

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat
Waterdienst



Documentatie STEENTOETS2008

Onderzoeksprogramma
Kennisleemtes Steenbekledingen

januari 2009

H4846

Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Rijkswaterstaat

Deltares

Enabling Delta Life



Delft Hydraulics

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Waterdienst

Documentatie STEENTOETS2008

Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen

ir M. Klein Breteler

rapport

januari 2009

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat, Waterdienst
Titel	Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen Documentatie STEENTOETS2008

Samenvatting

Ingevolge de Wet op de Waterkering dienen steenzettingen op waterkeringen vijfjaarlijks getoetst te worden. In de praktijk kan aan veel steenzettingen geen definitief toetsoordeel toegekend worden wegens een gebrek aan wetenschappelijke kennis.

In 2003 is daarom door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen opgestart. Doel van dit programma is het reduceren van deze kennisleemtes teneinde te komen tot scherpere toetsregels en daarmee sneller en vaker tot definitieve toetsresultaten. In het kader van dit onderzoeksprogramma heeft het voorliggende verslag betrekking op het deelonderzoek A1.1: "ontwikkelen praktisch rekenmodel".

Het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen heeft tot nu toe veel nieuwe kennis opgeleverd. Een van de manieren om deze kennis beschikbaar te stellen aan gebruikers is door middel van een gebruiksvriendelijk computerprogramma waarmee steenzettingen getoetst en ontworpen kunnen worden.

In het onderhavige verslag is gedetailleerd uitgewerkt welke formules in het programma zijn opgenomen en is een korte uitleg gegeven over de structuur van het programma.

Bij aanvang van dit project werd nog de werknaam ANAMOS+ gehanteerd voor het programma.

Referenties		Oorspronkelijk opgedragen door DWW, later begeleid door Waterdienst Contract DWW- 2913, SAP 4500051874 Projectleider DWW: B.G.H.M. Wichman Projectleider Waterdienst: A.L.T.C.M. Bizzarri					
Ver	Auteur	Datum	Opmerk.	Review	Goedkeuring		
0	M. Klein Breteler	29-9-'06		J. Kramer	W.M.K. Tilmans		
1	M. Klein Breteler	15-12-'06		T.P. Stoutjesdijk GD	W.M.K. Tilmans		
2	M. Klein Breteler	26-3-'07		T.P. Stoutjesdijk GD	W.M.K. Tilmans		
3	M. Klein Breteler	24-5-'07		T.P. Stoutjesdijk GD	W.M.K. Tilmans		
4	M. Klein Breteler	3-7-'08		B. Hofland	M.R.A. van Gent		
5	M. Klein Breteler	15-11-'08		R. 't Hart	M.R.A. van Gent		
6	M. Klein Breteler	9-1-'09		R. 't Hart	M.R.A. van Gent		
Projectnummer		H4846					
Trefwoorden		steenzettingen, toetsing, ontwerp					
Aantal bladzijden		160					
Classificatie		Geen					
Status		Definitief					

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Werkbladen en menu.....	3
3	Structuur van rekenhart.....	7
4	A: Bepaling algemene kenmerken van constructie en belasting	9
4.1	Vaststellen welke regels bij elkaar horen in één dwarsprofiel	9
4.2	Enkele controles op de invoer en ontbrekende gegevens aanvullen uit de lijst default waarden	10
4.3	Uit de coördinaten van het dwarsprofiel de taludhellingen per segment bepalen	13
4.4	Per regel vaststellen of er een toetsing moet worden uitgevoerd.	14
4.5	Vaststellen of het een onderbeloop, berm, bovenbeloop, kruin of binnentalud is.....	15
4.6	Bepaling type steenzetting en ingieting.....	15
4.7	Spleetbreedte berekenen en open oppervlak.....	17
4.8	Leklengte.....	18
4.8.1	Granulair materiaal.....	18
4.8.2	Geotextiel onder de zetting en onder het filter	19
4.8.3	Doorlatendheid toplaag.....	20
4.8.4	Leklengte	22
4.9	Hydraulische randvoorwaarden	23
4.10	Golfploophoogte bij toetspeil	25
4.11	Dijk of havendam.....	27
5	B: Toetsing van de stabiliteit van de toplaag op een dijk.....	29
5.1	Algemene rekenmodule voor de toplaagstabiliteit op een dijk.....	29

5.2	Berekening golfcondities bij de betreffende waterstand	32
5.3	Fictieve taludhelling	33
5.4	Beoordeling of de steenzetting wel belast wordt	34
5.5	Bepaling bermfactor, bovenbeloopfactor en of de toplaag onvoldoende mag worden	36
5.6	Invloed van scheve golfaanval	37
5.7	Belastingduur als functie van de locatie op de te toetsen steenzetting.....	38
	Oosterschelde en rivierengebied.....	38
	Overige gebieden.....	39
5.8	Invloedsfactoren voor de belastingduur	43
5.9	Maatgevend stijghoogteverloop op de toplaag.....	44
5.9.1	Golfklap van type 1	44
5.9.2	Golfklap van type 2.....	47
5.9.3	Hoog en steil stijghoogtefront.....	49
5.9.4	Karakteristieke punten in het stijghoogteverloop.....	51
5.9.5	Plaatsing punten tussen de overgangsconstructies	53
5.10	Stijghoogteverschil over de toplaag.....	60
5.11	Stabiliteit van los blok	65
5.12	Reststerkte van de toplaag en de kleilaag t.b.v. het beoordelen of klemming meegeteld mag worden.....	69
5.13	Klemming.....	70
5.13.1	Extreme momenten en dwarskrachten als $R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \geq 0$	73
5.13.2	Extreme momenten en dwarskrachten als $R_2 + R_3 + R_4 + R_5 < 0$	74
5.13.3	Belasting.....	76
5.13.4	Aanwezige normaalkracht (sterkte).....	77
5.13.5	Toetsing	82
5.14	Stabiliteit van ingegoten steenzettingen.....	83

5.15	Black box voor overige type steenzettingen	84
5.15.1	Type 1: Toetsing van steenzetting op geotextiel op zand of klei	85
5.15.2	Type 2: Toetsing van steenzetting op goede klei	85
5.15.3	Type 4: Toetsing van geschakelde blokken op geotextiel op zand of klei.....	86
5.15.4	Type 5: Toetsing van geschakelde blokken op goede klei	86
5.15.5	Type 7: Noorse steen	87
5.15.6	Type 8: Doorgroeistenen.....	88
5.15.7	Type 9: blokken op een kant met slecht functionerende afstandhouders.....	88
6	C: Toetsing van stabiliteit van de toplaag op een havendam.....	89
6.1	Buitentalud van een havendam	90
6.2	Kruin en binnentalud van een havendam	90
7	D: Toetsing van de overige bezwijk-mechanismen	95
7.1	Toetsing op langsstroming.....	95
7.2	Materiaaltransport vanuit de ondergrond	95
7.2.1	Eenvoudige toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond	96
7.2.2	Gedetailleerde toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond	97
7.3	Materiaaltransport vanuit de granulaire laag	101
7.4	Toetsing op afschuiving.....	102
7.4.1	Oude methode uit VTV2006	102
7.4.2	Nieuwe methode.....	102
7.5	Reststerkte	106
7.6	Overgangsconstructie.....	107
8	Eindscore	109
9	Overige functies	111

9.1	Itereer Hs.....	111
9.2	Itereer D.....	112
9.3	Itereer Rho.....	112
10	Referenties.....	113
A	Globaal stroomschema module A: algemeen	
B	Globaal stroomschema module B: dijken	
C	Globaal stroomschema module C: havendammen	
D	Globaal stroomschema module D: overige bezwijkmechanismen	
E	Belangrijkste subroutines en functies	
F	Testprocedure	
G	Waterstandsverloop en belastingduur op Oosterschelde	
	Standaard sluiting (HR2006)	
	Noodsluiting	
	Niet-sluiting	
	Waterstanden en belaste zone	
	Hydraulische belastingen	
H	Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen	

Symbolenlijst

verslag	in code	omschrijving
A_g	gatgrootte1_ti of 2 of 3	Gatoppervlak (m^2)
A_{ro}	Aro	Open oppervlak (m^2)
A_{ij}	A_{ij_t}	Coëfficiënt voor het berekenen van het stijghoogteverschil tussen punt i en punt j (m)
a_f	af1_t of 2	Lineaire weerstandsterm van filter (s/m)
a_{ftop}	aftop1_t of 2	Lineaire weerstandsterm van filter bij de openingen in de toplaag (s/m)
a_i	ai1_t of 2	Lineaire weerstandsterm van inwasmateriaal (s/m)
a'	atop_t	Lineaire weerstandsterm van toplaag (s/m)
a'_{gat}	atop_gat_t	Lineaire weerstandsterm van gat in toplaag (s/m)
$[a_g T_g]_1$	AgTg1_t	Weerstandsterm van geotextiel tussen toplaag en filter (s)
$[a_g T_g]_2$	AgTg2_t	Weerstandsterm van geotextiel tussen filter en ondergrond (s)
a_g		Lineaire weerstandsterm van geotextiel (s/m)
a_1, a_2, \dots	a1_klemming_t ...	belastingparameters bij het berekenen van klemming (m)
a_{zwM}	a_zwM_kleimring	Ligging van het zwaartepunt van het momentenvlak (m)
b_f	bf1_t of 2	Kwadratische weerstandsterm van filter (s^2/m^2)
b_{ftop}	bftop1_t of 2	Kwadratische weerstandsterm van filter bij de openingen in de toplaag (s^2/m^2)
b_i	bi1_t of 2	Kwadratische weerstandsterm van inwasmateriaal (s^2/m^2)
b'	btop_t	Kwadratische weerstandsterm van toplaag (s^2/m^2)
b'_{gat}	btop_gat_t	Kwadratische weerstandsterm van gat in toplaag (s^2/m^2)
b_1	b1_ti	Dikte bovenste filterlaag (m)
b_2	b2_ti	Dikte tweede filterlaag (m)
b_{klei}	bklei_ti	Dikte van kleilaag (m)
b_{kleio}	bklei_o_ti	Overdikte van kleilaag (m)

verslag	in code	omschrijving
B	Bblok_ti	Breedte van blok (m)
B _{berm}	Bberm_t	Breedte van de berm (m)
B _{bermtot}	Bbermtot_t	Breedte van alle berm segmenten tussen segment i en j tijdens de bepaling van de fictieve taludhelling (m)
B _g	B_g_t	Gatgrootte in de top laag (breedte van het gat, haaks op de dijkas, langs het talud gemeten) (m)
B _{klap50%}	B_klap_t	Breedte van de golfklap (langs het talud gemeten) (m)
B _{trog20%}	B_trog20_t	Breedte van de trog tussen de golfklap en de restanten van het golf front, gemeten op 20% van de fronthoogte (m)
B _{kruin}	Bkruin_t	Breedte van de kruin (m)
B _{segm}	Bsegment_ti	Breedte van het dwarsprofiel segment (m)
B _o	B_ondermijning	Diameter van de ondermijning van de top laag bij falen = 3 m
B _{ij}	B(ij)	Coëfficiënt voor het berekenen van het stijghoogteverschil tussen punt i en punt j (m)
[b _g T _g] ₁	BgTg1_t	Weerstandsterm van geotextiel tussen top laag en filter (s ² /m)
[b _g T _g] ₂	BgTg2_t	Weerstandsterm van geotextiel tussen filter en ondergrond (s ² /m)
b _g		Kwadratische weerstandsterm van geotextiel (s ² /m ²)
c ₁ en c ₂	c_1_t en c_2_t	Coëfficiënt voor het berekenen van de stijghoogte op de top laag tijdens de golfklappen van het type 2 (-) en (m)
c	c_filter_t	Constante bij het filter (m ^{-0,77})
c _{macht}	c_macht	Macht in formule voor f ₄ (klemming) (-)
c _{gradiënt}	c_gradiënt	Gradiënt in formule voor f ₄ (klemming) (-)
c _d	c_d_t	Relatieve diepte van de bovenste overgangsconstructie ten opzichte van de voet van het stijghoogtefront (-)
c _k	c_k_klemming	Stijfheidsgetal van de rotatieveer in de geklemde ligger (Nm/m ¹)
c _L	c_L_klemming	Stijfheidsgetal van de geklemde ligger (Nm/m ¹)

verslag	in code	omschrijving
C_m	c_m_t	Macht bij het filter (-)
C_{geo}	c_geo_t	Coëfficiënt (-)
C_{berm}	Cberm_t	Invloedsfactor voor toetsing zetting op de berm (-)
$C_{bovenbeloop}$	C_bovenbeloop_t	Parameter die normaal 1 is, maar 1,25 wordt als de bekleding boven de waterlijn ligt (-)
C_{diep}	C_diep_t	Invloedsfactor voor diep gelegen steenzettingen (-)
C_{onv}	C_onv_t	Parameter die bepaalt of er een onvoldoende als toetsresultaat van de toplaagstabiliteit mogelijk is (-)
C_{ij}	C(ij)	Coëfficiënt voor het berekenen van het stijghoogteverschil tussen punt i en punt j (-)
d_B	d_berm_t	Bermdiepte ($h - h_{berm}$) (m)
d_r	d_oneffen_ti	Hoogte van oneffenheden in het zettingoppervlak van een havendam (m)
d_l	d_l_t	Laagdikte op het talud ter plaatse van de golfklap (m)
D	D_ti	Dikte toplaag (m)
D	D_t	Dikte van de toplaag inclusief de veiligheidsfactoren (m)
D_{bekl}	D_bekl	totale dikte van bekledingsmateriaal op het zand (m)
D_{rf}	D_rf	rekendikte van de toplaag m.b.t. het front (m)
$D_{ingieting}$	D_ingieting_ti	Diepte tot waar het gietasfalt tussen de stenen zit (m)
D_{to}	D_to_t	Anderhalf maal dikkere toplaag ten behoeve van beoordeling ten opzichte van de grens tussen twijfelachtig en onvoldoende (m)
D_{b15}	D15zand_ti	Korrelgrootte van zand dat door 15% op basis van gewicht wordt overschreden (m)
D_{b50}	D50zand_ti	korrelgrootte van zand dat door 50% op basis van gewicht wordt overschreden (m)
D_{b90}	D90zand_ti	Korrelgrootte van zand dat door 90% op basis van gewicht wordt overschreden (m)
D_{f15}	D15f_t	Korrelgrootte van filter of inwasmateriaal dat door 15% op basis van gewicht wordt overschreden (m)

verslag	in code	omschrijving
D_{fl51}	D15f1_ti	D_{fl5} bovenste filterlaag (m)
D_{fl52}	D15f2_ti	D_{fl5} tweede filterlaag (m)
D_{f50}	D50f1_ti	Korrelgrootte van filter dat door 50% op basis van gewicht wordt onderschreden (m)
D_{gt}	D_gt_t	Benodigde toplaagdikte om nog net een goed toetsresultaat te krijgen (m)
D_{i15}	D15inwas_ti	D_{fl5} inwasmateriaal (m)
D_{over}	D_over_t	Dikte-overschot van de toplaag ten opzichte van de dikte die nog net een goed toetsresultaat oplevert ($D_{gt} - D$) (m)
$e_{R,op}$	e_filter_op_t	Parameter voor geotextiel bij opwaartse stroming (-)
$e_{R,neer}$	e_filter_neer_t	Parameter voor geotextiel bij neerwaartse stroming (-)
E_{VGD}	E_VGD_ti	Elasticiteitsmodulus van de ingegoten toplaag (GPa) (let op: wordt in formule in GPa gebruikt)
E	E_klemming	Elasticiteitsmodulus van de geklemde ligger (Pa)
F_N		Stabiliteitsparameter van ingegoten steenzettingen bij een belastingduur van N golven (-)
$f_{havendam}$	f_havendam_t	Factor waarmee de toplaagdikte wordt vermenigvuldigd tbv diepe buitentaluds op havendammen (-)
f_b	f_b	Wrijvingscoëfficiënt tussen de stenen (-)
f_B		Invloedsfactor ten aanzien van de belasting in verband met de belastingduur (-)
f_{basalt}	f_basalt_t	Invloedsfactor voor basalt dat nog niet op eindsterkte is (alleen toplaagtype 26) (-)
f_{damBB}	f_damBB_t	Invloedsfactor voor havendammen met een steenzetting die getoetst moeten worden met het black box model omdat er geen filterlaag is of omdat de toplaag is ingegoten (-)
f_1, f_2, \dots	fl_klemming	Factor bij het berekenen van klemming (-)
f_{4M}	f_4m	Coëfficiënt m.b.t. opbouw van normaalkracht, ten aanzien van moment (-)
f_{4V}	f_4v	Coëfficiënt m.b.t. opbouw van normaalkracht, ten aanzien van dwarskracht (-)

verslag	in code	omschrijving
f_{gt}	f_{gt}	Waarde van $H_s/\Delta D$ op de ondergrens van twijfelachtige gebied, gedeeld door de actuele waarde van $H_s/\Delta D$ (-)
$f_{g/t}$	$f_{g_t_eenvoudig_t}$	Waarde van $H_s/\Delta D$ op de ondergrens van twijfelachtige gebied, gedeeld door de actuele waarde van $H_s/\Delta D$ (-)
$f_{g/t,toets}$	$f_{g_t_toets_eenvoudig_t}$	Waarde van $H_s/\Delta D$ op de ondergrens van twijfelachtige gebied, gedeeld door de actuele waarde van $H_s/\Delta D$ op het toetspeil (-)
f_{gtmin}	$f_{g_t_min_eenvoudig_t}$	Minimale waarde van $H_s/\Delta D$ op de ondergrens van twijfelachtige gebied, gedeeld door de actuele waarde van $H_s/\Delta D$ (-)
f_{gtm}	f_{gtm_t}	Verhouding tussen toelaatbare belasting voor een goed toetsresultaat en optredende belasting tijdens een golf gelijk aan de significante golfhoogte (-)
f_{gtlos}	f_{gtlos_t}	Verhouding tussen toelaatbare belasting voor een goed toetsresultaat en optredende belasting voor een los blok (-)
$f_{S,front}$	f_{Sfront}	invloedsfactor t.a.v. de sterkte in verband met de belastingduur bij een belasting door stijghoogtefronten (-)
$f_{S,klap}$	f_{Sklap}	invloedsfactor t.a.v. de sterkte in verband met de belastingduur bij een belasting door golfklappen (-)
$f_{t/o}$	$f_{t_o_eenvoudig_t}$	waarde van $H_s/\Delta D$ op de bovengrens van twijfelachtige gebied, gedeeld door de actuele waarde van $H_s/\Delta D$ (-)
f_{β}	f_{beta_t}	Invloedsfactor voor scheve golfaanval (-)
f_{lang}	f_{lang}	Invloedsfactor voor lange golven (alleen relevant voor geklemde steenzettingen) (-)
g	9,8	versnelling van de zwaartekracht ($9,8 \text{ m/s}^2$)
G	opening _{ti}	karakteristieke diameter van gaten in de toplaag (tussen de stenen) (m)
h	h_{MWS_t}	maatgevende waterstand t.o.v. NAP (m)
h_{MWS}	h_{MWS_t}	maatgevende waterstand t.o.v. NAP (m)

verslag	in code	omschrijving
h_c	hc_t	$h_{kr} - h$
h_{kr}	hkr_t	Kruinhoogte t.o.v. NAP (m)
h_{golven}	h_golven1_tgi of 2 of 3 of 4	Waterstand waarbij golfcondities zijn gegeven in de golventabel (er zijn er 4)
h_{geo}		Verval over het geotextiel tijdens een doorlatendheidsmeting (m)
h_L	h_L_t	Laagste waterstand die nog een belasting geeft (m)
h_H	h_H_t	Hoogste waterstand die nog een belasting geeft (m)
h_{GHW}	h_GHW_ti	gemiddelde hoogwater ten opzichte van NAP (m)
h_{toets}	h_toets_tgi	toetspeil t.o.v. NAP (m)
h_w	h_diepte_t	Waterdiepte bij de teen van de dijk (m)
H_s	Hs_t	significante golfhoogte bij de teen van de dijk op MWS (m)
H_{smin}	Hsmin_tgi	Minimale golfhoogte (m)
H_{s1}	Hs1_t of 2 of 3 of 4	significante golfhoogte bij de teen van de dijk op $h = h_{golven1_tgi}$ (m)
H_{stoets}	Hs_toets	significante golfhoogte bij de teen van de dijk op toetspeil (m)
$H_{s/\Delta D}$	Hs_over_DeltaD_t	$C_{berm} \cdot H_s / (\Delta DC_{bovenbeloop})$
$H_{s/\Delta D, onder}$	Hs_over_DeltaD_o_t	Ondergrens in het Black box model (-)
$H_{s/\Delta D, boven}$	Hs_over_DeltaD_b_t	Bovengrens in het Black box model (-)
$H_{s/\Delta D; g/t; \Lambda=0,4}$	Hs_over_DeltaD_gt_0,4_t	$H_s/\Delta D$ op de g/t grens bij $\Lambda = 0,4$ m (-)
$H_{s/\Delta D; g/t; \Lambda=1}$	Hs_over_DeltaD_gt_1_t	$H_s/\Delta D$ op de g/t grens bij $\Lambda = 1$ m (-)
$H_{s/\Delta D; t/o; \Lambda=0,4}$	Hs_over_DeltaD_to_0,4_t	$H_s/\Delta D$ op de t/o grens bij $\Lambda = 0,4$ m (-)
$H_{s/\Delta D; t/o; \Lambda=1}$	Hs_over_DeltaD_to_1_t	$H_s/\Delta D$ op de t/o grens bij $\Lambda = 1$ m (-)
$H_{s/\Delta D; g/t}$	Hs_over_DeltaD_gt_t	$H_s/\Delta D$ op de g/t grens bij havendam (-)
$H_{s/\Delta D; t/o}$	Hs_over_DeltaD_to_t	$H_s/\Delta D$ op de t/o grens bij havendam (-)
i of j	i of j	Nummer van karakteristieke locatie (-)
i...,0	i..._0_t	Nummer van locatie waar maximum stijghoogteverschil optreedt (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)

verslag	in code	omschrijving
$i_{\dots,-1}$	$i_{\dots_min1_t}$	Nummer van locatie zeewaarts van het punt waar maximum stijghoogteverschil optreedt (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)
$i_{\dots,-2}$	$i_{\dots_min2_t}$	Nummer van locatie zeewaarts van het punt $i_{\dots,-1}$ (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)
$i_{\dots,+1}$	$i_{\dots_plus1_t}$	Nummer van locatie landwaarts van het punt waar maximum stijghoogteverschil optreedt (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)
$i_{\dots min}$	$i_{\dots_min_t}$	Nummer van locatie landwaarts van het punt waar minimum stijghoogteverschil optreedt (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)
i_{\perp}	$i_{_haaks_t}$	verhang haaks op het grensvlak (-)
i_{HF}	$i_{_HF_t}$	maximale opwaartse gradiënt in het hoge front (-)
i_{neer}	$i_{_neer_t}$	maximale neerwaartse gradiënt (-)
i_{op}	$i_{_op_t}$	maximale opwaartse gradiënt (-)
$i_{cr, op}$	icr_{op_t}	kritiek opwaartse verhang in het filter met zand ondergrond (-)
$i_{cr, neer}$	icr_{neer_t}	kritiek neerwaartse verhang in het filter met zand ondergrond (-)
$i_{op, geo}$	$igeo_{op_t}$	kritiek opwaartse verhang (-)
$i_{neer, geo}$	$igeo_{neer_t}$	kritiek neerwaartse verhang (-)
$i_{cr, klei}$	$iklei_t$	Kritiek verhang ten aanzien van het uitspoelen van klei door een geotextiel (-)
i_{SF}	$i_{_SF_t}$	maximale opwaartse gradiënt in het steile front (-)
I	$I_{_klemming}$	traagheidsmoment van de geklemde ligger (m^4)
k	$kf1_t$ of $kf2_t$	doorlatendheid van filter (m/s)
k'	k_{top_t}	gelineariseerde doorlatendheid van toplaag (m/s)
$k'^2_{stootvoegen}$	$k_{top_stoot_t}$	gelineariseerde doorlatendheid van de stootvoegen van toplaag (m/s)
$k'^2_{langsvoegen}$	$k_{top_langs_t}$	gelineariseerde doorlatendheid van de langsvoegen van toplaag (m/s)
k_g	$k_{_g_t}$	doorlatendheid van het geotextiel (m/s)
k'^2_{gat}	$k_{top_gat1_t}$ of 2 of 3	gelineariseerde doorlatendheid van een gat in toplaag (m/s)

verslag	in code	omschrijving
k_z	kz_klemming	indrukingsstijfheid van een 1 m breder strook van de bedding (N/m^2)
K_{toe}	K_toe_t	bijdrage van toestroming (m)
K_{tr}	K_tr_t	bijdrage van traagheid (m)
K_{wr}	K_wr_t	bijdrage van wrijving (m)
L	Lblok_ti	lengte van blok (m)
L_{berm}	L_berm_t	Horizontale afstand van punt op talud H_s onder de berm tot H_s boven de berm (m)
L_o		Lengte van het opgelichte deel van de bekleding, horizontaal gemeten (m)
$L_{1,...}$	L1_..._t	Afstand tussen maximum stijghoogteverschil en minimum stijghoogteverschil (m) (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)
$L_{2,...}$	L2_..._t	Lengte raaklijn van ϕ_{wmin} tot snijpunt met $\phi = 0$, aangevuld met de horizontale afstand van dit minimum tot aan de plaats waar stijghoogteverschil $\phi_w = \Delta D \cos \alpha$ (m)
$L_{,...}$	L_..._t	Afstand waarover het stijghoogteverschil groter is dan het eigen gewicht (m) (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)
L_o	L_o	Lengte van het opgelichte deel van de bekleding (m)
L_i	L_i	lengte van het segment i (ter hoogte van z), gerekend langs het talud, in verband met afschuiving (m)
L_{i-1}	L_i_min1	lengte van het segment i-1, dat direct onder het segment i ligt, gerekend langs het talud, in verband met afschuiving (m)
m_g	m_g_t	macht in doorlatendheidsrelatie van geotextiel (-)
M^*	Mster_klemming	Extreme waarde van het moment (Nm)
M_{min}	Msmn_klemming	Minimale waarde van het moment (Nm)
M_{umin}	Mumin_klemming	Toelaatbare waarde van het minimale moment (Nm)
M_{dmin}	Mdmin_klemming	Optredende waarde van het minimale moment (Nm)
M_{max}	Msmax_klemming	Maximale waarde van het moment (Nm)

verslag	in code	omschrijving
M_{dmax}	Mdmax_klemming	Optredende waarde van het maximale moment (Nm)
M_{umax}	Mumax_klemming	Toelaatbare waarde van het maximale moment (Nm)
n		porositeit (-)
n_{f1}	nf1_ti	porositeit van filterlaag 1 (-)
n_{f2}	nf2_ti	porositeit van filterlaag 2 (-)
n_{fi}	n_inwas_ti	porositeit van inwasmateriaal (-)
n_b	n_b	porositeit van het zand (-)
N	N_golven_t	Aantal golven tijdens de belastingduur (-)
N_{gat}	gataantal1_ti gataantal2_ti gataantal3_ti	Aantal gaten van een bepaalde grootte (-)
N_{Ma}	N_ma	aanwezige normaalkracht, ten aanzien van moment (N)
N_{Va}	N_va	aanwezige normaalkracht, ten aanzien van dwarskracht (N)
N_{Mmin}	N_Mmin_t	normaalkracht ter plaatse van M_{min} (N)
N_{Mmax}	N_Mmax_t	normaalkracht ter plaatse van M_{max} (N)
N_{Vmin}	N_Vmin_t	normaalkracht ter plaatse van V_{max} (N)
O_{90}	O90_geo2_ti	karacteristieke openingengrootte van geotextiel (m)
overg_ti	overg_ti	ingevoerde waarde voor het type overgangsconstructie (-)
q_1, q_2, \dots	q1_klemming_t ...	belastingparameters bij het berekenen van klemming (N/m)
q_{geo}	q_geo1_ti q_geo2_ti	Specifiek debiet tijdens doorlatendheidsmeting van geotextiel (m/s)
$q_{cr, op}$	qcr_op_t	kritieke opwaartse filtersnelheid in het filter met zand ondergrond (m/s)
$q_{cr, neer}$	qcr_neer_t	kritieke neerwaartse filtersnelheid in het filter met zand ondergrond (m/s)
R_{tij}	R_getij_tgi	Getijrange (m)
Re_{op}	Re_op_t	Reynoldsgetal tijdens omhoog gerichte stroming (-)

verslag	in code	omschrijving
$R_{e,neer}$	Re_neer_t	Reynoldsgetal tijdens neerwaarts gerichte stroming (-)
r of r_r		regelnummer (-)
R_1, R_2, \dots	R1_klemming_t	belastingparameters bij het berekenen van klemming (Pa·m)
s		spleetbreedte (m)
s_l	sl_ti	spleetbreedte langsvoegen (m)
s_s	ss_ti	spleetbreedte stootvoegen (m)
	stroming_i	of er getoetst moet worden op stroming
t	t	tijd (uur)
t_{belast}	t_belast_t	Belastingduur (uur)
t_o	t_o_t	duur van de overbelaste situatie, dus de tijdsduur dat het stijghoogteverschil groter is dan het eigen gewicht plus wrijving en klemming (s)
t_{rf}	t_restf_t	reststerkte in uren van het filter en de toplaag (uur)
t_{rk}	t_restk_t	reststerkte toplaag (uur)
t_{storm}	t_storm_ti	Stormduur (uur)
t/o	t_o_eenvoudig_t	waarde van $H_s/\Delta D$ op de bovengrens van twijfelachtige gebied, gedeeld door de actuele waarde van $H_s/\Delta D$ (-)
T_g	Tg_geo1_ti en Tg_geo2_ti	dikte van het geotextiel (m)
T_p	Tp_t	golfperiode bij piek van spectrum bij de teen van de dijk op MWS (s)
T_{p1}	Tp1 of 2 of 3 of 4	golfperiode bij piek van spectrum bij de teen van de dijk op $h = h_{golven1_tgi}$ (s)
T_{pmin}	Tpmin_t	Golfperiode bij minimale golfhoogte (s)
T_{ptoets}	Tp_toets	Golfperiode bij de teen van de dijk op toetspeil (m)
T_1 en T_2	T1_klemming T2_klemming	Randmomenten in de geklemde ligger (Nm)
$\tan\alpha$	tana_ti	taludhelling van de te toetsen steenzetting (-)
$\tan\alpha_{bodem}$	tana_bodem_ti	helling van het voorland (-)
$\tan\alpha_{fict}$	tana_fict_t	Rekenwaarde van de taludhelling (fictieve taludhelling) (-)

verslag	in code	omschrijving
u_s	u_stroom_tgi	Optredende stroomsnelheid langs de dijk (m/s)
V^*	Vster_klemming	Extreme waarde van de dwarskracht (N)
V_{min}	Vsmin_klemming	Minimale waarde van de dwarskracht (N)
V_{umin}	Vumin_klemming	Toelaatbare waarde van de dwarskracht (N)
w	w_korrel_t	valsnelheid van de zandkorrels (m/s)
x	x_t	horizontale coördinaat vanaf de waterlijn, positief landinwaarts (m)
x_o	x_0	horizontale coördinaat van de onderste overgangsconstructie vanaf de waterlijn, positief landinwaarts (m)
x_b	x_b	horizontale coördinaat van de bovenste overgangsconstructie vanaf de waterlijn, positief landinwaarts (m)
x_m	x_m_t	horizontale afstand van de top van het front tot de waterlijn (m)
x_{teen}	x_teen_t	horizontale afstand vanaf de waterlijn tot de teen van de constructie die geschematiseerd is tot een recht talud (landwaarts is positief) (m)
x_{berm}	x_berm_t	horizontale afstand vanaf de waterlijn tot de voorkant van de berm van de constructie die geschematiseerd is tot een recht talud (landwaarts is positief) (m)
x_N	x_N	Locatie ten opzichte van de waterlijn tot waar het grootste stijghoogteverschil optreedt (landwaarts is positief) (m)
$x_{N=0}$	x_N0	Horizontale afstand van de locatie waar de normaalkracht gelijk is aan 0, ten opzichte van SWL (m)
x_s	x_s_t	horizontale afstand van de voet van het stijghoogtefront tot de waterlijn (altijd een positieve waarde) (m)
$x_{\phi_{max}}$	x_fimax_t	horizontale afstand van de snijlijn van de stilwaterlijn en het talud tot de locatie met grootste stijghoogte in de golfklap (m)
$x_{\phi_{wmax}}$	x_fiwmax_t	horizontale afstand van de snijlijn van de stilwaterlijn en het talud tot de locatie met grootste stijghoogteverschil (m)

verslag	in code	omschrijving
X_i	x_{i_t}	Horizontale coördinaat (ten opzichte van de snijlijn van waterlijn en talud, landwaarts positief) van punt waar stijghoogte op de toplaag en in het filter berekend wordt (m)
X_{HF}	x_{HF_t}	locatie van de maximale opwaartse gradiënt in het hoge front (m)
X_{RL}	x_{RL_t}	lokale hulpvariabele om raaklijn mee te berekenen (m)
X_{SF}	x_{SF_t}	locatie van de maximale opwaartse gradiënt in het steil front (m)
X_{SWL}	0	Horizontale coördinaat van de stilwaterlijn (m)
Y	Y	blokbeweging (m)
Y_{front}	Y_{front}	blokbeweging tijdens front (m)
Y_{klap}	Y_{klap}	blokbeweging tijdens golfklap (m)
Y_{totaal}	Y_{totaal}	De horizontale afstand van $Z = h - 1,5H_s$ tot het punt met $Z = h$, maar zonder de segmenten die een berm zijn (nodig ten behoeve van α_{fict}).
Y_b	Y_b_ti	Horizontale coördinaat boven-begrenzing van de te toetsen steenzetting (m)
Y_o	Y_o_ti	Horizontale coördinaat onder-begrenzing van de te toetsen steenzetting (m)
Y_{bo}	Y_{bo_t}	Horizontale coördinaat van de voorrand van de berm (m)
Y_l	Y_l_oi	Horizontale coördinaat aan linkerkant van segment (m)
Y_r	Y_r_oi	Horizontale coördinaat aan rechterkant van segment (m)
Z_b	Z_b_ti	niveau bovenbegrenzing van de te toetsen steenzetting (t.o.v. NAP) (m)
Z_{bb}	Z_{bb_ti}	niveau bovenste bovenbegrenzing van het dwarsprofiel (t.o.v. NAP) (m)
Z_{bdicht}	Z_b	Niveau van de dichtstbijzijnde dichte overgangsconstructie boven het te toetsen punt (t.o.v. NAP) (m)
Z_{belast}	Z_{belast_t}	Niveau op het talud waar de maximale belasting optreedt (t.o.v. NAP) (m)

verslag	in code	omschrijving
Z _g	z_g_t	niveau van de onderzijde van het gat in de toplaag, verticale gemeten, ten opzichte van de stilwaterlijn (onder water: negatief) (m)
Z _{bodem}	Z_bodem_ti	Bodemniveau voor de teen van de dijk (t.o.v. NAP) (m)
Z _o	Zo_ti	niveau onderbegrenzing van de te toetsen steenzetting (t.o.v. NAP) (m)
Z _{o1}	Zo1_t	niveau van de ondergrens van het onderste segment (bovenste regel) (t.o.v. NAP) (m)
Z _{o,berm}	Z_oberm_t	Niveau van de zeezijde van de berm (t.o.v. NAP) (m)
Z _{b,berm}	Z_bberm_t	Niveau van de landzijde van de berm (t.o.v. NAP) (m)
Z _{bo}	Z_bo_t	verticale coördinaat van de voorrand van de berm (t.o.v. NAP) (m)
z	z	niveau waarvoor de waarde van de maatgevende taludhelling $\tan\alpha_{mz}$ wordt bepaald in verband met afschuiving (m)
Z _{oi}	Z_oi	niveau van de onderste overgangsconstructie van segment i (m)
Z _{oi-1}	Z_oi_min1	niveau van de onderste overgangsconstructie van het segment i-1 (m)
Z _{berm}	Z_berm_klemming	niveau van de berm boven het zwaarst aangevallen punt (t.o.v. NAP) (m)
Z _{overgang}	Z_overgang_klemming	niveau van de overgangsconstructie boven het zwaarst aangevallen punt (t.o.v. NAP) (m)
Z _l	Zl_ti	Verticale coördinaat aan linkerkzijde van segment (t.o.v. NAP) (m)
Z _{Nmax}	z_Nmax	Afstand vanaf het begin van de normaalkrachtsopbouw (bovenste overgangsconstructie of berm) waarover de normaalkracht wat sneller groeit (m)
Z _r	Zr_ti	Verticale coördinaat aan rechterzijde van segment (t.o.v. NAP) (m)
Z _{2%}	oploop_t	Schatting van golfoploophoogte die door 2% van golven wordt overschreden als de waterstand gelijk is aan toetspeil (m)

verslag	in code	omschrijving
α		taludhelling van de te toetsen steenzetting (-)
$\tan(\alpha_{\text{bodem}})$	tana_bodem	helling van het voorland (-)
α_{fict}	tana_fict_t	Rekenwaarde van de taludhelling (fictieve taludhelling) (-)
α_m	tana_m	maatgevende taludhelling ten aanzien van afschuiving (grootste gemiddelde helling in een stuk talud met lengte $4D_{\text{bekl}}$) (-)
α_{mz}	tana_mz	maatgevende taludhelling ten aanzien van afschuiving voor niveau z (gemiddelde helling in een stuk talud met lengte $4D_{\text{bekl}}$ onder het punt op het talud op niveau z) (-)
α_i	tana_i	taludhelling van het segment i (ter hoogte van z) (-)
α_{i-1}	tana_i_min1	taludhelling van het segment i-1, dat direct onder het segment i ligt (-)
β	beta_t	hoek van golfinval t.o.v. dijknormaal (0° is loodrecht) ($^\circ$)
β_d	beta_dijk_ti	dijknormaal richting t.o.v. N (Het gaat om de lijn haaks op de dijk, gericht naar zee) ($^\circ$)
β_g	beta11_tgi	golfvoortplantingsrichting (Nautische richting; waar de golven vandaan komen) ($^\circ$)
β_{bed}	Betta_bed_klemming	beddingsparameter (1/m)
$\gamma_{\text{berm},\phi_k}$	Gamma_bermfik_t	factor die de invloed van de berm op ϕ_k tijdens de golfklap weergeeft (-)
Γ_{klem}	Gamma_klem	klemfactor (-)
Γ_{s1}	Gamma_s1	invloedsfactor ten aanzien van wrijving tussen de stenen (-)
Δ		relatieve soortelijke massa van toplaagelementen (beton, natuursteen) (-)
Δ_b	delta_basis_t	relatieve soortelijke massa van de zandkorrels (-)
ζ	Zeta	aqua-planing-factor ten aanzien van wrijving tussen de stenen (-)
θ_{fklap}	Teta_fklap_t	helling van het front tijdens de golfklap ($^\circ$)
θ_f	Teta_f_t	helling van het stijghoogtefront ($^\circ$)
θ_{bHF}	Tetta_bHF-t	helling van het front ($\tan\theta_f$) in een hoog front (-)
θ_{bSF}	Tetta_bSF-t	helling van het front ($\tan\theta_f$) in een steil front (-)

verslag	in code	omschrijving
Λ	labda_t	lek lengte (m)
Λ_{to}	labda_to_t	lek lengte bij anderhalf maal dikkere toplaag (m)
ν	nu_filter_t	kinematische viscositeit (m ² /s)
ξ_{op}	ksi_t	brekerparameter (-)
ρ_s	rho_ti	soortelijke massa van toplaagelementen (beton, natuursteen) (kg/m ³)
ρ	rho_water_i	soortelijke massa van water (kg/m ³)
σ_w	sigma_w_t	oppervlaktespanning van het water = 0,073 N/m
ϕ_{geo}	h_geo1_ti h_geo2_ti	Verval tijdens doorlatendheidsmeting van het geotextiel (m)
ϕ_{bklap}	Fi_bklap_t	hoogte van het front ten opzichte van de trog tijdens de golfklappen (m)
ϕ_{min}	Fi_min_t	minimale stijghoogte aan de voet van het stijghoogtefront (altijd een negatieve waarde) (m)
$\phi_{minklap}$	Fi_minklap_t	stijghoogte in de trog tussen de golfklap en de restanten van het golf front (m)
ϕ_k	Fi_k_t	max. stijghoogte t.o.v. de trog tijdens de golfklap met 2% overschrijdings-frequentie (-)
$\phi_{b2\%}$	Fi_b2p_t	hoogte van het stijghoogtefront met 2% overschrijdingsfrequentie (m)
ϕ_{bHF}	Fi_bHF_t	hoogte van het front ($\phi_{b2\%}$) in een hoog front (m)
ϕ_{bSF}	Fi_bSF_t	hoogte van het front ($\phi_{b2\%}$) in een steil front (m)
ϕ'_i	Fi_op_i_t	Stijghoogte op de toplaag ter plaatse van punt i (m)
ϕ'	Fi_op_t	stijghoogte op het talud ten opzichte van de stilwaterlijn (m)
ϕ_{trog}	fi_trog_i	Stijghoogte op de toplaag ter plaatse van ϕ_{wmax} (m)
$\phi_{wmax, \dots}$	Fi_wmax_..._t	Maximum stijghoogteverschil (m) (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)
$\phi_{wmin, \dots}$	Fi_wmin_..._t	Minimum stijghoogteverschil (m) (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)
ϕ_{vmin}	Fi_vmin_t	lokale hulpvariabele om raaklijn mee te berekenen (m)
ϕ_{we}	Fi_we	stijghoogteverschil met overschrijdingsfrequentie van 2% (m)

verslag	in code	omschrijving
ϕ_{wm}	Fi_wm	stijghoogteverschil bij een golf gelijk aan de significante golfhoogte (m)
ϕ_{wi}	Fi_wi	stijghoogteverschil in punt i (m)
Φ_i	Fi_rust_t	rusthoek van basismateriaal per individuele korrel (rad)
φ_1 en φ_2		hoekverdraaiing ligger uiteinde 1 en 2 (-)
Ψ_s	Psi_shields_t	Shields parameter (-)
Ω	Omega_ti	open oppervlak (zie par 4.6) (%)

I Inleiding

Ingevolge de Wet op de Waterkering dienen steenzettingen op waterkeringen vijfjaarlijks getoetst te worden. In de praktijk kan aan veel steenzettingen geen definitief toetsoordeel toegekend worden wegens een gebrek aan wetenschappelijke kennis.

In 2003 is daarom door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen opgestart. Doel van dit programma is het reduceren van deze kennisleemtes teneinde te komen tot scherpere toetsregels en daarmee sneller en vaker tot definitieve toetsresultaten. In het kader van dit onderzoeksprogramma heeft dit verslag over STEENTOETS2008 betrekking op het deelonderzoek A1.1 “Ontwikkeling van nieuwe rekenmethodiek” (zie bijlage H).

Het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen heeft tot nu toe veel nieuwe kennis opgeleverd. Een van de manieren om deze kennis beschikbaar te stellen aan gebruikers is door middel van een gebruiksvriendelijk computerprogramma waarmee steenzettingen getoetst en ontworpen kunnen worden.

Door de nieuwe kennis die in het programma is opgenomen, is er op een aantal aspecten een verschil ontstaan tussen STEENTOETS2008 en het Technisch Rapport Steenzettingen (TAW, 2003). Enkele belangrijke verschillen zijn:

1. De eenvoudige toetsing van de stabiliteit van de toplaag voor steenzettingen van het type 3 en 6 (niet-ingegoten steenzetting op een filter) is komen te vervallen. In plaats daarvan wordt direct de gedetailleerde toetsing uitgevoerd.
2. In de gedetailleerde toetsing van niet-ingegoten steenzettingen op een filter wordt niet alleen getoetst op golffronten, maar ook op golfklappen.
3. De invloed van de hoek van golfaanval op de stabiliteit van de toplaag is toegevoegd.
4. De invloed van de belastingduur op de stabiliteit van de toplaag is toegevoegd.
5. De toetsmethode van de stabiliteit van de toplaag van een ingegoten steenzetting is gewijzigd.
6. Voor basalt boven GHW+1,0 m, die niet op een apart terrein is uitgezocht (toplaagtype 26), wordt aangenomen dat die basalt nog niet eerder belast is geweest en daardoor nog niet op de eindsterkte is gekomen. Er wordt dan gerekend met 0,83 maal de toplaagdikte.
7. Er wordt expliciet gerekend met de invloed van klemming. In het Technisch Rapport Steenzettingen werd dit nog impliciet meegenomen door in de berekeningen de invloed van de inwassing op de doorlatendheid van de toplaag weg te laten. In STEENTOETS2008 wordt de klemming berekend door het evenwicht te beschouwen van een opbuigende ligger van stenen.
8. De toetsmethode voor Noorse steen is aangepast.
9. De toetsing van de stabiliteit van de toplaag op havendammen is aangepast.
10. Er is een nieuwe methode voor de toetsing op afschuiving toegevoegd.

In het onderhavige verslag is gedetailleerd uitgewerkt welke formules in het programma zijn opgenomen en is een korte uitleg gegeven over de structuur van het programma. De doelgroep van dit verslag is maar klein: enkele specialisten die betrokken zijn bij de

ontwikkeling van kennis op het gebied van steenzettingen. Voor de overige gebruikers van het programma is er een gebruikershandleiding (Klein Breteler 2009a).

Het programma is ontwikkeld voor Windows XP met Excel 2002 en is tevens getest voor:

- Windows XP prof. Engels, met Excel 2002 Engels
- Windows XP home Nederlands, met Excel 2002 Nederlands
- Windows XP prof. Nederlands, met Excel 2003 Nederlands
- Windows XP prof. Nederlands, met Excel 2000 Nederlands
- Windows 2000 prof. Engels met Excel 2000 Engels
- Windows ME prof. Engels met Excel 2000ME Engels
- Windows Vista 2006 Engels met Excel 2007 prof. Engels

De beoogde gebruikers van het programma zijn waterbouwkundigen met HBO+ niveau die betrokken zijn bij de toetsing en het ontwerp van steenzettingen. Een deel van deze gebruikersgroep werkt bij een organisatie waar de beveiliging het moeilijk maakt om software geïnstalleerd te krijgen op de PC's. Daardoor bestaat er een voorkeur voor een programma dat niet met een set-up wizard geïnstalleerd hoeft te worden, en bovendien geen dll-files heeft. Daarom is gekozen voor een Excel-spreadsheet, waarbij de formules zijn geprogrammeerd in VBA-code (Visual Basic for Applications).

Het programma is tot stand gekomen in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat in samenwerking met een gebruikersgroep bestaande uit:

- Y.M. Provoost (Rijkswaterstaat Zeeland, Projectbureau Zeeweringen)
- J.T.M. van der Sande (Waterschap Zeeuwse Eilanden)
- H.J. Regeling (Rijkswaterstaat IJsselmeergebied)
- S. Nurmohamed (Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde) (tot nov. 2007)
- B.G.H.M. Wichman (Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde) (tot nov. 2007)
- A. Bizzarri (Rijkswaterstaat, Waterdienst)(vanaf 2008)
- R. 't Hart (t/m 2007: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde) (vanaf 2008: Deltares)
- M.C.J. Bosters (tot nov. 2006: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde) (vanaf 2008: Rijkswaterstaat Zeeland, Projectbureau Zeeweringen)

Bij aanvang van dit project werd nog de werknaam ANAMOS+ voor dit programma gebruikt. In overleg met de gebruikersgroep is dit veranderd in STEENTOETS2008.

Verder wordt verwezen naar het validatieverslag (Klein Breteler 2009b) waarin onder meer een toelichting is gegeven op de keuze van verschillende formules en criteria, en waarin een vergelijking met de resultaten van grootschalig modelonderzoek in de Deltagoot is gemaakt.

2 Werkbladen en menu

Het Excel-programma bestaat uit 10 delen (werkbladen, sheets):

- Werkblad met de invoer en uitvoer per bekleding (regel) voor de toetsing: 'TOETSING'.
- Werkblad met een tabel met golfrandvoorwaarden en waterstanden voor de toetsing: 'Toetsgolven'.
- Werkblad met een overzicht van de toetsresultaten: 'overzicht toetsresultaten'
- Werkblad met een figuur van het dwarsprofiel: 'figuur dwarsprofiel'
- Werkblad met een tabel met algemene constanten en instellingen: 'Algemeen'.
- Werkblad met informatie over topklaag- en filtertypen, en dergelijke: 'Info'
- Werkblad met de invoer en uitvoer per bekleding (regel) voor het ontwerp: 'ONTWERP'.
- Werkblad met een tabel met golfrandvoorwaarden en waterstanden voor het ontwerp: 'Ontwerpgolven'.
- Werkblad met een overzicht van de ontwerpresultaten: 'overzicht ontwerpresultaten'
- Werkblad waarin de data van STEENTOETS versie 4.0 ingekopieerd kan worden: 'invoer van STEENTOETS 4.0'.

De werkbladen 'TOETSING' en 'ONTWERP' vervullen een centrale rol. Daar worden de gegevens ingevoerd van de te toetsen of te ontwerpen bekleding en daar worden de resultaten van de berekeningen getoond.

In de werkbladen 'Toetsgolven' en 'Ontwerpgolven' kunnen de hydraulische randvoorwaarden ingevoerd worden. Per dijkvak zijn er drie tabellen beschikbaar zodat gemakkelijk verschillende randvoorwaardenscenario's doorgerekend kunnen worden. In het werkblad 'TOETSING' en 'ONTWERP' kan men aangeven met welke tabel gerekend moet worden.

De keuzemogelijkheden ten aanzien van de algemene instellingen zijn opgenomen in het werkblad 'Algemeen'. Daar kan men bijvoorbeeld aangeven of het dwarsprofiel met coördinaten of met taludhellingen moet worden ingevoerd, of er een tweede filterlaag en/of een tweede geotextiel aanwezig is, et cetera. Verder kan men in het werkblad 'Algemeen' aangeven welke kolommen getoond moeten worden in het werkblad 'overzicht toetsresultaten' en 'overzicht ontwerpresultaten'.

De werkbladen 'figuur dwarsprofiel', 'overzicht toetsresultaten' en 'overzicht ontwerpresultaten' kunnen gebruikt worden om snel inzicht te krijgen in de invoer en resultaten, of voor rapportagedoeleinden.

In het werkblad 'Info' is wat informatie ter toelichting gegeven, zoals de codering van de topklaagtypen en typen filtermateriaal.

Tenslotte kan het werkblad 'invoer van STEENTOETS 4.0' gebruikt worden om de data over te zetten van Steentoets versie 4.0 naar STEENTOETS2008.

Bovenaan het scherm in de werkbladen 'TOETSING' en 'ONTWERP' is het menu 'toetsing' of 'ontwerp' te vinden. Hiermee kunnen een aantal specifieke commando's gegeven worden:

1. invoegen regel(s) (met alle formules, maar zonder invoerdata)
2. verwijder regel(s)
3. invoegen kopie van huidige regel
4. kopieer regel naar 'ontwerp'
5. verplaats regel(s) naar klembord (cut to clipboard)
6. kopieer regel(s) naar klembord (copy to clipboard)
7. invoegen regels(s) van klembord (paste from clipboard)
8. plaats formules op regels
9. bereken alles opnieuw (noodzakelijk als de golventabel is veranderd, er wordt dan een buffer geleegd die is gecreëerd omwille van de rekensnelheid).
10. kopieer van STEENTOETS 4.0 sheet
11. Itereer Hs
12. Itereer D
13. Itereer Rho

De gebruiker heeft de vrijheid om kolommen toe te voegen om vervolgberekeningen te kunnen uitvoeren. Wees voorzichtig met het verwijderen van kolommen, omdat het denkbaar is dat het programma daarna de benodigde invoer mist en geen toetsing meer kan uitvoeren.

Rijen kunnen zonder problemen toegevoegd en/of verwijderd worden (met het menu 'toetsing' bovenaan op het scherm).

De kop van de spreadsheet en de kolommen met formules zijn beschermd tegen per ongeluk overschrijven (protect). Daarom moet steeds eerst de bescherming eraf gehaald worden (unprotect) alvorens kolommen toegevoegd of verwijderd kunnen worden. De beveiliging kan geheel en al verwijderd worden met de toetscombinatie Ctrl-Shift-F12 (of Ctrl-Shift-F9). Daarna zijn alle verborgen kolommen met tusseninformatie te zien en kan men bovendien in de VBA-code kijken met Alt-F11. Het aanpassen van de programmacode moet ten zeerste afgeraden worden omdat het bijzonder moeilijk is te overzien wat de consequenties ervan zijn.

