,0	2,9	9,2
1:5	2,0	6,0	2,3	25,9
	2,5	7,0	2,6	14,4
	3,0	8,0	2,9	9,1

Waarin:

$v_{r,max}$  : Rekenwaarde van de maximale oploopsnelheid (zie VTV2006, blz. 353) [m/s]

$t_{s,'goed'}$  : Toelaatbare belastingduur in golfploopzone, juist boven Ontwerppeil, voor toetsoordeel 'goed' [uur]

## **2. Afkortingen, symbolen en formules**

### **2.1 Afkortingen**

GHW	: Gemiddeld Hoog Water
GLW	: Gemiddeld Laag Water
HR2006	: Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen voor toetsronde 2006-2011
OP	: Ontwerppeil
OSA	: Open steenasfalt
TR	: Technisch Rapport
VTV2006	: Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor toetsronde 2006-2011
WAB	: Waterbouwasfaltbeton

## 2.2 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]
$H_r$	: Rekenwaarde van de golfhoogte [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]
$L_{0p}$	: Golfengte 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 [s]
$T_p$	: Golfperiode bij de piek van het golfspectrum [s]
$t_{k;'goed'}$	: Toelaatbare belastingduur in golfklapzone voor toetsoordeel 'goed' [uur]
$t_{s;'goed'}$	: Toelaatbare belastingduur in golfoploopzone, juist boven Ontwerppeil, voor toetsoordeel 'goed' [uur]
$u_{tr}$	: Maximale tonrondte-uitwijking (loodrecht op het talud) [m]
$V_{ink}$	: Volume van inkeping Haringmanblok [m <sup>3</sup> ]
$v_r$	: Rekenwaarde van de stroomsnelheid door golfoploop [m]
$v_{r,max}$	: Rekenwaarde van de maximale stroomsnelheid door golfoploop [m/s]
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 <sup>a</sup> ·s <sup>b</sup> ]
$Z_{2\%}$	: golfoploop die door 2% van de golven overschreden wordt [m]

---

$\alpha$	: (Gemiddelde) taludhelling [°]
$\Delta$	: Relatieve dichtheid toplaag [-]
$\Delta_f$	: Relatieve dichtheid filterlaag [-]
$\Delta_{ond}$	: Relatieve dichtheid onderlaag [-]
$\Delta_s$	: Relatieve dichtheid steen [-]
$\Delta_f b_f$	: Oprijfgewicht filterlaag [mwk]
$\Delta D$	: Oprijfgewicht toplaag [mwk]
$\Delta D_{n50}$	: Oprijfgewicht van de mediane steen in een monster of sortering [mwk]
$\xi_{cr}$	: Kritische brekerparameter bij formules van Van der Meer [-]
$\xi_m$	: Brekerparameter op basis van $T_m$ [-]
$\xi_{0p}$	: Brekerparameter op basis van $T_p$ [-]
$\rho_{Har}$	: Fictieve dichtheid Haringmanblokken [ $\text{kg/m}^3$ ]
$\rho_s$	: Dichtheid steenbekleding of breuksteen [ $\text{kg/m}^3$ ]
$\rho_w$	: Dichtheid zeewater [ $\text{kg/m}^3$ ]
$\sigma_{Dn50}$	: Standaardafwijking van de $D_{n50}$ (nominale mediane steendiameter) [m]
$\Phi_{sw}$	: Empirische parameter voor patroonpenetratie [-]
$\Psi_u$	: Empirische parameter voor patroonpenetratie [-]
$\Omega$	: Open ruimte steenzetting [%]

## 2.3 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 § 2.2. 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 gepenetreerde 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)

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

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

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

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

## **3. Literatuur**

### **3.1 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.: Gebruikershandleiding Steentoets2008 (Deltares, Delft, 2009)
4. Rest, P. van de: Memo Nieuwe belastingfuncties steenbekledingen (Svasek Hydraulics, Rotterdam, 2010)
5. Technisch Rapport Asfalt (TAW, Delft, 2002)
6. Technisch Rapport Steenzettingen (TAW, Delft, 2003)
7. The Rock Manual (CIRIA, CUR & CETMEF, London, 2007)
8. Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV2006) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, 2007)

### **3.2 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 ontwerpmethodiek kreukelberm Projectbureau Zeeweringen (PZDT-M-10189 ken)