Let erop dat als er iets gewijzigd is in de werkbladen 'Toetsgolven' en 'Ontwerpgolven', dat dit pas wordt gebruikt als de buffer opnieuw is geleegd. Dit gaat helaas niet vanzelf. Bovenaan het scherm moet het menu 'toetsing' of 'ontwerp' aangeklikt worden, waarna gekozen moet worden voor 'Bereken alles opnieuw'.

Het is gebleken dat Excel niet goed werkt als er meerdere files met het toetsingsprogramma zijn geopend vanuit één Excel-run (één Excel blok op de taakbalk). Als men meerdere toetsingsfiles tegelijk wil openen, is het aan te bevelen om ook het hele Excel even zoveel keren op te starten, wat resulteert in meerdere Excel-blokjes op de taakbalk.

In uitzonderlijke gevallen is het mogelijk dat het programma niet alle cellen doorrekent (er blijft dan Waarde# of Value# in de cel staan). In zo'n geval kan men 'bereken alles opnieuw' van het toetsing-menu nogmaals uitvoeren en vervolgens F9 aanslaan. Meestal komt het dan alsnog goed. Deze problemen houden verband met de verschillen tussen de verschillende versies van Excel, en zijn helaas niet te verhelpen.

Als het programma niet wil rekenen en bovendien niets blijkt te werken, dan kan het zijn dat de beveiliging te hoog staat ingesteld. Dit kan veranderd worden door in het menu extra – opties – beveiliging – macro beveiliging ('tools' – options – security – macro security) te kiezen en de beveiliging op laag of medium te zetten. Vervolgens moet het programma opnieuw opgestart worden.

3 Structuur van rekenhart

In het programma zijn twee soorten formules opgenomen:

- Eenvoudige formules, die zichtbaar zijn als men de cursor op de cel zet. Deze formules zijn te veranderen door de gebruiker (eigen verantwoordelijkheid).
- Verborgene toetsingsformules. De meeste formules zijn in de spreadsheet opgenomen als VBA-code die zichtbaar kunnen worden gemaakt als ctrl-shift-F12 (of ctrl-shift-F9) wordt aangeslagen en daarna alt-F11. Het wijzigen van de formules wordt ten eerste afgeraden, omdat het moeilijk is te overzien wat de consequenties ervan zullen zijn.

De verborgen formules worden in hoofdstuk 4 t/m 7 omschreven. Ze zijn gebaseerd op het TR-Steenzettingen, het programma ANAMOS 2.21, de resultaten van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen en overige (recente) TAW-aanbevelingen.

De rekenmodules zijn te verdelen in vier hoofdgroepen:

- A. bepaling algemene kenmerken van constructie en belasting (hoofdstuk 4)
- B. toetsing van de stabiliteit van de toplaag op een dijk (hoofdstuk 5)
- C. toetsing van stabiliteit van de toplaag op een havendam (hoofdstuk 6)
- D. toetsing van de overige bezwijkmechanismen (hoofdstuk 7)

Achterin dit verslag is een stroomschema voor elk van deze hoofdgroepen gegeven.

Naast deze rekenmodules zijn er ook modules die betrekking hebben op de user-interface. Die schema's zijn niet in dit verslag opgenomen.

De beschrijving van de rekenmodules gaat uit van een toetsing. In feite zijn de meeste formules en criteria voor het toetsen en het ontwerpen identiek, maar zal men slechts verschil maken met een veiligheidsmarge op de invoer.

Variabelen als structure

Sommige variabelen in het programma bevatten niet één getal of stukje tekst, maar bevatten meerdere getallen of teksten in de vorm van een structure. Een structure is goed te vergelijken met een array waarin data kan worden opgeslagen van verschillende typen (getallen en teksten).

De werking van een structure is het gemakkelijkst uit te leggen aan de hand van de gegevens van een persoon die we gaan opslaan in een structure:

Naam: Piet de Winter
Adres: Elsenlaan 3
Woonplaats: Rotterdam
Sofinummer: 18624323

Deze gegevens kunnen in 4 variabelen zijn opgeslagen, bijvoorbeeld *naam*, *adres*, *woonplaats* en *sofinr*.

Gemakkelijker is het echter om deze gegevens in een structure op te slaan, want dan heb je de gegevens steeds bij elkaar. Een structure is een soort vergaarbak voor gegevens van verschillende typen.

In VBA moet de structure altijd eerst als volgt worden gedefinieerd:

```
Type MijnStructureType
    Naam as string
    Adres as string
    Woonplaats as string
    Sofinummer as long
End Type
```

Hiermee is de opbouw van de structure gedefinieerd.

Binnen een functie kan nu een bepaalde variabele de structuur gegeven worden van *MijnStructureType*. Dat gaat als volgt voor de variabelen die we hier *Piet* noemen:

```
Function MijnFunctie()
    Dim Piet as MijnStructureType
    Piet.Naam="Piet de Winter"
    Piet.Adres="Elsenlaan 3"
    Piet.Woonplaats="Rotterdam"
    Piet.Sofinummer=18624323
```

Stel je hebt een functie om de persoonsgegevens af te drukken:

```
Function Afdrukken(APersoon as MijnStructureType)
```

Dan kan je vanuit *MijnFunctie* die aanroepen om *Piet* af te drukken

```
Afdrukken(Piet)
```

Tijdens het debuggen kan de inhoud van de structure zichtbaar gemaakt worden.

Normaal gesproken kan je in de debug mode van VBA de variabele zichtbaar maken door er met de cursor naartoe te bewegen. Bij een structure ligt dit wat complexer. Om de inhoud van de structure in dit geval te inspecteren staan de volgende mogelijkheden tot je beschikking:

- het locals window (menu: view, optie: locals window)
- het immediate window (ctrl+g of view .. immediate window)

De eerste optie is het makkelijkst: hierbij krijg je een grafisch interface met een soort boomstructuur, waarin je een overzicht krijgt van de lokale variabelen met hun huidige waarde.

Hierin kan je met de scrollbar navigeren naar *Piet* en vervolgens het plusje naast *Piet* selecteren om de inhoud te inspecteren.

In het immediate window kan je bijvoorbeeld typen:

```
? Piet. (let op het vraagteken en de punt na Piet)
```

Je krijgt dan een lijstje met de velden die *Piet* bevat en kan vervolgens met de muis hier eentje uitkiezen die vervolgens wordt getoond.

4 A: Bepaling algemene kenmerken van constructie en belasting

Allereerst worden er een aantal algemene kenmerken van de constructie en de belasting bepaald. Het gaat daarbij om het controleren en interpreteren van de gegeven invoer, het bepalen van het type steenzetting, en dergelijke.

Als eerste actie in het rekenproces worden alle meldingen gewist. Als er vervolgens meldingen optreden, dan worden ze toegevoegd aan de reeds geconstateerde meldingen. Een melding kan een waarschuwing (warning) zijn of een fout (error). In het eerste geval wordt er verder gerekend, terwijl in het tweede geval de berekening wordt afgebroken voor de betreffende regel. Als het een waarschuwing betreft, dan wordt dat expliciet in dit verslag genoemd.

Bij het invoeren van het dwarsprofiel wordt er van uitgegaan dat de eerste regel het meest zeewaarts gelegen segment is. Verder zijn de taludhellingen aan de zeezijde positief en aan de havenzijde of polderzijde negatief. De eerste regel moet een positieve taludhelling hebben, omdat een havendam alleen getoetst kan worden als ook de taludhelling aan de buitenzijde bekend is.

De horizontale as mag richting zee of richting de polder/haven. De verticale as moet naar boven lopen.

Alle formules zijn zowel van toepassing op het werkblad 'toetsing' als op het werkblad 'ontwerpen'. In het werkblad 'toetsing' worden de veiligheidsfactoren (factor_....) gelijk aan 1 gehouden en de additionele veiligheidswaarde (vergr_...) gelijk aan 0. In het werkblad ontwerpen worden de veiligheidsfactoren en de additionele veiligheidswaarden gebruikt uit het werkblad algemeen.

De verschillende subroutines van module A zijn nader uitgewerkt in onderstaande paragrafen (zie bijlage A).

4.1 Vaststellen welke regels bij elkaar horen in één dwarsprofiel

Of regels bij elkaar horen in één dwarsprofiel wordt vastgesteld aan de hand van de gegevens in de kolom 'dwarsprofiel' en subvakgrenzen. De opeenvolgende rijen met dezelfde cijfers of tekst worden samengevoegd tot één dwarsprofiel. Tussen de dwarsprofielen wordt in het spreadsheet een dikke lijn getrokken.

Als dwarsprofiel-nummer en subvakgrenzen van opeenvolgende regels gelijk zijn dan horen de regels bij hetzelfde dwarsprofiel. Dit wordt opgeslagen in de kolom: hoort_bij_dwp_t.

4.2 Enkele controles op de invoer en ontbrekende gegevens aanvullen uit de lijst default waarden

De volgende controles en aanvullingen op de invoer worden doorgevoerd:

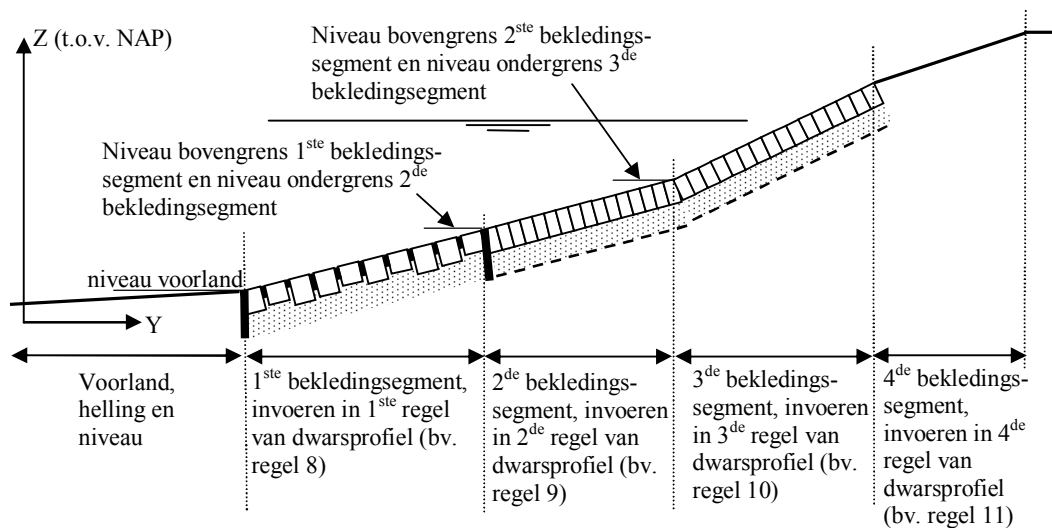
- De oriëntatie van de dijk (beta_dijk_ti), helling van het voorland en niveau van het voorland worden per dwarsprofiel uit de eerste regel van het dwarsprofiel gebruikt, tenzij deze gegevens ontbreken en in een andere regel in hetzelfde dwarsprofiel wel zijn gegeven (dan worden de gegevens gebruikt uit het laagste regelnummer),
- Als er ontbrekende gegevens zijn, dan worden de getallen gebruikt uit tabel 4.1.

<i>variabele</i> <i>waarvoor</i> <i>cel</i>	<i>default waarde als cel blanco is gelaten</i>
Dijkoriëntatie t.o.v. N	gelijk aan golfrichting
Niveau van voorland	min(Z_0 van laagste segment aan de zeezijde; 0)
Helling van voorland	$\tan\alpha_{\text{bodem}} = 1/100$
Minimale golfhoogte in golventabel	$H_{\text{min}} = 0,1 \text{ m}$
B en L	$B = L = 0,3 \text{ m}$
Karakteristieke opening G	waarde uit de tabel in werkblad 'info' (als 's', dan $\max(s_1; s_2)$ gebruiken)
Soortelijke massa toplaag	waarde uit de tabel in werkblad 'info' op basis van het ingevoerde type toplaag
Inwassing: D_{15}	als inwasmateriaal aanwezig, dan $D_{15} = 5 \text{ mm}$ en $n = 0,7$
Linker coördinaat	$Y_{lr} = Y_{lr-1}; Z_{lr} = Z_{lr-1}$
Rechter coördinaat	$Y_{rr} = Y_{rr+1}; Z_{rr} = Z_{rr+1}$
Tweede filterlaag aanwezig	filter2_ti = ja als $b_2 > 0$, anders nee
Geotextiel tussen toplaag en filter	geol_ti = ja als ($T_g_{\text{geol_ti}}$ of $q_{\text{geol_ti}}$ of $h_{\text{geol_ti}}$) zijn niet blanco, anders nee
O_{90} en T_g geotextiel, indien aanwezig	beide: 1 mm
Doorlatendheid geotextiel, indien aanwezig	$h_{\text{geo}} = 100 \text{ mm}; q_{\text{geo}} = 10 \text{ l/s/m}^2$
Type filter als $b_1 > 0$	steenslag
Porositeit filter	waarde uit de tabel in werkblad 'info'
D_{f50} van filter	$1,2 \cdot D_{15}$
D_{b15} zand	$D_{b50}/1,4$
D_{b50} zand	als D_{b15} niet blanco: $1,4 \cdot D_{b15}$, anders 0,13 mm
D_{b90} zand	$1,2 \cdot D_{b50}$
Dijkopbouw	kleilaag als $b_{\text{klei}} > 0$ Geen klei (dijkopbouw_t = gk) als $b_{\text{klei}} = 0$ en dijkopbouw = blanco en geen "kl" bij onderlagen
Kleikwaliteit	slecht
Randvoorwaarden tabel	tabel 1

Tabel 4.1, waarde als cel blanco is gelaten

- Onlogische invoer:
 - als dijkoriëntatie $> 360^\circ$ of dijkoriëntatie $< -360^\circ$ dan foutmelding: melding = onlogische dijkoriëntatie.
 - Als $\tan\alpha_{\text{bodem}} < 0$ of $\tan\alpha_{\text{bodem}} > 0,5$ dan een foutmelding: melding = onlogische helling voorland.
 - als $D > 0,6$ m, dan waarschuwing (er wordt wel verder gerekend): melding = onnauwkeurig: toplaag is te dik ($D > 0,6\text{m}$)
 - als $D < 0,04$ m, dan melding (fout): foutmelding = toplaag is te dun ($D < 4\text{cm}$)
 - als $B > 0,6$ m of $L > 0,6$ m dan waarschuwing (er wordt wel verder gerekend): melding = onnauwkeurig: stenen zijn te groot (B of $L > 0,6\text{m}$)
 - als de spleetbreedte van de stootvoegen of langsvvoegen kleiner is dan 0, of groter dan 200 mm, dan foutmelding: melding = spleetbreedte te groot
 - als $\Omega > 0,2$, dan foutmelding = open oppervlak te groot
 - als $\Sigma N_{\text{gat}} \cdot A_{\text{gat}} > BL/3$, dan foutmelding = gatoppervlak te groot
 - Als in het werkblad ‘toetsing’ is aangegeven dat er gaten in de blokken zitten (gaten_ti = ja of j), en in het werkblad ‘algemeen’ niet (gaten_i = “nee”) dan volgt er een foutmelding: melding = gateigenschappen zijn niet ingevuld (zet in werkblad ‘algemeen’ in cel F9 ja).
 - als $G > \min(B, L)/2$ dan foutmelding = karakteristieke opening is te groot
 - als $\rho_s < 1100$ dan foutmelding = soortelijke massa is te klein
 - als $\rho_s > 4000$ dan foutmelding = soortelijke massa is te groot
 - als $D_{i15} < 0,5$ mm, dan: foutmelding = inwasmateriaal is te fijn ($D_{i15} < 0,5\text{mm}$)
 - als $D_{i15} > 200$ mm, dan: foutmelding = inwasmateriaal is te grof ($D_{i15} > 200\text{mm}$)
 - als de toplaag niet is ingewassen, maar er is wel klemming, dan volgt een waarschuwing: melding = niet-ingewassen zetting met klemming is onlogisch.
 - als $E_{\text{VGD}} > 1000$, dan foutmelding = $E(\text{VGD})$ te groot (in GPa invoeren)
 - als de eerste filterlaag $b_1 > 1$ m, dan waarschuwing: melding = onnauwkeurig vanwege grote filterlaagdikte.
 - als $\{(D_{15\text{fl}} \text{ is niet ingevuld of is gelijk aan } 0) \text{ en } (D_{15\text{f2}} \text{ is niet ingevuld of is gelijk aan } 0)\}$ en $\{\text{filter is st, my, gr, sl of pu}\}$, dan foutmelding = Df15 ontbreekt.
 - als $D_{\text{fl}5} < 0,5$ mm, dan: foutmelding = filter is te fijn ($D_{\text{fl}5} < 0,5\text{mm}$)
 - als $D_{\text{fl}5} > 300$ mm, dan waarschuwing (er wordt wel verder gerekend): foutmelding = onnauwkeurig: filter is te grof ($D_{\text{fl}5} > 300\text{mm}$)
 - als $D_{\text{f}50,1} < D_{\text{fl}5,1}$ of $D_{\text{f}50,2} < D_{\text{fl}5,2}$, dan foutmelding = check $D15 < D50$ filter
 - als $\{(\text{onderlaagtype_ti} = \text{st of my of gr of pu of sl}) \text{ of } 26 \leq \text{toplaagtype_ti} < 27 \text{ of } 28 \leq \text{toplaagtype_ti} < 29\}$ en $b_1 + b_2 < 0,03$ m, dan:
 - als ($b_1 = 0$ of blanco) en ($b_2 = 0$ of blanco): foutmelding: dikte van filter ontbreekt, anders:
 - als $b_2 = 0$ of blanco, dan $b_1 = 0,03$, anders:
 - $b_1 = 0,03 - b_2$
 - Als is aangegeven dat er een tweede filterlaag is (filter2_ti = ja of j), en bf2_t is blanco of 0 dan volgt er een foutmelding: melding = 2e filterlaagdikte is niet ingevuld (zet in werkblad ‘algemeen’ in cel F6 ja).
 - Als niet is aangegeven dat er een tweede filterlaag is (filter2_ti = blanco of nee of n), maar $\text{bf2_t} > 0$ en in werkblad algemeen is aangegeven dat er geen tweede filterlaag is (cel F6 = nee), dan waarschuwing: melding = er is een tweede filterlaag.
 - als $D_{k90} < D_{k50}$, dan foutmelding = check $D50 < D90$ klei
 - als $D_{z50} > 1$ mm, dan foutmelding = zand is te grof ($D_{z50} > 1\text{mm}$)

- als $D_{z90} < D_{z50}$ of $D_{z50} < D_{z15}$, dan foutmelding = check $D15 < D50 < D90$ zand
- als $h_{golven1} > h_{golven2}$ of $h_{golven2} > h_{golven3}$ of ($h_{golven3} > h_{golven4}$ en $h_{golven4} > 0$), dan foutmelding = check in golventabel $h1 < h2 < h3 < h4$
- als ondanks het aanvullen uit tabel 4.1 er toch één of meer coördinaten ontbreken, dan foutmelding = coördinaat ontbreekt
- Als voor de eerste regel van het profiel geldt: $Z_b < Z_o$ dan: foutmelding = “Eerste regel is niet het meest zeewaartse segment.” (Let op: deze controle moet vóór de volgende uitgevoerd worden, omdat anders Z_b en Z_o al verwisseld zijn)
- als gekozen voor ‘invoer met taludhellingen’ ($coord_talud_i = t$) en $Z_b < Z_o$ dan worden Z_b en Z_o verwisseld.
- als gekozen voor ‘invoer met taludhellingen’ ($coord_talud_i = t$) en $\tan\alpha = 0$ en B_{segm} is blanco, dan foutmelding = segmentbreedte ontbreekt
- als gekozen voor ‘invoer met taludhellingen’ ($coord_talud_i = t$) en $0 < \tan\alpha < 1/9$ en B_{segm} is niet blanco en $abs(B_{segm} - abs(Z_b - Z_o)/\tan\alpha) < 0,03$, dan $Z_b = Z_o + B_{segm} \cdot \tan\alpha$ (ingevoerde waarden blijven onveranderd, maar er wordt verder gerekend met de aangepaste waarde)
- Als de subvakgrenzen in twee verschillende gebieden zitten uit de golventabel, dan volgt een foutmelding: foutmelding = subvakgrenzen in 2 zones van tabel met golfcondities.



Figuur 4.1 Verdeling van dwarsprofiel in bekledingsegmenten

- Aansluiting van coördinaten in opeenvolgende regels in hetzelfde dwarsprofiel (ingevoerde waarden blijven onveranderd, maar er wordt verder gerekend met de aangepaste waarde):
 - Als (gekozen voor coördinateninvoer en $abs(Z_{lr} - Z_{rr-1}) \leq 0,05$ m) dan $Z_{lr} = Z_{rr-1}$ anders: als $abs(Z_{lr} - Z_{rr-1}) > 0,05$ m dan melding = gat in profiel
 - Als (gekozen voor coördinateninvoer en $abs(Y_{lr} - Y_{rr-1}) \leq 0,05$ m) dan $Y_{lr} = Y_{rr-1}$ anders: als $abs(Y_{lr} - Y_{rr-1}) > 0,05$ m dan melding = gat in profiel
 - Als gekozen voor taludhellingeninvoer en $\tan\alpha_r \geq 0$ en $\tan\alpha_{r-1} \geq 0$:
 - Als $abs(Z_{or} - Z_{br-1}) \geq 0,05$ dan melding = gat in profiel, anders:
 - Als $abs(Z_{or} - Z_{br-1}) > 0$, dan $Z_{or} = Z_{br-1}$
 - Als gekozen voor taludhellingeninvoer en $\tan\alpha_r < 0$ en $\tan\alpha_{r-1} \geq 0$:

- Als $\text{abs}(Z_{br} - Z_{br-1}) \geq 0,05$ dan melding = gat in profiel, anders:
- Als $\text{abs}(Z_{br} - Z_{br-1}) > 0$, $Z_{br-1} = Z_{br}$
- Als(gekozen voor taludhellingeninvoer en $\tan\alpha_r \leq 0$ en $\tan\alpha_{r-1} < 0$):
 - Als $\text{abs}(Z_{br} - Z_{or-1}) \geq 0,05$ dan melding = gat in profiel, anders:
 - Als $\text{abs}(Z_{br} - Z_{or-1}) > 0$, $Z_{or-1} = Z_{br}$

NB: als gekozen is voor taludhellingeninvoer dan heeft de zeezijde positieve taludhellingen, en de havenzijde of polderzijde heeft negatieve taludhellingen.

Als er op één regel van een dwarsprofiel een foutmelding ontstaat, dan zijn de andere regels mogelijk ook niet goed omdat een aantal aspecten van de toetsing afhankelijk zijn van het gehele dwarsprofiel. Daarom wordt in kolom A het hele dwarsprofiel voorzien van een roze kleur, terwijl wellicht slechts in één regel een foutmelding staat. Het is essentieel dat alle foutmeldingen in een dwarsprofiel verholpen worden, omdat anders de resultaten niet te vertrouwen zijn.

4.3 Uit de coördinaten van het dwarsprofiel de taludhellingen per segment bepalen

Als gekozen is voor de optie ‘dwarsprofiel invoeren met coördinaten’ in het werkblad ‘algemeen’ dan moeten de waarden omgerekend worden naar taludhellingen.

Indien gekozen is voor de optie ‘dwarsprofiel invoeren met taludhellingen’ dan zijn deze berekeningen niet nodig. In deze module moeten echter wel de formules opgenomen worden die nodig zijn om coördinaten te berekenen uit de taludhellingen. Men kan immers in het werkblad algemeen aangeven dat men toch wil overstappen op coördinaten. De coördinaten worden dan berekend uitgaande van $Y = 0$ in het meest zeewaarts gelegen punt van het profiel (= eerste regel).

Een negatieve taludhelling duidt op het binnentalud van een dijk of havendam.

De volgende berekeningen en controles worden uitgevoerd:

- Als coördinateninvoer en ($Y_{11} < Y_{12} < Y_{13} < \dots$ of $Y_{11} > Y_{12} > Y_{13} > \dots$) dan OK, anders melding = segmenten niet op volgorde
- Van coördinaten naar taludhellingen:

$$\tan \alpha = \frac{Z_r - Z_l}{\text{abs}(Y_r - Y_l)} \quad (4.1)$$

NB: door de absolute waarde is de taludhelling aan zeezijde altijd positief en aan de havenzijde of polderzijde negatief.

Als $\text{abs}(\tan\alpha) \leq 1/9$, dan $B_{\text{segm}} = \text{abs}(Y_r - Y_l)$, anders B_{segm} blanco laten.

- Controle: er mag maximaal éénmaal een tekenwisseling in de taludhelling voorkomen per dwarsprofiel:
 - als er twee of minder regels in het dwarsprofiel zitten, dan OK.
 - Als alle $\tan\alpha_r \geq 0$ of alle $\tan\alpha_r \leq 0$ in één dwarsprofiel, dan OK.
 - als $\tan\alpha_1 = 0$, dan $R=2$, anders $R=1$ (R = referentie regelnummer voor deze controle):

- als $\tan\alpha_R > 0$, dan wordt gezocht naar de regel in hetzelfde dwarsprofiel met $\tan\alpha_r < 0$ met het laagste regelnummer. Als er nog een hoger regelnummer is met $\tan\alpha_r > 0$, dan volgt er een melding: melding = 2 kruinen in dwp.
- als $\tan\alpha_R < 0$, dan wordt gezocht naar de regel in hetzelfde dwarsprofiel met $\tan\alpha_r > 0$ met het laagste regelnummer. Als er nog een hoger regelnummer is met $\tan\alpha_1 < 0$, dan volgt er een foutmelding: melding = 2 kruinen in dwp.
- van taludhellingen naar coördinaten:

Begin bij de eerste regel van een dijksprofiel en bereken de coördinaten van de opeenvolgende regels:

 - Als er geen waarde voor Y_{11} is, wordt: $Y_{11} = 0$
 - Als ($\tan\alpha_1 < 0,1$ en B_{segm} is niet blanco), dan $Y_{r1} = Y_{11} + B_{\text{segm}1}$ anders $Y_{r1} = Y_{11} + (Z_{b1} - Z_{o1})/\tan\alpha_1$
 - $Y_{12} = Y_{r1}$
 - Als $\tan\alpha_2 < 0,1$, dan $Y_{r2} = Y_{12} + B_{\text{segm}2}$ anders $Y_{12} = Y_{12} + (Z_{b2} - Z_{o2})/\tan\alpha_2$
 - Etc

algemeen:

 - $Y_{lr} = Y_{rr-1}$
 - Als $\tan\alpha_r < 0,1$, dan $Y_{rr} = Y_{lr} + B_{\text{segm}r}$ anders $Y_{rr} = Y_{lr} + (Z_{br} - Z_{or})/\tan\alpha_r$

De oorspronkelijke ingevoerde gegevens (of dat nu taludhellingen of coördinaten waren) worden bewaard en opnieuw weergegeven als geswitched wordt naar de andere wijze van invoeren van het dwarsprofiel. Als na het switchen de getallen veranderd worden, wordt alles weer geupdate.

Afhankelijk van de grootte van de taludhelling worden er waarschuwingen of foutmeldingen gegeven:

- Als $\tan\alpha > 1$ dan volgt een foutmelding: melding = talud is te steil
- Als voor het laagste gelegen talud (bovenste regel van het dwarsprofiel) geldt dat $\tan\alpha > 0,5$, dan volgt een waarschuwing: controleer de stabiliteit van de teen.

4.4 Per regel vaststellen of er een toetsing moet worden uitgevoerd.

Om rekentijd te besparen wordt in een zo vroeg mogelijk stadium vastgesteld of er een toetsing moet worden uitgevoerd in de betreffende rij. Alleen steenzettingen worden getoetst.

De beoordeling gaat als volgt (de codes worden in het werkblad "info" toegelicht):

Als ($10 \leq \text{toplaagtype} < 14$ of $17 \leq \text{toplaagtype} < 18$ of $26 \leq \text{toplaagtype} < 30$ of $32 \leq \text{toplaagtype} < 33$) dan toetsen als steenzetting, anders: geen toetsing mogelijk (alle cellen met een score krijgen een vraagteken en worden wit gekleurd).

4.5 Vaststellen of het een onderbeloop, berm, bovenbeloop, kruin of binnentalud is

Per regel die getoetst moet worden, wordt vastgesteld of het een onderbeloop (talud onder de berm), een berm, een bovenbeloop (talud boven een berm), een kruin of binnentalud is:

- Eerst wordt de kruin gezocht:
 - o Als alle taludhellingen in het dwarsprofiel positief zijn, dan is er geen kruin: $B_{\text{kruin}} = 0$ en $h_{\text{kr}} = 100$ (ga door naar de bermen).
 - o De grootste waarde van Z_b wordt gezocht: $h_{\text{kr}} = \max(Z_b)$ en $Y_{\text{kruin}} = Y_r$.
 - o Vervolgens wordt van deze twee of drie regels (de grootste waarde kan in meerdere regels optreden) de regel gekozen met de kleinste absolute waarde van de taludhelling. Als voor deze taludhelling geldt dat $\text{abs}(\tan\alpha) \leq 1/9$, dan is dit segment de kruin (segmenttype_t = kruin) en is $B_{\text{kruin}} = \text{abs}(Y_l - Y_r)$, anders is geen enkel segment een kruin en geldt $B_{\text{kruin}} = 0$. Als er meerdere naast elkaar gelegen segmenten ongeveer horizontaal zijn ($\text{abs}(\tan\alpha) \leq 1/9$), dan geldt: $B_{\text{kruin}} = \max\{ \text{abs}[\min(\text{alle } Y_l) - \max(\text{alle } Y_r)] ; \text{abs}[\max(\text{alle } Y_l) - \min(\text{alle } Y_r)] \}$.
- Dan worden de bermen gezocht:
 - o alle segmenten, behalve de kruin, waarvoor geldt dat $0 \leq \tan\alpha \leq 1/9$ zijn een buitenberm (segmenttype_t = buitenberm), tenzij het regelnummer groter is dan het regelnummer van de kruin (als er geen kruin is, en er wordt voldaan aan $0 \leq \tan\alpha \leq 1/9$, dan segmenttype_t = buitenberm).
 - o alle segmenten, behalve de kruin en buitenbermen, waarvoor geldt dat $-1/9 \leq \tan\alpha \leq 0$ zijn een binnenberm (segmenttype_t = binnenberm).
- Tenslotte wordt vastgesteld of het een onderbeloop, bovenloop of binnentalud is:
 - o alle segmenten met een negatieve taludhelling, behalve de kruin en bermen, zijn binnentalud:
 - boven de bovenste binnenberm: segmenttype_t = bovenbeloop binnen
 - onder de bovenste binnenberm: segmenttype_t = onderbeloop binnen
 - o Voor de overige segmenten (geen kruin, berm of binnentalud) geldt:
 - als er geen buitenberm is, zijn alle segmenten een onderbeloop (segmenttype_t = onderbeloop)
 - alle segmenten onder de onderste buitenberm zijn een onderbeloop (segmenttype_t = onderbeloop)
 - alle segmenten boven de bovenste buitenberm zijn bovenbeloop (segmenttype_t = bovenbeloop)
 - overige segmenten zijn onder/bovenbeloop (segmenttype_t = onder/bovenbeloop)
- Als het segment een berm is, en dit segment is de eerste regel van het dwarsprofiel, dan volgt de foutmelding: melding = helling ondertalud onbekend

4.6 Bepaling type steenzetting en ingieting

Op basis van de globale eigenschappen van de toplaag en de onderlagen kan het type steenzetting bepaald worden voor de eenvoudige toetsing. Deze indeling is later ook nodig om te beoordelen of bepaalde berekeningen uitgevoerd moeten worden of niet.

De volgende hoofdtypes worden onderscheiden (de types 1 tot en met 6 zijn zoals in het Technisch Rapport Steenzettingen, TAW 2003):

- Type 1: Toetsing van steenzetting op geotextiel op zand of klei
- Type 2: Toetsing van steenzetting op goede klei
- Type 3: Toetsing van steenzetting op filter
- Type 4: Toetsing van geschakelde blokken op geotextiel op zand of klei
- Type 5: Toetsing van geschakelde blokken op goede klei
- Type 6: Toetsing van geschakelde blokken op filter
- Type 7: Noorse steen, Vilvoordse steen en Lessinische steen
- Type 8: Doorgroeištenen
- Type 9: blokken op hun kant met twijfelachtige of slechte afstandhouders

In onderstaande tabel 4.2 is de relatie gegeven tussen het type topklaag, het type onderlagen en het resulterende type steenzetting. Voor een lijst met verklaring van de typenummers wordt verwezen naar de handleiding (Klein Breteler 2009a).

<i>Type topklaag</i>	<i>Type onderlagen</i>	<i>Type steenzetting</i>
$10 \leq \text{type} < 12$ of $26 \leq \text{type} < 28,6$ $28,7 \leq \text{type} \leq 29$ of 32	{ge of as} en {géén: st of pu of sl of gr of my}	1
$10 \leq \text{type} < 12$ of $26 \leq \text{type} \leq 28,03$ of 28,11 of 28,12 of $28,21 \leq \text{type} \leq 28,59$ of $28,7 \leq \text{type} \leq 29$ of 32	kl en {géén ge of st of pu of sl of gr of my}	2
($10 \leq \text{type} < 12$ èn ervaring_afstandhouders_ti = g of blanco) of $26 \leq \text{type} < 28,03$ of 28,11 of 28,11 of $28,21 \leq \text{type} < 28,6$ of $28,7 \leq \text{type} \leq 29$ of 32	st of pu of sl of gr of my	3
$12 \leq \text{type} < 14$	ge géén: st of pu of sl of gr of my	4
$12 \leq \text{type} < 14$	{kl of as} en {géén ge of st of pu of sl of gr of my}	5
$12 \leq \text{type} < 14$	st of pu of sl of gr of my	6
$28,6 \leq \text{type} < 28,7$ of 28,1 of 28,2	alles	7
type = 17	kl	8
$10 \leq \text{type} < 12$ èn ervaring_ afstandhouders_ti = t of o of ?	st of pu of sl of gr of my	9
overige	overige	0

Tabel 4.2, indeling naar type steenzetting afhankelijk van type topklaag en type onderlagen

Als de bekleding geen steenzetting blijkt te zijn, is het type 0 en wordt de score van de toetsing “?”. Bovendien volgt er een waarschuwing: melding = topklaagtype onbekend.

De waarde van de tweede decimaal (achter de komma) van het type topklaag bepaalt of de topklaag is ingegoten:

- tweede decimaal = 0: ingegoten = nee

- tweede decimaal = 1: ingegoten = gietasfalt
- tweede decimaal = 2: ingegoten = beton
- Als $D_{ingieting_ti} > 0$ en $E_VGD_ti > 0$ en tweede decimaal = 0 dan geldt toch ingegoten = gietasfalt.
- Als $D_{ingieting_ti} > 0$ en E_VGD_ti is blanco en tweede decimaal = 0 dan: melding = toplaag is ingegoten?

Als het type toplaag 11,3 of 11,5 is en bovendien $ervaring_afstandhouders_ti \neq g$ dan is er sprake van blokken op hun kant met slecht functionerende afstandhouders. Hiervoor geldt dat het type steenzetting gelijk is aan 9.

Tenslotte wordt gekeken of er voldoende informatie over de bovenste filterlaag is ingevoerd:

- Als het type steenzetting 3 of 6 is, en $bf1_t$ is blanco of 0 dan volgt er een foutmelding: melding = filterlaagdikte is niet ingevuld
- Als het type steenzetting 3 of 6 is, en de toplaag is niet ingegoten met beton of gietasfalt, en D_{f15} is blanco of 0 dan volgt er een foutmelding: melding = Df15 van filter is niet ingevuld

4.7 Spleetbreedte berekenen en open oppervlak

Voor steenzettingen van het type 3 of 6 (die niet zijn ingegoten) wordt bij rechthoekige blokken de spleetbreedte opgegeven, en bij zuilen het open oppervlak. Uiteindelijk is zowel het open oppervlak nodig, als de equivalente spleetbreedte:

- Voor steenzettingen van het type 3 of 6, die niet zijn ingegoten (ingegoten = nee):
 - Als Ω is blanco en (toplaagtype = 26 of 27,0 of 27,1 of 27,2 of 27,3) dan melding = open oppervlak ontbreekt, anders:
 - Als s_s is blanco en s_l is niet blanco, dan $s_s = s_l$
 - Als s_l is blanco en s_s is niet blanco, dan $s_l = s_s$
 - Als s_l en s_s en Ω zijn blanco, dan melding = spleetbreedte of open opp. ontbreekt, anders:
 - Als (s_s en s_l is blanco en er zijn geen gaten in de toplaag) of toplaagtype = 26 of 27,0 of 27,1 of 27,2 of 27,3 dan wordt de spleetbreedte berekend en wordt niet de ingevoerde waarde van s gebruikt:

$$s_s = s_l = -\frac{1}{2}(B+L) + \sqrt{\frac{\Omega BL}{1-\Omega} + \frac{1}{4}(B+L)^2} \quad (4.2)$$

anders:

- Als s_l en s_s is blanco en er zijn gaten in de toplaag, dan melding = spleetbreedte ontbreekt, anders:
- Als Ω is blanco en (toplaagtype \neq 26 of 27,0 of 27,1 of 27,2 of 27,3), dan wordt het berekend (als geen gaten dan geldt $N_{gat} = A_{gat} = 0$):

$$\Omega = \frac{s_s(B+s_l) + s_l L + \sum N_{gat} A_{gat}}{(B+s_l) \cdot (L+s_s)} \quad (4.3)$$

4.8 Leklengte

Als het type 3 of 6 (geen ingegoten steenzetting: ingegoten = nee) is, dan wordt de leklengte berekend. Hiervoor wordt eerst de doorlatendheid van de twee granulaire filterlagen, het inwasmateriaal, de geotextielen en de toplaag berekend.

4.8.1 Granulair materiaal

Voor de doorlatendheid van het granulaire filter gelden de volgende formules. Deze zijn toepasbaar voor de eerste en tweede filterlaag.

$$a_f = 160 \frac{v(1-n)^2}{gn^3 D_{15}^2} \quad (4.4)$$

$$b_f = \frac{2,2}{gn^2 D_{15}} \quad (4.5)$$

$$k = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 1,2 \cdot b}}{0,6 \cdot b} \quad (4.6)$$

$$v = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{kinematische viscositeit van water})$$

Met deze formules wordt het volgende berekend:

input		resultaat		
$D_{15} = D_{fl.51}$ factor_toplaag_D15f+ vergr_toplaag_D15f	$n = n_{fl}$ factor_toplaag_nf+ vergr_toplaag_nf	a_{fl}	b_{fl}	k_1
$D_{15} = D_{fl.52}$ factor_toplaag_D15f+ vergr_toplaag_D15f	$n = n_{fl}$ factor_toplaag_nf+ vergr_toplaag_nf	a_{fl}	b_{fl}	k_2

Tabel 4.3. Berekende weerstands- en doorlatendheidsparameters van het filter.

Als er geen tweede filterlaag is, dan geldt $k_2 = 0$.

Er worden echter afwijkende formules gebruikt voor de doorlatendheid van het granulaire materiaal tussen de spleten en vlak onder de spleten:

- Filter:

$$a_{f_{top}} = 160 \frac{v(1-n-0,1)^2}{g(n+0,1)^3 D_{15}^2} \quad (4.7)$$

$$b_{f_{top}} = \frac{0,14}{g(n+0,1)^5 D_{15}} \quad (4.8)$$

$$v = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{kinematische viscositeit van water})$$

- Inwasmateriaal:

$$a_i = 160 \frac{v(1-n)^2}{gn^3 D_{15}^2} \quad (4.9)$$

$$b_i = \frac{0,10}{gn^5 D_{15}} \quad (4.10)$$

$v = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (kinematische viscositeit van water)

Er wordt altijd gerekend met $n = 0,7$, want de porositeit van het inwasmateriaal is geen invoer variabele meer.

Als er geen inwasmateriaal is gebruikt, dan geldt $a_i = b_i = 0$.

Met deze formules wordt het volgende berekend:

input		resultaat		
$D_{15} = D_{f151}$ factor_toplaag_D15f+ vergr_toplaag_D15f	$n = n_{f1}$ factor_toplaag_nf+ vergr_toplaag_nf + 0,1	a_{f1op}	b_{f1op}	Filtermateriaal bij de toplaag
$D_{15} = D_{i15}$	$n = n_i = 0,7$	a_i	b_i	Inwasmateriaal

Tabel 4.4. Berekende weerstands- en doorlatendheidsparameters van het filter bij de toplaag en het inwasmateriaal.

4.8.2 Geotextiel onder de zetting en onder het filter

Op basis van de invoer worden de parameters a_g en b_g als volgt berekend:

$$a_g T_g = \frac{\phi_{geo}}{q_{geo}} (1 - p_{geo}) \quad (4.11)$$

$$b_g T_g = \frac{\phi_{geo}}{q_{geo}^2} p_{geo} \quad (4.12)$$

$$p_{geo} = 0,20 \quad (4.13)$$

Hierbij is aangenomen dat de metingen van de doorlatendheid van het geotextiel zijn uitgevoerd met vrij lage stroomsnelheid en dat daarbij de stromingsweerstand voor 80% wordt bepaald door de laminaire term en voor 20% door de turbulente term.

Met deze formules wordt het volgende berekend:

input		resultaat		
$\phi_{\text{geo}} = \phi_{\text{geo}1}$	$q_{\text{geo}} = q_{\text{geo}1}$	$[a_g T_g]_1$	$[b_g T_g]_1$	Tussen toplaag het filter
$\phi_{\text{geo}} = \phi_{\text{geo}2}$	$q_{\text{geo}} = q_{\text{geo}2}$	$[a_g T_g]_2$	$[b_g T_g]_2$	Tussen filter en ondergrond

Tabel 4.5. Berekende weerstandsparameters van het geotextiel.

Als er geen geotextiel tussen toplaag en filter zit, dan geldt $[a_g T_g]_1 = [b_g T_g]_1 = 0$.

4.8.3 Doorlatendheid toplaag

Eerst worden de veiligheidsfactoren in rekening gebracht (bij toetsing geldt: factor... = 1 en vergr... = 0):

$$s_s = [S_s]_{\text{input}} \cdot \text{factor_toplaag_s} + \text{vergr_toplaag_s}$$

$$s_l = [S_l]_{\text{input}} \cdot \text{factor_toplaag_s} + \text{vergr_toplaag_s}$$

$$\Omega = [\Omega]_{\text{input}} \cdot \text{factor_toplaag_omega} + \text{vergr_toplaag_omega}$$

$$D = [D]_{\text{input}} \cdot \text{factor_toplaag_D} + \text{vergr_toplaag_D}$$

$$D_{f15} = [D_{f15}]_{\text{input}} \cdot \text{factor_toplaag_D15f} + \text{vergr_toplaag_D15f}$$

$$n_f = [n_f]_{\text{input}} \cdot \text{factor_toplaag_nf} + \text{vergr_toplaag_nf}$$

Als gebruikgemaakt wordt van default-waarden omdat de gebruiker iets niet ingevuld heeft, dan moet ook op die waarden bovenstaande veiligheidsfactoren toegepast worden.

Als een of meer van deze waarden blanco zijn, dan moeten ze blanco blijven.

De doorlatendheid van de toplaag moet worden berekend met de toplaagdikte zoals hij door de gebruiker is ingevoerd ($[D]_{\text{input}} \cdot \text{factor_toplaag_D} + \text{vergr_toplaag_D}$), maar ook met een vergrote toplaagdikte: $D_{to} = 1,5 \cdot ([D]_{\text{input}} \cdot \text{factor_toplaag_D} + \text{vergr_toplaag_D}) = D_{to_t}$. In deze paragraaf wordt de toplaagdikte steeds aangeduid met D.

Voor de naamgeving van de variabelen geldt dat $_{to}$ wordt toegevoegd in de naam (voor de $_{t}$ of $_{o}$) als het betrekking heeft op $D_{to} = 1,5 \cdot ([D]_{\text{input}} \cdot \text{factor_toplaag_D} + \text{vergr_toplaag_D})$, bijvoorbeeld:

- met normale toplaagdikte: $k_{\text{top_stoot_t}}$
- met anderhalf maal vergrote toplaagdikte: $k_{\text{top_stoot_to_t}}$

Steeds wordt de doorlatendheid van de stootvoegen, langsvoegen en de gaten afzonderlijk berekend. De volgende berekeningen worden uitgevoerd:

- de doorlatendheid van de stootvoegen ($k'_{\text{stootvoegen}}$) met $s = s_s + 0,3 \cdot 10^{-3}$ m en

$$A_{ro} = (s_s + 0,3 \cdot 10^{-3}) / (L + s_s + 0,3 \cdot 10^{-3}) \quad (4.14)$$

- de doorlatendheid van de langsvoegen ($k'_{\text{langsvoegen}}$) met $s = s_l + 0,3 \cdot 10^{-3}$ m en

$$A_{ro} = (s_l + 0,3 \cdot 10^{-3}) / (B + s_l + 0,3 \cdot 10^{-3}) \quad (4.15)$$

Spleetweerstand

Als eerste schatting wordt aangenomen dat de stroming laminair is, dus:

$$a_s = \frac{12v}{gs^2 A_{ro}} \quad (4.16)$$

$$b_s = 0 \quad (4.17)$$

Hiermee wordt k_t geschat (eerste schatting van k' met onderstaande formules voor de doorlatendheid van spleten tussen blokken of zuilen) en de bijbehorende filtersnelheid v_t :

$$v_t = k_t/A_{ro} \quad (4.18)$$

Als $v_t \cdot s/v \leq 5000$ dan verandert er niets.

Als $v_t \cdot s/v > 5000$ dan wordt gesteld:

$$a_s = 0 \quad \text{en} \quad (4.19)$$

$$b_s = \frac{2}{sC^2 A_{ro}^2} \quad (4.20)$$

$$C = 18 \cdot \log\left(\frac{6s}{1 \cdot 10^{-4}}\right) \quad (4.21)$$

Hiermee wordt de definitieve waarde voor k' berekend.

Doorlatendheid spleten tussen blokken of zuilen

Er wordt gerekend met de eigenschappen van de eerste (bovenste) filterlaag (D_{f151} en n_{f1}).

Als er geen geotextiel tussen toplaag en filter zit, dan geldt $[a_g T_g]_1 = [b_g T_g]_1 = 0$.

$$e = \exp(1) \quad (4.22)$$

$$r_{\min} = \max(0,8D_{f15}; 0,5s) \quad (4.23)$$

$$n_{\text{instroom}} = 0,6 \quad (4.24)$$

$$\text{Als er inwasmateriaal is: } n = n_i = 0,7, \text{ anders: } n = n_{\text{instroom}} \quad (4.25)$$

$$a_{\text{spleet}} = a_s + \frac{s a_{\text{flop}}}{\pi D A_{ro}} \cdot \ln\left(\frac{s}{\pi e A_{ro} r_{\min}}\right) + \frac{[a_g T_g]_1}{D A_{ro}} + \frac{a_i}{2 A_{ro}} \quad (4.26)$$

$$b_{\text{spleet}} = b_s + \frac{1}{g D A_{ro}^2} \left(1 - \frac{1}{n} + \frac{1 - A_{ro}^2}{2 n_{\text{instroom}}^2}\right) + \frac{1}{g D} \left(1 - \frac{1}{A_{ro}}\right) + \frac{s b_{\text{flop}}}{\pi D A_{ro}} \left(\frac{s}{\pi r_{\min} A_{ro}} - 2\right) + \frac{[b_g T_g]_1}{D A_{ro}^2} + \frac{b_i}{2 A_{ro}^2} \quad (4.27)$$

$$k' = \frac{-a_{\text{spleet}} + \sqrt{a_{\text{spleet}}^2 + 4b_{\text{spleet}}}}{2b_{\text{spleet}}} \quad (4.28)$$

Doorlatendheid gaten

Onderstaande formules zijn van toepassing voor de gaten in de blokken.

Er wordt gerekend met de eigenschappen van de eerste (bovenste) filterlaag (D_{f151} en n_{f1}).

Als er geen geotextiel tussen toplaag en filter zit, dan geldt $[a_g T_g]_1 = [b_g T_g]_1 = 0$.

Als er gaten zijn worden de volgende berekeningen uitgevoerd:

- de doorlatendheid van het eerste gat (k'_{gat1}) berekenen met

$$A_g = A_{g1} \text{ en } A_{ro} = A_{g1}/(B + s_1 + 0,3 \cdot 10^{-3})/(L + s_s + 0,3 \cdot 10^{-3}) \quad (4.29)$$

- de doorlatendheid van het tweede gat (k'_{gat2}) berekenen met

$$A_g = A_{g2} \text{ en } A_{ro} = A_{g2}/(B + s_1 + 0,3 \cdot 10^{-3})/(L + s_s + 0,3 \cdot 10^{-3}) \quad (4.30)$$

- de doorlatendheid van het derde gat (k'_{gat3}) berekenen met

$$A_g = A_{g3} \text{ en } A_{ro} = A_{g3}/(B + s_1 + 0,3 \cdot 10^{-3})/(L + s_s + 0,3 \cdot 10^{-3}) \quad (4.31)$$

$$r_{\min} = \max(0,8D_{f15}; 0,5\sqrt{A_g}) \quad (4.32)$$

$$\text{Als er inwasmateriaal is: } n = n_i = 0,7, \text{ anders: } n = n_{\text{instroom}} \quad (4.33)$$

$$a_{gat} = \frac{a_{flop}}{D} \sqrt{\frac{A_g}{4\pi A_{ro}}} \left(\frac{1}{r_{\min}} \sqrt{\frac{A_g}{4\pi A_{ro}}} - 2 \right) + \frac{[a_g T_g]_1}{DA_{ro}} + \frac{a_i}{2A_{ro}} \quad (4.34)$$

$$b_{gat} = \frac{1}{gDA_{ro}^2} \left(1 - \frac{1}{n} + \frac{1 - A_{ro}^2}{2n_{\text{instroom}}^2} \right) + \frac{1}{gD} \left(1 - \frac{1}{A_{ro}} \right) + \frac{b_{flop}}{D} \sqrt{\frac{A_g}{4\pi A_{ro}}} \left(3 \left(\frac{1}{r_{\min}} \sqrt{\frac{A_g}{4\pi A_{ro}}} \right)^3 - 4 \right) + \frac{[b_g T_g]_1}{DA_{ro}^2} + \frac{b_i}{2A_{ro}^2} \quad (4.35)$$

$$k'_{gat} = \frac{-a_{gat} + \sqrt{a_{gat}^2 + 4b_{gat}}}{2b_{gat}} \quad (4.36)$$

Als er geen gaten zijn geldt $k_{gat} = 0$.

Totale toplaagdoorlatendheid

Tenslotte worden alle doorlatendheden opgeteld:

$$k' = k'_{\text{stootvoegen}} + k'_{\text{langsvoegen}} + N_{gat1} k'_{gat1} + N_{gat2} k'_{gat2} + N_{gat3} k'_{gat3} \quad (4.37)$$

4.8.4 Leklengte

De leklengte kan als volgt berekend worden:

$$\Lambda = \max \left(\sqrt{\frac{D(b_1 k_1 + b_2 k_2)}{k'}}; 0,5 \cdot D \right) \quad (4.38)$$

Als de tweede filterlaag niet aanwezig is, geldt $b_2 = k_2 = 0$.

De lek lengte van de toplaag moet worden berekend met de toplaagdikte zoals hij door de gebruiker is ingevoerd ($[D]_{input} \cdot factor_toplaag_D + vergr_toplaag_D$), maar ook met een vergrote toplaagdikte: $D_{to} = 1,5 \cdot ([D]_{input} \cdot factor_toplaag_D + vergr_toplaag_D)$. In deze paragraaf is de toplaagdikte steeds aangeduid met D .

Het resultaat is als volgt:

- De lek lengte met $D_t = [D]_{input} \cdot factor_toplaag_D + vergr_toplaag_D$ levert: $labda_t$
- De lek lengte met $D_{to} = 1,5 \cdot ([D]_{input} \cdot factor_toplaag_D + vergr_toplaag_D)$ levert: $labda_to_t$

4.9 Hydraulische randvoorwaarden

Aan de hand van de subvakgrenzen worden uit het werkblad ‘toetsgolven’ of ‘ontwerpgolven’ de hydraulische randvoorwaarden gehaald:

- gemiddeld hoogwater
- toetspeil
- getijrange
- eventueel de stroomsnelheid (als getoetst moet worden op stroming; $stroming_i=ja$)
- golfcondities bij vier waterstanden
- golfrichting
- minimale golfhoogte

De naamgeving van de golfcondities bij de vier waterstanden zijn verduidelijkt in onderstaande tabel.

	Golfhoogte		Golfperiode	
Waterstand	In verslag	In de code	In verslag	In de code
h_golven1_tgi	H_{s1}	Hs1	T_{p1}	Tp1
h_golven2_tgi	H_{s2}	Hs2	T_{p2}	Tp2
h_golven3_tgi	H_{s3}	Hs3	T_{p3}	Tp3
h_golven4_tgi	H_{s4}	Hs4	T_{p4}	Tp4

Tabel 4.6. De golfcondities bij vier waterstanden

Als het gebied IJsselmeer, Markermeer, Randmeren, Bovenrivieren of Benedenrivieren is, dan wordt de toetsing uitgevoerd met H_{s1} en T_{p1} . Voor dit gebied worden de golfcondities en maatgevende waterstand bepaald met de Hydra-programmatuur. Zoals in paragraaf 5.1 staat vermeld, wordt dan de berekeningen alleen uitgevoerd voor het toetspeil met H_{s1} en T_{p1} .

Voor de overige gebieden wordt eerst gecontroleerd of de golfhoogte continu oploopt of afloopt:

- Als $H_{s1} \geq H_{s2} \geq H_{s3} \geq H_{s4}$ of $H_{s1} \leq H_{s2} \leq H_{s3} \leq H_{s4}$ dan geen waarschuwing

- anders wordt er een waarschuwing gegeven: melding = Gecompliceerd golfhoogteverloop: controleer de maatgevende waterstand handmatig.

Vervolgens worden de golfcondities bij het toetspeil bepaald met behulp van lineaire interpolatie. De golfcondities op toetspeil ($h = h_{\text{toets}}$) worden als volgt genoemd:

- H_{stoets} (in code: Hs_toets)
- T_{ptoets} (in code: Tp_toets)

Als $H_{\text{stoets}} < H_{\text{smin}}$, dan geldt:

- $H_{\text{stoets}} = H_{\text{smin}}$ en (4.39)

- $T_{\text{ptoets}} = T_{\text{pmin}} = T_{\text{p1}} \cdot \sqrt{(H_{\text{smin}}/H_{\text{s1}})}$ (4.40)

Dit houdt in dat er gewerkt wordt met een minimum golfhoogte. Daarbij wordt een minimum golfperiode (T_{pmin}) berekend, zodat de golfsteilheid gelijk is aan die bij de laagste waterstand in de golventabel.

Tenslotte wordt voorkomen dat de golfperiode nul wordt (golfsteilheid is begrensd op 0,10) en dat de golfperiode niet te groot wordt:

$$T_{\text{ptoets}} = \min(\max(T_p; \sqrt{(H_s/1,56/0,1)}) ; 30) \quad (4.41)$$

Ook de golfhoogte wordt begrensd om problemen met een 'overflow' in de berekeningen te voorkomen:

$$H_{\text{stoets}} = \min(H_{\text{stoets}} ; 10) \quad (4.42)$$

Voor de resulterende golfcondities wordt de golfsteilheid berekend:

$$S_{\text{op}} = H_{\text{stoets}} / (1,56 T_{\text{ptoets}}^2) \quad (4.43)$$

Als $S_{\text{op}} > 0,06$, dan volgt er een melding (waarschuwing): melding = golfsteilheid $> 0,06$.

Voor de golfrichting ten opzichte van de dijk geldt:

- als tabel 1 van toepassing:

$$\beta = \min(\text{abs}(\text{beta11_tgi} - \text{beta_dijk_ti}) ; \text{abs}(\text{beta12_tgi} - \text{beta_dijk_ti})) \quad (4.44)$$

- als tabel 2 van toepassing:

$$\beta = \min(\text{abs}(\text{beta21_tgi} - \text{beta_dijk_ti}) ; \text{abs}(\text{beta22_tgi} - \text{beta_dijk_ti})) \quad (4.45)$$

- als tabel 3 van toepassing:

$$\beta = \min(\text{abs}(\text{beta31_tgi} - \text{beta_dijk_ti}) ; \text{abs}(\text{beta32_tgi} - \text{beta_dijk_ti})) \quad (4.46)$$

Als $\text{abs}(\beta) > 89^\circ$, dan is verdere toetsing op golven niet nodig. Alle scores zijn dan goed, behalve de score op stroming. De toetsing op stroming moet dan wel uitgevoerd worden. Bij de meldingen wordt vermeld (waarschuwing): melding = golfinvalshoek > 89 .

4.10 Golfploophoogte bij toetspeil

De golfploophoogte bij toetspeil wordt berekend om te beoordelen of de steenzetting boven een halve oploophoogte zit. In dat geval hoeft de bekleding namelijk niet getoetst te worden (de score is dan in alle gevallen goed).

Voor het berekenen van de golfploophoogte wordt alleen gekeken naar het buitentalud. Het is relevant of er een buitenberm in het buitentalud zit. Daarvoor wordt gekeken naar het segmenttype dat in paragraaf 4.5 is bepaald.

Als het dwarsprofiel uit één segment bestaat, dan geldt:

- als dit segment een berm is: foutmelding = ondertalud onbekend
- anders: $\tan\alpha_{\text{fict}} = \tan\alpha$

Als er meerdere buitenbermen zijn, die niet naast elkaar liggen, is de buitenberm die het dichtst bij het toetspeil ligt de belangrijkste (die met de kleinste waarde van $h_{\text{toets}} - (Z_o + Z_b)/2$).

Als er meerdere buitenbermen naast elkaar liggen, dan worden ze samen genomen:

$$Z_{o,\text{berm}} = \min(\text{alle } Z_o \text{ met segmenttype}_t = \text{buitenberm}) \quad (4.47)$$

$$Z_{b,\text{berm}} = \max(\text{alle } Z_b \text{ met segmenttype}_t = \text{buitenberm}) \quad (4.48)$$

Omdat er gerekend wordt bij toetspeil, geldt hier:

$$\begin{aligned} H_s &= H_{\text{stoets}} \\ T_p &= T_{\text{ptoets}} \\ h &= h_{\text{toets}} \end{aligned}$$

Voor de eventuele buitenberm wordt de diepte en breedte bepaald:

$$d_B = h - (Z_{o,\text{berm}} + Z_{b,\text{berm}})/2 \quad (\text{berm onder water, dan } d_B > 0) \quad (4.49)$$

$$B_{\text{berm}} = \Sigma B_{\text{segn}} \quad (4.50)$$

(als er meerdere bermen naast elkaar liggen, dan worden de segmentbreedtes opgeteld)

Als er geen buitenberm is, dan is $d_B = B_{\text{berm}} = L_{\text{berm}} = 0$.

Voor de waarde van L_{berm} (indien er een buitenberm is) moeten de punten op het talud bepaald worden op H_s onder en boven de berm:

- Voor het segment i geldt dat $Z_{oi} \leq h - d_B - H_s \leq Z_{bi}$ en voor segment j geldt dat $Z_{oj} \leq h - d_B + H_s \leq Z_{bj}$. Als deze segmenten niet gevonden kunnen worden dan moet er worden geëxtrapoleerd:
 - Als $Z_{o1} > h - d_B - H_s$, dan onderstaande formules gebruiken met het onderste segment (bovenste regel)
 - Als alle $Z_b < h - d_B + H_s$, dan het segment dat één regel boven de kruin zit (of de onderste regel van het buitentalud als er geen kruin is) gebruiken
- De Y-coördinaat van het punt met $Z = h - d_B - H_s$ en het punt met $Z = h - d_B + H_s$ volgt uit een interpolatie:

$$- Y_{h-d_B-H_s} = Y_{li} + \frac{h-d_B-H_s-Z_{li}}{Z_{ri}-Z_{li}}(Y_{ri}-Y_{li}) \quad (4.51)$$

$$- Y_{h-d_B+H_s} = Y_{lj} + \frac{h-d_B+H_s-Z_{lj}}{Z_{rj}-Z_{lj}}(Y_{rj}-Y_{lj}) \quad (4.52)$$

$$\bullet L_{\text{berm}} = \text{abs}(Y_{h-d_B-H_s} - Y_{h-d_B+H_s}) \quad (4.53)$$

Vervolgens wordt de gemiddelde taludhelling bepaald. Daartoe wordt het punt op het talud bepaald dat respectievelijk $1,5H_s$ onder het toetspeil en boven het toetspeil ligt:

- Voor het segment i geldt dat $Z_{oi} \leq h - 1,5H_s \leq Z_{bi}$ en voor segment j geldt dat $Z_{oj} \leq h + 1,5H_s \leq Z_{bj}$. Als deze segmenten niet gevonden kunnen worden dan moet er worden geëxtrapoleerd:
 - Als $Z_{o1} > h - 1,5H_s$, dan onderstaande formules gebruiken met het onderste segment (bovenste regel)
 - Als alle $Z_b < h + 1,5H_s$, dan het segment dat één regel boven de kruin zit (of de onderste regel van het buitentalud als er geen kruin is) gebruiken
- De Y-coördinaat van het punt met $Z = h - 1,5H_s$ en het punt met $Z = h + 1,5H_s$ volgt uit een interpolatie:

$$- Y_{h-1,5H_s} = Y_{li} + \frac{h-1,5H_s-Z_{li}}{Z_{ri}-Z_{li}}(Y_{ri}-Y_{li}) \quad (4.54)$$

$$- Y_{h+1,5H_s} = Y_{lj} + \frac{h+1,5H_s-Z_{lj}}{Z_{rj}-Z_{lj}}(Y_{rj}-Y_{lj}) \quad (4.55)$$

- De gemiddelde taludhelling is dan:
 - als er geen buitenberm is, of als de buitenberm meer dan $1,5H_s$ onder water ligt of meer dan $1,5H_s$ boven water ($\text{abs}(d_B) > 1,5H_s$):

$$\tan \alpha_{\text{oploop}} = \frac{3H_s}{\text{abs}(Y_{h-1,5H_s} - Y_{h+1,5H_s})} \quad (4.56)$$

$$- \text{anders: } \tan \alpha_{\text{oploop}} = \frac{3H_s}{\text{abs}(Y_{h-1,5H_s} - Y_{h+1,5H_s}) - B_{\text{berm}}} \quad (4.57)$$

De golfploophoogte wordt globaal geschat op basis van de volgende formules:

$$\xi_{\text{op,toets}} = \frac{\tan \alpha_{\text{oploop}}}{\sqrt{H_{\text{stoets}} / (1,56T_{\text{ptoets}}^2)}} \quad (4.58)$$

$$\text{Als } L_{\text{berm}} = 0 \text{ dan } \gamma_b = 1, \quad (4.59)$$

$$\text{anders: } \gamma_b = \max \{ 1 - B_{\text{berm}}/L_{\text{berm}} \cdot (0,5 + 0,5\cos[\min(\text{abs}(\pi d_B / (2H_{\text{stoets}})) ; \pi)]) ; 0,6 \} \quad (4.60)$$

$$\gamma_\beta = \max \{ 1 - 0,0022 \cdot \text{abs}(\beta) ; 0,824 \} \quad (4.61)$$

$$z_{2\%} = \gamma_{\beta} \cdot H_{\text{stoets}} \cdot \min \{ 1,75 \cdot 0,95 \cdot \gamma_b \cdot \xi_{\text{optoets}}/1,1 ; 0,95 \cdot (4,3 - 1,6/\sqrt{(\xi_{\text{optoets}}/1,1)}) \} \quad (4.62)$$

4.11 Dijk of havendam

De gebruiker geeft aan of het dwarsprofiel een dijk of een havendam betreft.

Als havendam_ti = j of ja of dam of havendam, dan is het een havendam. Zoniet, dan is het een dijk en wordt in het programma gecontroleerd of dit overeenkomt met de ingevoerde coördinaten of taludhellingen:

- Als in het dwarsprofiel alle taludhellingen niet-positief zijn, dan melding = alleen binnentalud gedefinieerd.
- Als de helling van het te toetsen talud negatief is en het is geen havendam, dan volgt er een waarschuwing: melding = binnentalud als havendam getoetst.
- Als de te toetsen bekleding een kruin is, en het is geen havendam, dan volgt er een waarschuwing: melding = kruin als havendam getoetst.
- Als de taludhelling van teken verandert en $h_{kr} \leq h_{\text{toets}} + 0,8 \cdot z_{2\%}$, en het is geen havendam, dan volgt er een waarschuwing: melding = bekleding getoetst als op dijk.

5 B: Toetsing van de stabiliteit van de toplaag op een dijk

Een belangrijke complicatie bij het toetsen van de stabiliteit van de toplaag op een dijk is dat op voorhand niet bekend is welke waterstand maatgevend zal zijn. Daardoor zal vooral voor steenzettingen op een filter een groot aantal berekeningen moeten worden uitgevoerd. Dit komt tot uiting in onderstaande rekenmodules. De reden dat niet bij voorbaat bekend is welke waterstand een maatgevende belastingsituatie oplevert, zijn (a) het feit dat de golfhoogte, golfperiode en golfrichting waterstandsafhankelijk zijn, (b) de mogelijke aanwezigheid van overgangsconstructies en (c) het feit dat de klemming positie-afhankelijk is.

Er is voor gekozen de volledige toetsing uit te voeren voor elke waterstand die uitgeprobeerd wordt om vast te stellen of het de maatgevende waterstand is.

5.1 Algemene rekenmodule voor de toplaagstabiliteit op een dijk

In deze module wordt gezocht naar de maatgevende waterstand en wordt de toetsing van de toplaagstabiliteit uitgevoerd. In deze module is een iteratie opgenomen die stap voor stap de waterstand aanpast op zoek naar de maatgevende waterstand. De maatgevende waterstand is gelijk aan de waterstand die het slechtste toetsresultaat oplevert. Tijdens het doorlopen van de iteraties wordt de bekleding dus steeds weer opnieuw getoetst. In bijlage B is dit deel van de berekeningen boven de stippellijn weergegeven.

Voor het uitvoeren van de toetsing worden diverse andere modules aangeroepen (zie paragraaf 5.2 tot en met 5.15):

1. Golfcondities bij de betreffende waterstand
2. Rekenwaarde voor de taludhelling.
3. Beoordeling of de steenzetting wel belast wordt.
4. Bepaling bermfactor
5. Bepaling invloedsfactor voor scheve golfaanval
6. Als type 3 of 6 dan belastingduur berekenen als functie van de locatie op de te toetsen steenzetting.
7. Bepaling invloed belastingduur.
8. Bepaling maatgevend stijghoogteverloop op de toplaag.
9. Berekening stijghoogteverschillen, inclusief de invloed van de overgangsconstructie.
10. Stabiliteit van los blok
11. Reststerkte van de toplaag en de klei.
12. Klemming.
13. Stabiliteit ingegoten steenzettingen.
14. Black box voor overige type steenzettingen.

Na het doorlopen van de iteraties wordt tenslotte het overschot aan toplaagdikte berekend.

Maatgevende waterstand

De berekeningen worden gestart bij het toetspeil. De hydraulische randvoorwaarden voor het toetspeil zijn reeds in paragraaf 4.9 bepaald. Met deze hydraulische randvoorwaarden worden de diverse modules van paragraaf 5.2 tot en met 5.15 doorlopen. De initiële waarden van $f_{g/t}$ en $f_{i/o}$ zijn 99.

Als het gebied IJsselmeer, Markermeer, Randmeren, Bovenrivieren of Benedenrivieren is, dan wordt de toetsing alleen rond het toetspeil uitgevoerd. De maatgevende waterstand is dan immers al bepaald met Hydra-Q of Hydra-B. Opgemerkt moet worden dat de huidige generatie Hydra-programmatuur (anno 2008) niet goed is afgestemd op Steentoets2008, omdat in Hydra nog uitgegaan wordt van een schematisatie van de oude formules van Steentoets 4.0. Dit betekent dat onder andere de belastingduur niet wordt meegewogen in het bepalen van de maatgevende waterstand. Dit moet in de toekomst nog verbeterd worden.

Teneinde goed om te gaan met de overgangsconstructies wordt het iteratieproces dat moet leiden tot de maatgevende waterstand gestart op een niveau van 20 cm boven het toetspeil, maar op toetspeil als de onderste overgangsconstructie boven het toetspeil ligt:

- Als $Z_0 < h_{\text{toets}}$ dan: iteratie starten bij $h_{\text{toets}} + 0,2$
- Als $Z_0 \geq h_{\text{toets}}$ dan: iteratie starten bij h_{toets}

Vanaf die startwaarde wordt de waterstand met stapjes van 30 cm verlaagd.

Voor elke de waterstand worden de golfcondities weer bepaald (interpolatie uit de golventabel: toetsgolven of ontwerpgolven), maar als de waterstand boven het toetspeil is, worden de golfcondities van het toetspeil gehanteerd. Met deze hydraulische randvoorwaarden worden de diverse modules weer doorlopen.

Ook voor de belastingduur wordt die bij toetspeil aangehouden als er gerekend wordt boven het toetspeil.

Steeds wordt er gerekend met de fictieve taludhelling, die in elke berekening opnieuw berekend wordt (zie paragraaf 5.3), hoewel in de formules in dit verslag gebruik gemaakt is van $\tan\alpha$.

Het verlagen van de waterstand (h) wordt voortgezet totdat (minimaal één berekening uitvoeren, namelijk bij het toetspeil):

- als $h < Z_0 + H_s/4$ of
- als het gebied IJsselmeer, Markermeer, Randmeren, Bovenrivieren of Benedenrivieren is, dan wordt de iteratie gestopt als $h < h_{\text{toets}} - 0,4$
- als $f_{g/t} < 0,1$ of
- als de waterstand 10 m is verlaagd.

Als het criterium $h < Z_0 + H_s/4$ overschreden wordt, wordt ook nog één berekening uitgevoerd bij $h = \min(Z_0 + H_s/4 ; h_{\text{toets}})$.

Vervolgens worden voor specifieke gevallen (bij het minimum van f_{gt} en bij een grote verandering van de f_{gt}) op tussenliggende waarden van de waterstand extra berekeningen uitgevoerd. Daartoe worden drie opeenvolgende waarden van de f_{gt} beschouwd (namelijk f_{gt1} , f_{gt2} en f_{gt3} , die berekend zijn op de respectieve waterstanden $h(f_{gt1})$, $h(f_{gt2})$ en $h(f_{gt3})$, met $h(f_{gt1}) = h(f_{gt2}) + 0,3 = h(f_{gt3}) + 0,6$):

- ter plaatse van het minimum in de waarde van f_{gt} : Als voor drie opeenvolgende waterstanden geldt: $f_{gt2} < f_{gt1}$ en $f_{gt2} < f_{gt3}$, dan moet de f_{gt} berekend worden voor de

tussenliggende waterstanden met stapgrootte van 5 cm. Met andere woorden: $h = h(f_{gt3}) + n \cdot 0,05$ met $n = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10$ en 11 . Als maximum waterstand wordt de beginwaarde van de iteratie genomen.

- als twee opeenvolgende waarde van f_{gt} meer dan 30 verschillen: Als voor 2 opeenvolgende waterstanden geldt: $f_{gt1} - f_{gt2} > 30$, dan moet de f_{gt} berekend worden voor de tussenliggende waterstanden met stapgrootte van 5 cm. Met andere woorden: $h = h(f_{gt2}) + n \cdot 0,05$ met $n = 1, 2, 3, 4$ en 5 . Als maximum waterstand wordt de beginwaarde van de iteratie genomen.

Voor elke waterstand worden de waarden van f_{gt} en h opgeslagen.

De laagste waarde van f_{gt} is maatgevend, en de bijbehorende waterstand is de maatgevende waterstand: h_MWS_t . Maar als de laagste waarde van f_{gt} ongeveer gelijk is aan die bij toetspeil (verschil is kleiner dan 0,001: $f_{gtmin} > f_{gt,toets} - 0,001$) dan wordt $h_MWS_t = h_{toets}$.

De bijbehorende golfcondities zijn de maatgevende golfcondities: Hs_t en Tp_t .

Voor de maatgevende golfcondities wordt de golfsteilheid berekend:

$$s_{op} = H_s / (1,56 T_p^2) \quad (5.1)$$

Als $s_{op} > 0,06$, dan volgt er een melding (waarschuwing): melding = golfsteilheid $> 0,06$.

Als $H_s > 4$ m, dan volgt er een melding (waarschuwing): melding = onbetrouwbaar: golfhoopte te groot ($H_s > 4m$). Er wordt ondanks deze meldingen wel gewoon doorgerekend.

Als $h_MWS_t > h_{toets}$ dan wordt in kolom CC (maatgevende waterstand) h_{toets} gegeven. De werkelijke maatgevende waterstand is wel in de verborgen kolommen te zien (kolom HP).

Twijfel/onvoldoende onderscheid

Als de toplaag niet goed is (en het toetsresultaat ook niet gelijk is aan “check $z_{2\%}/2$ ”, zie paragraaf 5.4), moet nog berekend worden of de toplaag twijfelachtig of onvoldoende is. Dit is alleen van toepassing op steenzettingen met type 3 of 6 die niet zijn ingegoten (ingegoten = nee). Als de toplaag niet goed is, worden bij de maatgevende waterstand en golfcondities alle modules nog eens doorlopen, maar nu met een anderhalf maal grotere toplaagdikte ($D_{to} = 1,5(D_{input} \cdot factor_toplaag_D + vergr_toplaag_D$ met $D_{input} = D_{ti}$) en bijbehorende leklengte (Λ_{to}).

Als de bekleding dan nog steeds niet goed is, dan is de toplaag ‘onvoldoende’, anders is de score van de toplaag ‘geavanceerd’.

De met D_{to} berekende waarden van f_{gt} wordt gebruikt voor het bepalen van f_{to} :

$$f_{to} = f_{gt}$$

Minimaal benodigde toplaagdikte

Als het toetsresultaat niet gelijk is aan “check $z_{2\%}/2$ ”, moet tenslotte voor niet-ingegoten steenzettingen (ingegoten = nee) van het type 3 of 6 de minimaal benodigde toplaagdikte bepaald worden (berekeningen met de maatgevende waterstand en golfcondities) met een halveringsmethode. Daartoe wordt de toplaagdikte veranderd en wordt een daarbij behorende leklengte berekend:

Hierbij wordt het volgende iteratieproces doorlopen:

1. start:

- a) als toetsresultaat met $D = D_{to}$ niet goed is, dan $D_{goed} = 21$ en $D_{nietgoed} = D_{to}$, anders
- b) als toetsresultaat met $D = D_t$ goed is, dan $D_{goed} = D_t$ en $D_{nietgoed} = 0$, anders
- c) als toetsresultaat met $D = D_{to}$ goed is, dan $D_{goed} = D_{to}$ en $D_{nietgoed} = D_t$

$$2. D_{gt} = (D_{goed} + D_{nietgoed})/2 \quad (5.2)$$

$$3. \text{ Bereken nieuwe } \Lambda_{gt}: \quad \Lambda_{gt} = \Lambda + \frac{D_{gt} - D}{D_{to} - D} (\Lambda_{to} - \Lambda) \quad (5.3)$$

en doorloop alle modules weer met de nieuwe D_{gt} . Dit levert het toetsresultaat voor D_{gt} .

- 4. Als toetsresultaat bij D_{gt} niet goed is, dan $D_{nietgoed} = D_{gt}$ anders $D_{goed} = D_{gt}$.
- 5. Herhaal punt 4 tot en met 6 totdat: $\text{abs}(D_{nietgoed} - D_{goed}) < 0,02$ m (maximaal 10 iteraties)

De waarde van D_{gt} aan het einde van de iteratie is de toplaagdikte die nog net een goed toetsresultaat oplevert. In de spreadsheet wordt het dikte-overschot gepresenteerd:

$$D_{over} = D - D_{gt}$$

Belastingkenmerken

Na afloop van het iteratieproces worden de volgende belastingkenmerken berekend:

- brekerparameter: $\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_{op}}} \quad (5.4)$

- belastingparameter: $\frac{H_s}{\Delta D} \quad (5.5)$

- stabiliteitsparameter: $F = \frac{H_s}{\Delta D} \xi_{op}^{2/3} \quad (5.6)$

5.2 Berekening golfcondities bij de betreffende waterstand

In het iteratieproces, waarbij gezocht wordt naar de maatgevende waterstand, wordt bij elke iteratie weer opnieuw een waterstand gekozen en worden bij die waterstand de golfcondities bepaald.

De golfcondities bij de nieuwe waterstand kunnen worden bepaald met behulp van lineaire interpolatie (vergelijk paragraaf 4.9). De golfcondities worden als volgt genoemd:

- H_s (in code: Hs_t)
- T_p (in code: Tp_t)

Als $H_s < H_{smin}$, dan geldt:

- $H_s = H_{smin}$ en (5.7)

- $T_p = T_{pmin} = T_{p1} \cdot \sqrt{(H_{smin}/H_{s1})} \quad (5.8)$

Dit houdt in dat er gewerkt wordt met een minimum golfhoogte. Daarbij wordt een minimum golfperiode (T_{pmin}) berekend, zodat de golfsteilheid gelijk is aan die bij de laagste waterstand in de golventabel.

Tenslotte wordt voorkomen dat de golfperiode nul wordt (golfsteilheid is begrensd op 0,10):

$$T_{ptoets} = \max(T_p ; \sqrt{(H_s/1,56/0,1)}) \quad (5.9)$$

5.3 Fictieve taludhelling

De fictieve taludhelling is afhankelijk van de waterstand en moet daarom in elke iteratie opnieuw bepaald worden.

De rekenwaarde voor de taludhelling (fictieve taludhelling, α_{fict}) van het buitentalud wordt bepaald met de methode uit bijlage C van het Technisch Rapport Steenzettingen. Dit is onderstaand nader uitgewerkt.

De waarde van d_B wordt berekend met de methode uit paragraaf 4.10, maar nu voor de nieuwe waterstand (h_{MWS_t} uit deze iteratie):

Als er meerdere buitenbermen zijn, die niet naast elkaar liggen, is de buitenberm die het dichtst bij de waterstand ligt de belangrijkste (die met de kleinste waarde van $h_{MWS} - (Z_o + Z_b)/2$). Als er meerdere buitenbermen naast elkaar liggen, dan worden ze samen genomen:

$$Z_{o,berm} = \min(\text{alle } Z_o \text{ met segmenttype}_t = \text{buitenberm}) \quad (5.10)$$

$$Z_{b,berm} = \max(\text{alle } Z_b \text{ met segmenttype}_t = \text{buitenberm}) \quad (5.11)$$

Voor de eventuele buitenberm wordt de diepte en breedte bepaald:

$$d_B = h - (Z_{o,berm} + Z_{b,berm})/2 \quad (\text{berm onder water, dan } d_B > 0) \quad (5.12)$$

$$B_{berm} = \Sigma B_{segm} \quad (5.13)$$

(dit betekent dat als er meerdere bermen naast elkaar liggen, dan worden de segmentbreedtes opgeteld)

Als er geen buitenberm is, dan is $d_B = B_{berm} = L_{berm} = 0$.

De totale breedte van de berm wordt op deze wijze nog wel berekend, maar vervolgens niet meer gebruikt voor het bepalen van de fictieve taludhelling.

Vervolgens wordt het punt op het talud bepaald dat respectievelijk $1,5H_s$ onder de waterlijn (niet noodzakelijkerwijs het toetspeil) en het punt op het talud dat op de waterlijn (h) ligt, om daarmee de fictieve taludhelling te bepalen:

- als het dwarsprofiel uit één segment bestaat, dan geldt:
 - als dit segment een berm is: foutmelding = ondertalud onbekend
 - anders: $\tan\alpha_{fict} = \tan\alpha$
- als het dwarsprofiel uit meer dan één segment bestaat, dan:

- Voor het segment i geldt dat $Z_{oi} \leq h - 1,5H_s \leq Z_{bi}$ en voor segment j geldt dat $Z_{oj} \leq h \leq Z_{bj}$. Als deze segmenten niet gevonden kunnen worden dan moet er worden geëxtrapoleerd:
 - Als $Z_{o1} > h - 1,5H_s$, dan onderstaande formules gebruiken met het onderste segment (bovenste regel)
 - Als alle $Z_b < h$, dan het segment dat één regel boven de kruin zit (of de onderste regel als er geen kruin is) gebruiken
 Als segment i of segment j een berm is geldt:
 - Als segment i een berm is, dan onderstaande formules gebruiken met het er onder gelegen segment dat geen berm is. Eventueel moet zoveel segmenten omlaag op het talud gezocht worden totdat een segment gevonden is dat geen berm is. Als dat niet lukt, dan wordt een erboven gelegen segment gezocht dat geen berm is.
 - Als segment j een berm is, dan onderstaande formules gebruiken met het eronder gelegen segment dat geen berm is. Eventueel moet zoveel segmenten omlaag op het talud gezocht worden totdat een segment dat geen berm is gevonden is.
- De Y-coördinaat van het punt met $Z = h - 1,5H_s$ en het punt met $Z = h$ volgt uit een interpolatie of extrapolatie, waarbij α de taludhelling van het gevonden segment is:

$$\bullet \quad Y_{h-1,5H_s} = Y_{li} + \frac{h-1,5H_s - Z_{li}}{\tan \alpha} \quad (5.14)$$

$$\bullet \quad Y_h = Y_{lj} + \frac{h - Z_{lj}}{\tan \alpha} \quad (5.15)$$

- De horizontale afstand van $Z = h - 1,5H_s$ tot het punt met $Z = h$ wordt bepaald door stap voor stap de segmenten af te lopen tussen i en j, maar de segmenten met een berm over te slaan. Zo wordt Y_{totaal} bepaald.
- De gemiddelde taludhelling is dan:

$$\tan \alpha_{\text{fict}} = \frac{1,5H_s}{Y_{\text{totaal}}} \quad (5.16)$$

5.4 Beoordeling of de steenzetting wel belast wordt

Als de onderrand van de steenzetting hoger dan een halve golfploophoogte boven het toetspeil ($h_{\text{toets}} + z_{2\%}/2$) zit, is de steenzetting goed en wordt hij verder niet getoetst:

- Als $(h_{\text{toets}} + 0,4 \cdot z_{2\%}) < Z_o \leq (h_{\text{toets}} + 0,7 \cdot z_{2\%})$, dan wordt het toetsresultaat: ‘check $z_{2\%}/2$ ’ en hoeft de toplaat verder niet getoetst te worden. De rekenmethode voor het bepalen van de golfploophoogte is immers niet exact conform het Technisch Rapport Golfploophoogte en Golfoverslag, maar slechts een benaderende methode. Daarom moet de golfploophoogte nog gecontroleerd worden.
- Als $Z_o > (h_{\text{toets}} + 0,7 \cdot z_{2\%})$, dan wordt het toetsresultaat: ‘goed’ en hoeft de toplaat verder niet getoetst te worden. Er geldt dan: $f_{\text{gt}} = 99$. De geschatte waarde van de golfploophoogte is voldoende nauwkeurig om te weten dat in dit geval de bekleding boven de met het Technisch Rapport Golfploophoogte en Golfoverslag berekende halve golfploophoogte ligt.

Er wordt vervolgens gerekend met de waterstand en golfcondities die gelden in de betreffende iteratie. Als de steenzetting heel diep onder die waterstand zit, wordt hij niet belast en is hij dus ook goed.

Om dit te kunnen beoordelen wordt eerst het volgende berekend:

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56T_p^2}}} \quad \text{met } \alpha = \alpha_{\text{fict}} \quad (5.17)$$

$$x_{s,hoog} = \frac{H_s}{\tan \alpha} \cdot \min \left\{ 0,25 + 0,11 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha} ; 2,0 \right\} \quad (5.18)$$

$$\phi_{min} = H_s \cdot \max \left\{ -0,16 \left(\frac{\xi_{op}}{\sqrt{\tan \alpha}} \right)^{1,25} ; \frac{-2,5}{1 + 0,9 / \sqrt{\xi_{op}}} \right\} \quad (5.19)$$

$$\tan(\theta_f) = \max \left\{ 1 ; \min \left\{ 8 - 0,6 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha} ; 2,5 \right\} \right\} \quad (5.20)$$

$$c_d = \frac{h_{MWS} - Z_b - x_{s,hoog} \tan \alpha}{\phi_{min} \tan \alpha / \tan \theta_f} \quad (5.21)$$

- θ_f = helling van het stijghoogtefront (°)
- $x_{s,hoog}$ = horizontale afstand van de voet van het hoge stijghoogtefront tot de waterlijn (altijd een positieve waarde) (m)
- ϕ_{min} = minimale stijghoogte aan de voet van het stijghoogtefront (altijd een negatieve waarde) (m)
- c_d = relatieve diepte van de bovenste overgangsconstructie ten opzichte van de voet van het stijghoogtefront (-)

De beoordeling gaat vervolgens als volgt:

- steenzettingen van het type 3 of 6, die niet zijn ingegoten:
 Als $c_d < -2$, dan altijd 'goed'. Er geldt dan: $f_{gt} = 99$.
 Voor dit type steenzetting wordt geen C_{diep} gebruikt als $c_d \geq -2$, omdat het afnemen van de belasting ver onder water al in de formules zit verwerkt.
- overige type steenzettingen:
 Als $c_d < -2$, dan altijd 'goed'. Er geldt dan: $f_{gt} = 99$.
 Als $-2 \leq c_d < 0$, dan

$$C_{diep} = \max \left(0 ; 1 - 0,15 \cdot c_d^2 + 0,2 \cdot c_d \right) \quad (5.22)$$

Als $c_d \geq 0$, dan $C_{diep} = 1$

Met:

C_{diep} = invloedsfactor voor diep gelegen steenzettingen (-)

Als aan deze criteria niet voldaan wordt, dan wordt verdergegaan met de toetsing volgens paragraaf 5.5 e.v..

5.5 Bepaling bermfactor, bovenbeloofactor en of de toplaag onvoldoende mag worden

Normaal wordt er gerekend met de volgende parameters:

- bermfactor: $C_{\text{berm}} = 1$
- bovenbeloofactor: $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$
- parameter die aangeeft dat de toplaag ook het toetsresultaat onvoldoende kan krijgen: $C_{\text{onv}} = 1$

Onderstaand zijn criteria gegeven onder welke omstandigheden afwijkende waarden gebruikt worden.

Berm

Als het te toetsen segment een berm is, dan moet de bermfactor bepaald worden (bijlage C van het Technisch Rapport Steenzettingen).

Afhankelijk van de breedte van de berm wordt er al dan niet een waarde voor C_{berm} berekend:

- Als er sprake is van een normale berm met $B_{\text{berm}} \geq 2 \cdot H_s$:
De bermfactor volgt uit een inter- en extrapolatieprocedure op basis van de vier figuren met de bermfactor als functie van de dimensieloze waterdiepte op de berm uit het Technisch Rapport Steenzettingen (2003), deel Toetsing, bijlage C. De vier figuren zijn beschikbaar in tabelvorm, zoals ook in Steentoets.
Als de berm smaller is dan 5 m, dan wordt de waarde van C_{berm} aangehouden bij een bermbreedte van 5 m. Als de berm breder is dan 10 m, wordt de waarde bij 10 m aangehouden. Het extrapoleren buiten het bereik van de oorspronkelijke figuren is (met betrekking tot de bermbreedte) ongewenst, omdat er onvoldoende kennis is over de invloed van de bermbreedte.
- Als er sprake is van een smalle berm met breedte $H_s < B_{\text{berm}} < 2 \cdot H_s$:
Bepaal de bermfactor als boven.
 - Als $C_{\text{berm}} < 1$, dan: Reken met $C_{\text{berm}} = 1$, en als $Z_o \geq h$ dan: $C_{\text{bovenbeloop}} = 1,25$ en $C_{\text{onv}} = 0$
 - Als $C_{\text{berm}} \geq 1$, dan: Reken met C_{berm}
- Als er sprake is van een zeer smalle berm met breedte $B_{\text{berm}} \leq H_s$:
Doe net alsof de betreffende toplaag op een talud ligt met helling α_{fict} . Reken met $C_{\text{berm}} = 1$.
Als de toplaag geheel en al boven de waterstand ligt ($Z_o \geq h$), geldt:
 - reken met een rekenwaarde voor de blokdikte: $C_{\text{bovenbeloop}} = 1,25$.
 - $C_{\text{onv}} = 0$.
 Als de toplaag niet boven de waterstand ligt ($Z_o < h$) geldt:
 - $C_{\text{onv}} = 1$ en $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$. Als $C_{\text{onv}} = 1$ dan kan de toplaag ook onvoldoende worden, terwijl als $C_{\text{onv}} = 0$, dan is geavanceerd het slechtste resultaat.

Onder- en bovenbeloop

Als de te toetsen bekleding op het onder- of bovenbeloop ligt, of de bekleding ligt tussen twee bermen in (onder/bovenbeloop), is het verloop van de toetsing afhankelijk van de aanwezigheid van een berm en de eigenschappen van die berm.

Als het segmenttype 'onder/bovenbeloop' is, dan geldt:

- de berm waarvoor geldt dat $\text{abs}(d_B) = h - (Z_{o,berm} + Z_{b,berm})/2$ de kleinste waarde heeft, is maatgevend. Als het te toetsen segment onder deze berm ligt, dan wordt het alsnog een onderbeloop, en anders is het een bovenbeloop.

Als er sprake is van een onderbeloop dan geldt:

- Als de toplaag geheel en al boven de waterstand ligt ($Z_o \geq h$), geldt: $C_{berm} = 1$, $C_{bovenbeloop} = 1,25$ en $C_{onv} = 0$.
- Als de toplaag niet boven de waterstand ligt ($Z_o < h$) geldt: $C_{berm} = 1$, $C_{bovenbeloop} = 1$ en $C_{onv} = 1$.

Als er sprake van een bovenbeloop is, dan geldt:

- Als er sprake is van een zeer smalle berm met breedte $B_{berm} < H_s$ dan wordt de bekleding berekend alsof er geen berm is (dus $C_{berm} = 1$ en talud: α_{fict}). Als de toplaag geheel en al boven de waterstand ligt ($Z_o \geq h$), geldt: $C_{bovenbeloop} = 1,25$ en $C_{onv} = 0$. Als de toplaag niet boven de waterstand ligt ($Z_o < h$) geldt $C_{bovenbeloop} = 1$ en $C_{onv} = 1$.
- Anders wordt de waarde van C_{berm} berekend als bovenstaand bij 'bermen' en wordt verdergegaan met de smalle bermen en normale bermen:
 - Als er sprake is van een smalle berm met breedte $H_s \leq B_{berm} < 2 \cdot H_s$:
 - Als $C_{berm} < 1$, dan wordt het bovenbeloop berekend alsof er geen berm is (dus wordt $C_{berm} = 1$). Als $Z_o \geq h$ dan $C_{bovenbeloop} = 1,25$ en $C_{onv} = 0$, anders $C_{bovenbeloop} = 1$ en $C_{onv} = 1$.
 - Als $C_{berm} \geq 1$, dan wordt het bovenbeloop berekend alsof er wel een normale berm is (dus reken met berekende waarde van C_{berm} , $C_{bovenbeloop} = 1$ en $C_{onv} = 1$).
 - Als er sprake is van een normale berm met $B_{berm} \geq 2 \cdot H_s$:
 - Als $h \leq Z_{oberm}$ dan wordt net gedaan alsof de toplaag op de berm ligt en wordt dus de toetsing uitgevoerd met de berekende C_{berm} . Verder geldt: $C_{bovenbeloop} = 1$ en $C_{onv} = 1$
 - Als $0 < (h - Z_{oberm}) < H_s$ dan geldt:
 - Als $C_{berm} > 1/1,25$ en $h < Z_o$ dan: $C_{berm} = 1$, $C_{bovenbeloop} = 1,25$ en $C_{onv} = 0$
 - Als $C_{berm} > 1$ en $h \geq Z_o$ dan: $C_{berm} = 1$, $C_{bovenbeloop} = 1$ en $C_{onv} = 1$
 - anders wordt de berekening uitgevoerd met de berekende waarde van C_{berm} , $C_{bovenbeloop} = 1$ en $C_{onv} = 1$, en wordt verder gerekend met de bovenste overgangsconstructie op de stilwaterlijn en de onderste op $h - 2H_s$.
 - Als $(h - Z_{oberm}) \geq H_s$ dan is de invloed van de berm verwaarloosbaar: $C_{berm} = 1$. Als $Z_o \geq h$ dan $C_{bovenbeloop} = 1,25$ en $C_{onv} = 0$, anders $C_{bovenbeloop} = 1$ en $C_{onv} = 1$.

5.6 Invloed van scheve golfaanval

Hoewel aanvankelijk bedacht was om de invloed van de scheve golfaanval te verdisconteren in een aanpassing van de taludhelling ($\tan\alpha_{scheef} = \tan\alpha \cdot \cos\beta$), is dit idee later verlaten,

omdat het niet het juiste effect op stabiliteit had. In het oude ANAMOS was er een duidelijke relatie tussen de taludhelling en de stabiliteit: $H_s/\Delta D = F(\tan\alpha/\sqrt{(H_s/L_{op})})^{-2/3}$. Deze relatie is in de nieuwe Steentoets niet meer altijd aanwezig. Daardoor geeft een aanpassing van de taludhelling onvoldoende vergroting van de stabiliteit, ten opzichte van de conclusies uit Klein Breteler (2006a).

Dit is opgelost door een invloedsfactor te gebruiken waarmee het berekende stijghoogteverschil moet worden vermenigvuldigd:

$$f_\beta = \max(0.2; (\max(\cos\beta; 0,01))^{2/3}) \quad (\text{met } \beta \text{ in graden})$$

Voor de bepaling van β wordt verwezen naar paragraaf 4.9.

Deze factor wordt vooralsnog ook toegepast als $\xi_{op} > 2,5$, hoewel de toepasbaarheid ervan nog niet is aangetoond.

Deze factor is verwerkt in de formules voor het stijghoogteverschil in paragraaf 5.10.

Voor steenzettingen die getoetst worden met Black box formules wordt de aanwezige toplaagdikte gedeeld door f_β (zie paragraaf 5.14).

5.7 Belastingduur als functie van de locatie op de te toetsen steenzetting

Voor steenzettingen van het type 3 of 6 kan de invloed van de belastingduur verdisconteerd worden, voor zover het geen kruin of binnentalud of binnenberm is. Verder is de belastingduur nodig om de reststerkte te beoordelen. Als het type gelijk is aan 3 of 6 (en binnentalud of buitenberm), of de reststerkte moet beoordeeld worden ($\text{reststerkte}_i = \text{ja}$), dan wordt eerst de belastingduur berekend en vervolgens worden de invloedsfactoren bepaald, zoals onderstaand aangegeven.

De stormduur is afhankelijk van het gebied. Voor het gebied kan men kiezen uit de watersystemen in tabel 5.0, waarin ook de stormduur en het stormverloop die voor die systemen worden gehanteerd zijn vermeld.

Op grond van de stormduur en het opgegeven Toetspeil en de getijrange wordt per niveau van de bekleding de belastingsduur berekend. Voor deze belastingsduur wordt een minimum van 1000 golven aangehouden.

Als voor het gebied “Anders” wordt gekozen, dan verschijnt er een invoerveld in het werkblad ‘algemeen’ waarin de stormduur kan worden ingevoerd.

Oosterschelde en rivierengebied

Voor de Oosterschelde en het Rivierengebied wordt een vaste belastingduur aangehouden. In de Oosterschelde is deze afhankelijk van de waterstand:

- Oosterschelde:
 $h > h_{\text{toets}}: t_{\text{belast}} = 0 \text{ uur}$

$$h_{toets} - 1 < h \leq h_{toets}: t_{belast} = 5 \text{ uur}$$

$$h_{toets} - 2 < h \leq h_{toets} - 1: t_{belast} = 25 \text{ uur}$$

$$h < h_{toets} - 2: t_{belast} = 20 \text{ uur}$$

- bovenrivieren en benedenrivieren, deelgebied 3 t/m 5:
 $t_{belast} = 12 \text{ uur}$

watersysteem	Stormduur [uur]	Stormverloop
Westerschelde	35	HR2006 fig. 2-10
Oosterschelde	35	Belastingduur afhankelijk van waterstand: $h_{toets} - 1 < h \leq h_{toets}: t_{belast} = 5 \text{ uur}$ $h_{toets} - 2 < h \leq h_{toets} - 1: t_{belast} = 25 \text{ uur}$ $h_{toets} - 3 < h < h_{toets} - 2: t_{belast} = 20 \text{ uur}$ (zie bijlage G)
IJsselmeer	35	HR2006 fig. 2-10
Markermeer	35	HR2006 fig. 2-10
Randmeren	35	HR2006 fig. 2-10
Noordzee	35	HR2006 fig. 2-10
Waddenzee	45	HR2006 fig. 2-10
Benedenrivieren, deelgebied 1 en 2	35	HR2006 fig. 2-6
Benedenrivieren, deelgebied 3 t/m 5	12	Constante waterstand
Bovenrivieren	12	Constante waterstand
Ander gebied	vrij te kiezen	HR2006 fig. 2-10 (peil A = NAP)

Tabel 5.0 stormduur en stormverloop in de verschillende watersystemen

Overige gebieden

Voor het berekenen van de belastingduur in de overige gebieden wordt eerst de locatie op het talud geschat waar het maximale stijghoogteverschil optreedt. Voor die locatie wordt de belastingduur berekend. Er zijn echter meerdere locaties waar de maximale belasting op zou kunnen treden:

- aan de voet van het hoge stijghoogtefront (een hoge stijghoogtefront wordt gekenmerkt door een grote waarde van ϕ_b en een niet al te grote waarde van θ_f , zie figuur 5.3)
- aan de voet van het steile stijghoogtefront (een steil stijghoogtefront wordt gekenmerkt door een grote waarde van θ_f en een niet al te grote waarde van ϕ_b , zie figuur 5.3)
- zeewaarts van de golfklap van het type 1 (golfklaptype 1 is het gevolg van een overstortende breker die op enige afstand van het front neerkomt, zie figuur 5.1)
- landwaarts van de golfklap van het type 1
- zeewaarts van de golfklap van het type 2 (golfklaptype 2 is een gevolg van een golfklappen op de voet van het front, zie figuur 5.2)

Omdat er slechts een grove benadering beschikbaar is van het verloop van de waterstand tijdens de maatgevende storm, die door de grote variatie aan mogelijke waterstandsverlopen ook nooit exact bekend zal zijn, is het niet zinvol om de belastingduur voor al deze 5 locaties precies te berekenen. Daarom is ervoor gekozen om bij een lange lek lengte te werken met de locatie van de voet van het hoge stijghoogtefront en bij een korte lek lengte de gemiddelde locatie bij een golfklap (h is de waterstand uit de betreffende iteratieslag: h_{MWS_t}):

Als ingegoten of $\Lambda > 1,5$ m:

$$\bullet \quad \frac{x_s}{H_s} \tan \alpha = \min \left\{ 0,25 + 0,11 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha} ; 2,0 \right\} \quad (5.23)$$

$$\bullet \quad Z_{belast} = \max(\min \{ Z_b ; h - x_s \tan \alpha \} ; Z_o) \quad (5.24)$$

Als $\Lambda \leq 1,5$ m:

$$\bullet \quad \frac{x_{\phi \max}}{H_s} = \min \left\{ \frac{0,42}{\sqrt{S_{op}}} - 0,9 ; 6,5 \right\} \quad (5.25)$$

$$\bullet \quad \frac{B_{klap50\%2\%}}{H_s} = 0,96 - 0,11 \xi_{op} \quad (5.26)$$

$$\bullet \quad Z_{belast} = \max(\min \{ Z_b ; h - (x_{\phi \max} - (B_{klap50\%2\%} \cdot \cos \alpha) / 2) \cdot \tan \alpha \} ; Z_o) \quad (5.27)$$

Met:

$B_{klap50\%2\%}$ = breedte van de golfklap halverwege de golfklaphoogte met 2% overschrijdingsfrequentie (langs het talud gemeten) (m)

$x_{\phi \max}$ = horizontale afstand van de snijlijn van de stilwaterlijn en het talud tot de locatie met grootste stijghoogte in de golfklap (m)

h = waterstand uit deze iteratieslag (die uiteindelijk h_{MWS_t} wordt) (m)

De belastingduur van de steenzetting is doorgaans korter dan de stormduur van 35 of 45 uur uit de VTV. Dit is een gevolg van het verloop van de waterstand tijdens de storm. Dit verloop is een superpositie van het tot een sinus vereenvoudigde getij en de standaard stormopzet uit de VTV. Conform de VTV wordt aangenomen dat de maximale waterstand optreedt op het moment dat het hoogwater is en de stormopzet maximaal is.

Afhankelijk van de waterstand is er een zone op het een talud die belast wordt (formule 6.6 en 6.7 uit Klein Breteler e.a, 2006b). Omgekeerd kan voor de zwaar belaste locatie op de steenzetting bepaald worden bij welke waterstanden dat punt belast wordt. Vervolgens kan aan de hand van het waterstandsverloop de duur berekend worden dat de waterstand hieraan voldoet.

De waterstand als functie van de tijd wordt berekend met de volgende formule (met h als lopende variabele voor het waterstandsverloop: $h_{verloop_t}$):

- benedenrivieren, deelgebied 1 en 2 (gebaseerd op vereenvoudiging van waterstandsverloop in deelgebied 1):

- Als $t > 0$ uur:

$$h = \max \left(h_{toets} + \frac{R_{tij}}{2} \left(\cos \left(\frac{2\pi t}{12,25} \right) - 1 \right) - \frac{3,97t}{t_{storm}/2} ; -\frac{R_{tij}}{2} \right) \quad (5.28)$$

- Overig:

- Als $0 \leq t \leq 2$ uur:

$$h = h_{toets} + \frac{R_{tij}}{2} \left(\cos \left(\frac{2\pi t}{12,25} \right) - 1 \right) - 0,05 \cdot t \quad (5.29)$$

- Als $t > 2$ uur:

$$h = h_{toets} - 0,1 + \frac{R_{tij}}{2} \left(\cos \left(\frac{2\pi t}{12,25} \right) - 1 \right) - \frac{h_{toets} - 0,1 - R_{tij}/2}{(t_{storm} - 4)/2} \cdot (t - 2) \quad (5.30)$$

Hierbij geldt dat het waterstandverloop symmetrisch is ten opzichte van het moment $t = 0$, namelijk het moment waarop het toetspeil bereikt wordt: $h(-t) = h(t)$.

Met bovenstaande formules wordt bepaald hoe lang totaal voldaan wordt aan het volgende criterium gedurende $-t_{storm}/2 < t < t_{storm}/2$:

$$h_L \leq h \leq h_H \quad (5.31)$$

Met:

- ondergrens belaste zone: $h_L = Z_{belast} + 0,2H_s \cdot \min(\xi_{op}; 4)$ (5.32)

Als $h < h_L + 0,1$ dan $h_L = h - 0,1$

- bovengrens belaste zone: $h_H = Z_{belast} + 0,6H_s \cdot \min(\xi_{op}; 4)$ (5.33)

Als $h > h_H - 0,1$ dan $h_H = h + 0,1$

Om de belastingduur te kunnen berekenen wordt in een aantal tijdstappen van 1 uur de tijd van $t = 0$ tot $t = t_{storm}/2$ doorlopen. De iteratie wordt gestopt als t_{eind} bereikt wordt, met $t_{eind} = t_{storm}/2$.

Elk uur i wordt gecontroleerd of $h_L \leq h_i \leq h_H$, te beginnen bij $t = 0$:

- de initiële waarde van alle $t_{Bj} = 0$
- Als $h_L \leq h_0 \leq h_H$ dan $t_{B1} = 0$, ga verder naar c
- Als $h_0 > h_H$, ga dan verder naar a
- anders: ga naar b.

a) De waterstand is nog te hoog.

Vergroot de tijd tot $h_{i-1} > h_H > h_i$ (wellicht is geen vergroting nodig)

Bereken dan de volgende interpolatie:

$$t_{Bj} = t_{i-1} + \frac{t_i - t_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} (h_H - h_{i-1}) \quad (5.34)$$

Dit is het begintijdstip van een periode die voldoet aan het criterium (er kunnen meerdere perioden zijn).

Als $h_i < h_L$ dan:

$$t_{Ej} = t_{i-1} + \frac{t_i - t_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} (h_L - h_{i-1}) \quad (5.35)$$

$$t_{belast,j} = \min(t_{Ej}; t_{eind}) - t_{Bj} \quad (5.36)$$

$j = j+1$

en ga verder met b, anders ga verder naar c.

b) De waterstand is te laag.

Vergroot de tijd tot $h_{i-1} < h_L < h_i$ (wellicht is geen vergroting nodig)

Bereken dan de volgende interpolatie:

$$t_{Bj} = t_{i-1} + \frac{t_i - t_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} (h_L - h_{i-1}) \quad (5.37)$$

Dit is het begintijdstip van een periode die voldoet aan het criterium (er kunnen meerdere perioden zijn).

Als $h_i > h_H$ dan

$$t_{Ej} = t_{i-1} + \frac{t_i - t_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} (h_H - h_{i-1}) \quad (5.38)$$

$$t_{\text{belast},j} = \min(t_{Ej}; t_{\text{eind}}) - t_{Bj} \quad (5.39)$$

$$j = j+1$$

en ga verder met a, anders ga verder naar c.

c) De waterstand voldoet.

Ga verder in de tijd totdat een van de volgende criteria voldoet:

- $h_i < h_L < h_{i-1}$

$$t_{Ej} = t_{i-1} + \frac{t_i - t_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} (h_L - h_{i-1}) \quad (5.40)$$

$$t_{\text{belast},j} = \min(t_{Ej}; t_{\text{eind}}) - t_{Bj} \quad (5.41)$$

$$j = j+1$$

ga verder naar b.

- $h_{i-1} < h_H < h_i$

$$t_{Ej} = t_{i-1} + \frac{t_i - t_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} (h_H - h_{i-1}) \quad (5.42)$$

$$t_{\text{belast},j} = \min(t_{Ej}; t_{\text{eind}}) - t_{Bj} \quad (5.43)$$

$$j = j+1$$

ga verder naar a.

Deze iteratie wordt beëindigd als $t \geq t_{\text{storm}}/2$.

De belastingduur is tenslotte gelijk aan tweemaal de som van alle duren, met een minimum van 1000 golven: $t_{\text{belast}} = \max(2 \cdot \sum t_{\text{belast},j}; T_p/1,1/3,6)$ (in uur).

5.8 Invloedsfactoren voor de belastingduur

Afhankelijk van het type steenzetting kan de invloed van de belastingduur berekend worden door twee invloedsfactoren te bepalen. Als het type niet gelijk is aan 3 of 6, dan geldt dat voor de invloedsfactoren $f_B = 1$ en $f_S = 1$.

Als het type wel gelijk is aan 3 of 6, dan worden de factoren als volgt berekend (Klein Breteler e.a. 2005d):

$$N = 1,1 \cdot 3600 \cdot t_{\text{belast}} / T_p \quad (5.44)$$

$$h_w = h - Z_{\text{bodem}} \quad (5.45)$$

$$c_H = \max \left\{ 1,06 ; 0,8 + \frac{(0,098 + 1,62 \tan \alpha_{\text{bodem}}) h_w^2}{0,673 H_s h_w + 0,203 H_s^2} \right\} \quad (5.46)$$

$$f_B = \frac{1,71 \cdot \min \{ 1,54 ; c_H \}}{\min \left\{ \sqrt{\ln N} ; c_H (\ln N)^{1/3,6} \right\}} \quad (5.47)$$

$$f_{S,\text{front}} = \max \left\{ 1 - c_1 \cdot \log \frac{N}{1000} ; c_2 \right\} \quad (5.48)$$

$$f_{S,\text{klap}} = \max \left\{ 1 - c_1 \cdot \log \left(\frac{\max \left\{ 0,08 ; 1 - \frac{0,057}{\sqrt{H_s / 1,56 / T_p^2}} \right\} \frac{N}{1000}}{0,72} \right) ; c_2 \right\} \quad (5.49)$$

- Basalt, Basalton, Hydroblocks en C-Star: $c_1 = 0,15$ en $c_2 = 0,85$
- Blokken op hun kant: $c_1 = 0,35$ en $c_2 = 0,80$
- Overige typen: $c_1 = 0,3$ en $c_2 = 0,80$

met:

- f_B = invloedsfactor t.a.v. de belasting (-)
- $f_{S,\text{front}}$ = invloedsfactor t.a.v. de sterkte bij een belasting door stijghoogtefronten (-)
- $f_{S,\text{klap}}$ = invloedsfactor t.a.v. de sterkte bij een belasting door golfklappen (-)
- α_{bodem} = bodemhelling voor de constructie ($^\circ$)
- h_w = waterdiepte (m)
- h = de waterstand uit de betreffende iteratieslag: h_MWS_t

In de formule voor $f_{S,\text{klap}}$ is de invloed van het aantal golfklappen verwerkt. Relatief lange golven zullen minder golfklappen geven, waardoor de steenzetting minder vaak belast wordt. Dit is vergelijkbaar met een kortere belastingduur en daarom is dit in deze formule verwerkt.

Voor de overige typen steenzettingen zijn helaas geen waarden van c_1 en c_2 beschikbaar en daarom zijn waarden gekozen tussen die van de open steenzettingen en de blokken op hun kant in.

De factor f_B wordt later gebruikt om de golfhoogte te vergroten, terwijl de factor f_S gebruikt wordt om de toplaagdikte te verkleinen.

5.9 Maatgevend stijghoogteverloop op de toplaag

Het maatgevende stijghoogteverloop op de toplaag kan alleen berekend worden voor steenzettingen van het type 3 of 6, en niet voor ingegoten steenzettingen (ingegoten = nee).

Er is gebruik gemaakt van de formules van Klein Breteler e.a. (2006b). Het stijghoogteverloop op de toplaag wordt berekend voor twee golfklappen en twee golffronten. Steeds wordt het verloop van de stijghoogte weergegeven met 8 punten (Klein Breteler 2006d).

Eerst wordt de brekerparameter bepaald met de waarde van H_s en T_p uit deze iteratie, de fictieve taludhelling en de invloedsfactor voor scheve golfaanval:

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56T_p^2}}} \quad (5.50)$$

Voor het berekenen van het maatgevende stijghoogteverloop op de toplaag wordt in het vervolg gerekend met een vergrote golfhoogte om de invloed van de belastingduur te verdisconteren:

$$H_s = H_s/f_B \quad (5.51)$$

5.9.1 Golfklap van type I

$$\frac{x_{\phi \max}}{H_s} = \min \left\{ \frac{0,42}{\sqrt{s_{op}}} - 0,9; 6,5 \right\} \quad (5.52)$$

- Als $\xi_{op}/\tan\alpha < 7$: $\theta_{k20-50\%f} = \max(85^\circ - 0,5 \cdot \text{abs}(7 - \xi_{op}/\tan\alpha); 83^\circ)$ (5.53)

- Als $\xi_{op}/\tan\alpha \geq 7$: $\theta_{k20-50\%f} = \max(85^\circ - \text{abs}(7 - \xi_{op}/\tan\alpha); 82^\circ)$ (5.54)

Indien gerekend moet worden met veiligheidsfactoren geldt: $\tan(\theta_{k20-50\%f}) = \tan(\theta_{k20-50\%f}) \cdot 1,28$.

$$\gamma_{berm,\phi k} = 1 + 0,484 \cdot e^{\frac{d_b}{H_s} + 0,2} \quad \text{voor } \frac{d_b}{H_s} < -0,2$$

$$\gamma_{berm,\phi k} = 0,1 \left(\frac{d_b}{H_s} - 2 \right)^2 + 1 \quad \text{voor } -0,2 \leq \frac{d_b}{H_s} \leq 2 \quad (5.55)$$

$$\gamma_{berm,\phi k} = 1 \quad \text{voor } \frac{d_b}{H_s} > 2$$

$$\phi_k = \gamma_{berm,\phi k} \cdot H_s \left(30 - \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha} \right) \left(\frac{\rho g H_s^2}{\sigma_w} \right)^{-0,2} \quad (5.56)$$

Indien gerekend moet worden met veiligheidsfactoren geldt: $\phi_k = \phi_k \cdot 1,25$.

$$\phi_{\min klap} = 0,05 H_s \quad (5.57)$$

$$\phi_{bklap} = 0,63 H_s \quad (5.58)$$

$$\tan \theta_{fklap} = 2,1 \quad (5.59)$$

- Als $\xi_{op}/\tan \alpha < 7$: $\theta_{k50-80\%L} = \max(80^\circ - 0,5 \cdot \text{abs}(7 - \xi_{op}/\tan \alpha); 77^\circ)$ (5.60)

- Als $\xi_{op}/\tan \alpha \geq 7$: $\theta_{k50-80\%L} = \max(80^\circ - \text{abs}(7 - \xi_{op}/\tan \alpha); 76^\circ)$ (5.61)

Indien gerekend moet worden met veiligheidsfactoren geldt: $\tan(\theta_{k50-80\%L}) = \tan(\theta_{k50-80\%L}) \cdot 1,28$.

$$B_{trog20\%} = 0,29 H_s \quad (5.62)$$

$$B_{klap50\%} = H_s (0,96 - 0,11 \xi_{op}) \quad (5.63)$$

$$d_l = 0,17 H_s \quad (5.64)$$

$$\sigma_w = 0,073 \quad (5.65)$$

met:

$B_{klap50\%}$ = breedte van de golfklap halverwege de golfklaphoogte met 2% overschrijdingsfrequentie, evenwijdig aan het talud gemeten (m)

$B_{trog20\%}$ = breedte van de trog tussen de golfklap en de restanten van het golffront, gemeten op 20% van de fronthoogte (m)

d_l = laagdikte op het talud ter plaatse van de golfklap (m)

d_b = diepte van de berm ten opzichte van de stilwaterlijn (onder water = positief)(m)

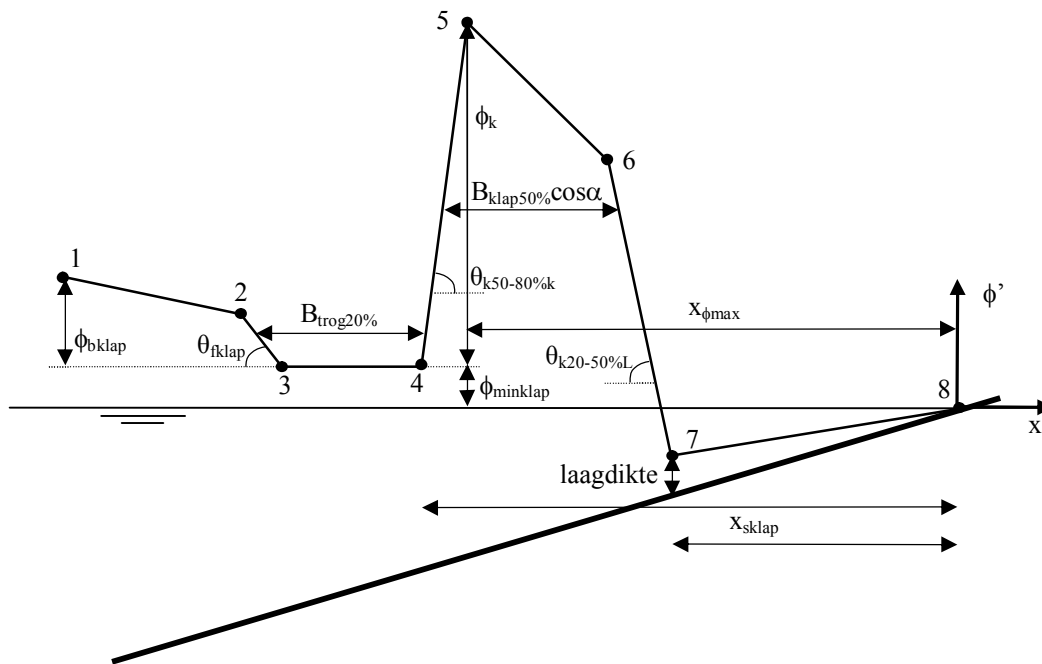
ϕ_{bklap} = hoogte van het front ten opzichte van de trog tijdens de golfklappen (m)

θ_{fklap} = helling van het front tijdens de golfklap ($^\circ$)

$\phi_{\min klap}$ = stijghoogte in de trog tussen de golfklap en de restanten van het golffront (m)

$\gamma_{berm,\phi k}$ = factor die de invloed van de berm op ϕk tijdens de golfklap weergeeft (-)

- ϕ_k = max. stijghoogte t.o.v. de trog tijdens de golfklap met 2% overschrijdingsfrequentie (-)
- σ_w = oppervlaktespanning van het water = 0,073 N/m
- H_s = significante golfhoogte (op basis van energie) (m)
- ξ_{op} = $\tan\alpha/\sqrt{(H_s/(1,56T_p^2))}$ = brekerparameter (-)
- S_{op} = $H_s/(1,56T_p^2)$ = golfsteilheid op basis van diepwater golfenlge (-)
- T_p = golfperiode bij de piek van het spectrum (s)
- g = versnelling van de zwaartekracht (m/s²)
- α = taludhelling (°)
- ρ = soortelijke massa van water (kg/m³)



Figuur 5.1. Geschemiseerd stijghoogteverloop op de toplaag tijdens de golfklap van type 1 (de locatie met het grootste stijghoogteverschil (x_{sklap}) kan in punt 4 en in punt 7 liggen, afhankelijk van de eigenschappen van de golfklap)

Met bovenstaande resultaten wordt de stijghoogte in de verschillende punten van het stijghoogteverloop als volgt (de x-as is landwaarts gericht met de oorsprong op de waterlijn):

- Punt 4:

- $$x_4 = -x_{\phi_{max}} - \frac{\phi_k}{\tan \theta_{k50-80\%k}} \quad (5.66)$$

- $$\phi'_4 = \phi_{minklap} \quad (5.67)$$

- Punt 3:

- $$x_3 = x_4 - B_{trog20\%} + \frac{0,2\phi_{bklap}}{\tan \theta_{fklap}} \quad (5.68)$$

- $$\phi'_3 = \phi_{minklap} \quad (5.69)$$

- Punt 2:

$$x_2 = x_3 - \frac{0,5\phi_{bklap}}{\tan \theta_{fklap}} \quad (5.70)$$

$$\phi'_2 = 0,5 \cdot \phi_{bklap} + \phi'_{minklap} \quad (5.71)$$

- Punt 1:

$$x_1 = x_2 - \frac{0,5\phi_{bklap}}{(\tan \theta_{fklap})/3} \quad (5.72)$$

$$\phi'_1 = \phi_{bklap} + \phi'_{minklap} \quad (5.73)$$

Als $(Z_b - h_{MWS})/\tan \alpha < x_1$, dan hoeft deze golfklap niet berekend te worden. Er wordt dan verder gegaan met de golfklap van het type 2.

- Punt 5:

$$x_5 = -x_{\phi_{max}} \quad (5.74)$$

$$\phi'_5 = \phi_k + \phi'_{minklap} \quad (5.75)$$

- Punt 6:

$$x_6 = -x_{\phi_{max}} + \max \left(B_{klap50\%} / 20 ; B_{klap50\%} \cos \alpha - \frac{\phi_k}{2 \tan \theta_{k50-80\%k}} - \frac{\phi_k}{10 \tan \theta_{k20-50\%L}} \right) \quad (5.76)$$

$$\phi'_6 = 0,6 \cdot \phi'_5 \quad (5.77)$$

- Punt 7:

$$x_7 = x_6 + \max \left(\frac{B_{klap}}{5} ; \frac{\phi_k}{20} ; \frac{\phi'_6}{\tan \theta_{k20-50\%L}} - \frac{\left(x_6 + \frac{\phi'_6}{\tan \theta_{k20-50\%L}} \right) \tan \alpha + d_l}{\tan \theta_{k20-50\%L}} \right) \quad (5.78)$$

$$\phi'_7 = x_7 \tan \alpha + d_l \quad (5.79)$$

- Punt 8:

$$x_8 = \max \left(0 ; x_7 + \frac{H_s}{2} \right) \quad (5.80)$$

$$\phi'_8 = x_8 \tan \alpha \quad (5.81)$$

met:

ϕ'_i = stijghoogte op de toplaag in punt i (m)

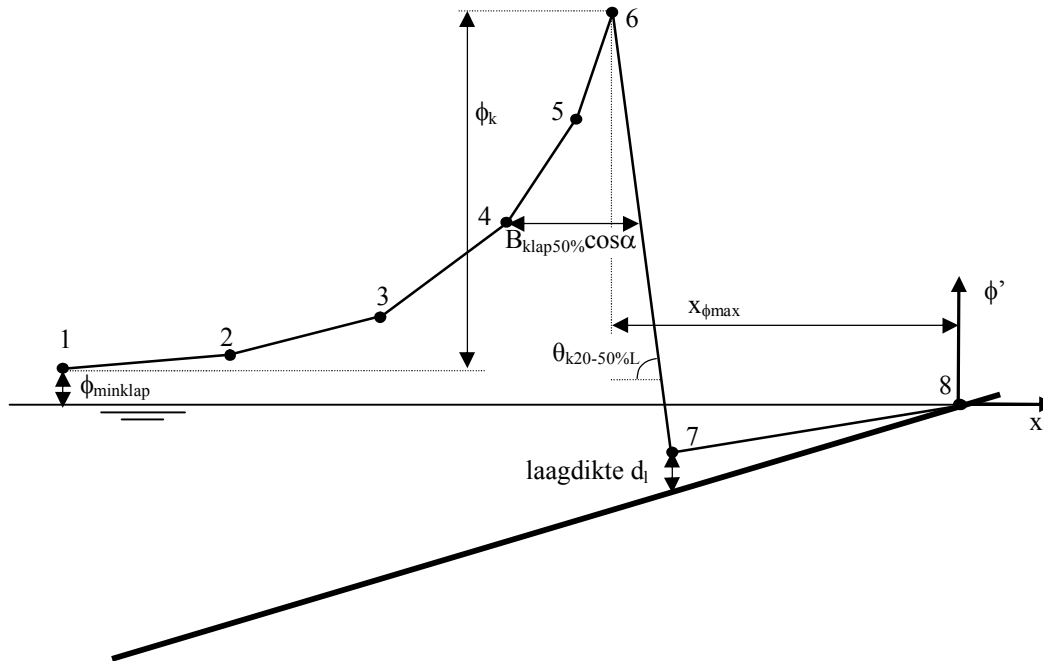
5.9.2 Golfklap van type 2

De basiseigenschappen van de golfklap van het type 2 zijn hetzelfde als die van type 1.

De locatie en de stijghoogte van de punten volgt uit de volgende formules (de x-as is landwaarts gericht met de oorsprong op de waterlijn):

$$c_1 = \frac{3\phi_k - \phi_{\min klap} - \sqrt{(3\phi_k - \phi_{\min klap})^2 - (\phi_k + \phi_{\min klap})^2}}{2(B_{klap50\%} \cos \alpha)^2} \quad (5.82)$$

$$c_2 = c_1 B_{klap50\%} \cos \alpha + \frac{\phi_k + \phi_{\min klap}}{2B_{klap50\%} \cos \alpha} \quad (5.83)$$



Figuur 5.2. Schematische weergave van golfklap van type 2

- Punt 1:

$$x_1 = -x_{\phi_{\max}} - \frac{c_2}{2c_1} \quad (5.84)$$

$$\phi'_1 = \phi_{\min klap} \quad (5.85)$$

- Punt 4:

$$x_4 = -x_{\phi_{\max}} - B_{klap50\%} \cos \alpha + \frac{\phi_k}{2 \tan \theta_{k20-50\%L}} \quad (5.86)$$

$$\phi'_4 = c_1 (x_4 + x_{\phi_{\max}})^2 + c_2 (x_4 + x_{\phi_{\max}}) + \phi_k + \phi_{\min klap} \quad (5.87)$$

- Punt 2:

$$x_2 = (x_4 + x_1) / 2 \quad (5.88)$$

$$\phi'_2 = c_1 (x_2 + x_{\phi_{\max}})^2 + c_2 (x_2 + x_{\phi_{\max}}) + \phi_k + \phi_{\min klap} \quad (5.89)$$

- Punt 3:

$$x_3 = (x_2 + x_4) / 2 \quad (5.90)$$

$$\phi'_3 = c_1 (x_3 + x_{\phi_{\max}})^2 + c_2 (x_3 + x_{\phi_{\max}}) + \phi_k + \phi_{\min klap} \quad (5.91)$$

- Punt 6:
 - $x_6 = -x_{\phi_{\max}}$ (5.92)
 - $\phi'_6 = \phi_k + \phi_{\min klap}$ (5.93)
- Punt 5:
 - $x_5 = (x_6 + x_4) / 2$ (5.94)
 - $\phi'_5 = c_1 (x_5 + x_{\phi_{\max}})^2 + c_2 (x_5 + x_{\phi_{\max}}) + \phi_k + \phi_{\min klap}$ (5.95)
- Punt 7:
 - $x_7 = x_6 + \frac{\phi'_6}{\tan \theta_{k20-50\%L}} - \frac{\left(x_6 + \frac{\phi'_6}{\tan \theta_{k20-50\%L}} \right) \tan \alpha + d_l}{\tan \theta_{k20-50\%L}}$ (5.96)
 - $\phi'_7 = x_7 \tan \alpha + d_l$ (5.97)
- Punt 8:
 - $x_8 = \max \left(0 ; x_7 + \frac{H_s}{2} \right)$ (5.98)
 - $\phi'_8 = x_8 \tan \alpha$ (5.99)

5.9.3 Hoog en steil stijghoogtefront

De eigenschappen van het hoge en het steile stijghoogtefront kunnen berekend worden met de volgende formules:

- hoog stijghoogtefront:
 - $\frac{\phi_{b2\%}}{H_s} = \min \left\{ 0,5 + 0,12 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha} ; 2,3 \right\}$ (5.100)

Indien gerekend moet worden met veiligheidsfactoren geldt: $\phi_{b2\%} = \phi_{b2\%} \cdot 1,04$.

- $\tan(\theta_f) = \max \left\{ 1 ; \min \left\{ 8 - 0,6 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha} ; 2,5 \right\} \right\}$ (5.101)

Indien gerekend moet worden met veiligheidsfactoren geldt: $\tan \theta_f = \tan \theta_f \cdot 1,12$.

- $\frac{\phi_{min}}{H_s} = \max \left\{ -0,16 \left(\frac{\xi_{op}}{\sqrt{\tan \alpha}} \right)^{1,25} ; \frac{-2,5}{1 + 0,9 / \sqrt{\xi_{op}}} \right\}$ (5.102)

- $\frac{x_s}{H_s} \tan \alpha = \min \left\{ 0,25 + 0,11 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha} ; 2,0 \right\}$ (5.103)

Indien gerekend moet worden met veiligheidsfactoren geldt: $x_s = x_s \cdot 1,05$.

- steil stijghoogtefront:
 - $\frac{\phi_{b2\%}}{H_s} = \min \left\{ 0,4 + 0,08 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha} ; 1,4 \right\}$ (5.104)

Indien gerekend moet worden met veiligheidsfactoren geldt: $\phi_{b2\%} = \phi_{b2\%} \cdot 1,04$.

$$\bullet \tan(\theta_f) = \max \left\{ 2 ; \min \left\{ 12 - 0,8 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha} ; 5 \right\} \right\} \quad (5.105)$$

Indien gerekend moet worden met veiligheidsfactoren geldt: $\tan \theta_f = \tan \theta_f \cdot 1,12$.

$$\bullet \frac{\phi_{min}}{H_s} = \max \left\{ -0,05 - 0,14 \frac{\xi_{op}}{\sqrt{\tan \alpha}} ; -0,9 \right\} \quad (5.106)$$

$$\bullet \frac{x_s}{H_s} \tan \alpha = \min \left\{ 0,2 + 0,06 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha} ; 0,9 \right\} \quad (5.107)$$

Indien gerekend moet worden met veiligheidsfactoren geldt: $x_s = x_s \cdot 1,05$.

Met:

$\phi_{b2\%}$ = hoogte van het stijghoogtefront met 2% overschrijdingsfrequentie (m)

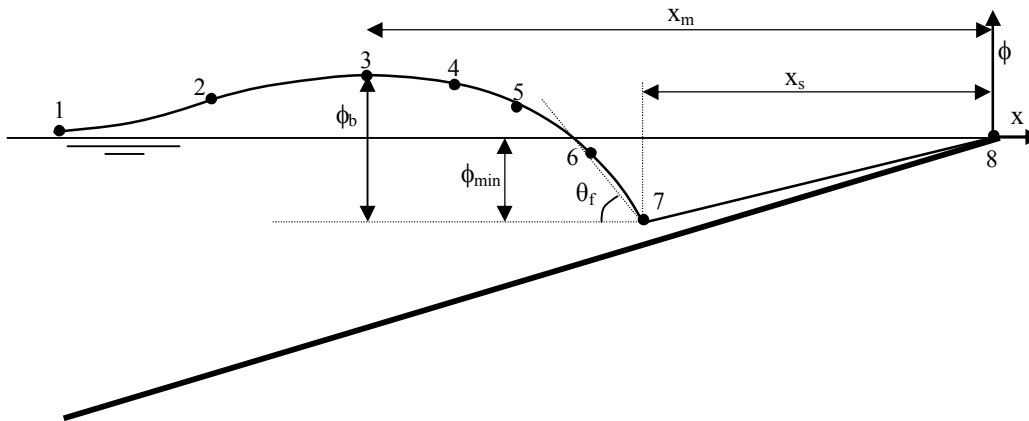
ϕ' = stijghoogte op het talud ten opzichte van de stilwaterlijn (m)

x = horizontale coördinaat vanaf de waterlijn, positief landinwaarts (m)

θ_f = helling van het stijghoogtefront (°)

x_s = horizontale afstand van de voet van het stijghoogtefront tot de waterlijn (altijd een positieve waarde) (m)

ϕ_{min} = minimale stijghoogte aan de voet van het stijghoogtefront (altijd een negatieve waarde) (m)



Figuur 5.3. stijghoogteverloop tijdens het stijghoogtefront

Vervolgens kunnen de locaties van de punten van het stijghoogteverloop en de lokale stijghoogte berekend worden met de volgende formules:

$$x_m = \frac{3\phi_{b2\%} + 1,4\phi_{min}}{\tan \theta_f} + x_s \quad (5.108)$$

met:

x_m = horizontale afstand van de top van het front tot de waterlijn (m)

- Punt 1:
 - $x_1 = -x_m - 4 \cdot (x_m - x_s)$ (5.109)
 - $\phi'_1 = (-x_1 \tan \theta_f - x_s \tan \theta_f + \phi_{\min}) e^{\frac{(x_1 + x_s) \tan \theta_f}{3\phi_{b2\%} + 2,4\phi_{\min}}}$ (5.110)
- Punt 2:
 - $x_2 = -2x_m + x_s$ (5.111)
 - $\phi'_2 = (-x_2 \tan \theta_f - x_s \tan \theta_f + \phi_{\min}) e^{\frac{(x_2 + x_s) \tan \theta_f}{3\phi_{b2\%} + 2,4\phi_{\min}}}$ (5.112)
- Punt 3:
 - $x_3 = -x_m$ (5.113)
 - $\phi'_3 = \phi_{b2\%} + \phi_{\min}$ (5.114)
- Punt 4:
 - $x_4 = -x_s - 0,8 \cdot (x_m - x_s)$ (5.115)
 - $\phi'_4 = (-x_4 \tan \theta_f - x_s \tan \theta_f + \phi_{\min}) e^{\frac{(x_4 + x_s) \tan \theta_f}{3\phi_{b2\%} + 2,4\phi_{\min}}}$ (5.116)
- Punt 5:
 - $x_5 = -x_s - 0,5 \cdot (x_m - x_s)$ (5.117)
 - $\phi'_5 = (-x_5 \tan \theta_f - x_s \tan \theta_f + \phi_{\min}) e^{\frac{(x_5 + x_s) \tan \theta_f}{3\phi_{b2\%} + 2,4\phi_{\min}}}$ (5.118)
- Punt 6:
 - $x_6 = -x_s - 0,3 \cdot (x_m - x_s)$ (5.119)
 - $\phi'_6 = (-x_6 \tan \theta_f - x_s \tan \theta_f + \phi_{\min}) e^{\frac{(x_6 + x_s) \tan \theta_f}{3\phi_{b2\%} + 2,4\phi_{\min}}}$ (5.120)
- Punt 7:
 - $x_7 = -x_s$ (5.121)
 - $\phi'_7 = \phi_{\min}$ (5.122)
- Punt 8:
 - $x_8 = 0$ (5.123)
 - $\phi'_8 = 0$ (5.124)

5.9.4 Karakteristieke punten in het stijghoogteverloop

Voor twee locaties van golfklap type 1, en een locatie in golfklap type 2, het hoge golffront en het steile golffront wordt in de volgende paragraaf het maximale en het minimale stijghoogteverschil bepaald. Tevens wordt bepaald hoever deze uit elkaar liggen en de breedte van het gebied waarvoor geldt dat het stijghoogteverschil groter is dan het eigen gewicht. Eerst moet echter de locatie waarop de karakteristieke belastingen optreden vastgesteld worden.

Als de onderste overgangsconstructie onder punt 1 en de bovenste overgangsconstructie boven punt 8 liggen, dan treden het maximale en het minimale stijghoogteverschil op de volgende locaties op (als $(Z_b - h_{MWS})/\tan\alpha < x_1$, dan hoeft de golfklap van type 1 niet berekend te worden):

- golfklappen van het type 1:
 - zeezijde van de golfklap
 - maximale stijghoogteverschil: punt 4
 - minimale stijghoogteverschil: punt 5
 - landzijde van de golfklap
 - maximale stijghoogteverschil: punt 7
 - minimale stijghoogteverschil: punt 6
- golfklappen van het type 2:
 - maximale stijghoogteverschil: punt 7
 - minimale stijghoogteverschil: punt 6
- hoog of steil golffront:
 - maximale stijghoogteverschil: punt 7
 - minimale stijghoogteverschil: punt 5 of 6

Voor het berekenen van de lengte waarover het stijghoogteverschil groter is dan het eigen gewicht zijn bovendien de punten nodig die naast het maximum liggen. Bij het maximum aan de zeezijde van de golfklappen van het type 1 zijn zelfs nog twee punten aan de zeewaartse kant van het maximum nodig.

In onderstaande tabel zijn alle karakteristieke punten genoemd met het nummer van het punt waar het optreedt, voor het geval dat de onderste overgangsconstructie onder punt 1 en de bovenste overgangsconstructie boven punt 8 liggen. Deze waarden worden gehanteerd als initiële waarden.

	Maximum	Zeewaarts van maximum		Landwaarts van max.	Minimum
Zeewaarts van klap type 1	$i_{K1Z,0} = 4$	$i_{K1Z,-1} = 3$	$i_{K1Z,-2} = 2$	$i_{K1Z,+1} = 5$	$i_{K1Zmin} = 5$
Landwaarts van klap type 1	$i_{K1L,0} = 7$	$i_{K1L,-1} = 6$		$i_{K1L,+1} = 8$	$i_{K1Lmin} = 5$
Golfklap type 2	$i_{K2,0} = 7$	$i_{K2,-1} = 6$		$i_{K2,+1} = 8$	$i_{K2min} = 6$
Hoog front	$i_{HF,0} = 7$	$i_{HF,-1} = 6$		$i_{HF,+1} = 8$	$i_{HFmin1} = 6$ $i_{HFmin2} = 5$ $i_{HFmin3} = 4$
Steil front	$i_{SF,0} = 7$	$i_{SF,-1} = 6$		$i_{SF,+1} = 8$	$i_{SFmin1} = 6$ $i_{SFmin2} = 5$ $i_{SFmin3} = 4$

Tabel 5.1. Nummer van de karakteristieke locaties

Afhankelijk van de locatie van de overgangsconstructies kunnen deze nummers nog veranderen, zoals onderstaand blijkt.

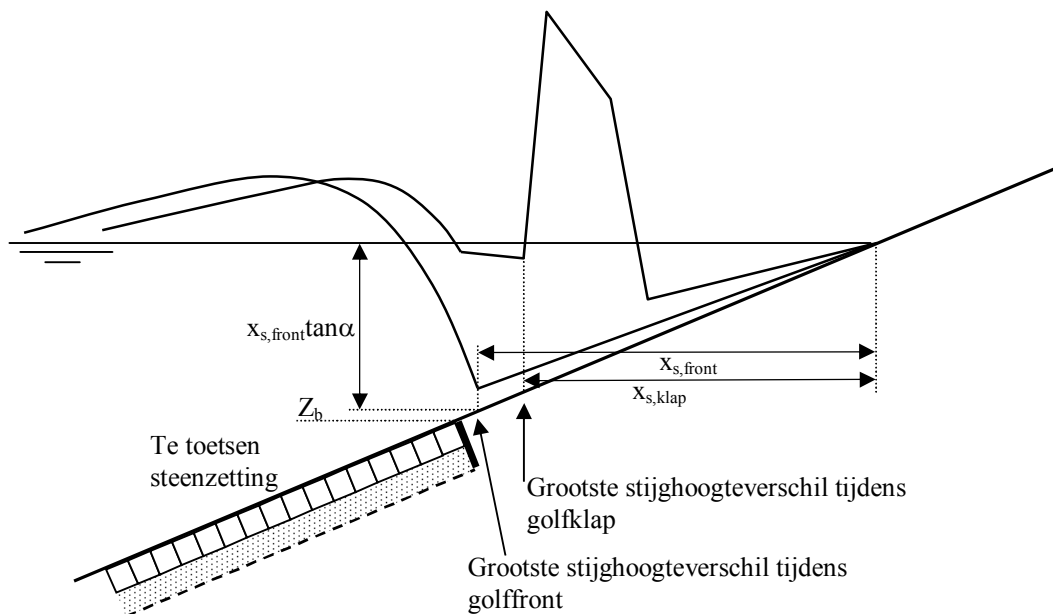
5.9.5 Plaatsing punten tussen de overgangsconstructies

Het is denkbaar dat de 8 punten uit het stijghoogteverloop zoals dat bovenstaand is berekend niet allemaal op het te toetsen segment vallen. Dat betekent dat het stijghoogteverloop moet worden afgekapt bij de bovenste en onderste overgangsconstructie, voordat het stijghoogteverschil wordt berekend. In de berekeningen van het stijghoogteverschil wordt aangenomen dat er een dichte overgangsconstructie is bij het onderste en het bovenste punt.

Daarbij wordt rekening gehouden met het volgende:

- De onderste overgangsconstructie kan zo hoog liggen dat er nauwelijks of geen belasting op het segment komt als gevolg van de vijf gekozen belastingtypen. Er moet echter rekening gehouden worden met het feit dat er duizenden golven op het talud komen met elk een belasting op een andere locatie, ook hoog op het talud.
- Als de bovenste overgangsconstructie open is (type a0 of a1), dan wordt aangenomen dat het stijghoogteverloop in het filter doorloopt naar het erboven gelegen segment. In dat geval wordt het erboven gelegen segment ook meegenomen bij het berekenen van het stijghoogteverschil en kunnen er dus ook punten van het stijghoogteverloop op het erboven gelegen segment vallen.
- De formules voor het berekenen van het stijghoogteverschil gaan uit van de aanwezigheid van 8 punten waar de stijghoogte op het talud bekend is. Daardoor moeten de punten verplaatst worden die buiten de door te rekenen segmenten vallen. Ze worden vlakbij de rand van het door te rekenen deel van de steenzetting gelegd, op het bepaalde stijghoogteverloop.

Dit is onderstaand nader uitgewerkt.



Figuur 5.4. Steenzetting die diep ligt en daardoor nauwelijks belast wordt

De onderste overgangsconstructie wordt verplaatst als deze minder dan $2H_s$ onder de waterstand zit, om te voorkomen dat de zone vlak onder de waterlijn niet belast lijkt te worden, en de belasting te kunnen uitrekenen op bekledingen boven de waterlijn (die aangenomen is 80% te zijn van de belasting onder de waterlijn):

$$Z_o = \min(Z_{oi}; h_{MWS} - 2H_s) \quad (5.125)$$

$$x_o = (Z_o - h_{MWS})/\tan\alpha \quad (5.126)$$

met: Z_{oi} = door de gebruiker ingevoerde niveau van de onderste overgangsconstructie van het te toetsen segment (m)

Aan de bovenzijde is het niveau van de dichtstbijzijnde dichte overgangsconstructie, Z_{bdicht} , relevant (waar het filter onderbroken is). Dit zijn overgangsconstructies van het type b0, b1, c0 of c1.

Als de overgangsconstructie van het type a0 of a1 is en het segmenttype is onderbeloop, onder/bovenbeloop of bovenbeloop, dan wordt Z_{bdicht} gelijk genomen aan de Z_b van het laagste op de dijk gelegen segment dat erboven ligt met een overgangsconstructie van het type b0, b1, c0 of c1. Als er geen overgangsconstructie van het type b0, b1, c0 of c1 is, dan wordt de Z_{bdicht} genomen van het hoogstgelegen segment met steenzettingtype 3 of 6 of 7 of 9. Met andere woorden:

- Als (overg_ti = a0 of a1) en (segmenttype_t = onderbeloop, onder/bovenbeloop of bovenbeloop), dan:
 - Z_{bdicht} is gelijk aan Z_b van het laagste gelegen segment met overg_ti = b0, b1, c0 of c1 dat hoger op de dijk ligt dan het te toetsen segment.
 - Als er geen segmenten zijn met overg_ti = b0, b1, c0 of c1 dan is Z_{bdicht} gelijk aan niveau van Z_b van hoogstgelegen segment met steenzettingtype 3 of 6 of 7 of 9 (kan het onderhavige segment zijn).
- Als (overg_ti = b0, b1, c0 of c1) en (segmenttype_t = onderbeloop, onder/bovenbeloop of bovenbeloop), dan geldt $Z_{bdicht} = Z_b$.

Als het een havendam is, en het is bovendien een binnentalud of kruin, of segmenttype_t = buitenberm dan:

$$Z_{bdicht} = \min(h_{MWS}; Z_b) \quad (5.127)$$

Vervolgens wordt voor de twee golfklappen en de twee fronten gekeken welke punten naast de te toetsen steenzetting vallen (als $(Z_{bdicht} - h_{MWS})/\tan\alpha < x_1$, dan hoeft de golfklap van type 1 niet berekend te worden). Die punten worden veranderd.

Met betrekking tot de onderste overgangsconstructie:

- als $x_4 < x_o$ dan:

$$- \phi'_1 = \phi'_4 + (x_o - x_4) \frac{\phi'_5 - \phi'_4}{x_5 - x_4} \quad (5.128)$$

$$- \phi'_2 = \phi'_5 \quad (5.129)$$

$$- \phi'_3 = \phi'_5 + 0,01 \frac{\phi'_6 - \phi'_5}{x_6 - x_5} \quad (5.130)$$

$$- \phi'_4 = \phi'_5 + 0,02 \frac{\phi'_6 - \phi'_5}{x_6 - x_5} \quad (5.131)$$

$$- \phi'_5 = \phi'_5 + 0,03 \frac{\phi'_6 - \phi'_5}{x_6 - x_5} \quad (5.132)$$

$$- x_1 = x_o$$

$$- x_2 = x_5$$

- $x_3 = x_2 + 0,01$
- $x_4 = x_2 + 0,02$
- $x_5 = x_2 + 0,03$

Als het om de belasting zeewaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

- $i_{K1Z,0} = 1$ (het maximum treedt op bij de overgangsconstructie)
- $i_{K1Z,-1} = 0$ (de bekleding zit alleen landwaarts van het maximum)
- $i_{K1Z,-2} = 0$ (de bekleding zit alleen landwaarts van het maximum)
- $i_{K1Z,+1} = 2$
- $i_{K1Zmin} = 2$

- anders, als $x_3 < x_0$ dan:

$$\phi'_1 = \phi'_3 + (x_0 - x_3) \frac{\phi'_4 - \phi'_3}{x_4 - x_3} \quad (5.133)$$

$$\phi'_2 = \phi'_4 \quad (5.134)$$

$$\phi'_3 = \phi'_4 + 0,01 \frac{\phi'_5 - \phi'_4}{x_5 - x_4} \quad (5.135)$$

$$\phi'_4 = \phi'_4 + 0,02 \frac{\phi'_5 - \phi'_4}{x_5 - x_4} \quad (5.136)$$

- $x_1 = x_0$
- $x_2 = x_4$
- $x_3 = x_2 + 0,01$
- $x_4 = x_2 + 0,02$

Als het om de belasting zeewaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

- $i_{K1Z,0} = 2$
- $i_{K1Z,-1} = 1$
- $i_{K1Z,-2} = 0$ (er is maar een punt zeewaarts van het maximum op de bekleding)

- anders, als $x_2 < x_0$ dan:

$$\phi'_1 = \phi'_2 + (x_0 - x_2) \frac{\phi'_3 - \phi'_2}{x_3 - x_2} \quad (5.137)$$

$$\phi'_2 = \phi'_3 \quad (5.138)$$

$$\phi'_3 = \phi'_3 + 0,01 \frac{\phi'_4 - \phi'_3}{x_4 - x_3} \quad (5.139)$$

- $x_1 = x_0$
- $x_2 = x_3$
- $x_3 = x_2 + 0,01$

Als het om de belasting zeewaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

- $i_{K1Z,-1} = 2$
- $i_{K1Z,-2} = 1$

- anders, als $x_1 < x_0$ dan:

$$\phi'_1 = \phi'_1 + (x_0 - x_1) \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1} \quad (5.140)$$

$$x_1 = x_0 \quad (5.141)$$

Hetzelfde wordt gedaan voor de bovenste overgangsconstructie:

$$x_b = (Z_{\text{bdicht}} - h_{\text{MWS}}) / \tan \alpha \quad (5.142)$$

- als $x_b < x_2$

- $x_8 = \max(x_b; x_1 + 0,07)$ (5.143)

- $\phi'_8 = \phi'_1 + (x_8 - x_1) \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.144)

- $\phi'_7 = \phi'_1 + 0,06 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.145)

- $\phi'_6 = \phi'_1 + 0,05 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.146)

- $\phi'_5 = \phi'_1 + 0,04 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.147)

- $\phi'_4 = \phi'_1 + 0,03 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.148)

- $\phi'_3 = \phi'_1 + 0,02 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.149)

- $\phi'_2 = \phi'_1 + 0,01 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.150)

- $x_7 = x_1 + 0,06$

- $x_6 = x_1 + 0,05$

- $x_5 = x_1 + 0,04$

- $x_4 = x_1 + 0,03$

- $x_3 = x_1 + 0,02$

- $x_2 = x_1 + 0,01$

Als het om de belasting zeewaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

- $i_{K1Z,0} = 8$ (het maximum treedt op bij de overgangsconstructie)

- $i_{K1Z,-1} = 4$

- $i_{K1Z,-2} = 1$

- $i_{K1Z,+1} = 0$ (de bekleding zit alleen zeewaarts van het maximum)

- $i_{K1Z\text{min}} = 1$

Als het om de belasting landwaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

- $i_{K1L,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

Als het om de belasting van de golfklap van het type 2 gaat, dan:

- $i_{K2,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

Als het om de belasting van het hoge front gaat, dan:

- $i_{HF,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

Als het om de belasting van het steile front gaat, dan:

- $i_{SF,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

- als $x_b < x_3$

- $x_8 = x_b$ (5.151)

- $x_7 = x_2$ (5.152)

- $\phi'_8 = \phi'_2 + (x_b - x_2) \frac{\phi'_3 - \phi'_2}{x_3 - x_2}$ (5.153)

- $\phi'_7 = \phi'_2$ (5.154)

$$- \phi'_6 = \phi'_2 - 0,01 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1} \quad (5.155)$$

$$- \phi'_5 = \phi'_2 - 0,02 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1} \quad (5.156)$$

$$- \phi'_4 = \phi'_2 - 0,03 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1} \quad (5.157)$$

$$- \phi'_3 = \phi'_2 - 0,04 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1} \quad (5.158)$$

$$- \phi'_2 = \phi'_7 - 0,05 \frac{\phi'_7 - \phi'_1}{x_2 - x_1} \quad (5.159)$$

$$- x_6 = x_7 - 0,01$$

$$- x_5 = x_7 - 0,02$$

$$- x_4 = x_7 - 0,03$$

$$- x_3 = x_7 - 0,04$$

$$- x_2 = x_7 - 0,05$$

Als het om de belasting zeewaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

$$- i_{K1Z,0} = 8 \text{ (het maximum treedt op bij de overgangsconstructie)}$$

$$- i_{K1Z,-1} = 7$$

$$- i_{K1Z,-2} = 1$$

$$- i_{K1Z,+1} = 0 \text{ (de bekleding zit alleen zeewaarts van het maximum)}$$

$$- i_{K1Zmin} = 1$$

Als het om de belasting landwaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

$$- i_{K1L,0} = 0 \text{ (de belasting valt naast de steenzetting)}$$

Als het om de belasting van de golfklap van het type 2 gaat, dan:

$$- i_{K2,0} = 0 \text{ (de belasting valt naast de steenzetting)}$$

Als het om de belasting van het hoge front gaat, dan:

$$- i_{HF,0} = 0 \text{ (de belasting valt naast de steenzetting)}$$

Als het om de belasting van het steile front gaat, dan:

$$- i_{SF,0} = 0 \text{ (de belasting valt naast de steenzetting)}$$

- anders, als $x_b < x_4$

$$- x_8 = x_b \quad (5.160)$$

$$- x_7 = x_3 \quad (5.161)$$

$$- \phi'_8 = \phi'_3 + (x_b - x_3) \frac{\phi'_4 - \phi'_3}{x_4 - x_3} \quad (5.162)$$

$$- \phi'_7 = \phi'_3 \quad (5.163)$$

$$- \phi'_6 = \phi'_3 - 0,01 \frac{\phi'_3 - \phi'_2}{x_3 - x_2} \quad (5.164)$$

$$- \phi'_5 = \phi'_3 - 0,02 \frac{\phi'_3 - \phi'_2}{x_3 - x_2} \quad (5.165)$$

$$- \phi'_4 = \phi'_3 - 0,03 \frac{\phi'_3 - \phi'_2}{x_3 - x_2} \quad (5.166)$$

$$- \phi'_3 = \phi'_3 - 0,04 \frac{\phi'_3 - \phi'_2}{x_3 - x_2} \quad (5.167)$$

- $x_6 = x_7 - 0,01$
- $x_5 = x_7 - 0,02$
- $x_4 = x_7 - 0,03$
- $x_3 = x_7 - 0,04$

Als het om de belasting zeewaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

- $i_{K1Z,0} = 8$ (het maximum treedt op bij de overgangsconstructie)
- $i_{K1Z,-1} = 7$
- $i_{K1Z,-2} = 2$
- $i_{K1Z,+1} = 0$ (de bekleding zit alleen zeewaarts van het maximum)
- $i_{K1Zmin} = 1$

Als het om de belasting landwaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

- $i_{K1L,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

Als het om de belasting van de golfklap van het type 2 gaat, dan:

- $i_{K2,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

Als het om de belasting van het hoge front gaat, dan:

- $i_{HF,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

Als het om de belasting van het steile front gaat, dan:

- $i_{SF,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

- anders, als $x_b < x_5$

$$- x_8 = x_b \quad (5.168)$$

$$- x_7 = x_4 \quad (5.169)$$

$$- \phi'_8 = \phi'_4 + (x_b - x_4) \frac{\phi'_5 - \phi'_4}{x_5 - x_4} \quad (5.170)$$

$$- \phi'_7 = \phi'_4 \quad (5.171)$$

$$- \phi'_6 = \phi'_4 - 0,01 \frac{\phi'_4 - \phi'_3}{x_4 - x_3} \quad (5.172)$$

$$- \phi'_5 = \phi'_4 - 0,02 \frac{\phi'_4 - \phi'_3}{x_4 - x_3} \quad (5.173)$$

$$- \phi'_4 = \phi'_4 - 0,03 \frac{\phi'_4 - \phi'_3}{x_4 - x_3} \quad (5.174)$$

$$- x_6 = x_7 - 0,01$$

$$- x_5 = x_7 - 0,02$$

$$- x_4 = x_7 - 0,03$$

Als het om de belasting zeewaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

- $i_{K1Z,0} = 7$
- $i_{K1Z,+1} = 8$
- $i_{K1Zmin} = 8$

Als het om de belasting landwaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

- $i_{K1L,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

Als het om de belasting van de golfklap van het type 2 gaat, dan:

- $i_{K2,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

Als het om de belasting van het hoge front gaat, dan:

– $i_{HF,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

Als het om de belasting van het steile front gaat, dan:

– $i_{SF,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

- anders, als $x_b < x_6$

– $x_8 = x_b$ (5.175)

– $x_7 = x_5$ (5.176)

– $\phi'_8 = \phi'_5 + (x_b - x_5) \frac{\phi'_6 - \phi'_5}{x_6 - x_5}$ (5.177)

– $\phi'_7 = \phi'_5$ (5.178)

– $\phi'_6 = \phi'_5 - 0,01 \frac{\phi'_5 - \phi'_4}{x_5 - x_4}$ (5.179)

– $\phi'_5 = \phi'_5 - 0,02 \frac{\phi'_5 - \phi'_4}{x_5 - x_4}$ (5.180)

– $x_6 = x_7 - 0,01$

– $x_5 = x_7 - 0,02$

Als het om de belasting zeewaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

– $i_{K1Z,+1} = 7$

– $i_{K1Zmin} = 7$

Als het om de belasting landwaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

– $i_{K1L,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

Als het om de belasting van de golfklap van het type 2 gaat, dan:

– $i_{K2,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

Als het om de belasting van het hoge front gaat, dan:

– $i_{HF,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

Als het om de belasting van het steile front gaat, dan:

– $i_{SF,0} = 0$ (de belasting valt naast de steenzetting)

- anders, als $x_b < x_7$

– $x_8 = x_b$ (5.181)

– $\phi'_8 = \phi'_6 + (x_b - x_6) \frac{\phi'_7 - \phi'_6}{x_7 - x_6}$ (5.182)

– $x_7 = x_6$ (5.183)

– $\phi'_7 = \phi'_6$ (5.184)

– $\phi'_6 = \phi'_6 - 0,01 \frac{\phi'_6 - \phi'_5}{x_6 - x_5}$ (5.185)

– $x_6 = x_7 - 0,01$

Als het om de belasting landwaarts van de golfklap van het type 1 gaat, dan:

– $i_{K1L,0} = 8$ (grootste stijghoogteverschil op de overgangsconstructie)

– $i_{K1L,-1} = 7$

– $i_{K1L,+1} = 8$

Als het om de belasting van de golfklap van het type 2 gaat, dan:

– $i_{K2,0} = 8$ (grootste stijghoogteverschil op de overgangsconstructie)

– $i_{K2,-1} = 7$

– $i_{K2,+1} = 0$ (de bekleding zit alleen zeewaarts van het maximum)

Als het om de belasting van het hoge front gaat, dan:

- $i_{HF,0} = 8$
- $i_{HF,-1} = 7$
- $i_{HF,+1} = 0$ (de bekleding zit alleen zeewaarts van het maximum)
- $i_{HFmin1} = 7$

Als het om de belasting van het steile front gaat, dan:

- $i_{SF,0} = 8$
- $i_{SF,-1} = 7$
- $i_{SF,+1} = 0$ (de bekleding zit alleen zeewaarts van het maximum)
- $i_{SFmin1} = 7$

- anders, als $x_b < x_8$

$$- \phi'_8 = \phi'_7 + (x_b - x_7) \frac{\phi'_8 - \phi'_7}{x_8 - x_7} \quad (5.186)$$

$$- x_8 = x_b \quad (5.187)$$

5.10 Stijhoogteverschil over de toplaag

Het maatgevend stijhoogteverschil over de toplaag kan alleen berekend worden voor steenzettingen van het type 3 of 6, en niet voor ingegoten steenzettingen (ingegoten = nee).

Er wordt gebruik gemaakt van de formules van Klein Breteler e.a. (2006d).

Het stijhoogteverschil over de toplaag moet voor elk van de twee golfklappen en voor elk van de twee golffronten berekend worden. Zo worden er voor 4 belastingsituaties het stijhoogteverschil berekend.

Voor onderstaande formules is uitgegaan van een dicht overgangsconstructie bij x_1 en x_8 .

Voor elke belastingsituatie wordt begonnen met het berekenen van de volgende parameters:

$$C_1 = -\frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1} \cdot \Lambda \cos \alpha \quad (5.188)$$

$$C_i = \left(\frac{\phi'_{i+1} - \phi'_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{\phi'_i - \phi'_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right) \cdot \Lambda \cos \alpha \quad \text{met } i = 2, 3, 4, 5, 6, \text{ en } 7 \quad (5.189)$$

$$C_8 = -\frac{\phi'_8 - \phi'_7}{x_8 - x_7} \cdot \Lambda \cos \alpha \quad (5.190)$$

$$B_{78} = \frac{C_8 e^{\frac{x_1 - x_8}{\Lambda \cos \alpha}} - C_1 + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=2}^7 \left(C_i \left(e^{\frac{+(x_i - x_1)}{\Lambda \cos \alpha}} + e^{\frac{-(x_i - x_1)}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \right)}{e^{\frac{-x_1}{\Lambda \cos \alpha}} - e^{\frac{x_1 - 2x_8}{\Lambda \cos \alpha}}} \quad (5.191)$$

$$B_{67} = B_{78} - \frac{1}{2} \cdot C_7 e^{\frac{+x_7}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.192)$$

$$B_{56} = B_{67} - \frac{1}{2} \cdot C_6 e^{\frac{+x_6}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.193)$$

$$B_{45} = B_{56} - \frac{1}{2} \cdot C_5 e^{\frac{+x_5}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.194)$$

$$B_{34} = B_{45} - \frac{1}{2} \cdot C_4 e^{\frac{+x_4}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.195)$$

$$B_{23} = B_{34} - \frac{1}{2} \cdot C_3 e^{\frac{+x_3}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.196)$$

$$B_{12} = B_{23} - \frac{1}{2} \cdot C_2 e^{\frac{+x_2}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.197)$$

$$A_{78} = B_{78} e^{\frac{-2x_8}{\Lambda \cos \alpha}} + C_8 e^{\frac{-x_8}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.198)$$

$$A_{67} = A_{78} + \frac{1}{2} C_7 e^{\frac{-x_7}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.199)$$

$$A_{56} = A_{67} + \frac{1}{2} C_6 e^{\frac{-x_6}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.200)$$

$$A_{45} = A_{56} + \frac{1}{2} C_5 e^{\frac{-x_5}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.201)$$

$$A_{34} = A_{45} + \frac{1}{2} C_4 e^{\frac{-x_4}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.202)$$

$$A_{23} = A_{34} + \frac{1}{2} C_3 e^{\frac{-x_3}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.203)$$

$$A_{12} = A_{23} + \frac{1}{2} C_2 e^{\frac{-x_2}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.204)$$

Om problemen bij het berekenen van de e-machten te voorkomen is $e^{-x/\Lambda \cos \alpha}$ vervangen door:

- Als $x/\Lambda \cos \alpha < -500$, dan: $x = \max(-700\Lambda \cos \alpha; -500\Lambda \cos \alpha + (x + 500\Lambda \cos \alpha)/10)$ (5.205)

Voor twee locaties van golfklap type 1, en een locatie in golfklap type 2, het hoge golffront en het steile golffront wordt vervolgens het maximale en het minimale stijghoogteverschil bepaald. Tevens wordt bepaald hoe ver deze uit elkaar liggen en de breedte van het gebied waarvoor geldt dat het stijghoogteverschil groter is dan het eigen gewicht.

Merk op dat als $(Z_b - h_{MWS})/\tan \alpha < x_1$, dan hoeft de golfklap van type 1 niet berekend te worden (zie paragraaf 5.9). De waarden van $\phi_{wmax, K1Z}$ en $\phi_{wmax, K1L}$ worden dan beide 0.

Gezien het feit dat bij het golffront het minimale stijghoogteverschil soms in punt 4, 5 of 6 optreedt, zal in concrete gevallen steeds alle drie berekend moeten worden om vervolgens de kleinste te kiezen.

Voor elk van deze locaties moet het stijghoogteverschil berekend worden met de volgende formule (zie ook tabel 5.2). Als het stijghoogteverschil in punt i berekend moet worden, geldt:

$$\begin{aligned} \text{als } 1 \leq i \leq 7: \quad \phi_{wi} &= f_{\beta} \left(A_{i,i+1} e^{\frac{+x_i}{\Lambda \cos \alpha}} + B_{i,i+1} e^{\frac{-x_i}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \\ \text{als } i = 8: \quad \phi_{wi} &= f_{\beta} \left(A_{78} e^{\frac{+x_8}{\Lambda \cos \alpha}} + B_{78} e^{\frac{-x_8}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \end{aligned} \quad (5.206)$$

met:

ϕ_{wi} = stijghoogteverschil in punt i (m)

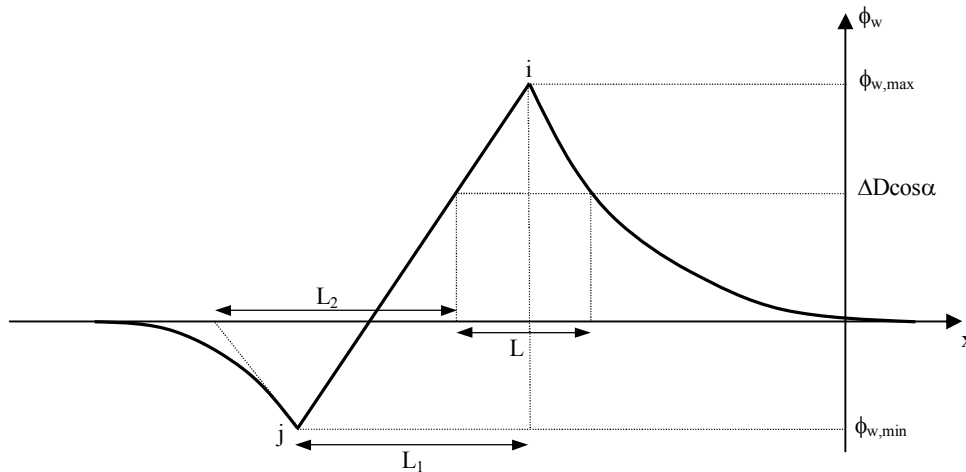
i = nummer van een locatie waar het stijghoogteverschil berekend moet worden

x = horizontale coördinaat ten opzichte van de waterlijn (m)

f_{β} = invloedsfactor voor scheve golfaanval (zie paragraaf 5.6)

	Type 1 zeezijde	Type 1 landzijde	Type 2	Hoog front	Steil front
ϕ_{wmax} : Maximale stijghoogteverschil	$i = i_{K1Z,0}$: $\phi_{wmax, K1Z}$	$i = i_{K1L,0}$: $\phi_{wmax, K1L}$	$i = i_{K2,0}$: $\phi_{wmax, K2}$	$i = i_{HF,0}$: $\phi_{wmax, HF}$	$i = i_{SF,0}$: $\phi_{wmax, SF}$
ϕ_{wmin} : Minimale stijghoogteverschil	$j = i_{K1Zmin}$: $\phi_{wmin, K1Z}$	$j = i_{K1Lmin}$: $\phi_{wmin, K1L}$	$j = i_{K2min}$: $\phi_{wmin, K2}$	$j_1 = i_{HFmin1}$ $j_2 = i_{HFmin2}$ $j_3 = i_{HFmin3}$: kleinste ϕ_w : $\phi_{wmin, HF}$ i_{HFmin}	$j_1 = i_{SFmin1}$ $j_2 = i_{SFmin2}$ $j_3 = i_{SFmin3}$: kleinste ϕ_w : $\phi_{wmin, SF}$ i_{SFmin}
Onderlinge afstand $x_{\phi_{wmax}} - x_{\phi_{wmin}}$	$ x_i - x_j =$ $L_{1, K1Z}$	$ x_i - x_j =$ $L_{1, K1L}$	$ x_i - x_j =$ $L_{1, K2}$	$ x_i - x_j =$ $L_{1, HF}$	$ x_i - x_j =$ $L_{1, SF}$
Lengte met $\phi_w > \Delta D$	L_{K1Z}	L_{K1L}	L_{K2}	L_{HF}	L_{SF}
Lengte raaklijn van ϕ_{wmin} tot snijpunt met $\phi = 0$	L_{2K1Z}	L_{2K1L}	L_{2K2}	L_{2HF}	L_{2SF}

Tabel 5.2. Te berekenen parameters ten behoeve van klemming berekening (zie ook Figuur 5.5) (voor lengte met $\phi_w > \Delta D$, zie onderstaande procedure)



Figuur 5.5 Verloop van stijghoogteverschil als functie van de plaats voor de belasting landwaarts van golfklap type 1 en 2 en het steile en hoge golffront (zeewaarts van type 1 is gespiegeld)

Het maximale stijghoogteverschil tijdens de golfklap blijkt maar weinig afhankelijk te zijn van de grootte van de lek lengte.

Het kan zijn dat een extreem stijghoogteverschil (maximum of minimum) buiten de te toetsen steenzetting valt. Dan zal het locatienummer 0 zijn. In dat geval wordt de betreffende lengte en stijghoogteverschil ook gelijk aan 0 gesteld. Dit wordt nog expliciet gecontroleerd omdat bij een overgangsconstructie van het type a0 of a1 het maximale stijghoogteverschil boven de bovenste overgangsconstructie kan liggen:

- Als met $i = i_{K1Z,0}$ geldt $x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws} > Z_b$ dan: $i_{K1Z,0} = 0$ en $\phi_{wmax, K1Z} = 0$
- Als met $i = i_{K1L,0}$ geldt $x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws} > Z_b$ dan: $i_{K1L,0} = 0$ en $\phi_{wmax, K1L} = 0$
- Als met $i = i_{K2,0}$ geldt $x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws} > Z_b$ dan: $i_{K2,0} = 0$ en $\phi_{wmax, K2} = 0$
- Als met $i = i_{HF,0}$ geldt $x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws} > Z_b$ dan: $i_{HF,0} = 0$ en $\phi_{wmax, HF} = 0$
- Als met $i = i_{SF,0}$ geldt $x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws} > Z_b$ dan: $i_{SF,0} = 0$ en $\phi_{wmax, SF} = 0$

Behalve de maxima en minima wordt ook de lengte berekend waarvoor geldt dat het stijghoogteverschil groter is dan het eigen gewicht (zie Figuur 5.5). Voor het eigen gewicht geldt:

$$\phi_{eg} = \Delta D \cdot f_{S,klap} C_{bovenbeloop} / C_{berm} / f_{havendam} \quad (5.207)$$

De berekening van de lengte met $\phi_w > \phi_{eg}$ gaat als volgt:

- Zeewaarts van de golfklap van type 1:

Als $i_{K1Z,0} = 0$ of $\phi_{wmax, K1Z} < \phi_{eg}$ dan $L_{K1Z} = 0$

– het begin van het betreffende gebied: x_{Lb}

als $i_{K1Z,0} = 1$, dan $x_{Lb} = x_1$; anders:

als met $i = i_{K1Z,-1}$ geldt $\phi_{wi} < \phi_{eg}$ dan:

$$j = i_{K1Z,0}$$

$$x_{Lb} = x_i + (\phi_{eg} - \phi_{wi}) \frac{x_j - x_i}{\phi_{wj} - \phi_{wi}} \quad (5.208)$$

anders:

als $i_{K1Z,-2} = 0$ dan $x_{Lb} = x_1$; anders:

als met $i = i_{K1Z,-2}$ geldt $\phi_{wj} < \phi_{eg}$ dan:

$$j = i_{K1Z,-1}$$

$$x_{Lb} = x_i + (\phi_{eg} - \phi_{wi}) \frac{x_j - x_i}{\phi_{wj} - \phi_{wi}} \quad (5.209)$$

anders: $x_{Lb} = x_i$ met $i = i_{K1Z,-2}$

- het einde van het betreffende gebied: $x_{Le, K1Z}$

als $i_{K1Z,0} = 8$, dan $x_{Le, K1Z} = x_8$; anders:

$$i = i_{K1Z,0}$$

$$j = i_{K1Z,+1}$$

$$x_{Le, K1Z} = x_i + (\phi_{eg} - \phi_{wi}) \frac{x_j - x_i}{\phi_{wj} - \phi_{wi}} \quad (5.210)$$

$$\text{De afstand is: } L_{K1Z} = \max \left(x_{Le, K1Z} - x_{Lb} ; \frac{\phi_{wmax, K1Z} - \phi_{eg}}{\phi_{wmax, K1Z} - \phi_{wmin, K1Z}} L_{1, K1Z} ; 0 \right) \quad (5.211)$$

$$\text{met } \cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + (\tan \alpha)^2}}$$

- Landwaarts van de golfklap van type 1:

Als $i_{K1L,0} = 0$ of $\phi_{wmax,K1L} < \phi_{eg}$ dan $L_{K1L} = 0$

– het begin van het betreffende gebied: $x_{Lb,K1L}$

als $i_{K1L,0} = 1$, dan $x_{Lb,K1L} = x_1$; anders:

$$i = i_{K1L,-1}$$

$$j = i_{K1L,0}$$

$$x_{Lb,K1L} = x_i + (\phi_{eg} - \phi_{wi}) \frac{x_j - x_i}{\phi_{wj} - \phi_{wi}} \quad (5.212)$$

– het einde van het betreffende gebied: x_{Le}

als $i_{K1L,0} = 8$, dan $x_{Le} = x_8$; anders:

als $i_{K1L,0} = 7$, dan

eerst wordt het stijghoogteverschil berekend op een afstand Λ van punt 7:

$$\phi_{w7+\Lambda} = f_{\beta} \left(A_{78} e^{\frac{\min(x_7+\Lambda/2; (x_7+x_8)/2)}{\Lambda \cos \alpha}} + B_{78} e^{\frac{-\min(x_7+\Lambda/2; (x_7+x_8)/2)}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \quad (5.213)$$

daarmee wordt het einde berekend:

$$x_{Le} = x_7 + (\phi_{eg} - \phi_{w7}) \frac{\min(x_7 + \Lambda/2; (x_7 + x_8)/2) - x_7}{\phi_{w7+\Lambda} - \phi_{w7}} \quad (5.214)$$

anders:

$$i = i_{K1L,0}$$

$$j = i_{K1L,+1}$$

$$x_{Le} = x_i + (\phi_{eg} - \phi_{wi}) \frac{x_j - x_i}{\phi_{wj} - \phi_{wi}} \quad (5.215)$$

$$\text{De afstand is: } L_{K1L} = \max \left(x_{Le} - x_{Lb,K1L} ; \frac{\phi_{wmax,K1L} - \phi_{eg}}{\phi_{wmax,K1L} - \phi_{wmin,K1L}} L_{1,K1L} ; 0 \right) \quad (5.216)$$

- Golfklap van type 2:

Als $i_{K2,0} = 0$ of $\phi_{wmax,K2} < \phi_{eg}$ dan $L_{K2} = 0$

Verder is de rekenprocedure hetzelfde als landwaarts van de golfklap van type 1, waarbij de index $K1L$ vervangen moet worden door $K2$.

- Hoog stijghoogtefront:

Als $i_{HF,0} = 0$ of $\phi_{wmax,HF} < \phi_{eg}$ dan $L_{HF} = 0$

Verder is de rekenprocedure hetzelfde als landwaarts van de golfklap van type 1, waarbij de index $K1L$ vervangen moet worden door HF .

- Steil stijghoogtefront:

Als $i_{SF,0} = 0$ of $\phi_{wmax,SF} < \phi_{eg}$ dan $L_{SF} = 0$

Verder is de rekenprocedure hetzelfde als landwaarts van de golfklap van type 1, waarbij de index $K1L$ vervangen moet worden door SF .

Voor het berekenen van de raaklijn aan de stijghoogteverschilskromme ter plaatse van ϕ_{min} naar de kant waar ϕ_{max} niet zit, moet het stijghoogteverschil berekend worden op een locatie vlak naast de locatie waar ϕ_{min} optreedt (zie figuur 5.5). Vervolgens wordt berekend wat de afstand is van $\phi = \phi_{eg}$ (rand van gebied L) en de locatie waar deze raaklijn de horizontale as snijdt:

- Zeewaarts van de golfklap van type 1:

Als $i_{K1Z,0} = 0$ of $\phi_{wmax,K1Z} < \phi_{eg}$ of $\phi_{wmin,K1Z} > 0$ dan $L_{2K1Z} = 0$

Als $i_{K1Zmin} = 8$ dan $L_{2K1Z} = 1$ (valt buiten bekleding)

$$j = i_{K1Zmin}; x_{RL} = \min(x_j + \Lambda/4; x_{j+1}) \quad (5.217)$$

met: x_{RL} = lokale hulpvariabele om raaklijn mee te berekenen (m)

$$\phi_{vmin} = f_{\beta} \left(A_{j,j+1} e^{\frac{+x_{RL}}{\Lambda \cos \alpha}} + B_{j,j+1} e^{\frac{-x_{RL}}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \quad (5.218)$$

met: ϕ_{vmin} = lokale hulpvariabele om raaklijn mee te berekenen (m)

Als $\phi_{wmin,K1Z} \geq \phi_{vmin}$ dan $L_{2K1Z} = 10$, anders:

$$L_{2K1Z} = abs \left(\frac{\phi_{wmin,K1Z} \cdot (x_j - x_{RL})}{(\phi_{wmin,K1Z} - \phi_{vmin}) \cos \alpha} \right) + abs \left(\frac{x_j - x_{Le,K1Z}}{\cos \alpha} \right) \quad (5.219)$$

- Landwaarts van de golfklap van type 1:

Als $i_{K1L,0} = 0$ of $\phi_{wmax,K1L} < \phi_{eg}$ of $\phi_{wmin,K1L} > 0$ dan $L_{2K1L} = 0$

Als $i_{K1Lmin} = 1$ dan $L_{2K1L} = 1$ (valt buiten bekleding)

$$j = i_{K1Lmin}; x_{RL} = \max(x_j - \Lambda/4; x_{j-1}) \quad (5.220)$$

$$\phi_{vmin} = f_{\beta} \left(A_{j-1,j} e^{\frac{+x_{RL}}{\Lambda \cos \alpha}} + B_{j-1,j} e^{\frac{-x_{RL}}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \quad (5.221)$$

Als $\phi_{wmin,K1L} \geq \phi_{vmin}$ dan $L_{2K1L} = 10$, anders:

$$L_{2K1L} = abs \left(\frac{\phi_{wmin,K1L} \cdot (x_{RL} - x_j)}{(\phi_{wmin,K1L} - \phi_{vmin}) \cos \alpha} \right) + abs \left(\frac{x_j - x_{Lb,K1L}}{\cos \alpha} \right) \quad (5.222)$$

- Golfklap van type 2:

Als $i_{K2,0} = 0$ of $\phi_{wmax,K2} < \phi_{eg}$ of $\phi_{wmin,K2} > 0$ dan $L_{2K2} = 0$

Verder is de rekenprocedure hetzelfde als landwaarts van de golfklap van type 1, waarbij de index $K1L$ vervangen moet worden door $K2$.

- Hoog stijghoogtefront:

Als $i_{HF,0} = 0$ of $\phi_{wmax,HF} < \phi_{eg}$ of $\phi_{wmin,HF} > 0$ dan $L_{2HF} = 0$

Verder is de rekenprocedure hetzelfde als landwaarts van de golfklap van type 1, waarbij de index $K1L$ vervangen moet worden door HF .

- Steil stijghoogtefront:

Als $i_{SF,0} = 0$ of $\phi_{wmax,SF} < \phi_{eg}$ of $\phi_{wmin,SF} > 0$ dan $L_{2SF} = 0$

Verder is de rekenprocedure hetzelfde als landwaarts van de golfklap van type 1, waarbij de index $K1L$ vervangen moet worden door SF .

5.11 Stabiliteit van los blok

Voor het beoordelen van de stabiliteit van de toplaag wordt eerst bekeken of zelfs met losse blokken de toplaag nog stabiel is.

Conform ANAMOS wordt de bijdrage van de wrijving van het losse blok met de rij eronder berekend, en wordt beoordeeld of het front van een golf gelijk aan de significante golfhoopte blokbeweging geeft. Het stijghoogteverschil bij het front van een golf gelijk aan de significante golfhoopte wordt verondersteld 87% te zijn van het stijghoogteverschil met overschrijdingsfrequentie van 2%. Dit percentage sluit aan op de gemiddelde verhouding zoals dat in ANAMOS doorgaans optrad. Een groot aantal berekeningen met zuilen en blokken gaf een variatie van 85% tot 89% met als gemiddelde 87%.

Vervolgens wordt de bijdrage van traagheid en toestroming berekend en wordt de blokbeweging bij een stijghoogteverschil met een overschrijdingsfrequentie van 2% berekend voor zowel het front als de klap met het grootste stijghoogteverschil.

Als de toplaag bestaat uit basalt die niet is uitgezocht (toplaagtype 26) èn $Z_b > h_{\text{GHW}} + 1$ èn $h_{\text{MWS}} > h_{\text{GHW}} + 1$ èn het gaat om een toetsing, dan is $f_{\text{basalt}} = 0,83$, en anders $f_{\text{basalt}} = 1$. Dit sluit aan op de aanbeveling om in zo'n geval voor het maximum van de waarde van F 5 aan te houden, in plaats van 6.

met:

h_{GHW} = gemiddelde hoogwater ten opzichte van NAP (m)

f_{basalt} = invloedsfactor voor basalt dat nog niet op eindsterkte is (-)

Voor het beoordelen van de stabiliteit zijn de volgende controles noodzakelijk:

- De controle of er blokbeweging optreedt bij een golf met hoogte gelijk aan H_s . Deze wordt alleen uitgevoerd voor de golffronten.
- De controle of er 0,1D aan blokbeweging optreedt bij een extreme golf. Deze wordt eerst uitgevoerd voor de golffronten, en daarna voor de golfklappen. Bij het doorrekenen van de golfklappen wordt er gewerkt met een veel kortere belastingduur dan bij fronten.

Er wordt gerekend met de rekendikte van de toplaag:

$$D_{rf} = \frac{C_{\text{bovenbeloop}} f_{\text{basalt}}}{C_{\text{berm}} f_{\text{havendam}}} f_{s,\text{front}} D_{-t} \quad (5.223)$$

met:

$f_{s,\text{front}}$ = invloedsfactor t.a.v. de sterkte bij een belasting door stijghoogtefronten (-)

D_{rf} = rekendikte voor de toplaag in verband met belasting door stijghoogtefront (m)

D_{-t} = door de gebruiker ingevoerde toplaagdikte (m)

Als er sprake is van klemming wordt gerekend met $\Gamma_{\text{klem}} = 1,4$, en als er geen klemming is dan geldt $\Gamma_{\text{klem}} = 1$.

Invloedsfactor voor de wrijving Γ_{s1} :

$$\bullet \quad f_b = 0,5; \quad \zeta = 0,7 \quad (5.224)$$

$$\bullet \quad \text{Als } D_{rf}/B \geq f_b \text{ dan: } \Gamma_{s1} = 1 + f_b \tan \alpha \quad (5.225)$$

$$\bullet \quad \text{Als } D_{rf}/B < f_b \text{ en } \zeta D_{rf}/B < \tan \alpha \text{ dan:}$$

$$\Gamma_{s1} = \max \left(1 + \frac{D_{rf}}{B} \tan \alpha \quad ; \quad \frac{1 + f_b^2 \frac{B}{D_{rf}} \tan \alpha}{1 + \zeta \cdot f_b^2} \right) \quad (5.226)$$

$$\bullet \quad \text{Als } D_{rf}/B < f_b \text{ en } \zeta D_{rf}/B \geq \tan \alpha \text{ dan: } \Gamma_{s1} = 1 + \frac{D_{rf}}{B} \tan \alpha \quad (5.227)$$

Met:

f_b = wrijving tussen de stenen (-)

ζ = aqua-planing-factor ten aanzien van wrijving tussen de stenen (-)

Γ_{klem} = klemfactor (-)

- B = breedte van de steen, zoals zichtbaar in een dwarsdoorsnede (m)
 Γ_{s1} = invloedsfactor ten aanzien van wrijving tussen de stenen (-)

Het stijghoogteverschil met overschrijdingsfrequentie van 2% is voor het front:

$$\phi_{we} = \max(\phi_{wmax,HF}; \phi_{wmax,SF}) \quad (5.228)$$

Het stijghoogteverschil bij het front van een golf gelijk aan de significante golfhoogte is:

$$\phi_{wm} = 0,87 \cdot \phi_{we} \quad (5.229)$$

Hiermee wordt beoordeeld of er blokbeweging gaat optreden bij het front van een golf met hoogte gelijk aan de significante golfhoogte:

- Als $\phi_{wm} \neq 0$: $f_{gtm} = \frac{\max(\Gamma_{s1}; \Gamma_{klem}) \Delta D_{rf} \cos \alpha}{\phi_{wm}}$ (5.230)

- Als $\phi_{wm} = 0$: $f_{gtm} = 99$ (5.231)

met:

f_{gtm} = verhouding tussen toelaatbare belasting voor een goed toetsresultaat en optredende belasting tijdens een golf gelijk aan de significante golfhoogte (-)

Vervolgens wordt de blokbeweging berekend bij het maatgevende front en de maatgevende golfklap:

- maatgevend front:

belastingduur:

- als $\xi_{op} < 2$: $t_o = 0,25 + T_p/20$ (5.232)

- als $\xi_{op} \geq 2$: $t_o = 0,25 + (2/\tan \alpha \cdot \sqrt{(H_s/1,56)})/20$ (5.233)

$$\phi_{we} = \max(\phi_{wmax,HF}; \phi_{wmax,SF}) \quad (5.234)$$

$$K_{toe} = \max \left(0; \frac{1}{1,5t_o} \cdot \frac{D_{rf} \sqrt{BL}}{\pi k' \Lambda} \left(0,56 + 0,18 \ln \left(\frac{\sqrt{BL}}{\Lambda} \right) \right) \right) \quad (5.235)$$

$$K_{tr} = \frac{1,78 D_{rf} (\Delta + 2)}{gt_o^2} \quad (5.236)$$

$$K_{wr} = \max(\Gamma_{s1}; \Gamma_{klem}) \cdot \Delta D_{rf} \cos \alpha \quad (5.237)$$

De blokbeweging volgt vervolgens uit:

$$Y_{front} = \max \left(0,0001; \frac{\phi_w - K_{wr}}{\max(0,0001; K_{tr} + K_{toe})} \right) \quad (5.238)$$

met:

K_{toe} = bijdrage van toestroming (m)

K_{tr} = bijdrage van traagheid (m)

K_{wr} = bijdrage van wrijving (m)

k' = gelineariseerde topplagdoorlatendheid (m/s)

t_o = duur van de opwaartse belasting (s)

Y_{front} = blokbeweging tijdens front (m)

- maatgevende golfklap:

$$\text{rekendikte voor de toplaag: } D_{rk} = \frac{C_{bovenbeloop} f_{basalt}}{C_{berm} f_{havendam}} f_{S,klap} D_{-t} \quad (5.239)$$

belastingduur:

$$- \text{als } \xi_{op} < 2: t_0 = 0,0018 T_p \left(\frac{\rho g H_s^2}{\sigma_w} \right)^{0,2} \quad (5.240)$$

$$- \text{als } \xi_{op} \geq 2: t_0 = 0,0018 \cdot \frac{2}{\tan \alpha} \sqrt{\frac{H_s}{1,56}} \cdot \left(\frac{\rho g H_s^2}{\sigma_w} \right)^{0,2} \quad (5.241)$$

$$\phi_{we} = \max(\phi_{wmax,K1Z}; \phi_{wmax,K1L}; \phi_{wmax,K2}) \quad (5.242)$$

$$K_{toe} = \max \left(0; \frac{1}{1,5 t_o} \cdot \frac{D_{rf} \sqrt{BL}}{\pi k' \Lambda} \left(0,56 + 0,18 \ln \left(\frac{\sqrt{BL}}{\Lambda} \right) \right) \right) \quad (5.243)$$

$$K_{tr} = \frac{1,78 D_{rf} (\Delta + 2)}{g t_o^2} \quad (5.244)$$

$$K_{wr} = \max(\Gamma_{s1}; \Gamma_{klem}) \cdot \Delta D_{rf} \cos \alpha \quad (5.245)$$

De blokbeweging volgt vervolgens uit:

$$Y_{klap} = \max \left(0,0001; \frac{\phi_w - K_{wr}}{\max(0,0001; K_{tr} + K_{toe})} \right) \quad (5.246)$$

met:

Y_{klap} = blokbeweging tijdens golfklap (m)

σ_w = 0,073 N/m = oppervlaktespanning van het water (N/m)

$f_{S,klap}$ = invloedsfactor t.a.v. de sterkte bij een belasting door golfklappen (-)

D_{rk} = reken dikte m.b.t. een belasting met golfklappen (m)

Hiermee kan de waarde van f_{gtlos} berekend worden:

$$f_{gtlos} = \min \left(f_{gtm}; \frac{0,1 \cdot D_{rf}}{Y_{front}}; \frac{0,1 \cdot D_{rk}}{Y_{klap}} \right) \quad (5.247)$$

met:

f_{gtlos} = verhouding tussen toelaatbare belasting voor een goed toetsresultaat en optredende belasting tijdens belasting met 2% overschrijdingsfrequentie (-)

Tenslotte wordt gecontroleerd of de stabiliteit niet onrealistisch hoog is volgens de berekeningen:

$$f_{gtlos} = \min \left(\frac{7 \left(\min(\xi_{op}; 2) \right)^{-1/3} + \max \left(0,5 \cdot \left(\min(\xi_{op}; 5) - 2 \right); 0 \right)}{\max(f_{\beta}; 0,4; 0,3/H_s) \cdot H_s / (\Delta D)}; f_{gtlos} \right) \quad (5.248)$$

De term $\max(f_{\beta}; 0,4; 0,3/H_s)$ zorgt ervoor dat bij extreem hoge stabiliteit de f_{β} niet lager dan 0,4 wordt, maar dat ook de steenzetting tenminste stabiel is bij een golfhoogte van 30 cm die loodrecht invalt.

Als $f_{gtlos} \geq 1$ dan is het losse blok stabiel en hoeft de klemming niet meer berekend te worden. Dit geldt ook voor als er geen klemming is. Er geldt:

- Als $f_{gtlos} \geq 1$ of geklemd_ti \neq ja of $10 \leq \text{toplaagtype} \leq 11,5$ of $26 \leq \text{toplaagtype} \leq 26,1$ of segmenttype = buitenberm of (als havendam en $h_{kr} - h_{mws} < H_s/2$), dan $f_{gt} = f_{gtlos}$.
- Anders wordt verdergegaan met paragraaf 5.12.

5.12 Reststerkte van de toplaag en de kleilaag t.b.v. het beoordelen of klemming meegeteld mag worden

De reststerkte moet bepaald worden om te kunnen beoordelen of klemming meegeteld kan worden. Het is namelijk niet uit te sluiten dat er hier en daar toch een los blok ligt. Een schatting van de reststerkte van het filter en de toplaag (uitgedrukt in uren), kan bepaald worden met de volgende formules (zie ook 5.13.4):

$$Z_{berm} = \min(\text{alle } Z_o \text{ met segmenttype}_t = \text{berm, voorzover } Z_o > h_{MWS} + x_{\phi wmax} \tan \alpha_{fict}) \quad (5.249)$$

$$Z_{overgang} = \min(\text{alle } Z_b \text{ met overgang}_t = b0 \text{ of } b1, \text{ voorzover } Z_b > h_{MWS} + x_{\phi wmax} \tan \alpha_{fict}) \quad (5.250)$$

Als er geen berm is of overgangsconstructie van het type b0 of b1 (zie figuur 5.7), dan geldt dat de betreffende parameter 100 wordt. Een overgangsconstructie van type b0 of b1 bestaat uit een schot, betonband of palenrij tot op de klei of in de mijnsteen (b0 is niet ingegoten, b1 is wel ingegoten).

De reststerkte is afhankelijk van de volgende niveaus:

$$Z_{bb} = \max(\text{alle } Z_b \text{ in het onderhavige dwarsprofiel}) \quad (5.251)$$

$$x_{N=0} = (\min(Z_{berm}; Z_{overgang}; Z_{bb}) - h_{MWS}) / \tan \alpha_{fict} \quad (5.252)$$

$$z_g = Z_{belast} - h_{MWS} \quad (5.253)$$

met:

Z_{bb} = niveau hoogste overgangsconstructie (m)

Z_{berm} = niveau van de berm boven het zwaarst aangevallen punt (m)

$Z_{overgang}$ = niveau van de overgangsconstructie boven het zwaarst aangevallen punt (m)

z_g = niveau van de onderzijde van het gat in de toplaag, verticaal gemeten, ten opzichte van de stilwaterlijn (onder water: negatief) (m)

$x_{\phi wmax}$ = horizontale afstand van de waterlijn tot het maximale stijghoogteverschil (zie tabel 5.2 in paragraaf 5.10) (geschematiseerd is tot een recht talud; landinwaarts is positief) (m)

Volgens Peters (2006) geldt:

$$B_o = 0,9 \cdot \min\left(6D; \max\left(D; 0,2\left(x_{N=0} \tan \alpha_{fict} - z_g\right) + 3,89D - 0,63\right)\right) \quad (5.254)$$

Verder worden de formules van Klein Breteler (2005b) gebruikt:

$$B_g = B$$

$$\text{Als } \frac{B_g}{D} \left(\frac{H_s}{D_{f50}}\right)^{1/3} < 8,79 \text{ dan } t_{rf} = 100, \text{ anders:}$$

$$t_{rf} = \frac{T_p}{4000} \left(\frac{B_o \cdot \exp \left(\min \left[80 \cdot \left(\frac{z_g}{H_s \xi_{op}} + 0,35 \right)^4 ; 100 \right] \right)^{\frac{B_g}{0,15 B_g + 0,5 \cdot D}}}{H_s \cdot \left(-0,67 + 0,71 \cdot \log \left(\frac{B_g}{D} \left(\frac{H_s}{D_{f50}} \right)^{1/3} \right) \right)} \right) \quad (5.255)$$

met:

t_{rf} = reststerkte in uren van het filter en de toplaag (uur)

B_o = diameter van de ondermijning van de toplaag bij falen (m)

Z_{belast} = niveau op het talud waar de maximale belasting optreedt (zie paragraaf 5.7)

B_g = gatgrootte in de toplaag (breedte van het gat, haaks op de dijkas, langs het talud gemeten) (m)

D_{f50} = korrelgrootte van de bovenste filterlaag, die door 50% wordt onderschreden op basis van gewicht (m)

Voor de reststerkte van de eventuele kleilaag wordt voorlopig gebruikgemaakt van de methoden uit de VTV, die uitgewerkt is in paragraaf 7.5. Dat levert een waarde op voor t_{rk} .

In tegenstelling tot de toetsing op erosie van onderlagen wordt hier de reststerkte van de kleilaag en filterlaag ook berekend als het een lage havendam is.

Vervolgens wordt dit vergeleken met de belastingduur uit paragraaf 5.7:

- Als $t_{belast} > t_{rf} + t_{rk}$ dan mag er niet gerekend worden met klemming en geldt $f_{gt} = f_{gtlos}$.
- Anders: de klemming moet berekend worden, zie paragraaf 5.13.

5.13 Klemming

Indien er voldoende reststerkte is (zie paragraaf 5.12) moet de invloed van klemming berekend worden.

Het principe van de stabiliteit van de geklemde toplaag is dat een opgelicht deel van de bekleding evenwicht maakt met de opwaartse belasting. In dat deel, en op de randen van dat deel ontstaan inwendige dwarskrachten en momenten. Deze worden getoetst aan de sterkte die dankzij de normaalkracht aanwezig is (Peters, 2006).

De berekeningen worden uitgevoerd voor alle vijf belastingssituaties: aan weerszijden van de golfklap van type 1, de landzijde van golfklap van type 2 en de twee golffronten (als $(Z_b - h_{MWS})/\tan\alpha < x_1$, dan hoeft de golfklap van type 1 niet berekend te worden).

Vanwege het feit dat onderstaande formules worden doorgerekend voor alle vijf de belastinggevallen geldt dat de indexen K1Z, K1L, K2, HF en SF toegevoegd moeten worden aan de variabelen ϕ_{wmax} , ϕ_{wmin} , L , L_1 en L_2 (zie ook tabel 5.2).

Opgemerkt moet worden dat Peters de variabelen wat afwijkend heeft gedefinieerd. Hij heeft bijvoorbeeld de maximale opwaartse belasting ϕ_{min} genoemd en de maximale neerwaartse belasting ϕ_{max} , terwijl dat in Steentoets net andersom is:

$$[\phi_{min}]_{Peters} = -\phi_{w,max}$$

$$[\phi_{\max}]_{\text{Peters}} = -\phi_{w,\min}$$

Verder zijn de L , L_1 en L_2 horizontaal gedefinieerd in plaats van langs het talud:

$$[L/\cos\alpha]_{\text{Peters}} = L$$

Aan het begin van de subroutine wordt het stijghoogteverschil van de golfklappen kunstmatig verkleind als de brekerparameter groot is en de lek lengte klein:

$$f_{\text{lang}} = 1 + 0,2 \cdot (\max[(\min(\xi_{\text{op}}, 4); 2) - 2] \cdot \min(\max[1,75 - 2,5\Delta; 0]; 0)) \quad (5.256)$$

$$\phi_{w\max} = \phi_{w\max}/f_{\text{lang}} \quad (\text{mits K1Z, K1L of K2}) \quad (5.257)$$

Variabelen volgens documentatie	Variabele in de code	Waarde van de constanten	Dimensie
Δ	k5		
ρ_w	k7		kg/m ³
g	k8	9.8	m/s ²
D	k9		m
E	k10	300000000	N/m ²
k_z	k11	10000000	N/m ³
$\phi_{w\min}$	k12		m
$\phi_{w\max}$	k13		m
L	k14		m
L_1	k15		m
L_2	k16		m
$x_{N=0}$	k17		m
x_{SWL}	k18	0	m
x_{teen}	k19		m
x_N	k20		m
$\tan\alpha$	k21		-
ϕ_{trog}	k22		m
D_{f50}	k23		m
f_1	k24	0.7	-
f_2	k25	0.9	-
f_3 (wrijving)	k26	0.55	-
f_8	k29	1,0	-
f_{11}	k32	1.0	-
f_{12}	k33	1.0	-
f_{13}	k34	1.0	-
γ_m	k35	1.0	-
γ_s	k37	1.0	-
γ_R	k38	1.0	-

Tabel 5.3, gebruikte invoervariabelen in de code

Bij een relatief grote waarde van ξ_{op} neemt de stabiliteit van open steenzettingen namelijk toe met toenemende ξ_{op} , terwijl dit nog onvoldoende in de formules tot uiting komt. Omdat het niet gelukt is om binnen fysisch realistische grenzen de formules zo te wijzigen dat de trend wel overeenkomt met de verwachtingen, is deze terugvaloptie geprogrammeerd.

Indien gerekend moet worden met veiligheidsfactoren geldt: $f_3 = f_3/1,13$.

Als $\phi_{w,max}$, L , L_1 , L_2 , $i_{K1Z,0}$, $i_{KLZ,0}$, $i_{K2,0}$, $i_{HF,0}$ of $i_{SF,0}$ gelijk aan nul zijn, dan wordt de bekleding niet (zwaar) belast en wordt de klemming voor de betreffende golfklap of golffront niet berekend. In dat geval blijft de waarde van f_{gt} gelijk aan die van de vorige iteratie.

Er wordt gerekend met de rekenwaarde van de toplaagdikte:

- bij de golfklappen K1Z, K1L, K2:
$$D_{rk} = \frac{C_{bovenbeloop} f_{basalt}}{C_{berm} f_{havendam}} f_{S,klap} D_{-t} \quad (5.258)$$

- bij de golffronten HF en SF:
$$D_{rf} = \frac{C_{bovenbeloop} f_{basalt}}{C_{berm} f_{havendam}} f_{S,front} D_{-t} \quad (5.259)$$

met:

D_t = door de gebruiker ingevoerde waarde van de toplaagdikte (m)

$f_{S,front}$ = invloedsfactor t.a.v. de sterkte bij een belasting door stijghoogtefronten (-)

$f_{S,klap}$ = invloedsfactor t.a.v. de sterkte bij een belasting door golfklappen (-)

D_{rf} = rekendikte voor de toplaag in verband met belasting door stijghoogtefront (m)

D_{rk} = rekendikte m.b.t. een belasting met golfklappen (m)

In het vervolg van paragraaf 5.13 wordt steeds voor rekendikte het symbool D gebruikt.

De software is gemaakt op basis van een spreadsheet. In die spreadsheet hebben alle variabelen een andere naam, namelijk die van de cellocatie, zoals dat gebruikelijk is in Excel. In tabel 5.3 zijn de namen van de invoervariabelen voor de klemmingroutine opgesomd.

Eerst worden de volgende belastingparameters berekend (met liggerbreedte $B_y = 1$ m):

$$q_0 = \rho g \Delta D \cos \alpha \quad (5.260)$$

$$q_1 = -\rho g \phi_{w,max} + q_0 \quad (5.261)$$

$$q_2 = -\rho g \phi_{w,min} + q_0 \quad (5.262)$$

$$a_4 = \max \left(10^{-10}; \frac{q_1}{q_1 - q_2} L_1 \right) \quad (5.263)$$

$$a_3 = \max \left(10^{-10}; L - a_4 \right) \quad (5.264)$$

$$a_2 = \max \left(10^{-10}; -\frac{q_0}{q_1} a_3 \right) \quad (5.265)$$

$$a_5 = \max \left(10^{-10}; \frac{q_2}{q_2 - q_1} L_1 \right) \quad (5.266)$$

$$R_1 = q_0 a_1 \quad (5.267)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} q_0 a_2 \quad (5.268)$$

$$R_3 = \frac{1}{2} q_1 a_3 \quad (5.269)$$

$$R_4 = \frac{1}{2} q_1 a_4 \quad (5.270)$$

$$R_5 = \frac{1}{2} q_2 a_5 \quad (5.271)$$

5.13.1 Extreme momenten en dwarskrachten als $R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \geq 0$

Indien $R_2 + R_3 + R_4 + R_5 > 0$ dan bevinden de randen van het opgelichte gedeelte zich binnen of nabij de velden a_2 en a_5 . In de praktijk gaat het om gevallen waarbij q_1 relatief klein is ten opzichte van q_0 , bijvoorbeeld $|q_1| = 1$ à $1.5 q_0$.

Het volgende wordt berekend:

$$\varepsilon_1 = \frac{2}{3} + \frac{1}{6} \left(1 - \frac{q_2}{q_1}\right) \frac{L}{L_1} \quad (5.272)$$

$$a_{x2} = \varepsilon_1 \sqrt{a_3 a_4} \quad (5.273)$$

$$R_{a2} = -\varepsilon_1^2 R_4 \quad (5.274)$$

$$R_{a5} = -R_3 - (R_4 + R_{a2}) \quad (5.275)$$

$$a_{x5} = \sqrt{\max\left(10^{-10}; -\frac{R_{a5} a_3 a_4}{R_3}\right)} \quad (5.276)$$

$$X_2 = \frac{1}{3} a_{x2} \quad (5.277)$$

$$X_3 = a_{x2} + \frac{2}{3} a_3 \quad (5.278)$$

$$X_4 = a_{x2} + a_3 + \frac{1}{3} a_4 \quad (5.279)$$

$$X_5 = a_{x2} + a_3 + a_4 + \frac{2}{3} a_{x5} \quad (5.280)$$

$$f_{M1} = R_{a2} X_2 + R_3 X_3 + R_4 X_4 + R_{a5} X_5 \quad (5.281)$$

$$f_{M0} = -R_4 \frac{1}{3} \sqrt{a_3 a_4} + R_3 \left(\sqrt{a_3 a_4} + \frac{2}{3} a_3\right) + R_3 \left(\sqrt{a_3 a_4} + a_3 + \frac{1}{3} a_4\right) - R_4 \left(\sqrt{a_3 a_4} + a_3 + a_4 + \frac{2}{3} \sqrt{a_3 a_4}\right) \quad (5.282)$$

$$L_0 = a_3 + a_4 + 2\sqrt{a_3 a_4} \quad (5.283)$$

De verbeterde waarde van ε_1 volgt nu uit:

$$\varepsilon_2 = 1 + \frac{f_{M0}}{f_{M0} - f_{M1}} (\varepsilon_1 - 1) \quad (5.284)$$

Vervolgens worden met deze factor de verbeterde waarden van a_{x2} en a_{x5} bepaald.

$$a_{x2} = \varepsilon_2 \sqrt{a_3 a_4} \quad (5.285)$$

$$R_{a2} = -\varepsilon_2^2 R_4 \quad (5.286)$$

$$R_{a5} = -R_3 - (R_4 + R_{a2}) \quad (5.287)$$

$$a_{x5} = \sqrt{\max\left(10^{-10}; -\frac{R_{a5} a_3 a_4}{R_3}\right)} \quad (5.288)$$

Uit deze waarden kunnen de gezochte extreme waarden van het buigend moment en de dwarskracht worden berekend.

$$V^* = \max(R_{a2}; R_{a5}) \quad (5.289)$$

$$M^* = -\frac{4}{3} R_{a2} a_{x2} \text{ voor het geval dat } R_{a2} \leq -R_3 \quad (5.290)$$

$$= -\frac{4}{3} R_{a5} a_{x5} \text{ voor het geval dat } R_{a2} > -R_3 \quad (5.291)$$

$$x_{M^*} = 2a_{x2} \text{ voor het geval dat } R_{a2} < -R_3 \quad (5.292)$$

$$= L_0 - 2a_{x5} \text{ voor het geval dat } R_{a2} > -R_3 \tag{5.293}$$

5.13.2 Extreme momenten en dwarskrachten als $R_2 + R_3 + R_4 + R_5 < 0$

Indien $R_2 + R_3 + R_4 + R_5 < 0$ dan bevinden de randen van het opgelichte gedeelte zich in de velden a_1 en a_6 .

Als $L_2 > a_5 + a_6$

Om ook de gevallen waarbij de rand in de dalende tak tussen q_2 en q_7 valt in excel te kunnen berekenen met vierkantsvergelijkingen wordt voor de waarde van q_7 afhankelijk van L_2 een vaste waarde gekozen.

Als $\frac{L_2}{L} \left(\frac{q_2}{-q_1} \right) < 0.7$ dan geldt $q_7 = q_0 + \frac{1}{3}(q_2 - q_0)$ en (5.294)

$$a_6 = \frac{1}{2(-16q_2^2 + 12q_0^2 + 4q_0q_2)q_1(q_1 - q_2)} (12q_1^3q_0L + 24Lq_1^3q_2 - 60q_1^2q_2q_0L - 24q_1^2Lq_0^2 - 24Lq_1^2q_2^2 + 48q_1q_2Lq_0^2 + 24q_1q_0^2q_2Ll + 48q_1q_0q_2^2Ll + 36q_1q_2^2Llq_0 - 24q_2^3Llq_1 + 12q_1Lq_0^3 - 24q_2^2Lq_0^3 - 12q_2Lq_0^3 + 4 \text{ sqrt}(\dots)) \tag{5.295}$$

$$a_1 = - \frac{\frac{q_0^2L}{2q_1} + \frac{1}{2}q_1 \left(L - \frac{q_1Ll}{q_1 - q_2} \right) + \frac{q_1^2Ll}{2(q_1 - q_2)} + \frac{q_2^2Ll}{2(q_2 - q_1)} + q_0a_6 + \frac{1}{2}(q_2 - q_0)a_6 + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{3}q_2 - \frac{1}{3}q_0 \right) a_6}{q_0} \tag{5.296}$$

Als $0,7 \leq \frac{L_2}{L} \left(\frac{q_2}{-q_1} \right) < 1,3$ dan geldt $q_7 = q_0 + \frac{1}{2}(q_2 - q_0)$ en (5.297)

$$a_6 = \frac{1}{2(-27q_2^2 + 13q_0^2 + 14q_2q_0)q_1(q_1 - q_2)} (36q_1^3Lq_2 + 12q_1^3q_0L - 24q_1^2Lq_0^2 - 84q_1^2q_0q_2L - 36q_1^2Lq_2^2 + 60q_1q_2^2Llq_0 - 36q_1q_2^3Ll + 60q_1q_2Lq_0^2 + 24q_1q_0^2q_2Ll + 12q_1Lq_0^3 + 72q_1q_0Lq_2^2 - 36q_2^2Lq_0^2 - 12q_2Lq_0^3 + 8 \text{ sqrt}(\dots)) \tag{5.298}$$

$$a_1 = - \frac{\frac{q_0^2L}{2q_1} + \frac{1}{2}q_1 \left(L - \frac{q_1Ll}{q_1 - q_2} \right) + \frac{q_1^2Ll}{2(q_1 - q_2)} + \frac{q_2^2Ll}{2(q_2 - q_1)} + q_0a_6 + \frac{1}{2}(q_2 - q_0)a_6 + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2}q_2 - \frac{1}{2}q_0 \right) a_6}{q_0} \tag{5.299}$$

$$\text{Als } 1,3 \leq \frac{L_2}{L} \left(\frac{q_2}{-q_1} \right) < 2 \text{ dan geldt } q_7 = q_0 + \frac{2}{3}(q_2 - q_0) \text{ en} \quad (5.300)$$

$$a_6 = \frac{1}{2(7q_0^2 - 25q_2^2 + 18q_0q_2)(q_1 - q_2)q_1} (6Lq_1^3q_0 + 30q_1^3Lq_2 - 66Lq_1^2q_0q_2 - 12q_0^2Lq_1^2 - 30q_1^2Lq_2^2 + 60Lq_1q_0q_2^2 + 54q_2^2Lq_1q_0 + 42q_0^2Lq_1q_2 - 30q_2^3Lq_1q_1 + 12q_2Lq_1q_1q_0^2 + 6q_0^3Lq_1 - 30q_0^2Lq_2^2 - 6q_0^3Lq_2 + 4 \sqrt{\dots})$$

$$+ 4 \sqrt{\dots}$$

$$63L^2q_1^6q_0q_2 + 18L^2q_1^6q_0^2 - 234L^2q_1^5q_0^2q_2 - 201L^2q_1^5q_0q_2^2 + 639L^2q_1^4q_0^2q_2^2 + 318L^2q_1^4q_0^2q_2 + 45L^2q_1^4q_0^4 + 174Lq_1^4q_0q_2^3Lq_1 - 12Lq_1^4q_0^3q_2Lq_1 - 75q_2^3q_1^5Lq_1q_0 - 708L^2q_1^3q_0^3q_2^2 - 180L^2q_1^3q_0^4q_2 + 213q_1^4L^2q_2^3q_0 - 648q_1^3L^2q_2^3q_0^2 + 666L^2q_1^2q_0^3q_2^3 + 300L^2q_1^2q_0^4q_2^2 + 27q_0^5L^2q_1^2q_2 - 75q_1^3L^2q_2^4q_0 + 225q_1^2L^2q_2^4q_0^2 - 225L^2q_1q_0^3q_2^4 - 240L^2q_1q_0^4q_2^3 + 45q_2^4Lq_1^2q_1^2q_0^2 - 12q_2^5Lq_1^2q_1^2q_0 + 39q_2^3Lq_1^2q_1^2q_0^3 - 27q_0^5L^2q_1q_2^2 + 9q_2^2Lq_1^2q_1^2q_0^4 + 6q_0^6L^2q_1q_2 - 252Lq_1^3q_0^2q_2^3Lq_1 - 99Lq_1^3q_0q_2^4Lq_1 - 117Lq_1^3q_0^3q_2^2Lq_1 - 18q_0^4Lq_1^3q_2Lq_1 + 198Lq_1^2q_0^2q_2^4Lq_1 + 207Lq_1^2q_0^3q_2^3Lq_1 + 72q_2^3Lq_1q_1^2q_0^4L - 99q_2^4Lq_1q_1q_0^3L - 54q_2^3Lq_1q_1q_0^4L + 9q_2Lq_1q_1^2q_0^5L - 9q_2^2Lq_1q_1q_0^5L + 21q_0^3q_1^5Lq_1 + 54q_0^2q_2q_1^5Lq_1 - 9q_0^5L^2q_1^3 + 9q_0^5L^2q_2^3 - 3q_0^6L^2q_2^2 - 51L^2q_1^5q_0^3 + 75q_0^4L^2q_2^4 - 3q_0^6L^2q_1^2))$$

$$(5.301)$$

$$a_1 = \frac{\frac{q_0^2 L}{2q_1} + \frac{1}{2} q_1 \left(L \frac{q_1 L q_1}{q_1 - q_2} \right) + \frac{q_1^2 L q_1}{2(q_1 - q_2)} + \frac{q_2^2 L q_1}{2(q_2 - q_1)} + q_0 a_6 + \frac{1}{2} (q_2 - q_0) a_6 + \frac{1}{2} \left(\frac{2}{3} q_2 - \frac{2}{3} q_0 \right) a_6}{q_0} \quad (5.302)$$

$$\text{Als } \frac{L_2}{L} \left(\frac{q_2}{-q_1} \right) \geq 2 > 2.0 \text{ dan geldt } q_7 = q_2 \text{ en} \quad (5.303)$$

$$a_6 = \frac{1}{2(-12q_0^2 + 12q_0q_2)q_1(q_1 - q_2)} (12Lq_1^3q_2 - 12Lq_1^2q_2^2 - 24q_0q_1^2Lq_2 + 12q_0^2Lq_1q_2 + 24q_0q_1q_2^2Lq_1 - 12q_2^3Lq_1q_1 + 24q_1Lq_0q_2^2 - 12q_2^2Lq_0^2 - 4 \sqrt{\dots})$$

$$+ 4 \sqrt{\dots}$$

$$-30L^2q_1^5q_2^2q_0 + 84L^2q_1^4q_2^2q_0^2 + 33L^2q_1^4q_2^3q_0 - 96L^2q_1^3q_2^3q_0^2 - 12L^2q_1^3q_2^4q_0 + 36L^2q_1^2q_2^4q_0^2 - 72q_0^3q_1^3L^2q_2^2 + 90q_0^3q_1^2L^2q_2^3 + 12q_0^4L^2q_1^2q_2^2 - 24q_0^4L^2q_1q_2^3 + 12q_0^2q_1^2q_2^4Lq_1 + 12q_2^4L^2q_0^4 - 3q_0^5q_2^3L^2 - 3q_0q_1^2q_2^5Lq_1 + 30Lq_1^4q_2^3q_0Lq_1 - 12q_2^2q_1^5Lq_1q_0 - 18Lq_1^3q_2^4q_0Lq_1 - 36q_0^2q_1^3Lq_2^3Lq_1 + 18q_0^3Lq_1^2q_2^3Lq_1 + 36q_0^2Lq_1^2q_2^4Lq_1 - 18q_0^2q_1q_2^4Lq_1Lq_1 - 36q_1L^2q_0^3q_2^4 + 9q_0q_2q_1^6L^2 + 6q_0^5q_2^2L^2q_1 - 3q_0^5q_2L^2q_1^2 + 18q_0^3q_2L^2q_1^4 - 24q_0^2q_2q_1^5Lq_1 - 12q_0^2q_2^2q_1^5Lq_1 - 12q_0^2q_2^2q_1^4Lq_1))$$

$$(5.304)$$

$$a_1 = \frac{\frac{q_0^2 L}{2q_1} + \frac{1}{2} q_1 \left(L \frac{q_1 L q_1}{q_1 - q_2} \right) + \frac{q_1^2 L q_1}{2(q_1 - q_2)} + \frac{q_2^2 L q_1}{2(q_2 - q_1)} + q_0 a_6 + (q_2 - q_0) a_6}{q_0} \quad (5.305)$$

Als $L_2 \leq a_5 + a_6$

Voor het geval $L_2 \leq a_5 + a_6$ luiden de formules voor a_6 en a_1 als volgt:

$$a_6 = (-12q_0^3q_1^3Lq_2^2 - 12q_2^5Lq_1q_1^2 - 12q_0^2Lq_1^4Lq_2 - 12q_0^3Lq_2^3Lq_1q_1^2 + 12q_0^3q_1^4Lq_1Lq_2 - q_0^4L^2q_2^4 + 3q_1^6q_2^2L^2 - 6q_1^5q_2^3L^2 + 3q_1^4q_2^4L^2 + 3q_2^6Lq_1^2q_2^2 + 6q_2^5Lq_1^2q_1^3 + 3q_2^4Lq_1^2q_1^4 - 6q_2^3Lq_1^2q_1^3 + 3q_1^2q_2^6Lq_1^2 + 3q_2^4q_1^4Lq_1^2 + 7q_0^4Lq_2^2q_1^4 + 7q_0^4q_1^4Lq_1^2 - 36q_0^2Lq_2^3q_1^3Lq_2 + 12q_0^2Lq_2^4q_1^2Lq_2 + 18q_0^2Lq_2^3q_1^3Lq_1 + 12q_0^2Lq_2^2q_1^3Lq_2 + 12q_0^2Lq_2^3q_1^2Lq_2 + 6q_0^4Lq_2q_1^3Lq_2 - 12q_0^4Lq_2^2q_1^2Lq_2 - 6q_0^4Lq_2q_1^3Lq_1 + 6q_0^2Lq_2^5Lq_1q_1 + 6q_0^2Lq_2^5q_1Lq_2 - 12q_0^3Lq_2^4q_1Lq_2 - 12q_0^3Lq_2^3q_1^2Lq_1 + 6q_0^4Lq_2^2q_1Lq_2 + 6q_0^4Lq_2^2q_1^2Lq_1 + 6q_1^5q_2^3Lq_1Lq_2 - 6q_1^5q_2^3Lq_1Lq_2 + 6q_1^3q_2^5Lq_1Lq_2 + 6q_1^3q_2^5Lq_1Lq_2 + 6q_2^6Lq_1q_1^2Lq_2 - 24q_2^4Lq_1^3q_0 + 30q_2^3Lq_1^3q_0^2 - 6q_2^4Lq_1^4Lq_1 - 16q_2^3Lq_1^4q_0 + 32q_2^4Lq_1^2q_1^3q_0 + 30q_2^2Lq_1^4q_0^2 - 60q_2^3Lq_1^3q_0^2 - 16q_1^2q_2^5Lq_2^2q_0 + 30q_1^2q_2^4Lq_2^2q_0^2 - 16q_2^3q_1^4Lq_2^2q_0 + 30q_2^2q_1^4Lq_2^2q_0^2 - 24q_2q_0^3Lq_2^2q_1^4 + 48q_2^2q_0^3Lq_2^2q_1^3 - 24q_1^2q_2^3q_0^3Lq_2^2 - 24q_2q_0^3q_1^4Lq_1^2 - 14q_0^4Lq_2^2q_1^3q_2 - 14q_0^4Lq_2q_1^4Lq_1 + 7q_1^2q_0^4Lq_2^2q_2^2 - 12q_1^5q_2^2Lq_0Lq_2 + 12q_1^4q_2^3Lq_0Lq_2 + 16q_1^5q_2^2Lq_0Lq_1 + 6q_1^5q_2Lq_0^2Lq_2 + 12q_1^4q_2^2Lq_0^2Lq_2 - 6q_1^5q_2Lq_0^2Lq_1 + 12q_1^3q_2^4Lq_0Lq_2 - 4q_1^4q_2^3Lq_0Lq_1 - 18q_1^4q_2^2Lq_0^2Lq_1 - 8q_2^4Lq_1q_1^3q_0Lq_2 - 24q_2^5Lq_1q_1^2q_0Lq_2 + 30q_2^3Lq_1q_1^3q_0^2Lq_2 + 30q_2^4Lq_1q_1^2q_0^2Lq_2 + 32q_2^3Lq_1^4q_0Lq_1 - 60q_2^2Lq_2q_1^4q_0^2Lq_1 + 48q_2q_0^3Lq_2q_1^4Lq_1 - 36q_1^3q_2^2q_0^3Lq_2Lq_1 + 14q_1^3q_0^4Lq_2Lq_1 - 8q_1^5q_2^2Lq_2^2q_0 + 16q_1^4q_2^3Lq_2^2q_0 - 8q_1^3q_2^4Lq_2^2q_0 - 8q_2^5Lq_1^2q_1^2q_0 - 12q_2^5Lq_1q_1^2Lq_0 - q_0^4Lq_2^2q_1^2 + 2q_0^4Lq_2^2q_1^2 + 6q_0^2Lq_2^2q_1^4 - 12q_0^2Lq_2^2q_1^3 + 6q_0^2Lq_2^2q_1^2) / (12q_0q_1q_2(-2Lq_1^3q_2q_0 + 4Lq_1q_2^2q_0 - 2Lq_1q_2^3q_0 - 2q_2^3Lq_1q_1q_0 + q_0^2Lq_2q_1^2 - 2q_0^2Lq_2^2q_1 + q_0^2Lq_2^2q_1 + q_1^4q_2L - 2q_1^3q_2^2L + q_1^2q_2^3L + q_2^4Lq_1q_1 + q_2^2Lq_1^3 - 2q_2^3Lq_2q_1^2 - q_2^2q_1^3Lq_1 - 2q_2q_0Lq_2q_1^3 + 4q_2^2q_0Lq_2q_1^2 + 2q_2q_0q_1^3Lq_1 + q_0^2Lq_2q_1^3 - 2q_0^2Lq_2q_1^2q_2 - q_0^2q_1^3Lq_1 + q_1q_2^4Lq_2 - 2q_1q_2^3q_0Lq_2 + q_1q_0^2Lq_2^2 + q_0^2q_1^2Lq_1q_2))$$

$$(5.306)$$

$$a_1 = \frac{-\frac{q_0^2 L}{2q_1} + \frac{1}{2}q_1 \left(L - \frac{q_1 L l}{q_1 - q_2} \right) + \frac{q_1^2 L l}{2(q_1 - q_2)} + \frac{q_2^2 L l}{2(q_2 - q_1)} + q_0 a_6 + \frac{(q_2 - q_0)^2 \left(L_2 - \frac{q_1 L l}{q_1 - q_2} \right)}{2q_2}}{q_0} \quad (5.307)$$

Momenten en dwarskrachten

De lengte van het opgelichte veld is na bepaling van a_1 en a_6 bekend en is gelijk aan:

$$L_0 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 \quad (5.308)$$

De extreme waarden van de momenten en dwarskrachten worden berekend met:

$$a_M = \sqrt{\max \left(10^{-10} ; \frac{2(R_1 + R_2)a_3}{-q_1} \right)} \quad (5.309)$$

$$V^* = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \quad (5.310)$$

$$x_1 = \frac{1}{2}a_1 \quad (5.311)$$

$$x_2 = a_1 + \frac{1}{3}a_2 \quad (5.312)$$

$$M^* = -R_1 \left(a_1 + a_2 + \frac{2}{3}a_M - x_1 \right) - R_2 \left(a_1 + a_2 + \frac{2}{3}a_M - x_2 \right) \quad (5.313)$$

$$x_{M^*} = a_1 + a_2 + a_M \quad (5.314)$$

5.13.3 Belasting

De resulterende belasting wordt berekend met verende randvoorwaarden (met liggerbreedte

$B_y = 1$ m):

$$E = 300 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$k_z = 10 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$I = \frac{1}{12} D^3 \quad (5.315)$$

$$\beta_{bed} = \left(\frac{k_z}{4EI} \right)^{0,25} \quad (5.316)$$

$$c_k = \frac{k_z}{4\beta^3} \quad (5.317)$$

$$c_L = \frac{6EI}{L_0} \quad (5.318)$$

$$a_{zwM} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} L_0 + x_{M^*} \right) \quad (5.319)$$

$$\varphi_1 = -\frac{L_0 - a_{zwM}}{L_0} \frac{1}{2} \frac{M^* L_0}{EI} \quad (5.320)$$

$$\varphi_2 = \frac{a_{zwM}}{L_0} \frac{1}{2} \frac{M^* L_0}{EI} \quad (5.321)$$

$$T_1 = c_L \frac{2\varphi_1 + \varphi_2 + \frac{c_L}{c_k} \varphi_1}{3 + 4 \frac{c_L}{c_k} + \left(\frac{c_L}{c_k}\right)^2} \quad (5.322)$$

$$T_2 = -c_L \frac{2\varphi_2 + \varphi_1 + \frac{c_L}{c_k} \varphi_2}{3 + 4 \frac{c_L}{c_k} + \left(\frac{c_L}{c_k}\right)^2} \quad (5.323)$$

$$V_{\min} = V^* - \frac{T_2 - T_1}{L_0} \quad (5.324)$$

$$M_{\min} = M^* + T_1 + \frac{x_{M^*}}{L_0} (T_2 - T_1) \quad (5.325)$$

$$M_{\max} = T_2 \quad (5.326)$$

5.13.4 Aanwezige normaalkracht (sterkte)

De normaalkracht bouwt op vanaf de berm of de overgangsconstructie van type b (zie figuur 5.8), waarbij onderscheid gemaakt worden tussen b0 (niet ingegoten overgang) en b1 (goed met gietasfalt ingegoten overgang). De laagste van deze is maatgevend en deze locatie ten opzichte van de stilwaterlijn wordt $x_{N=0}$ genoemd. Naarmate het zwaarst belaste deel van de bekleding lager ligt dan dat niveau, is de normaalkracht groter.

De volgende typen overgangsconstructies worden onderscheiden:

- overgangsconstructie waarbij de eventuele betonband, houten schot, of palenrij tot hooguit 5 cm onder de steenzetting in het filter, zand of klei steekt (zie figuur 5.6):
 - a0: zonder gietasfalt tussen de stenen vlak onder de overgangsconstructie
 - a1: met gietasfalt tussen de stenen in een strook van 0,4 à 2 m
- overgangsconstructie waarbij de betonband, houten schot, of palenrij tot meer dan 5 cm onder de steenzetting in het filter, zand of klei steekt (zie figuur 5.8):
 - b0: zonder gietasfalt tussen de stenen vlak onder de overgangsconstructie
 - b1: met gietasfalt tussen de stenen in een strook van 0,4 à 2 m
- overgangsconstructie waarbij de betonband, houten schot, of palenrij de stroming in het filter blokkeert, maar de normaalkracht van de bovenliggende segment wordt wel doorgegeven (zie figuur 5.9):
 - c0: zonder gietasfalt tussen de stenen vlak onder de overgangsconstructie
 - c1: met gietasfalt tussen de stenen in een strook van 0,4 à 2 m

Ten behoeve van de toetsprocedure moet het volgende berekend worden:

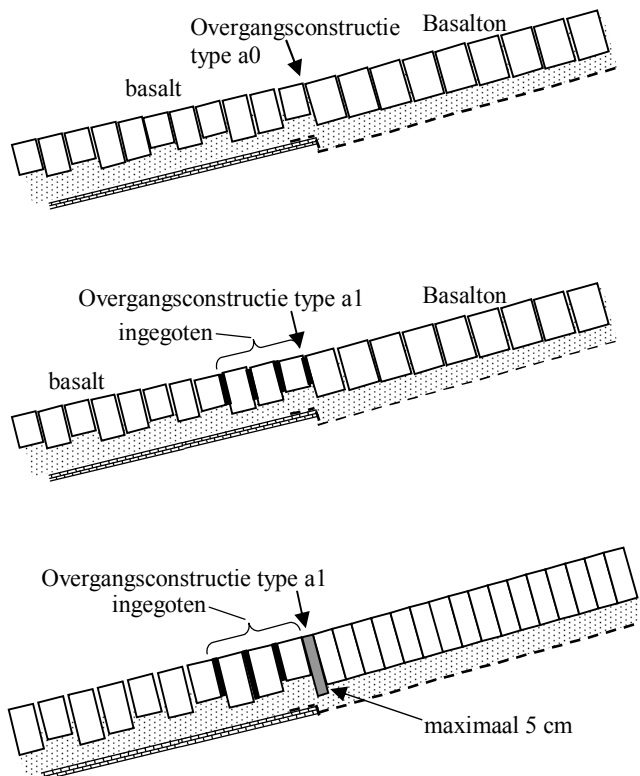
$$Z_{\text{berm}} = \min(\text{alle } Z_o \text{ met segmenttype_t} = \text{berm, voorzover } Z_o > h_{\text{MWS}} + x_{\phi_{\text{wmax}}} \tan \alpha_{\text{fict}}) \quad (5.327)$$

$$Z_{\text{overgang}} = \min(\text{alle } Z_b \text{ met overgang_ti} = \text{b0 of b1, voorzover } Z_b > h_{\text{MWS}} + x_{\phi_{\text{wmax}}} \tan \alpha_{\text{fict}}) \quad (5.328)$$

$Z_{bb} = \max(\text{alle } Z_b \text{ in het onderhavige dwarsprofiel waarvan het type overgangsconstructie niet blanco is, en bovendien gelijk of hoger op het talud ligt dan het te toetsen segment})$
(5.329)

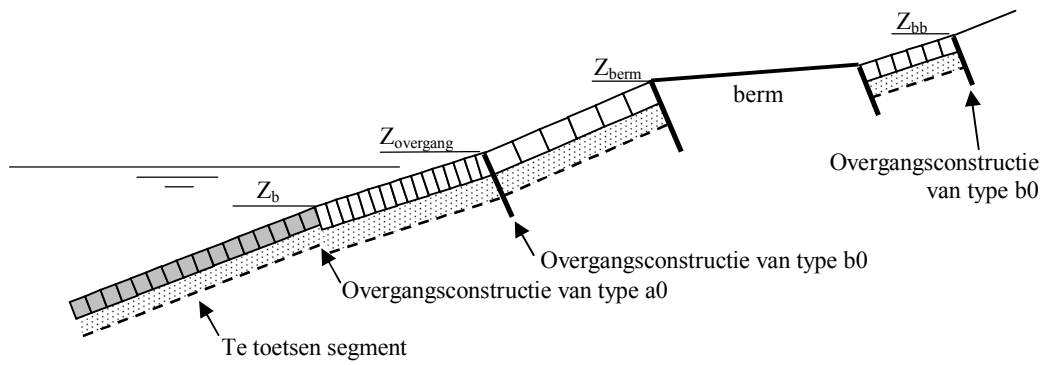
met (zie ook figuur 5.7):

- Z_b = niveau van de bovenste overgangsconstructie van het te toetsen segment (m)
 Z_{bb} = niveau hoogste overgangsconstructie in dwarsprofiel waarvoor het type overgangsconstructie is ingevoerd (niet blanco) vanaf het onderhavige segment op het buitentalud (m)
 Z_{berm} = niveau van de buitenberm boven het zwaarst aangevallen punt (m)
 $Z_{overgang}$ = niveau van de laagste overgangsconstructie boven het zwaarst aangevallen punt op het buitentalud van het type b0 of b1 (m)
 $x_{\phi wmax}$ = horizontale afstand van de waterlijn tot het maximale stijghoogteverschil (zie tabel 5.2 in paragraaf 5.10) (geschematiseerd is tot een recht talud; landinwaarts is positief) (m)



Figuur 5.6 Overgangsconstructie van type a0 en a1

Als er geen berm is of overgangsconstructie van het type b0 of b1, dan geldt dat respectievelijk Z_{berm} en/of $Z_{overgang}$ 100 wordt. Als Z_{bb} geen waarde heeft (voor geen van de segmenten vanaf het onderhavige segment is een type overgangsconstructie ingevoerd), wordt de bovenste overgangsconstructie van het onderhavige segment aangehouden, namelijk $Z_{bb} = Z_b$.

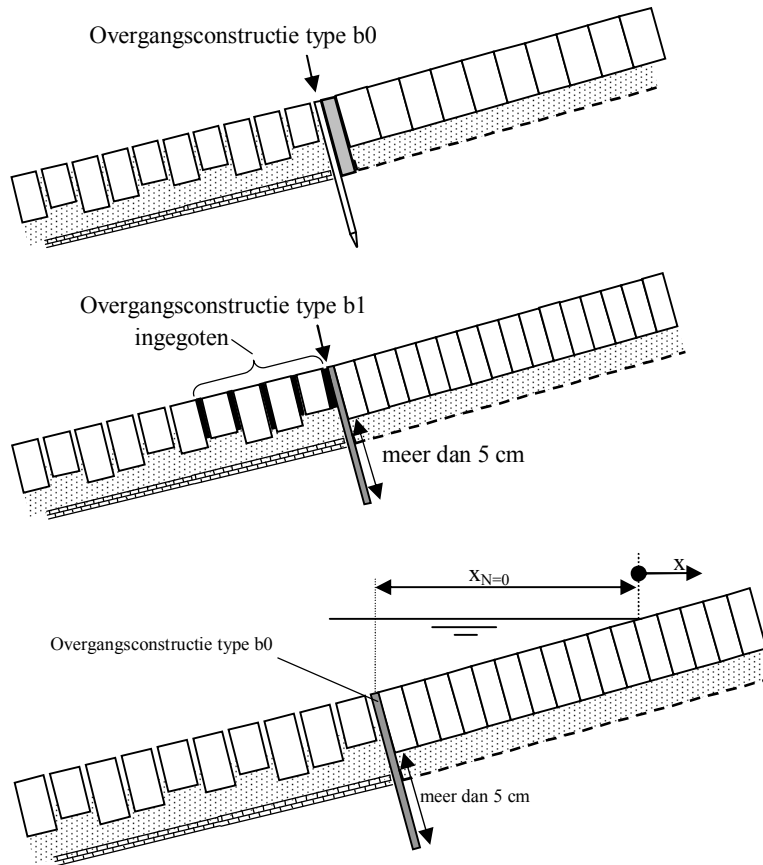


Figuur 5.7. Naamgeving van relevante overgangsconstructies m.b.t. klemming

Hiermee wordt de waarde van $x_{N=0}$ bepaald:

$$x_{N=0} = (\min(Z_{\text{berm}} ; Z_{\text{overgang}} ; Z_{\text{bb}}) - h_{\text{MWS}}) / \tan\alpha_{\text{fict}} \quad (5.330)$$

Het type overgang bij $x_{N=0}$ wordt overgang_maatgevend genoemd.



Figuur 5.8 Overgangsconstructie van type b0 en b1 ($x_{N=0}$ heeft hier een negatieve waarde)

De grootte van een normaalkracht is verder afhankelijk van een aantal factoren:

$$x_{\text{teen}} = (Z_{o1} - h_{\text{MWS}}) / \tan\alpha_{\text{fict}} \quad (5.331)$$

$$x_{\text{SWL}} = 0$$

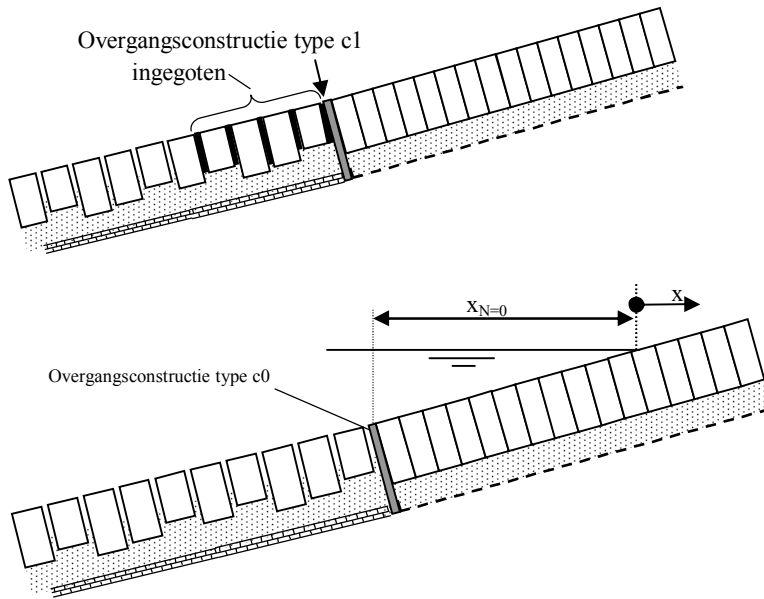
$\phi_{\text{trog}} = \phi'_i$ met $i = i_{K1Z,0}$ of $i_{K1L,0}$ of $i_{K2,0}$ of $i_{HF,0}$ of $i_{SF,0}$ afhankelijk van welke golfklap of golffront doorgerekend wordt (zie tabel uit paragraaf 5.10).

met:

x_{teen} = horizontale afstand vanaf de waterlijn tot de teen van de constructie die geschematiseerd is tot een recht talud (zeewaarts is negatief) (m)

Z_{01} = niveau van de ondergrens van het onderste segment (bovenste regel) (m)

ϕ_{trog} = stijghoogte op de topplag ter plaatse van $\phi_{w\text{max}}$ (m)



Figuur 5.9. De overgangsconstructie van het type c0 en c1, waarbij de normaalkracht van het bovenliggende segment wordt doorgegeven, maar de stroming in het filter wel geblokkeerd is.

Verder geldt:

$$x_N = x_{\phi_{w\text{max}}} \tag{5.332}$$

$$f_3 = 1 \text{ (geen verminderde klemming bij de teen)} \tag{5.333}$$

$$Z_{N\text{max}} = 4D$$

$$c_{\text{macht}} = 0,2$$

$$c_{\text{gradient}} = 0,2$$

$$x_V = x_{\phi_{w\text{max}}} + \frac{\phi_{w\text{max}}}{\phi_{w\text{max}} - \phi_{w\text{min}}} L_1 \tag{5.334}$$

Als {overgang_maatgevend = a1 of b1 of c1} dan:

$$f_{4M} = \min \left(\left(\frac{\max(x_{N=0} - x_{\phi_{w\text{min}}}; 1) \tan \alpha}{Z_{N\text{max}}} \right)^{c_{\text{macht}}} ; 1 + c_{\text{gradient}} \cdot \frac{\max(x_{N=0} - x_{\phi_{w\text{min}}}; 1) \tan \alpha}{Z_{N\text{max}}} \right) \tag{5.335}$$

$$f_{4V} = \min \left(\left(\frac{\max(x_{N=0} - x_V; 1) \tan \alpha}{Z_{N\text{max}}} \right)^{c_{\text{macht}}} ; 1 + c_{\text{gradient}} \cdot \frac{\max(x_{N=0} - x_V; 1) \tan \alpha}{Z_{N\text{max}}} \right) \tag{5.336}$$

anders:

$$f_{4M} = \min \left(\left(\frac{(x_{N=0} - x_{\phi_{wmin}}) \tan \alpha}{z_{Nmax}} \right)^{c_{macht}} ; 1 + c_{gradient} \cdot \frac{(x_{N=0} - x_{\phi_{wmin}}) \tan \alpha}{z_{Nmax}} \right) \quad (5.337)$$

$$f_{4V} = \min \left(\left(\frac{(x_{N=0} - x_V) \tan \alpha}{z_{Nmax}} \right)^{c_{macht}} ; 1 + c_{gradient} \cdot \frac{(x_{N=0} - x_V) \tan \alpha}{z_{Nmax}} \right) \quad (5.338)$$

$$N_{Ma} = f_{4M} f_5 \rho g D (1 + \Delta) z_{Nmax} - \rho g D \tan \alpha (x_{SWL} - x_N) - f_{11} \rho g D \left(\phi_{trog} + \frac{1}{2} \phi_{wmax} \right) \quad (5.339)$$

$$N_{Va} = f_{4V} f_5 \rho g D (1 + \Delta) z_{Nmax} - \rho g D \tan \alpha (x_{SWL} - x_N) - f_{11} \rho g D \left(\phi_{trog} + \frac{1}{2} \phi_{wmax} \right) \quad (5.340)$$

Er wordt echter gerekend met een minimale normaalkracht:

$$N_{Ma} = \max \left(N_{Ma}; \rho g \Delta D^2 \tan \alpha \right) \quad (5.341)$$

$$N_{Va} = \max \left(N_{Va}; \rho g \Delta D^2 \tan \alpha \right) \quad (5.342)$$

- met: x_N = locatie waar getoetst wordt (ten opzichte van de waterlijn) (m)
 f_5 = parameter die ervoor zorgt dat de normaalkracht bij de teen linear afneemt (-)
 D = rekendikte van de toplaag (zie begin van paragraaf 5.13) (-)
 x_V = zwaarst aangevallen punt ten aanzien van dwarskracht t.o.v. SWL (m)
 f_{4M} = coëfficiënt m.b.t. opbouw van normaalkracht, ten aanzien van moment (-)
 f_{4V} = coëfficiënt m.b.t. opbouw van normaalkracht, ten aanzien van dwarskracht (-)
 N_{Ma} = aanwezige normaalkracht, ten aanzien van moment (N)
 N_{Va} = aanwezige normaalkracht, ten aanzien van dwarskracht (N)
 z_{Nmax} = afstand vanaf het begin van de normaalkrachtsopbouw (bovenste overgangsconstructie of berm) waarover de normaalkracht wat sneller groeit (m)

De eerste term in de formule voor de normaalkracht, namelijk $f_4 f_5 (\dots)$, is het product van de coëfficiënten f_4 en f_5 en de gewichtskracht van de bekleding evenwijdig aan het talud (boven water). De coëfficiënten verdisconteren de wrijving van de bekleding op de ondergrond en de beperkte stijfheid van de teen. De tweede term betreft een opwaartse kracht omdat een deel van de bekleding onder water zit. De laatste term heeft betrekking op stijghoogteverschillen in het vlak van het talud die een kleine bijdrage aan de normaalkracht, of een flinke reductie, kunnen betekenen.

Indien gerekend moet worden met veiligheidsfactoren geldt: $N_{Ma} = N_{Ma} / 1,64$ en $N_{Va} = N_{Va} / 1,64$.

Theoretisch zou het beter zijn om met de volgende formules voor x_N te rekenen, maar dit is moeilijker in het programma op te nemen en de invloed is gering:

- Voor toetsing van M_{min} (bekleding bolt omhoog): $x_N = x_{\phi_{wmax}}$
- Voor toetsing van M_{max} (bekleding bolt omlaag): $x_N = x_{\phi_{wmax}} + L_o/2$
- Voor toetsing van V_{min} : $x_N = x_{\phi_{wmax}} + L_o/4$

Met: L_o = lengte van het opgelichte deel van de bekleding, horizontaal gemeten (m)

5.13.5 Toetsing

het resultaat van de toetsing volgt uit de verhouding tussen de aanwezige normaalkracht en de benodigde normaalkracht:

Voor de uiteindelijke beoordeling van de stabiliteit van de bekleding inclusief klemming wordt gebruikgemaakt van de volgende factoren:

$f_1 = 0,7$ = factor voor h/D

$f_2 = 0,9$ = factor voor voegvullingsgraad

$f_3 = 0,55$ = wrijvingsfactor tussen toplaagelementen

$f_8 = 1,0$ = dynamische vergrotingsfactor

$f_{12} = 1,0$ = reductiefactor op capaciteit M_u in verband met geometrische imperfecties

$f_{13} = 1,0$ = reductiefactor op capaciteit V_u in verband met geometrische imperfecties

$\gamma_S = 1,0$ = partiële veiligheidsfactor belasting

$\gamma_m = 1,0$ = modelfactor voor de krachten en momenten

$\gamma_R = 1,0$ = partiële veiligheidsfactor sterkte toplaag

Voor f_{12} en f_{13} wordt de waarde 1,0 gehanteerd, maar het effect van de geometrische imperfecties zijn verdisconteerd in de waarde van f_1 .

De partiële veiligheidsfactoren en de modelfactor hebben voor de toetsing de waarde 1,0 omdat de veiligheid impliciet is ingebracht bij de afregeling van het rekenmodel op Deltagootproeven.

De score volgt vervolgens uit de volgende formules:

- Belasting en verplaatsing:

$$M_{d \min} = \gamma_S \frac{1}{\gamma_m} f_8 M_{\min} \quad (5.343)$$

$$M_{d \max} = \gamma_S \frac{1}{\gamma_m} f_8 M_{\max} \quad (5.344)$$

$$V_{d \min} = \gamma_S \frac{1}{\gamma_m} f_8 V_{\min} \quad (5.345)$$

- Sterkte:

$$M_{u \min} = \frac{f_1 f_2 f_{12}}{2\gamma_R} DN_{Ma} \quad (5.346)$$

$$M_{u \max} = \frac{f_1 f_2 f_{12}}{2\gamma_R} DN_{Ma} \quad (5.347)$$

$$V_{u \min} = \frac{f_3 f_{13}}{\gamma_R} N_{Va} \quad (5.348)$$

$$f_{gt} = \max \left(\min \left(\frac{M_{u \min}}{|M_{d \min}|}; \frac{M_{u \max}}{|M_{d \max}|}; \frac{V_{u \min}}{|V_{d \min}|} \right); f_{gtlos} \right) \quad (5.349)$$

Tenslotte wordt gecontroleerd of de stabiliteit niet onrealistisch hoog is volgens de berekeningen:

$$f_{gt} = \min \left(\frac{7 \left(\min(\xi_{op}; 2) \right)^{-1/3} + \max \left(0,5 \cdot \left(\min(\xi_{op}; 5) - 2 \right); 0 \right)}{\max \left(f_{\beta}; 0,4; 0,3 / H_s \right) \cdot H_s / (\Delta D)} ; f_{gt} \right) \quad (5.350)$$

De term $\max(f_{\beta}; 0,4; 0,3/H_s)$ zorgt ervoor dat bij extreem hoge stabiliteit de f_{β} niet lager dan 0,4 wordt, maar dat ook de steenzetting tenminste stabiel is bij een golfhoogte van 30 cm die loodrecht invalt.

Omdat de hele rekenprocedure vijfmaal doorlopen wordt (voor de drie golfklappen en de twee golffronten) worden er 5 waarden van f_{gt} verkregen. De kleinste waarde is maatgevend. Als $f_{gt} > 1$, dan is de toplaagstabiliteit goed.

5.14 Stabiliteit van ingegoten steenzettingen

Een steenzetting is ingegoten als ingegoten = beton of ingegoten = gietasfalt. In de toetsmethode wordt ook rekening gehouden met de belastingduur (f_B en f_S uit paragraaf 5.8). Het toetsresultaat kan nooit onvoldoende worden, waardoor altijd $f_{to} = 99$.

1. Als $D_{ingieting} > 0,5 \cdot D$ en $D_{ingieting} > 0,1$ m en ingegoten = gietasfalt, dan is de steenzetting goed ingegoten en geldt:

$$F_N = f_B f_{S,front} (6,4 + 0,15 \cdot (E_{VGD} - 1)) \quad (5.351)$$

$$H_{s/\Delta D} = \frac{f_{\beta} f_{havendam} C_{berm} C_{diep} \cdot H_s}{C_{bovenbeloop} \Delta D} \quad (5.352)$$

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56 T_p^2}}} \quad (5.353)$$

$$f_{gt} = \frac{F_N \xi_{op}^{-2/3}}{H_{s/\Delta D}} \quad (5.354)$$

met:

E_{VGD} = elasticiteitsmodulus van de toplaag, bepaald door middel van valgewicht-deflectiemetingen (deze variabelen wordt in GPa in de formule gebruikt) (GPa)

D = dikte van de toplaag (werkelijk ingevoerde waarde) (m)

F_N = stabiliteitparameter bij een belastingduur van N golven (-)

f_B = invloedsfactor op belasting m.b.t. de belastingduur (-)

f_S = invloedsfactor op sterkte m.b.t. de belastingduur (-)

f_{β} = invloedsfactor voor scheve golfaanval (zie paragraaf 5.6)

H_s = significante golfhoogte (m)

T_p = golfperiode bij de piek van het spectrum (s)

α = fictieve taludhelling ($^{\circ}$)

α_{bodem} = bodemhelling voor de constructie ($^{\circ}$)

Δ = $(\rho_s - \rho)/\rho$ = relatieve soortelijke massa van de stenen (-)

ξ_{op} = brekerparameter (-)

- ρ_s = soortelijke massa van de stenen (kg/m^3)
 ρ = soortelijke massa van water (kg/m^3)

2. Anders:

Toetsing alsof het een ongunstige steenzetting is (type 3c uit de eenvoudige toetsing van niet-ingegoten steenzettingen), echter zonder t/o-grens. Dit betekent dat de volgende formules van toepassing zijn:

$$\Delta = (\rho_s - \rho)/\rho \quad (5.355)$$

$$H_{s/\Delta D} = \frac{f_\beta f_{havendam} C_{berm} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \cdot \frac{H_s}{\Delta D} \quad (5.356)$$

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56T_p^2}}} \quad \text{met } \alpha = \alpha_{\text{fict}} \quad (5.357)$$

$$\circ \quad \xi_{op} \leq 2: f_{gt} = \frac{3,07 \cdot \xi_{op}^{-1}}{H_{s/\Delta D}} \quad (5.358)$$

$$\circ \quad \xi_{op} > 2: f_{gt} = \frac{6,5 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,02 \cdot \xi_{op} + 1,09}{H_{s/\Delta D}} \quad (5.359)$$

Het toetsresultaat is:

- als $f_{gt} > 1$, dan goed
- anders: geavanceerd

De overdikte wordt als volgt berekend:

$$D_{over} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \frac{f_\beta C_{berm} f_{havendam} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \quad (5.360)$$

5.15 Black box voor overige type steenzettingen

Als het type steenzetting anders is dan type 3 of 6, dan kan de stabiliteit slechts bepaald worden met het Black box model. Daartoe wordt eerst het volgende berekend:

$$\Delta = \max((\rho_s - \rho)/\rho ; 0,01)$$

$$H_{s/\Delta D} = \frac{f_\beta f_{havendam} C_{berm} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \cdot \frac{H_s}{\Delta D} \quad (5.361)$$

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56T_p^2}}} \quad \text{met } \alpha = \alpha_{\text{fict}} \quad (5.362)$$

In onderstaande paragrafen zijn formules opgenomen met een beperkte geldigheid, namelijk $0,6 < \xi_{op} < 5$. De formules worden in het programma echter ook buiten dit geldigheidsgebied toegepast.

5.15.1 Type 1: Toetsing van steenzetting op geotextiel op zand of klei

De onder- en bovengrens van het twijfelachtige gebied wordt als volgt berekend:

Onder:

$$\xi_{op} \leq 2,2: H_{s/\Delta D, onder} = 4,31 \cdot \xi_{op}^{-0,926} \quad (5.363)$$

$$\xi_{op} > 2,2: H_{s/\Delta D, onder} = 11 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,09 \xi_{op} + 1,38 \quad (5.364)$$

Boven:

$$\xi_{op} \leq 2,2: H_{s/\Delta D, boven} = 6,78 \cdot \xi_{op}^{-0,588} \quad (5.365)$$

$$\xi_{op} > 2,2: H_{s/\Delta D, boven} = 17 \cdot \xi_{op}^{-2} + 1,84 \cdot \xi_{op} - 3,25 \quad (5.366)$$

Toetsresultaat:

- $f_{g/t} = H_{s/\Delta D, onder} / H_{s/\Delta D}$
- $f_{t/o} = H_{s/\Delta D, boven} / H_{s/\Delta D}$
- als $f_{g/t} > 1$, dan score = goed
- als $f_{t/o} < C_{onv}$, dan score = onvoldoende
- overige gevallen: score = geavanceerd

Voor de overdikte geldt:

$$D_{over} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \frac{f_{\beta} C_{berm} f_{havendam} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \quad (5.367)$$

5.15.2 Type 2: Toetsing van steenzetting op goede klei

De onder- en bovengrens van het twijfelachtige gebied wordt als volgt berekend:

Onder:

$$\xi_{op} \leq 2,4: H_{s/\Delta D, onder} = 3,75 \cdot \xi_{op}^{-1} \quad (5.368)$$

$$\xi_{op} > 2,4: H_{s/\Delta D, onder} = 8 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,02 \cdot \xi_{op} + 1,25 \quad (5.369)$$

Boven:

$$\xi_{op} \leq 2,1: H_{s/\Delta D, boven} = 6,1 \cdot \xi_{op}^{-0,75} \quad (5.370)$$

$$\xi_{op} > 2,1: H_{s/\Delta D, boven} = 11 \cdot \xi_{op}^{-2} + 0,98 \cdot \xi_{op} - 1,0 \quad (5.371)$$

Toetsresultaat:

- $f_{g/t} = H_{s/\Delta D, onder} / H_{s/\Delta D}$
- $f_{t/o} = H_{s/\Delta D, boven} / H_{s/\Delta D}$

- als $f_{g/t} > 1$, dan score = goed
- als $f_{t/o} < C_{onv}$, dan score = onvoldoende
- overige gevallen: score = geavanceerd

Voor de overdikte geldt:

$$D_{over} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \frac{f_{\beta} C_{berm} f_{havendam} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \quad (5.372)$$

5.15.3 Type 4: Toetsing van geschakelde blokken op geotextiel op zand of klei

De onder- en bovengrens van het twijfelachtige gebied wordt als volgt berekend:

Onder:

$$\xi_{op} \leq 2,3: H_{s/\Delta D, onder} = 5,19 \cdot \xi_{op}^{-0,82} \quad (5.373)$$

$$\xi_{op} > 2,3: H_{s/\Delta D, onder} = 21 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,33 \cdot \xi_{op} + 1,18 \quad (5.374)$$

Boven:

$$\xi_{op} \leq 1,8: H_{s/\Delta D, boven} = 8,1 \cdot \xi_{op}^{-0,47} \quad (5.375)$$

$$\xi_{op} > 1,8: H_{s/\Delta D, boven} = 26 \cdot \xi_{op}^{-0,5} + 3,8 \cdot \xi_{op} - 20,03 \quad (5.376)$$

Toetsresultaat:

- $f_{g/t} = H_{s/\Delta D, onder} / H_{s/\Delta D}$
- $f_{t/o} = H_{s/\Delta D, boven} / H_{s/\Delta D}$
- als $f_{g/t} > 1$, dan score = goed
- als $f_{t/o} < C_{onv}$, dan score = onvoldoende
- overige gevallen: score = geavanceerd

Voor de overdikte geldt:

$$D_{over} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \frac{f_{\beta} C_{berm} f_{havendam} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \quad (5.377)$$

5.15.4 Type 5: Toetsing van geschakelde blokken op goede klei

De onder- en bovengrens van het twijfelachtige gebied wordt als volgt berekend:

Onder:

$$\xi_{op} \leq 2,2: H_{s/\Delta D, onder} = 4,31 \cdot \xi_{op}^{-0,93} \quad (5.378)$$

$$\xi_{op} > 2,2: H_{s/\Delta D, onder} = 11 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,09 \cdot \xi_{op} + 1,38 \quad (5.379)$$

Boven:

$$\xi_{op} \leq 2,2: H_{s/\Delta D, boven} = 6,78 \cdot \xi_{op}^{-0,59} \quad (5.380)$$

$$\xi_{op} > 2,2: H_{s/\Delta D,boven} = 17 \cdot \xi_{op}^{-2} + 1,84 \cdot \xi_{op} - 3,25 \quad (5.381)$$

Toetsresultaat:

- $f_{g/t} = H_{s/\Delta D,onder}/H_{s/\Delta D}$
- $f_{t/o} = H_{s/\Delta D,boven}/H_{s/\Delta D}$
- als $f_{g/t} > 1$, dan score = goed
- als $f_{t/o} < C_{onv}$, dan score = onvoldoende
- overige gevallen: score = geavanceerd

Voor de overdikte geldt:

$$D_{over} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \frac{f_{\beta} C_{berm} f_{havendam} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \quad (5.382)$$

5.15.5 Type 7: Noorse steen

Als er sprake is van Noorse steen dan moet de D_{n50} worden ingevuld in plaats van de toplaagdikte. Onderstaand wordt de D_{n50} gewoon D genoemd.

Ook Vilvoordse en Lessinische steen wordt doorgerekend als Noorse steen.

De stabiliteit van Noorse steen wordt beoordeeld met de methode van Wouters e.a. (2006):

- Als $\xi_{op} \leq 2,9$: $H_{s/\Delta D,onder} = 4 \cdot \xi_{op}^{-0,9}$ (5.383)

- Als $\xi_{op} > 2,9$: $H_{s/\Delta D,onder} = 0,8 \cdot \xi_{op}^{0,6}$ (5.384)

Boven:

$$\xi_{op} \leq 2,1: H_{s/\Delta D,boven} = 6,68 \cdot \xi_{op}^{-0,723} \quad (5.385)$$

$$\xi_{op} > 2,1: H_{s/\Delta D,boven} = 12 \cdot \xi_{op}^{-1,5} + 1,5 \cdot \xi_{op} - 3,12 \quad (5.386)$$

Toetsresultaat:

- $f_{g/t} = H_{s/\Delta D,onder}/H_{s/\Delta D}$
- $f_{t/o} = H_{s/\Delta D,boven}/H_{s/\Delta D}$
- als $f_{g/t} > 1$, dan score = goed
- als $f_{t/o} < C_{onv}$, dan score = onvoldoende
- overige gevallen: score = geavanceerd

Voor de overdikte geldt:

$$D_{over} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \frac{f_{\beta} C_{berm} f_{havendam} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \quad (5.387)$$

Als de toplaag bestaat uit Noorse steen (type 7) moet de volgende waarschuwing gegeven worden: "Niet toplaagdikte, maar D_{n50} invullen in kolom W."

5.15.6 Type 8: Doorgroeistenen

Voor doorgroeistenen (toplaagtype 17, steenzetting type 8) wordt eerst gecontroleerd of ze zijn aangelegd in het normale toepassingsgebied. Als geldt dat $Z_o < h$ en $H_s > 0,5$ m, dan is het toetsresultaat ‘onvoldoende’ en wordt $f_{t0} = 0$. Anders wordt bij het toetsresultaat vermeld dat een ‘grastoets nodig’ is en wordt $f_{t0} = 0$.

Steeds wordt bij de overdikte $D_{over} = -1$ vermeld.

5.15.7 Type 9: blokken op een kant met slecht functionerende afstandhouders

De onder- en bovengrens van het twijfelachtige gebied wordt als volgt berekend:

Onder:

$$\xi_{op} \leq 2,0: H_{s/\Delta D, onder} = 3,07 \cdot \xi_{op}^{-1,014} \quad (5.388)$$

$$\xi_{op} > 2,0: H_{s/\Delta D, onder} = 6,5 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,02 \cdot \xi_{op} + 1,09 \quad (5.389)$$

Boven:

$$\xi_{op} \leq 2,3: H_{s/\Delta D, boven} = 5,08 \cdot \xi_{op}^{-0,785} \quad (5.390)$$

$$\xi_{op} > 2,3: H_{s/\Delta D, boven} = 13,8 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,26 \cdot \xi_{op} + 1,53 \quad (5.391)$$

Toetsresultaat:

- $f_{g/t} = H_{s/\Delta D, onder} / H_{s/\Delta D}$
- $f_{t/o} = H_{s/\Delta D, boven} / H_{s/\Delta D}$
- als $f_{g/t} > 1$, dan score = goed
- als $f_{t/o} < C_{onv}$, dan score = onvoldoende
- overige gevallen: score = geavanceerd

Voor de overdikte geldt:

$$D_{over} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \frac{f_{\beta} C_{berm} f_{havendam} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \quad (5.392)$$

6 C: Toetsing van stabiliteit van de top laag op een havendam

De beoordeling van de stabiliteit van de top laag van een havendam vindt plaats conform de methode van Kuiper e.a. (2006). Dit betekent dat het buitentalud doorgaans wordt beoordeeld alsof het een gewone steenzetting op een dijk betreft (behalve als de kruin ver onder water ligt) en de kruin en het binnentalud worden beoordeeld met speciaal daarvoor afgeleide formules.

Onder sommige omstandigheden kan slechts een geavanceerde toetsing uitkomst bieden. Als $B_{\text{kruin}} < 1$ m of $\cot\alpha < 2,7$ (buitentalud) of $\xi_{\text{op}} < 1,5$ of $\xi_{\text{op}} > 3$ bij toetspeil: geavanceerde toetsing nodig (deze controle vindt plaats buiten de iteratie).

Net als bij dijken is de maatgevende waterstand op voorhand niet bekend en wordt er een iteratie uitgevoerd om de meest ongunstige waterstand te vinden, zie Bijlage C. Daarbij wordt steeds de relatieve kruinhoogte berekend:

$$h_c = h_{\text{kr}} - h$$

Ook bij havendammen langs het IJsselmeer en de rivieren wordt niet alleen bij toetspeil de toetsing uitgevoerd, maar ook bij lagere waterstanden, omdat met de Hydra-programmatuur het niet mogelijk is de maatgevende waterstand voor havendammen te bepalen. Daarom moeten ook voor lagere waterstanden de golfcondities ingevoerd worden.

Er wordt begonnen met het initialiseren van de resultaatparameter: $f_{\text{gt}} = 99$.

In elke iteratieslag wordt steeds als eerste de golfcondities bepaald: H_s en T_p (zoals in paragraaf 5.2).

Als geldt dat $h_c/H_s \leq -3$ (kruin ligt zeer ver onder water), dan zijn alle bekledingen op de havendam 'goed' en hoeft de top laag bij die waterstand dus verder niet meer getoetst te worden. Als $h_c/H_s > -3$ dan wordt de toetsing uitgevoerd zoals in onderstaande paragrafen is beschreven. Deze controle wordt in elke iteratie uitgevoerd. In dat geval wordt $f_{\text{gt}} = 99$.

Voor de kruin en het binnentalud wordt er onderscheid gemaakt tussen niet-ingegoten steenzettingen op een filter (steenzettingtype 3 of 6), ingegoten steenzettingen, steenzettingen zonder filterlaag (steenzettingtype 1, 2, 4 of 5) en overige steenzettingen. De overige steenzettingen zijn doorgroeistenen en Noorse steen en die worden direct doorverwezen naar een geavanceerde toetsing.

Als het toetsresultaat uiteindelijk 'goed' is, dan volgt als waarschuwing bij de meldingen de volgende mededeling: 'kop van havendam: geavanceerd'.

6.1 Buitentalud van een havendam

Als de bekleding zich op het buitentalud bevindt, dan wordt eerst de volgende factor bepaald:

$$\begin{aligned} \frac{h_c}{H_s} \geq -1: f_{havendam} &= 1 \\ \frac{h_c}{H_s} < -1: f_{havendam} &= 0,2 + 0,8 \cdot e^{1,4 \cdot (0,8 + h_c/H_s)^3} \end{aligned} \quad (6.1)$$

Hierdoor wordt er rekening mee gehouden dat een havendam met de kruin diep onder water niet zo zwaar belast wordt als een dijk.

Verder verloopt de toetsing gelijk aan die op dijken (zie hoofdstuk 5).

6.2 Kruin en binnentalud van een havendam

Als $h_c \geq z_{2\%}$ (kruin is hoger dan golfoploophoogte bij toetspeil), dan is de kruin en het binnentalud 'goed' en is verder rekenen niet meer nodig. In dat geval wordt $f_{gt} = 99$.

Als de toplaag van het type 7 of 8 is, dan is de score van de toplaag 'geavanceerd' en is verder rekenen niet meer nodig.

Voor de toetsing van niet ingegoten steenzettingen (ingegoten = nee) op de kruin of het binnentalud (of binnenberm) van een havendam wordt een iteratieproces doorlopen waarbij stap voor stap de waterstand verlaagd wordt totdat het ongunstigste toetsresultaat is verkregen. Er wordt gestart bij het toetspeil en de waterstand wordt verlaagd met stapjes van 0,2 m. De iteratie eindigt als:

- tenminste één iteratieslag is doorlopen en bovendien de waterstand lager is dan h_{kr} of
- de waarde van f_{gt} groter is dan de vorige iteratie (output is dan de waarde van de een na de laatste iteratie), of
- het toetsresultaat onvoldoende is

De bekleding op het binnentalud of binnenberm hoeft slechts getoetst te worden voor zover deze boven een bepaald niveau ligt. Als één van de volgende voorwaarden voldoet, en bovendien de bekleding op het binnentalud/binnenberm ligt, dan is de toplaag 'goed' (h is de waterstand uit de betreffende iteratieslag: h_MWS_t):

- als $h_c/H_s > 0,5$ en $Z_b < h - H_s/2$
- als $0 < h_c/H_s \leq 0,5$ en $Z_b < h_c - H_s$
- als $-0,5 < h_c/H_s \leq 0$ en $Z_b < h - H_s/2$
- als $h_c/H_s \leq -0,5$ en $Z_b < h_c - H_s/2$

In dat geval wordt $f_{gt} = 99$.

Als de toplaag is ingegoten, of de steenzetting is van het type 1, 2, 4 of 5, dan geldt $f_{damBB} = 1,2$ en $\Lambda = 1,0$ m, anders: $f_{damBB} = 1,0$ en rekenen met de reeds bepaalde leklengte (met f_{damBB} = invloedsfactor voor havendammen met een steenzetting die getoetst moeten worden met het black box model omdat er geen filterlaag is of omdat de toplaag is ingegoten).

Als niet aan deze criteria wordt voldaan, dan wordt de g/t- en t/o-grens bij een lek lengte van respectievelijk 0,4 m en 1,0 m bepaald:

- als $\Lambda \leq 0,4$ m dan geldt voor de g/t-grens:

$$\frac{h_c}{H_s} \geq -1: \left[\frac{H_s}{\Delta D} \right]_{op\ g/t-grens\ bij\ \Lambda=0,4m} = H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=0,4} = \min \left\{ 2,8 + 3,2 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 15 \right\}$$

$$\frac{h_c}{H_s} < -1: \left[\frac{H_s}{\Delta D} \right]_{op\ g/t-grens\ bij\ \Lambda=0,4m} = H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=0,4} = \min \left\{ \frac{2,8}{f_{havendam}} ; 15 \right\}$$

(6.2)

- als $\Lambda \leq 0,4$ m dan geldt voor de t/o-grens:

$$\frac{h_c}{H_s} \geq -1: H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=0,4} = \min \left\{ 5 + 6 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 20 \right\}$$

$$\frac{h_c}{H_s} < -1: H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=0,4} = \min \left\{ \frac{5}{f_{havendam}} ; 20 \right\}$$

(6.3)

- als $\Lambda = 1,0$ m en het segment is een kruin of bovenbeloop-binnen (het binnentalud boven de eventuele binnenberm; niet de binnenberm) dan geldt voor de g/t-grens:

$$\frac{h_c}{H_s} \geq -1: H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=1} = \frac{\min \left\{ 1,8 + 2,7 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 15 \right\}}{f_{damBB}}$$

$$\frac{h_c}{H_s} < -1: H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=1} = \frac{\min \left\{ \frac{1,8}{f_{havendam}} ; 15 \right\}}{f_{damBB}}$$

(6.4)

- t/o-grens bij $\Lambda = 1,0$ m voor de kruin en bovenbeloop-binnen (het binnentalud boven de eventuele binnenberm; niet de binnenberm):

$$\frac{h_c}{H_s} \geq -1: H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=1} = f_{damBB} \min \left\{ 3,8 + 7 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 20 \right\}$$

$$\frac{h_c}{H_s} < -1: H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=1} = f_{damBB} \min \left\{ \frac{3,8}{f_{havendam}} ; 20 \right\}$$

(6.5)

- g/t-grens bij $\Lambda = 1,0$ m voor de binnenberm en het onderbeloop-binnen (het talud onder de binnenberm):

$$H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=1} = \frac{\min \left\{ 3 + 4 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} \right)^3 ; 15 \right\}}{f_{damBB}}$$

(6.6)

- t/o-grens bij $\Lambda = 1,0$ m voor de binnenberm en het onderbeloop-binnen:

$$H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=1} = f_{damBB} \min \left\{ 7 + 8 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} \right)^3 ; 20 \right\} \quad (6.7)$$

Met behulp van de aanwezige lek lengte wordt dan de g/t- en t/o-grens berekend (lineaire interpolatie):

$$H_{s/\Delta D;g/t} = H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=0,4} + (\max(\Lambda; 0,4) - 0,4) \frac{H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=1} - H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=0,4}}{0,6} \quad (6.8)$$

$$H_{s/\Delta D;t/o} = H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=0,4} + (\max(\Lambda; 0,4) - 0,4) \frac{H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=1} - H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=0,4}}{0,6} \quad (6.9)$$

$$H_{s/\Delta D} = \frac{H_s}{\Delta D} \quad (6.10)$$

$$f_{g/t} = H_{s/\Delta D;g/t}/H_{s/\Delta D} \quad (6.11)$$

$$f_{t/o} = H_{s/\Delta D;t/o}/H_{s/\Delta D} \quad (6.12)$$

Als $f_{g/t} > 1$ en $\{d_r < 0,11 \cdot D$ of $h_c/H_s < 0\}$, dan is de score ‘goed’ en is verder rekenen in deze iteratieslag niet meer nodig.

Als $d_r \geq 0,11 \cdot D$ en $h_c/H_s \geq 0$ en ingegoten = nee, dan worden de oneffenheden gecontroleerd:

- De golfploophoogte wordt globaal geschat op basis van de volgende formules met B_{berm} , d_B , L_{berm} op basis van de huidige waterstand en α_{oploop} uit paragraaf 4.10:

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha_{oploop}}{\sqrt{H_s / (1,56 T_p^2)}} \quad (6.13)$$

$$x = 2H_s$$

$$\gamma_b = \max \{ \min \{ 1 - B_{berm}/L_{berm} \cdot (0,5 + 0,5 \cos(\pi d_B/x)) ; 1,0 \} ; 0,6 \} \quad (6.14)$$

$$\gamma_\beta = \max \{ 1 - 0,0022 \cdot \text{abs}(\beta) ; 0,824 \} \quad (6.15)$$

$$z_{2\%} = \gamma_\beta \cdot H_s \cdot \min \{ 1,75 \cdot 0,95 \cdot \gamma_b \cdot \xi_{op}/1,1 ; 0,95 \cdot (4,3 - 1,6/\sqrt{(\xi_{op}/1,1)}) \} \quad (6.16)$$

- Voor de **kruin** geldt (B = breedte van de blokken (m)) (er wordt gerekend met de taludhelling van het betreffende segment):

– als $d_r \leq 0,2B$:

$$\circ \text{ als } 0,9(z_{2\%} - h_c) < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D} \text{ en } f_{g/t} > 1: \text{ ‘goed’} \quad (6.17)$$

anders, als $f_{t/o} < 1$: ‘onvoldoende’ en als $f_{t/o} \geq 1$: ‘geavanceerd’

– als $d_r > 0,2B$:

$$\circ \text{ als } 0,9(z_{2\%} - h_c) < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B \left(2 - \frac{B}{5d_r} \right) - 0,5D} \text{ en } f_{g/t} > 1: \text{ ‘goed’} \quad (6.18)$$

anders, als $f_{t/o} < 1$: ‘onvoldoende’ en als $f_{t/o} \geq 1$: ‘geavanceerd’

- Voor het **binnentalud en binnenberm** (bovenbeloop-binnen, onderbeloop-binnen en binnenberm) geldt (er wordt gerekend met de taludhelling van het betreffende segment):

– als $d_r \leq 0,2B$:

$$\circ \text{ als } 0,9z_{2\%} < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D} \text{ en } f_{gt} > 1: \text{ 'goed'} \quad (6.19)$$

(anders nog als buitentalud toetsen, zie verderop)

$$\circ \text{ als } 0,9z_{2\%} \geq \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D} \text{ dan:} \quad (6.20)$$

- als $f_{t/o} < 1$: 'onvoldoende'
- als $f_{t/o} \geq 1$: 'geavanceerd'

– als $d_r > 0,2B$:

$$\circ \text{ als } 0,9z_{2\%} < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B\left(2 - \frac{B}{5d_r}\right) - 0,5D} \text{ en } f_{gt} > 1: \text{ 'goed'} \quad (6.21)$$

(anders nog als buitentalud toetsen, zie verderop)

$$\circ \text{ als } 0,9z_{2\%} \geq \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B\left(2 - \frac{B}{5d_r}\right) - 0,5D} \text{ dan:} \quad (6.22)$$

- als $f_{t/o} < 1$: 'onvoldoende'
- als $f_{t/o} \geq 1$: 'geavanceerd'

Als met het bovenstaande nog geen score is bereikt (als geldt: $f_{gt} \leq 1$ en kleine of stabiele oneffenheden), dan:

- binnentalud:
 De stabiliteit van het binnentalud wordt vergeleken met de stabiliteit van dezelfde bekleding op het buitentalud. Daartoe wordt bij de waterstand en de golfcondities uit deze iteratie de toetsing uitgevoerd conform hoofdstuk 5. Hierbij wordt gerekend met de bekleding op een talud met helling gelijk aan die van het bovenbeloop-binnen (dus paragraaf 5.3 t/m 5.5 wordt niet doorlopen en $C_{berm} = C_{bovenbeloop} = C_{onv} = 1$), met $f_{havendam} = 1$, met de bovenste overgangsconstructie op de waterlijn ($Z_b = h$) en de onderste overgangsconstructie op twee golfhoogtes daaronder ($Z_o = h - 2H_s$) (met de routine uit hoofdstuk 5 wordt slechts één iteratie doorlopen). Dat levert uiteindelijk de eindscore van deze iteratie op, terwijl de f_{gt} en $f_{t/o}$ gelijk wordt aan de grootste waarde van deze berekening (tenzij het 99 is) of het resultaat van het voorgaande.
- Kruin:
 Als $f_{t/o} < 1$, dan is de score 'onvoldoende', anders: 'geavanceerd'.

Als het toetsresultaat uit deze iteratieslag slechter is dan die uit de vorige iteratieslag (de waarde van f_{gt} is kleiner), dan wordt dit nieuwe toetsresultaat bewaard. Anders blijft de score gelijk aan die van de vorige iteratieslag.

Voor de volgende iteratie wordt nu de waterstand met 20 centimeter verlaagd en worden de golfcondities bepaald (op vergelijkbare wijze als in paragraaf 4.9).

Na de iteratie wordt de overdikte berekend.

Als er sprake is van steenzettingtype 3 of 6 die niet is ingegoten en die bovendien is berekend met de routines uit hoofdstuk 5 (het binnentalud is berekend alsof het een buitentalud is), dan wordt eerst de f_{to} berekend met de routine uit de subparagraaf “twijfel/onvoldoende onderscheid” uit paragraaf 5.1, om vervolgens met de routine uit de subparagraaf “minimaal benodigde toplaagdikte” paragraaf 5.1 de waarde van D_{over} te bepalen.

Voor de overige steenzettingtypes (type 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9 of ingegoten steenzettingen) wordt de overdikte als volgt berekend:

$$\bullet \text{ als } h_c/H_s \geq 0: D_{over} = \min \left\{ D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right); D - \frac{d_r}{0,11} \right\} \quad (6.23)$$

$$\bullet \text{ als } h_c/H_s < 0: D_{over} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \quad (6.24)$$

Voor de maatgevende golfcondities wordt de golfsteilheid berekend:

$$s_{op} = H_s / (1,56T_p^2) \quad (6.25)$$

Als $s_{op} > 0,06$, dan volgt er een melding (waarschuwing): melding = golfsteilheid $> 0,06$.

Als $H_s > 4$ m, dan volgt er een melding (waarschuwing): melding = onbetrouwbaar: golfhoogte te groot ($H_s > 4$ m). Er wordt ondanks deze meldingen wel gewoon doorgerekend.

7 D: Toetsing van de overige bezwijkmechanismen

Tenslotte moet de bekleding nog getoetst worden op langsstroming, materiaaltransport en afschuiving, voorzover het steenzettingen betreft die onder de maatgevende waterstand liggen (als de steenzetting geheel en al boven de maatgevende waterstand ligt, is het toetsresultaat op deze aspecten goed). Als het toetsresultaat niet goed is, dan is ook de reststerkte relevant. Dit is onderstaand nader uitgewerkt (zie bijlage D).

7.1 Toetsing op langsstroming

Als een toetsing op langsstroming noodzakelijk is, dan wordt de toetsing als volgt uitgevoerd (alleen van toepassing op het buitentalud):

- Als de bekleding boven het toetspeil ligt, $Z_o \geq h_{\text{toets}}$, of de bekleding ligt op het binnentalud: toetsresultaat = ‘nvt’, anders:
- Als de ervaring bij stroming onvoldoende is, dan toetsresultaat = ‘onvoldoende’, anders:
- Als er volgens de gebruiker geen toetsing op langsstroming nodig is (bijvoorbeeld omdat het geen rivier is), wordt gecontroleerd of het terecht is dat er geen toetsing op langsstroming wordt uitgevoerd: Als $\Delta D < 0,25$ m èn (gebied is geen IJsselmeer, Randmeren of Markermeer) èn ($u_s = 0$, of $u_{\text{stroom_tgi}}$ is blanco, of $\text{stroming_i} = \text{nee}$ of n) dan foutmelding: toplaag ook op langsstroming toetsen want $\Delta D < 0,25$ m
- Als $u_s \leq 1,51 \cdot \sqrt{(g\Delta D)}$: toetsresultaat = ‘goed’ (7.1)
- Als $u_s > 2,50 \cdot \sqrt{(g\Delta D)}$: toetsresultaat = ‘onvoldoende’ (7.2)
- Anders: geavanceerd

Bij het ontwerp wordt de berekening met langsstroming uitgevoerd met de ingevoerde waarde van de toplaagdikte en soortelijke massa, zonder veiligheidscoëfficiënten. De veiligheidscoëfficiënten zijn bedoeld voor het ontwerpen op golfbelasting. Bovendien zit er al erg veel veiligheid in de formules voor langsstroming, zodat een additionele veiligheid niet nodig is.

7.2 Materiaaltransport vanuit de ondergrond

Voor het mechanisme ‘materiaaltransport vanuit de ondergrond’ wordt eerst een eenvoudige toetsing uitgevoerd, en als het resultaat dan twijfelachtig is, volgt er nog een gedetailleerde toetsing.

De toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond hoeft alleen toegepast te worden op het buitentalud.

7.2.1 Eenvoudige toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond

Bij de beoordeling is het volgende geotextiel en filter maatgevend:

- Als er twee filterlagen zijn, dan worden de waarden uit de tweede laag (onderste laag) gebruikt.
- Als het type filtermateriaal niet is ingevuld, dan wordt het laatst genoemde filtermateriaal uit de kolom 'type filter' gebruikt. Is ook daar het type niet te vinden, dan is het 'st', mits er waarden zijn ingevuld bij b en D_{f15} .
- Ten aanzien van het geotextiel gaat het om het geotextiel tussen het granulaire filter en de ondergrond van zand of klei. Het eventuele geotextiel tussen de toplaag en het granulaire filter is niet relevant.

Allereerst wordt er gekeken naar de ondergrens (Z_o) en de ervaring, afhankelijk van het deel van het talud:

- Als de bekleding op het binnentalud ligt of $Z_o > h_{toets}$, dan score = 'n.v.t.'
- Als ervaring is 'o', dan score = 'onvoldoende'
- Als de toplaag is ingegoten (met beton of gietasfalt) dan: score = goed
- Als ervaring is 'g', dan score = 'goed'
- Als type onderlaag is 'as' (zandasfalt of gebitumineerd zand), dan: score = 'goed'
- Als type onderlaag is 'vl' EN 'kl', dan: score = 'goed'
- Als type onderlaag 'ge':
 - als type onderlaag op het geotextiel is { 'my' of 'gr' of 'pu' of 'sl' of 'st' } EN { geen 'kl' } onder het geotextiel (filter op geotextiel op zand):
 - als $O_{90} < D_{b90}$ dan: score = 'goed'
 - als $O_{90} > 2,5 \cdot D_{b90}$, dan: score = onvoldoende
 - anders: score = 'twijfelachtig'
 - als type onderlaag op het geotextiel is { 'my' of 'gr' of 'pu' of 'sl' of 'st' } EN onder het geotextiel { 'kl' } zit (filter op geotextiel op klei):
 - als $O_{90} \leq 10 \cdot D_{50k}$ EN $O_{90} \leq D_{90k}$ EN $O_{90} \leq 0,1$ mm dan: score = 'goed'
 - als $O_{90} > 10 \cdot D_{50k}$ OF $O_{90} > D_{90k}$ OF $O_{90} > 0,1$ mm, dan: score = 'twijfelachtig'
 - als type onderlaag onder het geotextiel 'kl' is EN type onderlaag op het geotextiel is GEEN { 'my' of 'gr' of 'pu' of 'sl' of 'st' of 'kl' } (toplaag op geotextiel op klei):
 - als $O_{90} \leq 10 \cdot D_{50k}$ EN $O_{90} \leq D_{90k}$ EN $O_{90} \leq 0,1$ mm dan: score = 'goed'
 - als $O_{90} > 10 \cdot D_{50k}$ OF $O_{90} > D_{90k}$ OF $O_{90} > 0,1$ mm, dan: score = 'onvoldoende'
 - Als type onderlaag op het geotextiel is GEEN { 'my' of 'gr' of 'pu' of 'sl' of 'st' of 'kl' } EN onder het geotextiel { geen 'kl' } (toplaag op geotextiel op zand):
 - als $O_{90} < D_{b50}$ (let op: D_{b50}), dan: score = 'goed'
 - als $O_{90} > D_{b50}$ (let op: D_{b50}), dan score = 'onvoldoende'
 - anders: score = 'geavanceerd'
- Als type onderlaag GEEN 'ge' (let op volgorde):
 - Als de steenzetting het type 2 heeft en de klei is niet van goede kwaliteit, dan is de score onvoldoende.
 - Als de toplaag het steenzettingtype 2 heeft en de klei is van goede kwaliteit, dan is de score geavanceerd.
 - Als de steenzetting het type 8 (doorgroei stenen) heeft en de klei is niet van goede kwaliteit, dan is de score geavanceerd, anders goed.

- Als type onderlaag is: { 'kl' } EN {geen: 'my' of 'gr' of 'pu' of 'sl' of 'st' }:
score = 'geavanceerd'.
- Als type onderlaag is 'my' (mijnsteen):
 - als $D_{f15} < 0,038 \cdot D_{b50}^{0,333}$ dan: score = 'goed' (7.3)
 - als $D_{f15} > 0,25 \cdot D_{b50}^{0,333}$ dan: score = 'onvoldoende' (7.4)
 - anders: score = 'twijfelachtig'
- Als type onderlaag is 'gr' of 'pu' of 'sl' of 'st':
 - als $D_{f15} < \max\{5 \cdot D_{b50}; 0,02 \cdot D_{b50}^{0,333}\}$ dan: score = 'goed' (7.5)
 - als $D_{f15} > 0,13 \cdot D_{b50}^{0,333}$ dan: score = 'onvoldoende' (7.6)
 - anders: score = 'twijfelachtig'
- Alle andere gevallen: score = 'geavanceerd'

Als de score twijfelachtig is, wordt verdergegaan met de gedetailleerde toetsing (zie volgende paragraaf).

7.2.2 Gedetailleerde toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond

De gedetailleerde toetsing is alleen van toepassing op steenzettingen van het type 3 of 6 die niet zijn ingegoten. Steenzettingen op een kruin die onder water ligt kunnen ook niet met deze gedetailleerde toetsing worden beoordeeld:

- als steenzetting niet van het type 3 of 6 is: score = geavanceerd
- als steenzetting op de kruin met $h_{kr} \leq h_{mws}$: score = geavanceerd

Eerst wordt de belasting bepaald door de grootste en kleinste gradiënt (dus grootste stroming in opwaartse richting en in neerwaartse richting) uit het stijghoogteverloop in het filter te bepalen tijdens de twee golffronten. Vervolgens wordt de toetsing uitgevoerd.

Belasting

De grootste opwaartse gradiënt treedt op halverwege het maximum en minimum stijghoogteverschil:

- hoog front:

Als $i_{HF,0} = 0$ of $i_{HFmin} = 0$, dan $i_{opHF} = 0$ anders:

$$i = i_{HF,0}; j = i_{HFmin}$$

$$x_{HF} = \frac{x_i + x_j}{2} \quad (7.7)$$

$$i_{HF} = abs \left(\frac{A_{i-1,i}}{\Lambda} e^{\frac{+x_{HF}}{\Lambda \cos \alpha}} - \frac{B_{i-1,i}}{\Lambda} e^{\frac{-x_{HF}}{\Lambda \cos \alpha}} + \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \cos \alpha \right) \quad (7.8)$$

- steil front:

Als $i_{SF,0} = 0$ of $i_{SFmin} = 0$, dan $i_{opSF} = 0$ anders:

$$i = i_{SF,0}; j = i_{SFmin}$$

$$x_{SF} = \frac{x_i + x_j}{2} \quad (7.9)$$

$$i_{SF} = abs \left(\frac{A_{i-1,i}}{\Lambda} e^{\frac{+x_{SF}}{\Lambda \cos \alpha}} - \frac{B_{i-1,i}}{\Lambda} e^{\frac{-x_{SF}}{\Lambda \cos \alpha}} + \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \cos \alpha \right) \quad (7.10)$$

met:

x_{HF} = locatie van de maximale opwaartse gradiënt in het hoge front (m)

x_{SF} = locatie van de maximale opwaartse gradiënt in het steile front (m)

i_{HF} = maximale opwaartse gradiënt in het hoge front (-)

i_{SF} = maximale opwaartse gradiënt in het steile front (-)

De maximale opwaartse gradiënt is (inclusief reductie voor dikke filterlagen, conform ANAMOS):

$$i_{op} = \max \left[i_{HF} \cdot \min \left(1; \frac{\phi_{bHF}}{(b_1 + b_2) \tan \theta_{jHF}} \right); i_{SF} \cdot \min \left(1; \frac{\phi_{bSF}}{(b_1 + b_2) \tan \theta_{jSF}} \right) \right] \quad (7.11)$$

met:

i_{op} = maximale opwaartse gradiënt (-)

ϕ_{bHF} = hoogte van het front ($\phi_{b2\%}$) in een hoog front (m)

ϕ_{bSF} = hoogte van het front ($\phi_{b2\%}$) in een steil front (m)

$\tan \theta_{bHF}$ = helling van het front ($\tan \theta_f$) in een hoog front (-)

$\tan \theta_{bSF}$ = helling van het front ($\tan \theta_f$) in een steil front (-)

$b_1 + b_2$ = totale dikte van de twee filterlagen (m)

$$\text{Voor de neerwaartse gradiënt geldt: } i_{neer} = \max(\sin \alpha; 0,2) \quad (7.12)$$

Zonder geotextiel

Net als bij de eenvoudige toetsing zijn bij de beoordeling in geval van twee filterlagen de waarden uit de tweede filterlaag (onderste laag) maatgevend.

Voor het grensvlak tussen een granulaair filter en een ondergrond van zand gelden de volgende formules:

$$i_{\perp} = 0,2 \quad (7.13)$$

$$c = 0,2 (1000 \cdot D_{b50})^{-0,77} \quad (7.14)$$

$$\text{Als } D_{b50} < 0,149371 \cdot 10^{-3} \text{ dan: } c_m = 0,35 - 1000 \cdot D_{b50}, \text{ anders} \quad (7.15)$$

$$\text{Als } D_{b50} \leq 0,700549 \cdot 10^{-3} \text{ dan: } c_m = 0,255 - 364 \cdot D_{b50}, \text{ anders } c_m = 0. \quad (7.16)$$

$$\text{Als } D_{b50} \leq 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ dan } \Phi_i = 0,333 \pi, \text{ anders} \quad (7.17)$$

$$\text{Als } D_{b50} \leq 0,65 \cdot 10^{-3} \text{ dan } \Phi_i = 0,306 \pi, \text{ anders } \Phi_i = 0,278 \pi \quad (7.18)$$

$$\Psi_s = 25 D_{b50} + 0,011 \cdot (1000 \cdot D_{b50})^{-0,97} \quad (7.19)$$

$$\Delta_b = 1,65 \quad (7.20)$$

$$n_b = 0,4 \quad (7.21)$$

$$v = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (7.22)$$

$$q_{cr,op} = \left(\frac{n_f}{c} \left(\frac{D_{f15}}{v} \right)^{c_m} \cdot \sqrt{\psi_s \Delta_b g D_{b50} \left(\frac{\sin(\Phi_i + \alpha)}{\sin(\Phi_i)} - \frac{i_{\perp}}{\Delta_b (1 - n_b)} \right)} \right)^{1/(1-c_m)} \quad (7.23)$$

$$q_{cr,neer} = \left(\frac{n_f}{c} \left(\frac{D_{f15}}{v} \right)^{c_m} \cdot \sqrt{\psi_s \Delta_b g D_{b50} \left(\frac{\sin(\Phi_i - \alpha)}{\sin(\Phi_i)} - \frac{i_{\perp}}{\Delta_b (1 - n_b)} \right)} \right)^{1/(1-c_m)} \quad (7.24)$$

met:

- i_{\perp} = verhang haaks op het grensvlak (-)
- c = constante ($m^{-0,77}$)
- c_m = macht (-)
- Φ_i = rusthoek van basismateriaal per individuele korrel (rad)
- Ψ_s = Shields parameter (-)
- Δ_b = relatieve soortelijke massa van de zandkorrels (-)
- n_b = porositeit van het zand (-)
- v = kinematische viscositeit (m^2/s)
- $q_{cr,op}$ = kritieke opwaartse filtersnelheid (m/s)
- $q_{cr,neer}$ = kritieke neerwaartse filtersnelheid (m/s)

Deze kritieke filtersnelheden worden vervolgens omgerekend naar kritieke verhangen:

$$i_{op,cr} = a_f \cdot q_{cr,op} + b_f \cdot q_{cr,op}^2 \quad (7.25)$$

$$i_{op,neer} = a_f \cdot q_{cr,neer} + b_f \cdot q_{cr,neer}^2 \quad (7.26)$$

met:

- a_f = lineaire weerstandsterm van het filter (zie paragraaf 4.8.1) (s/m)
- b_f = turbulente weerstandsterm van het filter (zie paragraaf 4.8.1) (s^2/m^2)
- $i_{cr,op}$ = kritiek opwaartse verhang (-)
- $i_{cr,neer}$ = kritiek neerwaartse verhang (-)

Het toetsresultaat volgt uit:

- Als $i_{op,cr} > i_{op}$ en $i_{neer,cr} > i_{neer}$ dan: goed
- anders: onvoldoende

Met geotextiel op zand ondergrond

Het gaat hier om het geotextiel tussen het granulaire filter en de ondergrond van zand. Het geotextiel tussen de toplaag en het filter is niet relevant.

$$m_g = 0,75 \quad (7.27)$$

$$k_g = \frac{q_{geo}}{\left(\phi_{geo} / T_g \right)^{0,75}} \quad (7.28)$$

$$\Delta_b = 1,65 \quad (7.29)$$

$$w = 10 \frac{v}{D_{b50}} \left(\sqrt{1 + 0,01 \frac{\Delta_b g D_{b50}^3}{v^2}} - 1 \right) \quad (7.30)$$

$$c_{geo} = 0,5 \quad (7.31)$$

$$R_{e,op} = \frac{q_{cr,op} D_{f15}}{\nu} \quad (7.32)$$

$$e_{R,op} = c R_{e,op}^{c_m} \quad (7.33)$$

$$q_{geo,op} = c_{geo} \left(12 \left[\frac{D_{b90}}{O_{90}} \right]^4 \frac{T_g}{D_{b90}} \left[\frac{w}{k_g} \right]^{\left(\frac{1}{2m_g} \right)} + \frac{n_f}{e_{R,op}} \right) \sqrt{\psi_s \Delta_b g D_{b50}} \quad (7.34)$$

$$R_{e,neer} = \frac{q_{cr,neer} D_{f15}}{\nu} \quad (7.35)$$

$$e_{R,neer} = c R_{e,neer}^{c_m} \quad (7.36)$$

$$q_{geo,neer} = c_{geo} \left(12 \left[\frac{D_{b90}}{O_{90}} \right]^4 \frac{T_g}{D_{b90}} \left[\frac{w}{k_g} \right]^{\left(\frac{1}{2m_g} \right)} + \frac{n_f}{e_{R,neer}} \right) \cdot \sqrt{\psi_s \Delta_b g D_{b50}} \quad (7.37)$$

met:

- T_g = dikte van het geotextiel (m)
- m_g = macht in doorlatendheidsrelatie van geotextiel (-)
- k_g = doorlatendheid van het geotextiel (m/s)
- w = valsnelheid van de zandkorrels (m/s)
- c_{geo} = coëfficiënt (-)
- $R_{e,op}$ = Reynoldsgetal tijdens omhoog gerichte stroming (-)
- $R_{e,neer}$ = Reynoldsgetal tijdens neerwaarts gerichte stroming (-)
- Ψ_s = Shields parameter zoals berekend zonder geotextiel (-)
- $q_{cr,op}$ = kritieke opwaartse filtersnelheid zoals berekend zonder geotextiel (m/s)
- $q_{cr,neer}$ = kritieke neerwaartse filtersnelheid zoals berekend zonder geotextiel (m/s)
- c_m = macht zoals berekend zonder geotextiel (-)
- $e_{R,op}$ = parameter voor geotextiel bij opwaartse stroming (-)
- $e_{R,neer}$ = parameter voor geotextiel bij neerwaartse stroming (-)

Deze kritieke filtersnelheden worden vervolgens omgerekend naar kritieke verhangen:

$$i_{op,geo} = a_f \cdot q_{geo,op} + b_f \cdot q_{geo,op}^2 \quad (7.38)$$

$$i_{neer,geo} = a_f \cdot q_{geo,neer} + b_f \cdot q_{geo,neer}^2 \quad (7.39)$$

met:

- a_f = lineaire weerstandsterm van het filter (zie paragraaf 4.8.1) (s/m)
- b_f = turbulente weerstandsterm van het filter (zie paragraaf 4.8.1) (s²/m²)
- $i_{op,geo}$ = kritiek opwaartse verhang (-)
- $i_{neer,geo}$ = kritiek neerwaartse verhang (-)

Het toetsresultaat volgt uit:

- Als $i_{op,geo} > i_{op}$ en $i_{neer,geo} > i_{neer}$ dan: goed
- anders: onvoldoende

Met geotextiel en klei ondergrond

Het gaat hier om het geotextiel tussen het granulaire filter en de ondergrond van klei. Het geotextiel tussen de toplaag en het filter is niet relevant.

Het kritieke verhang in geval van een basis van klei is:

• goede klei:
$$i_{cr,klei} = \frac{0,034}{n_f^2 D_{f15}} \quad (7.40)$$

• matige of slechte klei:
$$i_{cr,klei} = \frac{0,012}{n_f^2 D_{f15}} \quad (7.41)$$

• Het toetsresultaat volgt uit:

- goed als: $i_{cr,klei} > i_{op}$ èn $i_{cr,klei} > i_{neer}$ èn $O_{90} < 0,3 \text{ mm}$ èn $D_{f15} < 250 \text{ mm}$
- zo niet: onvoldoende

7.3 Materiaaltransport vanuit de granulaire laag

Als de spleten (s) of openingen (G) in de toplaag te groot zijn, dan kan het filter door die openingen uitspoelen. Voor dit mechanisme is de bovenste filterlaag maatgevend.

In onderstaande formules is s de grootste spleetbreedte ($s = \max(s_1 ; s_s)$), H_s de golfhoogte bij de waterstand die maatgevend is voor de toplaag, G de karakteristieke diameter van gaten in de toplaag tussen de stenen (m) en Ω het relatieve open oppervlak (%) (als het relatieve open oppervlak 10% is, moet hier 10 ingevuld worden).

Het wordt als volgt beoordeeld (volgorde is belangrijk):

- Als de bekleding boven het toetspeil ligt, $Z_o \geq h_{toets}$, of de bekleding ligt op het binnentalud: score = 'nvt'
- als het filter bestaat uit zandafalt (as): score = goed
- Als er geen filter is (géén: st of pu of sl of gr of my): score = 'n.v.t.'
- Als er geen sprake is van goed gedrag: score = onvoldoende
- Als er sprake is van goed gedrag: score = goed
- als de toplaag is ingegoten (met beton of gietafalt) dan: score = goed
- Als $D_{50} \geq \max(s_1 ; s_s)$ EN $D_{50} \geq G$: score = goed
- Anders moet de erosiediepte berekend worden:

– Als $G \geq 0,1 \text{ m}$: $Y = 0,23 \cdot G \cdot (H_s/D_{50})^{0,33} \quad (7.42)$

– Als $G < 0,1 \text{ m}$: $Y = 0,04 \cdot G \cdot \Omega^{-0,75} \sqrt{(H_s/D_{50})} \quad (7.43)$

Als $Y/D < 0,5$, dan score = goed

Als $Y/D > 1,5$, dan score = onvoldoende

Anders: geavanceerd

7.4 Toetsing op afschuiving

De toetsing op afschuiving kan worden uitgevoerd met de oude methode uit de VTV2006 en de nieuwe methode van Bosters (2008). De keuze kan gemaakt worden in het werkblad “algemeen”. De nieuwe methode kan gezien worden als een eerste stap in de geavanceerde toetsing.

Voor de toetsing op afschuiving is de dijkopbouw van belang. Als er geen kleilaag aanwezig is, dan wordt er bij de dijkopbouw niets of ‘gk’ ingevuld. Als er een “?” wordt ingevuld, dan wordt dit opgevat als een ‘zandscheg’.

7.4.1 Oude methode uit VTV2006

De toetsing wordt uitgevoerd met de taludhelling van het te toetsen segment en de golfhoogte en golfperiode behorende bij de waterstand $h = \min(h_{\text{toets}}; Z_b)$.

Als eerste wordt de waarde van de klei-overdikte, b_{kleio} , geïnitieerd: $b_{\text{kleio}} = -100$.

Dan wordt beoordeeld of er sprake is van een bijzondere situatie (volgorde is belangrijk):

- als $\text{ervaring_afschuiving} = 0$: dan score = ‘onvoldoende’ en $b_{\text{kleio}} = -9$
- Als de gehele bekleding boven toetspeil ligt, $Z_o \geq h_{\text{toets}}$, of de bekleding ligt op het binnentalud of de bekleding ligt op de kruin, dan score = ‘n.v.t.’ en $b_{\text{kleio}} = 9$
- Als ‘buitenberm’ of ‘kleikern’, dan score = goed en $b_{\text{kleio}} = 8$
- Als dijkopbouw = ‘zandscheg’ of dijkopbouw = ‘?’ of {dijkopbouw = blanco en onderlaagtype = kl}, dan score = ‘geavanceerd’ en $b_{\text{kleio}} = -9$
- Als $H_s < b_{\text{klei}}$, dan score = goed en $b_{\text{kleio}} = 8$
- Als $\tan\alpha > 1/2,7$, dan score = ‘geavanceerd’ en $b_{\text{kleio}} = -8$

Vervolgens wordt de gedetailleerde rekenmethode toegepast:

- Te toetsen segment is goed als $\Delta D + b_1 + b_2 \geq H_s \cdot \min(1,5; 0,112 \cdot (1,56 T_p^2 \cdot \tan\alpha_m / H_s)^{0,8}) - 1334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan\alpha_m) \cdot D_{b15} \sqrt{T_p}$ (7.44)
- anders: score = ‘geavanceerd’

De overdikte volgt tenslotte uit:

$$b_{\text{kleio}} = \Delta D + b_1 + b_2 - (H_s \cdot \min(1,5; 0,112 \cdot (1,56 T_p^2 \cdot \tan\alpha_m / H_s)^{0,8}) - 1334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan\alpha_m) \cdot D_{b15} \sqrt{T_p}) \quad (7.45)$$

7.4.2 Nieuwe methode

Voor de taludhelling wordt het gemiddelde gehanteerd in een strook van $4D_{\text{bekl}}$ (langs het talud gemeten, zie onderstaande procedure).

Zodra een toetsoordeel is bereikt, wordt de verdere procedure gestopt.

Bijzondere situatie

Als eerste wordt de waarde van de klei-overdikte, b_{kleio} , geïnitieerd: $b_{kleio} = -100$.

Dan wordt beoordeeld of er sprake is van een bijzondere situatie (volgorde is belangrijk):

- als $ervaring_afschuiving = 0$: dan score = 'onvoldoende' en $b_{kleio} = -9$
- Als de gehele bekleding boven toetspeil ligt, $Z_o \geq h_{toets}$, of de bekleding ligt op het binnentalud of de bekleding ligt op de kruin, dan score = 'n.v.t.' en $b_{kleio} = 9$
- Als 'buitenberm' of 'kleikern', dan score = goed en $b_{kleio} = 8$
- Als {in één of meer van de segmenten in het dwarsprofiel geldt 'breedte van waterkering > 150 m'} of dijkopbouw = 'zandscheg' of dijkopbouw = '?' of {dijkopbouw = blanco en onderlaagtype = kl}, dan score = 'geavanceerd' en $b_{kleio} = -9$

Maatgevende taludhelling

Vervolgens wordt de maatgevende taludhelling bepaald.

Er geldt:

$$D_{bekl} = D + b_1 + b_2 + b_{klei} \quad (7.46)$$

$$Z_{bb} = \max(\text{alle } Z_b \text{ in het onderhavige dwarsprofiel}) \quad (7.47)$$

$$\text{startwaarde van het niveau } z: z_{start} = \min(Z_{bb}; h_{toets}; Z_b + 4D_{bekl} \cdot \sin\alpha) \quad (7.48)$$

met:

D_{bekl} = totale dikte van bekledingsmateriaal op het zand (m)

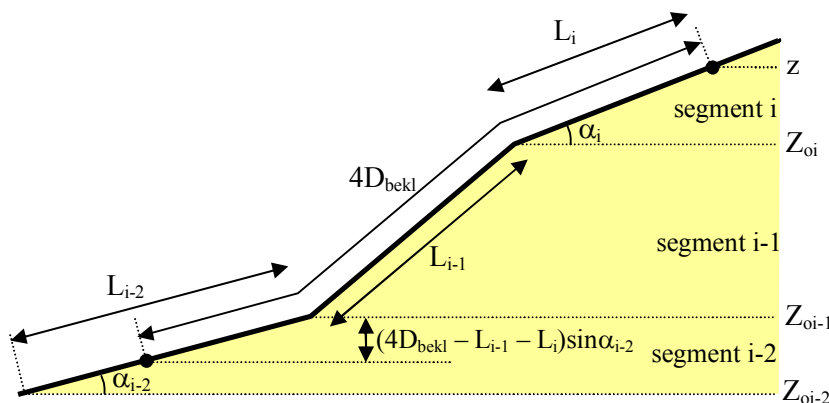
Z_b = niveau van de bovenste overgangsconstructie van het te toetsen segment (m)

Z_{bb} = niveau van de bovenste overgangsconstructie van het hele dwarsprofiel (ook berekend in paragraaf 5.13.4) (m)

h_{toets} = toetspeil (m)

α = taludhelling van het te toetsen segment ($^\circ$)

De procedure start bij het niveau $z = z_{start}$ en gaat vervolgens met stapjes van 0,1 m naar beneden tot het niveau van de onderste overgangsconstructie van het te toetsen segment bereikt is, of het niveau van de onderste overgangsconstructie van het dwarsprofiel of de berm bereikt is met de onderkant van de strook $4D_{bekl}$.



Figuur 7.1 Berekening maatgevende taludhelling ten aanzien van afschuiving

Bij elk niveau z wordt de maatgevende taludhelling $\tan\alpha_{mz}$ als volgt bepaald:

- het niveau z bevindt zich in segment i met taludhelling $\tan\alpha_i$ en niveau van onderste overgangsconstructie Z_{oi}
- lengte van het segment (langs het talud gemeten) tot de onderste overgangsconstructie van dat segment: $L_i = (z - Z_{oi})/\sin\alpha_i$ (7.49)

- als $L_i \geq 4D_{bekl}$, dan geldt: $\tan\alpha_{mz} = \tan\alpha_i$,

– anders:

- als Z_{oi} de onderste overgangsconstructie is van alle segmenten, of het eronder gelegen segment is een berm: $\tan\alpha_{mz} = \tan\alpha_i$
- anders segment eronder ook meetellen, zie vervolg:

- lengte van het eronder gelegen segment (langs het talud gemeten) tot de onderste overgangsconstructie van dat segment: $L_{i-1} = (Z_{oi} - Z_{oi-1})/\sin\alpha_{i-1}$ (7.50)

- als $L_i + L_{i-1} \geq 4D_{bekl}$, dan geldt:

$$\tan\alpha_{mz} = \frac{\{z - Z_{oi}\} + (4D_{bekl} - \{L_i\})\sin\alpha_{i-1}}{\{L_i \cos\alpha_i\} + (4D_{bekl} - \{L_i\})\cos\alpha_{i-1}} \quad (7.51)$$

- anders:

- als Z_{oi-1} de onderste overgangsconstructie is van alle segmenten, of het eronder gelegen segment is een berm: $\tan\alpha_{mz} = \frac{z - Z_{oi-1}}{L_i \cos\alpha_i + L_{i-1} \cos\alpha_{i-1}}$ (7.52)

– anders segment eronder ook meetellen, zie vervolg:

- lengte van het eronder gelegen segment (langs het talud gemeten) tot de onderste overgangsconstructie van dat segment: $L_{i-2} = (Z_{oi-1} - Z_{oi-2})/\sin\alpha_{i-2}$ (7.53)

- als $L_i + L_{i-1} + L_{i-2} \geq 4D_{bekl}$, dan geldt:

$$\tan\alpha_{mz} = \frac{\{z - Z_{oi-1}\} + (4D_{bekl} - \{L_i + L_{i-1}\})\sin\alpha_{i-2}}{\{L_i \cos\alpha_i + L_{i-1} \cos\alpha_{i-1}\} + (4D_{bekl} - \{L_i + L_{i-1}\})\cos\alpha_{i-2}} \quad (7.54)$$

- anders:

- als Z_{oi-2} de onderste overgangsconstructie is van alle segmenten, of het eronder gelegen segment is een berm: $\tan\alpha_{mz} = \frac{z - Z_{oi-2}}{L_i \cos\alpha_i + L_{i-1} \cos\alpha_{i-1} + L_{i-2} \cos\alpha_{i-2}}$ (7.55)

– anders segment eronder ook meetellen, zie vervolg

- lengte van het eronder gelegen segment (langs het talud gemeten) tot de onderste overgangsconstructie van dat segment: $L_{i-3} = (Z_{oi-2} - Z_{oi-3})/\sin\alpha_{i-3}$ (7.56)

- als $L_i + L_{i-1} + L_{i-2} + L_{i-3} \geq 4D_{bekl}$, dan geldt:

$$\tan\alpha_{mz} = \frac{\{z - Z_{oi-2}\} + (4D_{bekl} - \{L_i + L_{i-1} + L_{i-2}\})\sin\alpha_{i-3}}{\{L_i \cos\alpha_i + L_{i-1} \cos\alpha_{i-1} + L_{i-2} \cos\alpha_{i-2}\} + (4D_{bekl} - \{L_i + L_{i-1} + L_{i-2}\})\cos\alpha_{i-3}} \quad (7.57)$$

- anders:

- als Z_{oi-3} de onderste overgangsconstructie is van alle segmenten, of het eronder gelegen segment is een berm:

$$\tan\alpha_{mz} = \frac{z - Z_{oi-3}}{L_i \cos\alpha_i + L_{i-1} \cos\alpha_{i-1} + L_{i-2} \cos\alpha_{i-2} + L_{i-3} \cos\alpha_{i-3}} \quad (7.58)$$

– anders segment eronder ook meetellen, zie vervolg

- Etc.

Voor elk niveau z wordt hiermee een taludhelling $\tan\alpha_{mz}$ berekend. Het gaat uiteindelijk om de grootste waarde: $\tan\alpha_m = \max(\text{alle } \tan\alpha_{mz})$.

In deze procedure zijn de volgende variabelen gebruikt:

- z = niveau waarvoor de waarde van de maatgevende taludhelling $\tan\alpha_{mz}$ wordt bepaald (m)
- Z_{oi} = niveau van de onderste overgangsconstructie van het segment i (ter hoogte van z) (m)
- Z_{oi-1} = niveau van de onderste overgangsconstructie van het segment $i-1$ (m)
- L_i = lengte van het segment i (dat ter hoogte van z ligt), gerekend langs het talud (m)
- L_{i-1} = lengte van het segment $i-1$, gerekend langs het talud (m)
- α_m = maatgevende taludhelling ten aanzien van afschuiving (grootste gemiddelde helling in een stuk talud met lengte $4D_{bekl}$) ($^\circ$)
- α_{mz} = maatgevende taludhelling ten aanzien van afschuiving voor niveau z (gemiddelde helling in een stuk talud met lengte $4D_{bekl}$ onder het punt op het talud op niveau z) ($^\circ$)
- α_i = taludhelling van het segment i ($^\circ$)
- α_{i-1} = taludhelling van het segment $i-1$, dat direct onder het segment i ligt ($^\circ$)

Rekenkundige toetsing

Het toetsresultaat wordt vervolgens berekend met volgende formules:

- Als: $\tan\alpha_m > 1/2,5$, dan krijgt het te toetsen segment de score ‘geavanceerd’ en $b_{kleio} = 100$.
- Als: $\tan\alpha_m \leq 1/2,5$ en dijkopbouw = ‘kleilaag’, dan:
 Rekenen met H_s voor een waterstand op $\min(Z_b, h_{toets})$.
 - Te toetsen segment is goed als $H_s / (\Delta D + b_1 + b_2 + b_{klei}) \leq 3 \cos\alpha_m$ (7.59)
 - anders: score = ‘geavanceerd’
$$b_{kleio} = b_{klei} - (H_s / (3 \cos\alpha_m) - \Delta D - b_1 - b_2)$$
 (7.60)
- Als: $\tan\alpha_m \leq 1/2,5$ en dijkopbouw \neq ‘kleilaag’, dan:
 Rekenen met H_s en T_p voor een waterstand op $\min(Z_b, h_{toets})$.
 - Te toetsen segment is goed als $\Delta D + b_1 + b_2 \geq H_s \cdot \min(1,5 ; 0,112 \cdot (1,56 T_p^2 \cdot \tan\alpha_m / H_s)^{0,8}) - 1334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan\alpha_m) \cdot D_{b15} \sqrt{T_p}$ (7.61)
 - anders: score = ‘geavanceerd’
$$b_{kleio} = \Delta D + b_1 + b_2 - (H_s \cdot \min(1,5 ; 0,112 \cdot (1,56 T_p^2 \cdot \tan\alpha_m / H_s)^{0,8}) - 1334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan\alpha_m) \cdot D_{b15} \sqrt{T_p})$$
 (7.62)
- Anders: score = ‘geavanceerd’ en $b_{kleio} = -99$

Als $b_{kleio} > 7$ of $b_{kleio} < -7$, dan wordt de cel, waarin het dikte-overschot wordt vermeld, blanco gelaten.

Bij ontwerp wordt een minimaal benodigde filterdikte van 5 cm en minimaal benodigde kleilaagdikte van 30 cm aangehouden.

7.5 Reststerkte

Conform de toetsmethode van Klein Breteler (2002) mag de reststerkte van de toplaag, filter en kleilaag meegeteld worden in het toetsresultaat als de kruinhoogte, h_c , tenminste hoger is dan een halve golfhoogte boven de maatgevende waterstand ($h_c > H_s/2$). Dit is uiteraard bij dijken altijd het geval.

Als toetsmethode wordt hier gebruik gemaakt van de methode uit het Technisch Rapport Steenzettingen. Deze methode wijkt af van de reststerkteberekening voor het beoordelen of klemming meegeteld mag worden.

De toetsing worden uitgevoerd met de significante golfhoogte en de waterstand die maatgevend is voor de toplaag.

Als $h_c \leq h + H_s/2$, dan is de score van de reststerkte 'onvoldoende'.

Als de bekleding op het binnentalud of op de kruin ligt, dan is de score 'geavanceerd', anders worden de volgende berekeningen uitgevoerd:

Reststerkte van het filter

De reststerkte van het filter (uitgedrukt in uren) wordt als volgt bepaald (wordt wellicht in 2008 aangepast met de nieuwe formules van Klein Breteler, 2005b):

$$\bullet \quad \xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56T_p^2}}} \quad (7.63)$$

$$\bullet \quad \text{Als } C_{\text{berm}} H_s / (\Delta DC_{\text{bovenbeloop}}) > 10 \xi_{op}^{-2/3} \text{ dan: } t_{\text{rf}} = 0. \quad (7.64)$$

$$\bullet \quad \text{Als } \{ \beta \leq 20^\circ \} \text{ EN } \{ b_1 + b_2 < 0,1 + 0,023 \cdot \sqrt{(1,56T_p^2 \cdot H_s)} \} \text{ EN geen 'ge' dan: } t_{\text{rf}} = 0. \quad (7.65)$$

$$\bullet \quad \text{Als } \{ \beta > 20^\circ \} \text{ EN } \{ b_1 + b_2 < 0,1 + 0,038 \cdot \sqrt{(1,56T_p^2 \cdot H_s)} \} \text{ EN geen 'ge' dan: } t_{\text{rf}} = 0. \quad (7.66)$$

$$\bullet \quad \text{Anders: } t_{\text{rf}} = 15,8 \cdot T_p \cdot \exp[-0,51 \cdot \sqrt{(1,56T_p^2 \cdot H_s)}]. \quad (7.67)$$

Reststerkte van de kleilaag

Allereerst wordt er gecontroleerd of de maatgevende golfhoogte niet te hoog is en of er een kleikern is:

- Als $H_s > 2$ m, dan $t_{\text{rk}} = 0$.
- Als $H_s \leq 2$ m EN er is een kleikern, dan $t_{\text{rk}} = 24$ uur.

Als $H_s \leq 2$ m en er is geen kleikern, dan wordt de reststerkte bepaald uit een tabel, afhankelijk van de positie t.o.v. GHW:

- Als $\min(Z_b; h_{\text{MWS}} - 0,2H_s \cdot \min(\xi_{op}; 4)) > h_{\text{GHW}} + 1$, dan geldt 'boven 1 m + GHW'.
- Anders: 'beneden 1 m + GHW'.

Verder is de reststerkte afhankelijk van de kleikwaliteit:

- g of m (c1 of c2): goed of matig
- w of s (of c3): weinig

In de tabel wordt de reststerkte bepaald door middel van lineaire interpolatie.

		beneden 1 m + GHW: $h_{MWS} \leq h_{GHW} + 1$				boven 1 m + GHW: $h_{MWS} > h_{GHW} + 1$			
		$H_s=0,2$	$H_s=0,5$	$H_s=1,0$	$1,6 < H_s < 2$	$H_s=0,2$	$H_s=0,5$	$H_s=1,0$	$1,6 < H_s < 2$
weinig	$b_{klei} < 0,4$ m	0	0	0	0	0	0	0	0
	$b_{klei} = 0,7$ m	2	1,5	1,5	1	2	1,5	1,5	1
	$b_{klei} = 1,0$ m	3,5	3	3	2	3,5	3	3	2
	$b_{klei} \geq 1,2$ m	5	4,5	4,5	3	5	4,5	4,5	3
goed en matig	$b_{klei} < 0,4$ m	0	0	0	0	0	0	0	0
	$b_{klei} = 0,7$ m	4	3	2	1,5	3,5	2,5	1,5	1
	$b_{klei} = 1,0$ m	7,5	6	4	3	6,5	5	3	2
	$b_{klei} \geq 1,2$ m	11	9	6	4,5	9,5	7,5	4,5	3

Tabel 7.1, reststerkte van de kleilaag in uren

Als de dikte van de kleilaag groter is dan 1,2 m, wordt gerekend met 1,2 m, conform het TR-steenzettingen.

Score met betrekking tot reststerkte

De score is afhankelijk van de belastingduur. Als de waarde van t_{belast} nog niet bepaald is (steensettingen van het type anders dan 3 of 6), dan moet dit alsnog gebeuren met paragraaf 5.7.

De score wordt bepaald door de belastingduur en de reststerkte:

- Als $t_{belast} \leq t_{rf} + t_{rk}$, dan is de score: ‘voldoende’.
- Anders: ‘geavanceerd’.

7.6 Overgangsconstructie

In STEENTOETS is een eenvoudige kwalitatieve beoordeling van de overgangsconstructies opgenomen, vergelijkbaar met stap 1 uit het Technisch Rapport Steenzettingen (deel toetsing, blz. 124).

De toetsing is gebaseerd op het feit dat in veel gevallen de overgangsconstructies geen aanleiding geven tot een onvoldoende als toetsresultaat van de toplaag. De overgangsconstructie aan de onderzijde van de bekleding (bij Z_0) is nooit een probleem.

De score van de overgangsconstructie is ‘goed’ als de ervaring goed is, of als $Z_b \geq h_{toets}$. Als de ervaring t of ? is, dan is de score van de overgangsconstructie: ‘geavanceerd’. Als de ervaring ‘onvoldoende’ is, dan is de score ‘onvoldoende’.

8 Eindscore

De eindscore wordt bepaald aan de hand van de scores per deelaspect. In onderstaande lijst voorwaarden worden de regels van het begin af doorlopen tot een eindcore is bereikt, waarna het klaar is. De volgorde is dus van belang, waarbij aangenomen is dat bij een zekere regel alle voorgaande voorwaarden niet voldeden, en als een regel wel voldoet, dan zijn de volgende regels niet van toepassing:

Toetsing

- Als de score van de toplaagstabieleit “n.v.t.” is, dan is de eindscore ook “N.V.T.”
- Als score afschuiving = onvoldoende, dan eindscore = ONVOLDOENDE.
- Als score afschuiving = “?”, dan eindscore = “?”.
- Als score reststerkte is geavanceerd OF onvoldoende OF “met reststerkte toetsen = nee”:
 - Als materiaaltransport uit de ondergrond = onvoldoende, dan eindscore = ONVOLDOENDE.
 - Als materiaaltransport vanuit de granulaire laag = onvoldoende, dan eindscore = ONVOLDOENDE
 - Als score toplaag = onvoldoende, dan eindscore = ONVOLDOENDE.
 - Als score overgangsconstructie = onvoldoende, dan eindscore = ONVOLDOENDE
 - Als score toplaag = “?” OF overgangsconstructie = “?” OF materiaaltransport uit de ondergrond = “?” OF materiaaltransport vanuit de granulaire laag = “?” OF score stroming = “?” , dan eindscore = “?”.
 - Als score toplaag = geavanceerd OF score afschuiving = geavanceerd, dan eindscore = GEAVANCEERD.
 - Als score toplaag = Grastoets nodig, dan eindscore = GRASTOETS NODIG
 - Als overgangsconstructie = geavanceerd OF materiaaltransport uit de ondergrond = geavanceerd OF materiaaltransport vanuit de granulaire laag = geavanceerd OF score stroming = geavanceerd, dan eindscore = GEAVANCEERD.
 - Als score toplaag = goed , dan eindscore = GOED.
 - Als score toplaag = check $z_{2\%}/2$, dan eindscore = CHECK $z_{2\%}/2$
- Als score reststerkte is voldoende EN “met reststerkte toetsen = ja”:
 - Als score afschuiving = geavanceerd, dan eindscore = GEAVANCEERD
 - Als materiaaltransport uit ondergrond = onvoldoende, dan eindscore = VOLDOENDE.
 - Als materiaaltransport vanuit de granulaire laag = onvoldoende, dan eindscore = VOLDOENDE
 - Als score toplaag = onvoldoende of check $z_{2\%}/2$, dan eindscore = VOLDOENDE.
 - Als score toplaag = geavanceerd, dan eindscore = VOLDOENDE.
 - Als score overgangsconstructie = onvoldoende, dan eindscore = VOLDOENDE
 - Als score toplaag = Grastoets nodig, dan eindscore = VOLDOENDE.

- Als overgangsconstructie = geavanceerd *OF* materiaaltransport uit de ondergrond = geavanceerd *OF* materiaaltransport vanuit de granulaire laag = geavanceerd *OF* score stroming = geavanceerd, dan eindscore = VOLDOENDE.
- Als score topklaag = “?” *OF* overgangsconstructie = “?” *OF* materiaaltransport uit de ondergrond = “?” *OF* materiaaltransport vanuit de granulaire laag = “?” *OF* score stroming = “?”, dan eindscore = VOLDOENDE.
- Als score topklaag = goed, dan eindscore = GOED.
- Anders: Eindscore = ?.

Bij een eindscore “check $z_{2\%}/2$ ” kan met behulp van het programma PC-Overslag de exacte waarde van de golfoploophoogte berekend worden en kan beoordeeld worden of de steenzetting geheel boven de halve golfoploophoogte ligt. In dat geval is het toetsresultaat toch ‘goed’. Gezien het feit dat in STEENTOETS slechts een schatting gegeven kan worden van de golfoploophoogte, kan er in dit geval door STEENTOETS geen definitief uitsluitel gegeven worden en wordt slechts aanbevolen dit te checken.

Met de eindscore ‘geavanceerd’ wordt bedoeld dat er zodanige bijzonderheden in de constructie zijn, dat een geavanceerde toetsing noodzakelijk is.

Ontwerp

In het werkblad “ONTWERP” is “geavanceerd” voor geen enkel mechanisme een mogelijke uitkomst. Ditzelfde komt tot uiting in de eindscore:

- Als de score van de topklaagstabieleit “n.v.t.” is, dan is de eindscore ook “N.V.T.”
- Als score afschuiving \neq goed, dan eindscore = NIET GOED.
- Als materiaaltransport uit de ondergrond \neq goed, dan eindscore = NIET GOED.
- Als materiaaltransport vanuit de granulaire laag \neq goed, dan eindscore = NIET GOED
- Als score topklaag \neq goed, dan eindscore = NIET GOED.
- Als score stroming = geavanceerd, dan eindscore = NIET GOED
- Als score topklaag = Grastoets nodig, dan eindscore = GRASTOETS NODIG.
- Als score topklaag = check $z_{2\%}/2$, dan eindscore = CHECK $z_{2\%}/2$
- Anders: eindscore = GOED.

9 Overige functies

In het menu “Toetsing” zijn drie speciale opties opgenomen voor gevorderde gebruikers:

- Itereer H_s
- Itereer D
- Itereer Rho

Deze opties maken het mogelijk om de invoer door het programma te laten veranderen zodat een belasting/constructie verhouding wordt verkregen die nog net het toetsresultaat ‘goed’ krijgt voor ‘toplaagstabiliteit onder golfbelasting’.

9.1 Itereer H_s

De optie “Itereer H_s” maakt gebruik van de laatste drie verborgen kolommen van de spreadsheet, waarin het volgende wordt ingevoerd (nadat ctrl-shift-F12 is aangeslagen om de verborgen kolommen zichtbaar te maken):

- Golfsteilheid s_{op}
- Aantal golven (belastingduur) N
- Startwaarde van H_s voor de iteratie

Het programma gaat voor elke regel stap voor stap de golfhoogte verhogen totdat het toetsresultaat voor de topplaatstabiliteit onder golfbelasting niet meer goed is, en gaat vervolgens één stap terug. Bij elke stap wordt de golfhoogte met een factor 1,02 vermenigvuldigd.

Omdat dit zeer veel rekentijd kost, wordt geadviseerd niet meer dan ongeveer 20 regels in de spreadsheet te zetten.

Voor het narekenen van modelonderzoek wordt vaak gebruikgemaakt van slechts één regel per dwarsprofiel, en dan kan de rekentijd verkort worden door de statement “MultipleRows = True” te vervangen door “MultipleRows = False” in de subroutine “Iterate_Rows” in de module “UserInterface”. Deze statement kan gemakkelijk gevonden worden door eerst Alt-F11 aan te slaan om in de code te komen, en daarna ctrl-F voor het starten van een zoekopdracht met MultipleRows als item, en het gehele project als zoekgebied.

Verder kan het handig zijn om de waterstand vast te zetten.

Dit kan geregeld worden door de statement “vaste_waterstand = False” te vervangen door “vaste_waterstand = True” in de subroutine “TOplaatOpDijk_MaatgevendeWaterstand” in de module “MaatgevendeWaterstand”.

9.2 Itereer D

Voor het zoeken naar de kleinste toplaagdikte die nog net het toetsresultaat ‘goed’ geeft ten aanzien van de toplaagstabiliteit onder golfbelasting, kan gebruikgemaakt worden van de optie “Itereer D”.

Deze optie verandert de toplaagdikte van alle segmenten in het dwarsprofiel waar de cursor staat, uitgaande van de ingevoerde waarde. De dikte wordt vervangen door $\max(D - D_{\text{over}} ; 0,04)$ en vervolgens wordt opnieuw het toetsresultaat bepaald. Dit wordt herhaald totdat het teken van D_{over} verandert, want dan zijn we doorgeschoten voorbij de doelwaarde. Vanaf dat moment worden de drie laatste waarden van D en D_{over} bewaard en wordt de nieuwe waarde van de toplaagdikte berekend met:

$$D = \max((D_{\text{onder}} + D_{\text{boven}})/2 ; 0,04) \quad (9.1)$$

Met:

D_{boven} = waarde van D met kleinste positieve waarde van de drie bewaarde waarden van D_{over} (m)

D_{onder} = waarde van D met grootste negatieve waarde (dichtste bij nul) van de drie bewaarde waarden van D_{over} (m)

Het iteratieproces wordt totaal maximaal vijfmaal doorlopen.

Als bij het eindresultaat van de iteratie de $D_{\text{over}} > 0$, dan wordt de toplaag 2 cm dunner gemaakt.

Tenslotte wordt met stapjes van 1 cm de toplaagdikte verhoogd totdat $f_{\text{gt}} > 1$.

In dit iteratieproces blijft de toplaagdikte minstens 0,04 m.

Als het resultaat van de iteratie dan nog niet voldoende is geconvergeerd, kan men de optie nogmaals kiezen.

9.3 Itereer Rho

De optie “Itereer Rho” werkt op ongeveer dezelfde wijze als “itereer D”. Het enige verschil is dat in het begin van het iteratieproces gewerkt wordt met de volgende formule:

$$\rho_s = \max\left((\rho_s - \rho) \cdot \frac{D - D_{\text{over}}}{D} + \rho ; \rho \right) \quad (9.2)$$

Het iteratieproces wordt totaal maximaal vijfmaal doorlopen.

Als bij het eindresultaat van de iteratie de $D_{\text{over}} > 0$, dan wordt ρ_s met 80 kg/m^3 kleiner gemaakt.

Tenslotte wordt met stapjes van 40 kg/m^3 de ρ_s verhoogd totdat $f_{\text{gt}} > 1$.

In dit iteratieproces blijft de soortelijke massa tussen ρ en 3999 kg/m^3 .

Het levert uiteindelijk een soortelijke massa van de toplaag die nog net het toetsresultaat ‘goed’ geeft ten aanzien van de toplaagstabiliteit onder golfbelasting.

10 Referenties

Klein Breteler, M. e.a. (1991)

Taludbekledingen van gezette steen

Analytische en numerieke berekening van stijghoogte onder de toplaag

Sectie 3: Verificatie van de analytische methode voor het berekenen van het stijghoogteverschil met Deltagootmetingen

Appendix B: stijghoogte in het filter volgens analytische model

WL | Delft Hydraulics, verslag M1795/H195, deel XIX, augustus 1991

Klein Breteler, M. (2000)

Grootschalig modelonderzoek naar stabiliteit van taludbekledingen

Analyse van resultaten van Deltagootproeven, band A: tekst

WL | Delft Hydraulics, verslag H3272, mei 2000

Klein Breteler, M. (2002)

Eenvoudige toetsmethode voor havendammen

WL | Delft Hydraulics, verslag H4048, juli 2002

Klein Breteler, M. (2005a)

Documentatie Steentoets 4.05

WL | Delft Hydraulics, verslag H4423/H4134, november 2005

Klein Breteler, M., (2005b)

Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen

Reststerkte van steenzetting met zuilen na initiële schade

WL | Delft Hydraulics, verslag H4327, november 2005

Klein Breteler, M., R. 't Hart en B. Wichman (2005c)

Rekenhart van ANAMOS

Specificaties van de software

RWS/DWW en WL | Delft Hydraulics, verslag, april 2005

Klein Breteler, M., en W. Eysink (2005d)

Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen

Langeduursterkte van steenzettingen

WL | Delft Hydraulics, verslag H4475, november 2005

Klein Breteler, M., C. Kuiper en A. Bezuijen (2006a)

Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen

Invloed scheve golfaanval op stabiliteit van steenzettingen

WL | Delft Hydraulics, verslag H4420, maart 2006

Klein Breteler, M., I. van de Werf en I. Wenneker (2006b)
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen
Kwantificering golfbelasting en invloed lange golven
WL | Delft Hydraulics, conceptverslag H4421, juni 2006

Klein Breteler, M., en I. van de Werf (2006c)
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen
Toetscriterium voor ingegoten steenzettingen
WL | Delft Hydraulics, conceptverslag H4635, februari 2006

Klein Breteler, M., en I van der Werf (2006d)
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen
Kennisontwikkeling ten behoeve van Steentoets2006
WL | Delft Hydraulics, verslag H4421, november 2006

Klein Breteler, M. (2009a)
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen
Gebruikershandleiding Steentoets 2008
Deltares, verslag H4846, januari 2009

Klein Breteler, M. (2009b)
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen
Validatie Steentoets2008
Deltares, verslag H4846, januari 2009

Kuiper, C., M. Klein Breteler, L.N. Booster en W. Eysink (2006)
Stabiliteit van gezette steenbekledingen op havendammen
Afleiding van een verbeterde toetsmethode voor de toplaag
WL | Delft Hydraulics, verslag H4432, februari 2006

Peters, D.J. (2006)
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen
Structuurschema voor implementatie van klemming in ANAMOS
Hasko, conceptrapport, 1 mei 2006

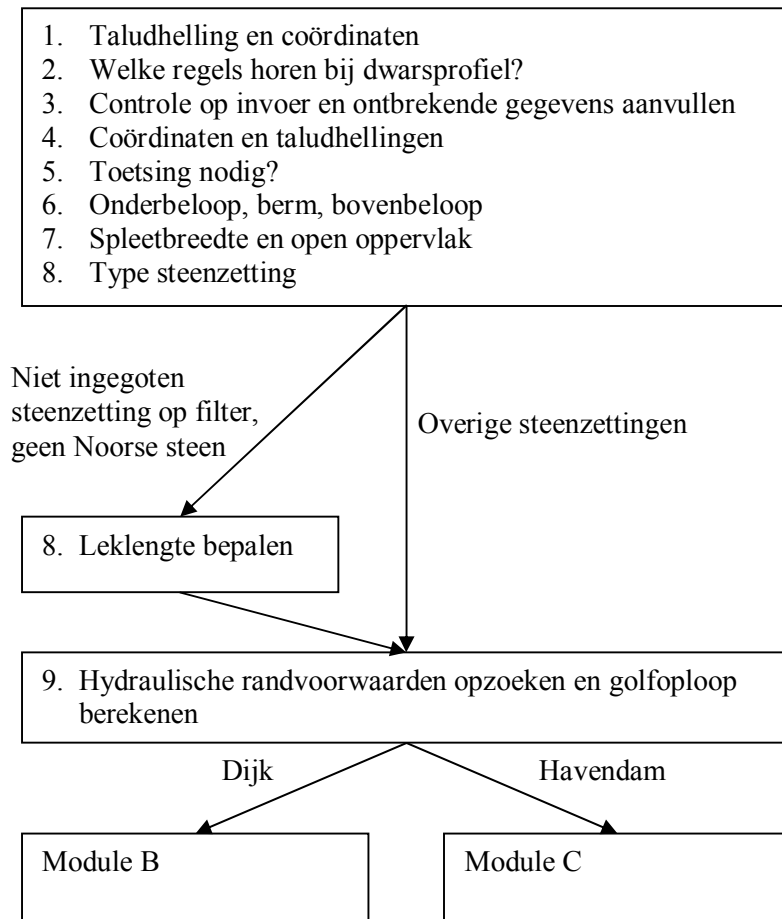
Peters, D.J. (2007)
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen
Kennisontwikkeling ten behoeve van Steentoets, het implementatie gereedmaken van het
klemmingsonderzoek
Royal Haskoning, verzamelde memo's, uitgave RWS, maart 2007

Rudolph D. , M. Klein Breteler (2005)
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen
Analyse van de stabiliteit van basalt
WL | Delft Hydraulics, verslag H4422, februari 2005

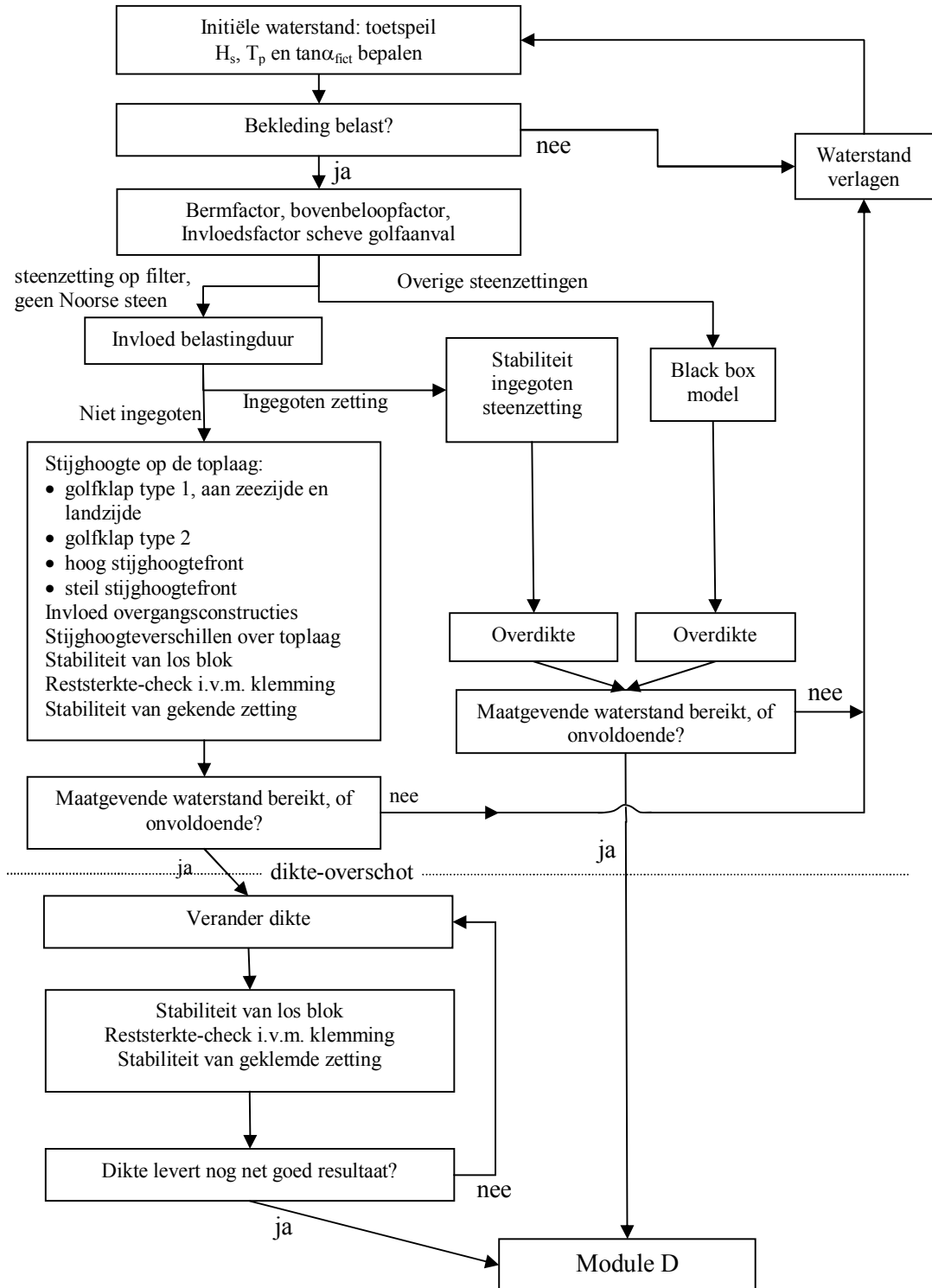
Technisch Rapport Steenzettingen
TAW, 2003

Wouters e.a. (2006)
Toetsmethodiek Noorse steen
Infram rapport 04i034, november 2006

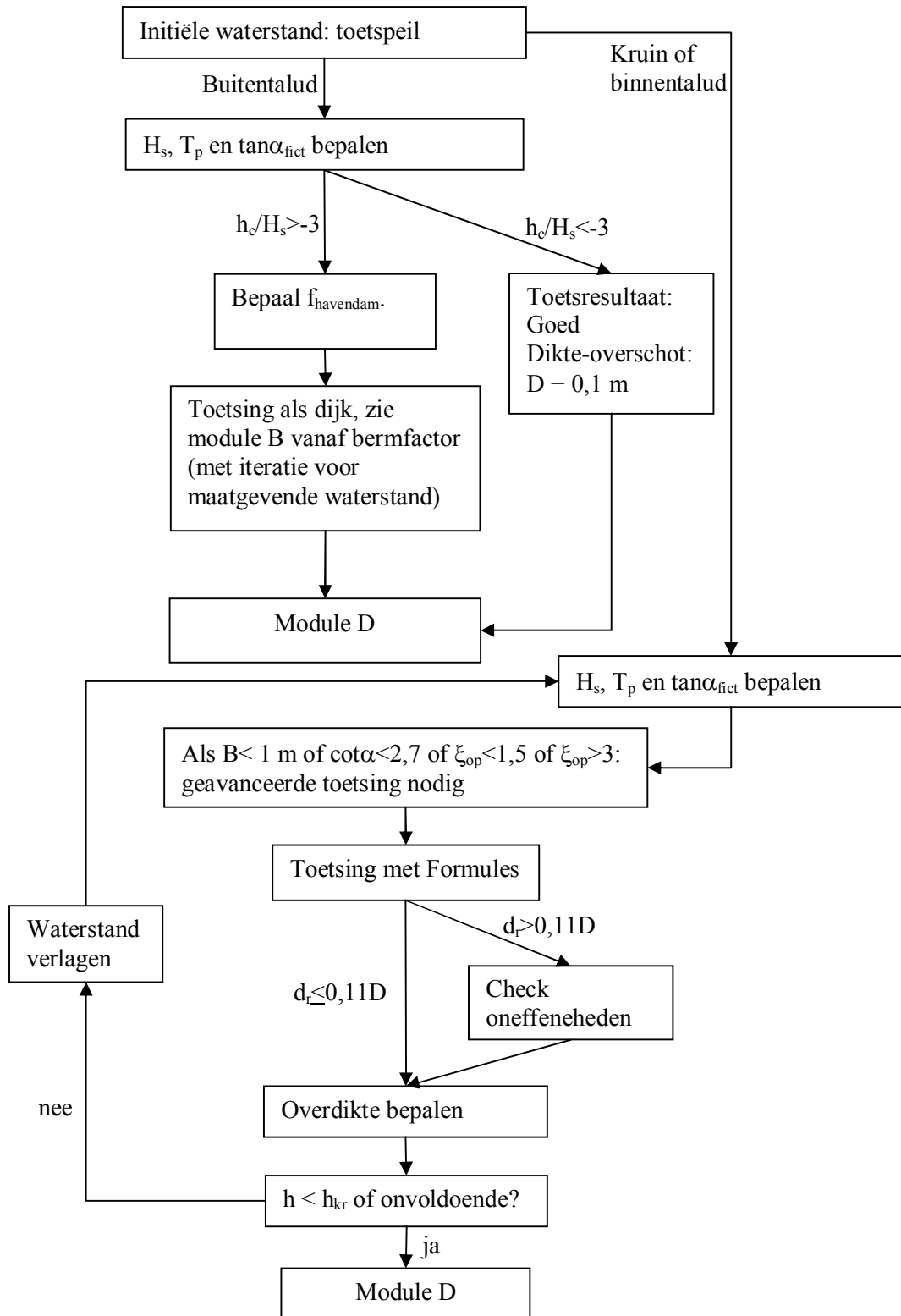
A Globaal stroomschema module A: algemeen



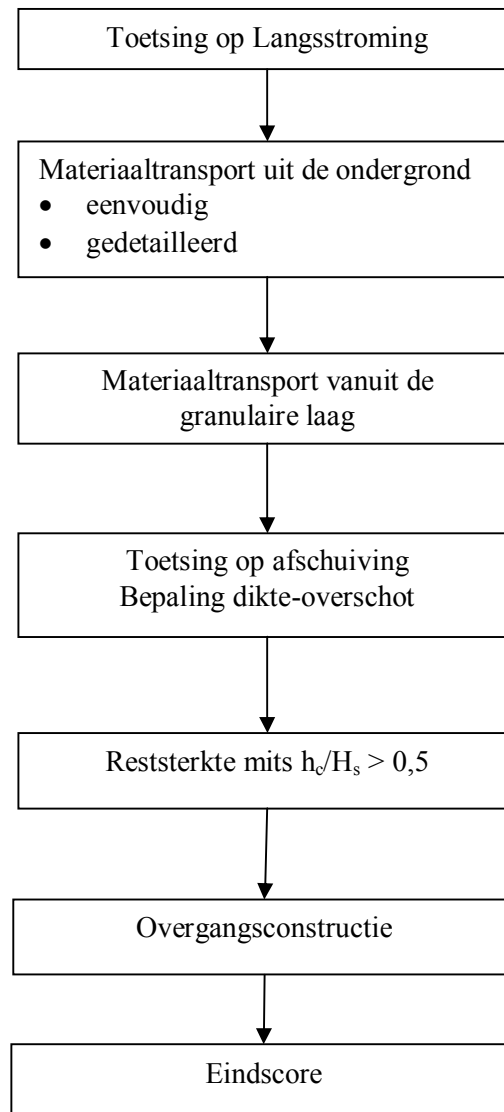
B Globaal stroomschema module B: dijken



C Globaal stroomschema module C: havendammen



D Globaal stroomschema module D: overige bezwijkmechanismen



E Belangrijkste subroutines en functies

In onderstaande opsomming zijn niet alle subroutines en functies genoemd, maar alleen de belangrijkste voor het begrijpen van het rekenproces. Steeds is de naam van de subroutines of functie vermeld, en als daarin belangrijke subroutines of functies worden aangeroepen, dan zijn die eronder gezet met een tab ervoor.

Module: ConstructieEnBelastingkenmerken

(losse functies en subroutines die vanuit sheet worden aangeroepen)

AlgKenm_hoort_bij_dwp
AlgKenm_Z_bodem
AlgKenm_tana_bodem
AlgKenm_Verstekwaarde
 HaalUitSheetInfo
AlgKenm_BBlok
AlgKenm_LBlok
AlgKenm_opening
 HaalUitSheetInfo
AlgKenm_rho
AlgKenm_D15inwas
AlgKenm_n_inwas
AlgKenm_Yl
AlgKenm_Yr
Etc

VerwisselZ1
AlgKenm_Zb
AlgKenm_Zo
AlgKenm_Zl
AlgKenm_Zr

AlgKenm_tana
 AlgKenm_Bereken_tana
AlgKenm_BSegment

AlgKenm_Segmenttype
 Local_SegmentType

AlgKenm_typesteenzzetting
AlgKenm_ToplaagIsZuil
AlgKenm_CheckToplaag
 AlgKenm_toetsing
AlgKenm_s
 Bereken_s
AlgKenm_Omega

AlgKenm_Af1 en AlgKenm_Af2
 AlgKenm_Af
AlgKenm_Bf1 en AlgKenm_Bf2
 AlgKenm_Bf

AlgKenm_kf

AlgKenm_ktop_stoot

AlgKenm_Voeg

Bepaal_ktop_voeg

Filter: AlgKenm_Aftop en AlgKenm_Bftop

Inwas: AlgKenm_Ai en AlgKenm_Bi

Geotextiel: AlgKenm_AgTg en AlgKenm_BgTg

AlgKenm_a_spleet

AlgKenm_b_spleet

AlgKenm_k_voeg

AlgKenm_ktop_langs

AlgKenm_Voeg

Bepaal_ktop_voeg

Filter: AlgKenm_Aftop en AlgKenm_Bftop

Inwas: AlgKenm_Ai en AlgKenm_Bi

Geotextiel: AlgKenm_AgTg en AlgKenm_BgTg

AlgKenm_a_spleet

AlgKenm_b_spleet

AlgKenm_k_voeg

isIngegoten

AlgKenm_logicainvoer

Module: KTopLeklengte

(losse functies en subroutines die vanuit sheet worden aangeroepen)

AlgKenm_Aro_Gat

AlgKenm_ktop_gat

Bepaal_ktop_gat

AlgKenm_ktop

AlgKenm_leklengte

TOplaagOpDijk_MaatgevendeWaterstand

(rekenhart)

ToplaagOpDijk_Iteratie_MaatgevendeWaterstand

While-statement waarin maatgevende waterstand wordt verhoogd en verlaagd

ToplaagOpDijk_Bereken_Parameters

ToplaagOpDijk_Bereken_FictieveTaludHelling

ToplaagOpDijk_ScheveGolfAanval

TOplaagOpDijk_BoordelingSteenZettingBelast

ToplaagOpDijk_BerekenBermFactoren

Type 3 en 6:

ToplaagOpDijk_Belastingduur

ToplaagOpDijk_Invloedsfactoren

ToplaagOpDijk_MaatgevendStijghVerloop

ToplaagOpDijk_StijghoogteVerschil

TOplaagOpDijk_StabiliteitLosBlok

Als klemming: ToplaagOpDijk_RestSterkte

ToplaagOpDijk_Klemming

Ingegoten:

ToplaagOpDijk_Belastingduur

ToplaagOpDijk_Invloedsfactoren

ToplaagOpDijk_StabIngegotenSteenzetting

Overige types:

ToplaagOpDijk_BlackBox

Module: Overige bezwijkmechanismen

(losse functies en subroutines die vanuit sheet worden aangeroepen)

- Overig_score_stroming
- Overig_score_filterEenvoudig
- Overig_ScoreFilter
 - AlgKenm_Af
 - AlgKenm_Bf
- Overig_ScoreTransportDetail
 - Overig_ScoreTransportMetGeoOpZand
qcr
 - Overig_ScoreTransportMetGeoOpKlei
qcr
 - Overig_ScoreTransPortZonderGeo
qcr
- Overig_i_op
 - ToplaagOpDijk_Bereken_FictieveTaludHelling
 - ToplaagOpDijk_Belastingduur
 - ToplaagOpDijk_Invloedsfactoren
 - HoogStijghoogteFront
 - SteilStijghoogteFront
- Overig_i_neer
 - ToplaagOpDijk_Bereken_FictieveTaludHelling
- Overig_score_uitspoel
- Overig_score_afschuif
 - Overig_score_afschuif_sub
- Overig_bklei_o
 - Overig_score_afschuif_sub
- Overig_score_reststerkte
 - ToplaagOpDijk_Bereken_FictieveTaludHelling
 - ToplaagOpDijk_Belastingduur
- Overig_t_restf
 - ToplaagOpDijk_BerekenBermFactoren
 - ToplaagOpDijk_ScheveGolf_C_beta
- Overig_t_restk
 - Overig_Bereken_t_restk

Volgen van het rekenproces

Het rekenproces kan stap voor stap gevolgd worden door een stop te plaatsen in de code. Ga met alt-F11 naar de code en zoek de functie of subroutine. Als het rekenresultaat van een specifieke cel gecontroleerd moet worden, zoek dan de functie die aan deze cel is gekoppeld met ctrl-F. Kies een geschikte statement en plaats een stop met F9 of links klikken in de kantlijn. Er verschijnt dan een bruine cirkel in de kantlijn en de statement wordt bruin gekleurd. Vervolgens gaat men naar de sheet en slaat F2 en enter aan om deze cel te laten rekenen. Het rekenproces zal stoppen bij de stop, waarna stap voor stap verder gerekend kan worden met F8. Gebruik shift-F8 om stap voor stap verder te gaan, maar niet in alle

subroutines af te dalen. De waarde van reeds berekende variabelen verschijnt in een vlaggetje als de cursor boven de betreffende variabele gehangen wordt. Met F5 gaat het automatische rekenproces weer verder.

F Testprocedure

De testprocedure bij de ontwikkeling van STEENTOETS2008 omvatte de volgende fases:

1. bij het programmeren van een subroutine is direct gecontroleerd of er foutmeldingen ontstaan door programmeerfouten
2. voor drie profielen, namelijk twee dijken en een havendam, zijn alle tussenresultaten nagerekend
3. er zijn tientallen dijkprofielen doorgerekend met Steentoets, en vervolgens handmatig nagerekend, waarbij alle uithoeken van het programma aan bod zijn gekomen
4. alle invoer en uitvoer van de doorgerekende dijkprofielen zijn vastgelegd

Nadat er na het programmeren geen foutmeldingen meer ontstonden door typfouten en andere programmeerfouten, zijn in de tweede fase van de testprocedure een set van drie dijkprofielen handmatig nagerekend, waarmee het rekenproces in eerste instantie is gecontroleerd. De eerste van deze drie dijkprofielen heeft diverse steenzettingen zonder filterlaag en een ingegoten steenzetting, terwijl de tweede juist diverse steenzettingen heeft met filterlaag. Het derde dijkprofiel betreft een havendam.

In de tweede fase van de testprocedure zijn alle berekeningen met betrekking tot deze drie dijkprofielen nagerekend en zijn alle fouten die in het programma geconstateerd zijn verbeterd. Gezien het feit dat dit de eerste berekeningen zijn met de programmatuur, duurde deze fase betrekkelijk lang.

Na het succesvol doorlopen van de tweede fase, zijn enkele tientallen dijkprofielen ingevoerd die representatief zijn voor alle mogelijke variaties aan steenzettingen en dijkprofielen.

In de derde fase zijn deze berekeningen allemaal zorgvuldig gecontroleerd en zijn alle fouten die in het programma geconstateerd zijn weer verbeterd.

De vierde fase van de testprocedure bestaat uit het vastleggen van alle resultaten van de berekeningen in de Excel-spreadsheet. Dit levert een databestand met invoer en de daarbij horende uitvoer van Steentoets. Als in de toekomst het programma wordt veranderd, kan met deze data eenvoudig gecontroleerd worden of de veranderingen ook onbedoelde neveneffecten hebben.

G Waterstandsverloop en belastingduur op Oosterschelde

Waterstandsverloop en belastingduur op Oosterschelde

Het waterstandsverloop en de daarmee samenhangende belastingduur op de steenzettingen wordt in de Oosterschelde sterk bepaald door het sluitingsregime van de kering. In de HR2006 wordt slechts één scenario gegeven voor het sluiten van de kering, maar er bestaan ook andere scenario's die mogelijk maatgevend zijn.

De basis voor deze bijlage is gelegd door Provoost (notitie Sluitingsregime Oosterscheldekering en gevolgen voor het ontwerp; 3e concept d.d. 11-09-2008). Een groot deel van de onderstaande teksten zijn daarop gebaseerd, dan wel daaruit overgenomen. Op grond van de uitgangspunten in die notitie is voor Steentoets2008 een verblijfsduur voor verschillende zones op het talud afgeleid.

De Oosterschelde betreft een watersysteem waarvan de waterstand onder zware stormomstandigheden door de aanwezigheid van de stormvloedkering in de monding sterk wordt beïnvloed. Alhoewel er erg veel mogelijkheden zijn met de stormvloedkering, zijn er een tweetal scenario's vastgelegd volgens welke de kering zal worden gesloten en weer geopend in de gevallen waarin dat nodig (b)lijkt.

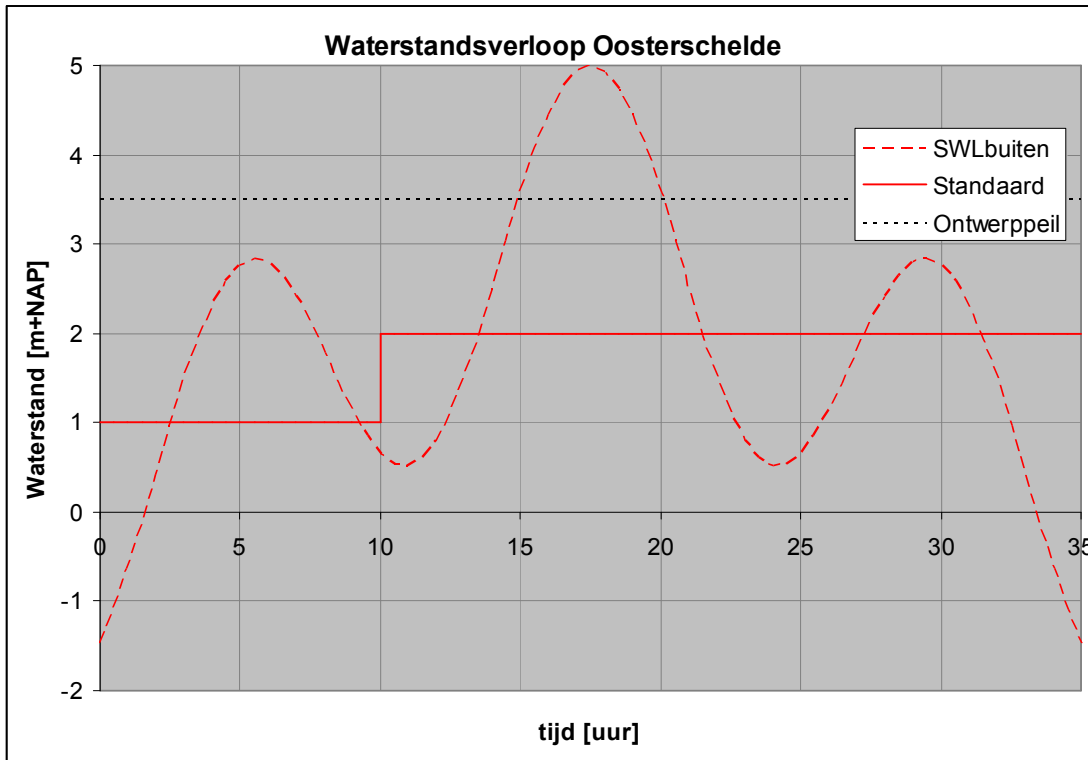
Deze scenario's betreffen de Standaard sluiting en de Noodsluiting. Die scenario's betreffen situaties waarbij de waterstand op de Noordzee dusdanig is dat de kering dicht moet. Vooral voor de bekledingen lager op het talud zouden echter ook situaties maatgevend kunnen zijn waarbij de wind wel extreem is en dus ook de golven extreem zijn, maar waarbij de waterstanden minder hoog komen. Daarom wordt ook de (net) niet-sluiting als te beschouwen scenario opgevoerd.

Standaard sluiting (HR2006)

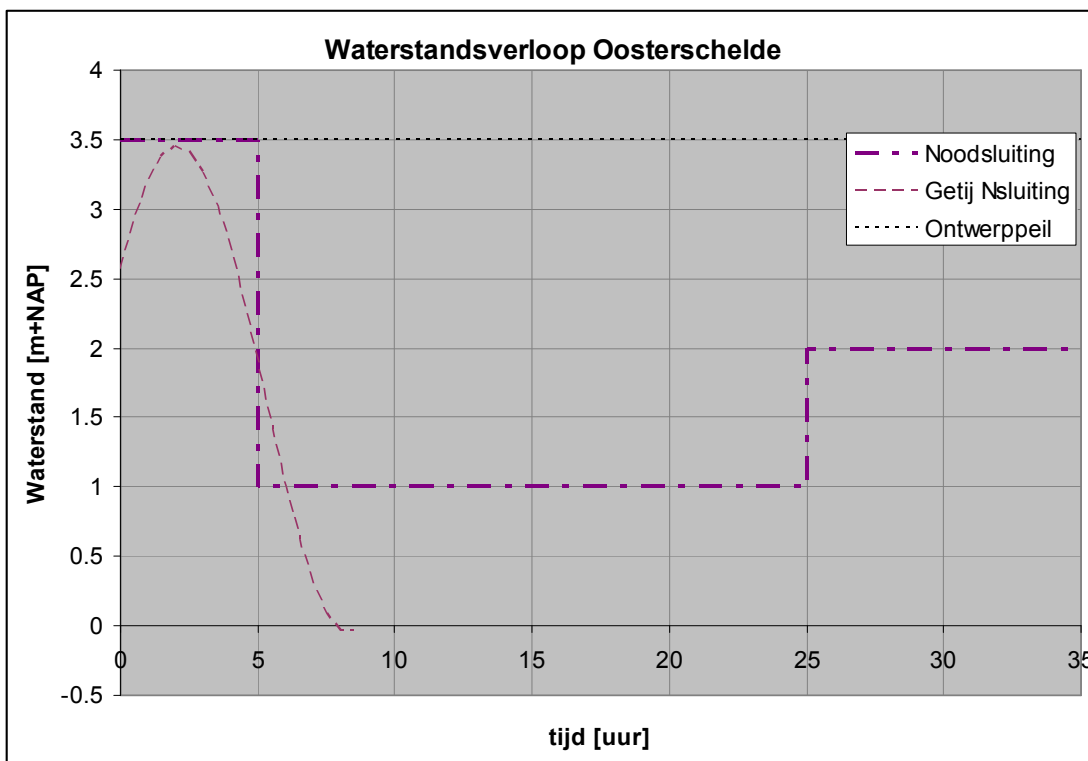
De Standaardsluiting (volgens HR2006) vindt plaats als er vroegtijdig een waterstand buiten de kering wordt voorzien van ruim NAP+5 m. De kering wordt dan gesloten zodanig dat het eerstvolgende hoogwater wordt afgesnoten waardoor op de Oosterschelde een gemiddelde waterstand van NAP+1 m resulteert. Rond laagwater gaat de kering weer even open zodanig dat de gemiddelde waterstand op de Oosterschelde kan oplopen tot NAP +2 m. Daarna blijft de kering dicht tot het einde van de storm.

In figuur G1 is weergegeven hoe het er dan uit komt te zien voor het kantelpunt van de Oosterschelde, dat is de as Stavenisse - Wemeldinge (Ontwerppeil, NAP +3,50m). De sterk geschematiseerde 'waterstandskromme' voor Stavenisse ligt gedurende 10 uur op NAP +1,0m en vervolgens gedurende 25 uur op NAP +2,0m. Dit is de in het HR2006 (figuur 2-11) opgenomen waterstandsverlooptlijn in de Oosterschelde.

De scheefstand in het Oosterscheldebekken (maximaal $3,95 - 3,45 = 0,50$ m) is te herleiden uit de Ontwerp-/Toetspeilen. Voor een willekeurig dijkvak aan de Oosterschelde dient voor de 1^e 10 uur 2,5m van het Toetspeil te worden afgetrokken, voor de resterende 25 uur, 1,5 m. Het verloop tussen deze twee waterstanden is geschematiseerd met een sprong.



Figuur G1: Verloop waterstand op de Oosterschelde bij Standaard sluiting.



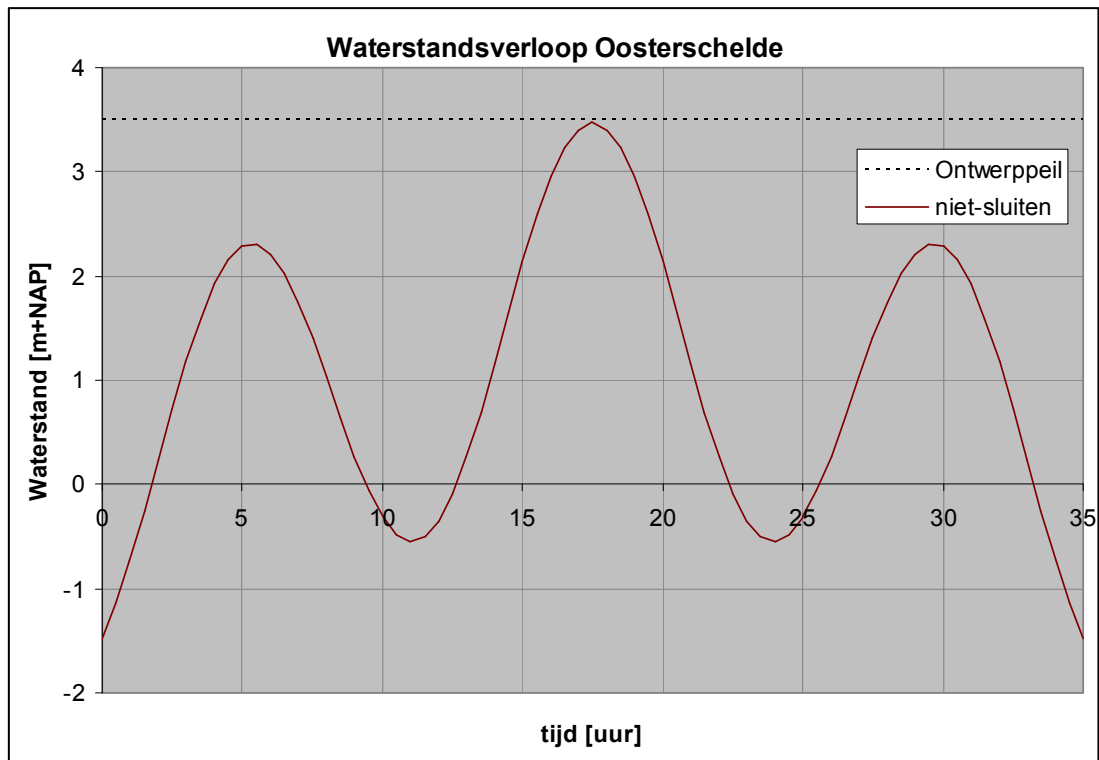
Figuur G2: Verloop waterstand op de Oosterschelde bij Noodsluiting (levert ook het ontwerppeil voor de Oosterschelde).

Noodsluiting

Uitgangspunt bij de Noodsluiting is dat de kering zelf sluit omdat de waterstand een peil van NAP +3,00m bij de kering overschrijdt. Gedurende de 1e top van het getij wordt dan bij Stavenisse een peil van maximaal NAP+3,50m bereikt. Bij wezenlijk hogere buitenwaterstanden kan het niet anders dan dat ook de voorspellingen van dien aard zijn dat de kering de Standaard sluitingstrategie zal volgen. Na deze relatief lage 1e hoogwaterpiek (NAP +3m – NAP +3,5m) is het mogelijk om de kering te openen en een binnenwaterstand van NAP +1m bij Stavenisse te realiseren.

De volgende top van het getij wordt aldus afgesnoten en rond het daarop volgende laagwater wordt de kering geopend en weer gesloten om de laatste hoogwaterpiek van de storm bij een waterstand van NAP +2m bij Stavenisse af te snuiten. De overgangen van de verschillende stadia zijn wederom sterk geschematiseerd. De geschematiseerde ‘waterstandskromme’ voor Stavenisse komt dan uit op 5 uur op NAP +3,5m, 20 uur op NAP +1,0m en 30 uur op NAP +2m (zie figuur G2).

Ook dit resulterende waterstandsverloop op de Oosterschelde is dus, nadat overgegaan is tot het sluitingsregime, onafhankelijk van het getij en de stormopzet in de Noordzee.



Figuur G3 : Verloop waterstand op de Oosterschelde bij Niet-sluiten.

Niet-sluiting

Bij een buitenwaterstand die conform de voorspelling lager is dan NAP+3m en dus een waterstand bij Stavenisse oplevert die lager is dan NAP+3,5m, sluit de kering niet. Op dat moment komt er dus een getij met stormopzet naar binnen met een hoogwaterpiek halverwege de storm op NAP+3,5m of lager (conform het schema voor getijgebieden in het HR2006). Deze variant kent ook lage waterstanden en dus golfbelastingen op de lage bekledingen.

Deze situatie is dus expliciet niet een storm die de 1:4000-waterstand oplevert, maar de wind en dus ook de golven kunnen gegeven de beperkte waterstanden wel degelijk extreem zijn. Dit scenario mag daarom niet buiten beschouwing blijven bij het toetsen (en ontwerpen) van bekledingen op de dijken langs de Oosterschelde.

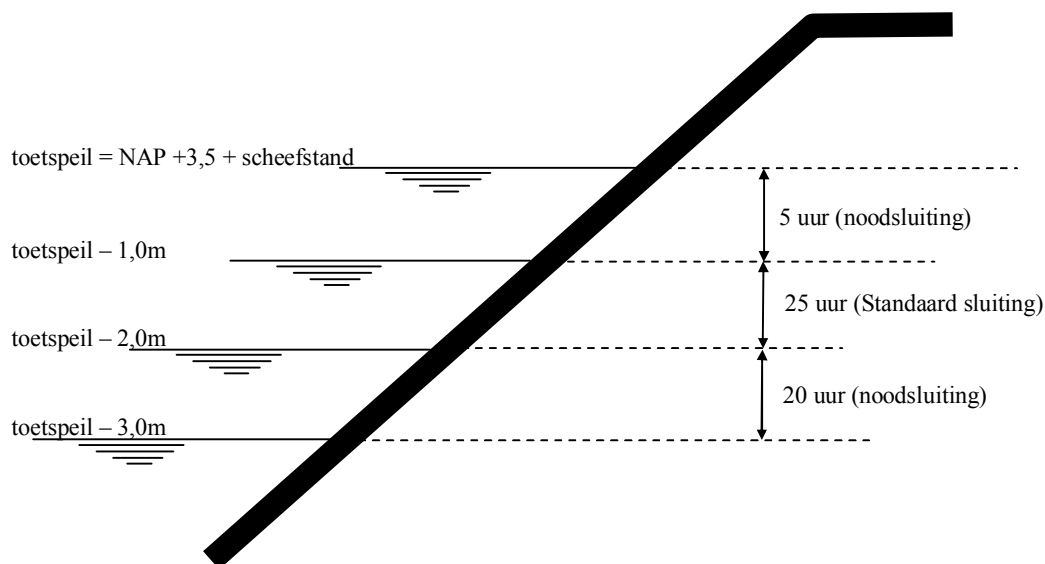
Waterstanden en belaste zone

De sluiting van de kering is niet alleen van invloed op de hoogte van de binnenwaterstand, ook het waterstandverloop wordt beïnvloed door de sluiting. Te denken valt aan de duur van het sluiten, de lekkage van de kering indien gesloten, eventuele translatiegolven en de scheefstand van het bekken. Die scheefstand is te herleiden uit de toets(- en of ontwerp)peilen. De overige punten zorgen voor een onzekerheid betreffende de werkelijke peilen.

Voor het bepalen van de belaste zone en meer specifiek de belastingsduur en de daaraan gerelateerde factor voor de belasting en de sterkte van de steenbekleding wordt aangeraden om een bandbreedte van 1m (+0,5m en -0,5m) rondom de streefpeilen bij de verschillende sluitingen te hanteren. Er geldt dat alleen voor de Noodsluiting het peil NAP +3,5m als maximum wordt gehanteerd.

Op grond van de noodsluiting en de Standaard sluiting leidt dat voor de verschillende taluddelen tot de in figuur G4 gegeven belastingsduren.

Als wordt nagegaan welke belastingsduren de Niet-sluiting oplevert, dan zijn die voor de niveau's boven NAP +0,5 nooit maatgevend. Als vervolgens nog wordt bedacht dat bij een waterstand van NAP +0,5 m de feitelijke golfbelasting bij zware golfaanval nog fors onder dit niveau aangrijpt, dan zal duidelijk zijn dat met belastingsduren als gevolg van de Niet-sluiting geen rekening hoeft te worden gehouden.

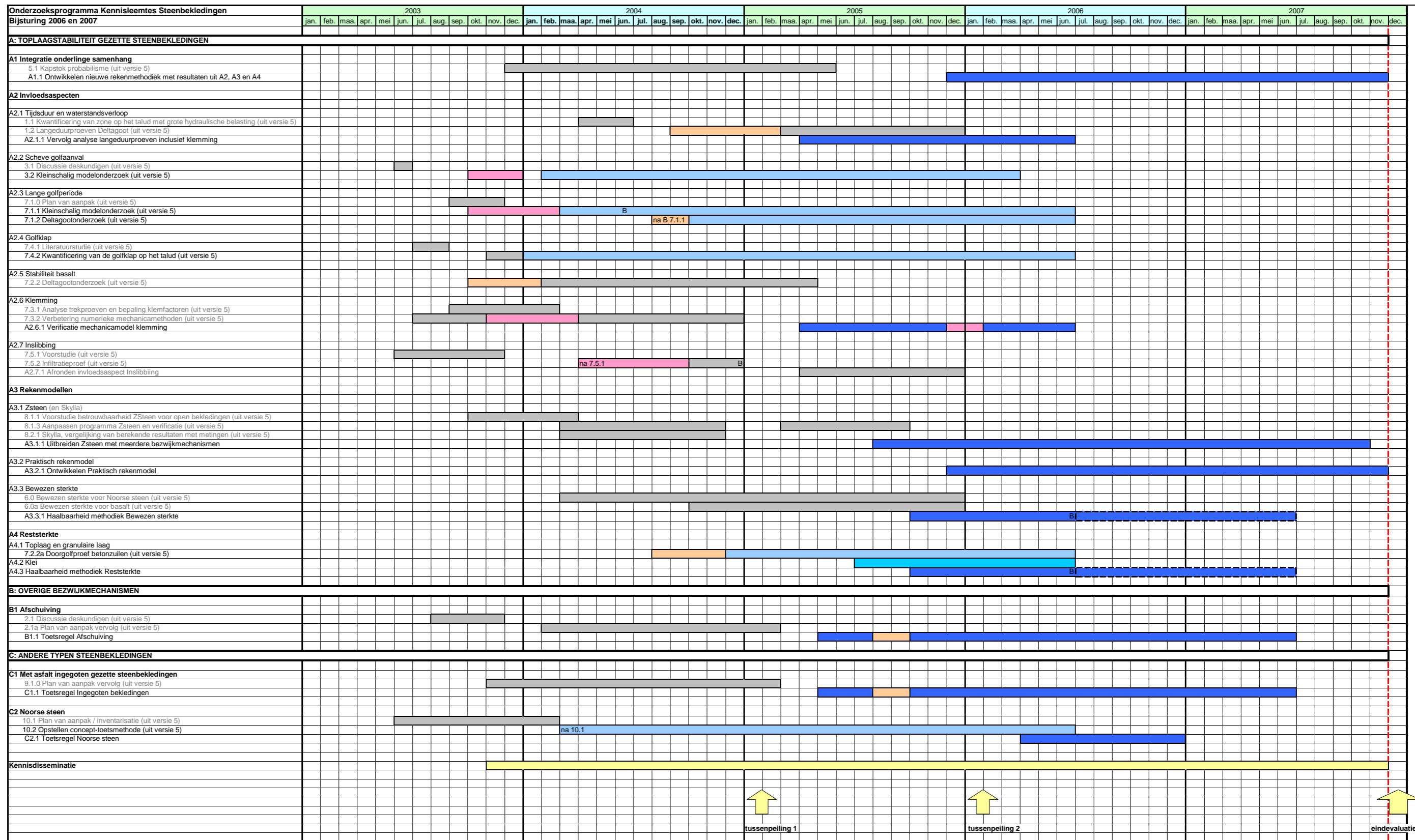


Figuur G4: zonering belastingsduren Oosterschelde

Hydraulische belastingen

Er wordt op gewezen dat nu bij het bepalen van de golfbelastingen er vanuit wordt gegaan dat de kering sluit op NAP+3m. Bij hogere waterstanden vindt er daarom geen correctie voor stroming meer plaats. Er wordt bij het bepalen van de golfbrandvoorwaarden dus geen rekening gehouden met sluitingen op lagere niveaus, ondanks dat die wel degelijk deel uitmaken van de sluitscenario's en zelfs maatgevend zullen zijn voor de bekledingen lager op het talud. De golfbelastingen zijn in geval van sluitingen op die niveaus dus mogelijk iets te laag.

H Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen



Planningschema
Versie 7 - 5 januari 2006

DIT PLANNINGSCHEMA IS EEN MOMENTOPNAME
VERMELDE TERMIJNEN ZIJN INDICATIEF EN KUNNEN IN DE LOOP VAN
HET ONDERZOEK VERANDEREN OP BASIS VAN NIEUWE INZICHTEN EN
ONTWIKKELINGEN.

- LEGENDA:**
- █ = Vervolgacties conform bijsturing 2005
 - █ = Bureaustudie
 - █ = Informatie reststerkte Wieringermeerdijk
 - █ = Deltagootonderzoek
 - █ = Overige proeven
 - █ = Algemeen
 - = Afgerond
 - = Afhankelijk van B
 - B** = Beslismoment go / no go