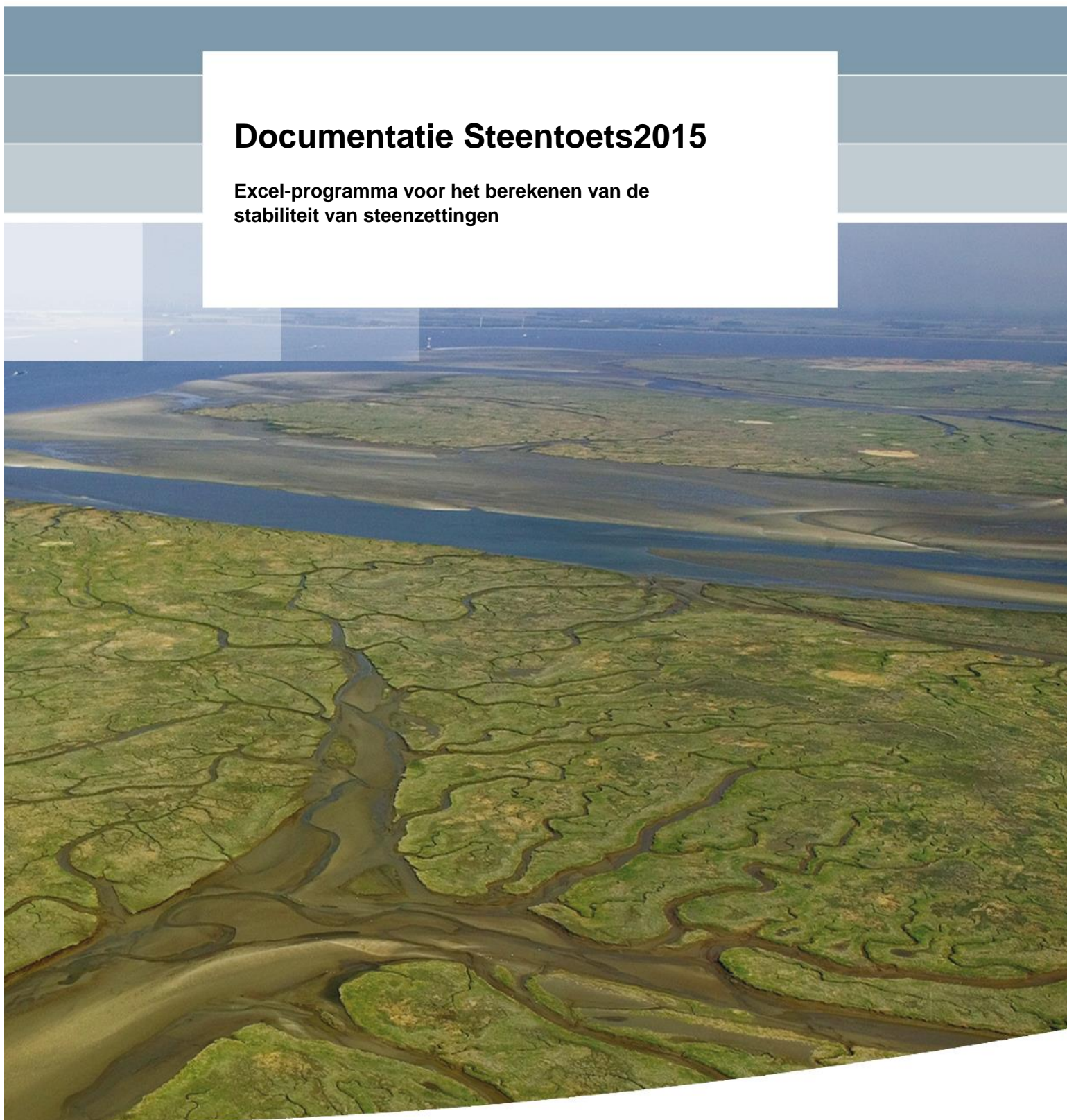


Documentatie Steentoets2015

**Excel-programma voor het berekenen van de
stabiliteit van steenzettingen**



Documentatie Steentoets2015

**Excel-programma voor het berekenen van de
stabiliteit van steenzettingen**

Mark Klein Breteler

1209832-006

Titel

Documentatie Steentoets2015

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Waterdienst	1209832-006	1209832-006-HYE-0006	155

Trefwoorden

Steenzettingen, taludbekledingen van gezette steen, dijkbekledingen, toetsing

Samenvatting

In het kader van de toetsing van de waterkeringen zoals voorgeschreven in de Waterwet dienen ook steenzettingen periodiek getoetst te worden. Om de toetsing te vereenvoudigen is door Rijkswaterstaat in 2006 het initiatief genomen om een computerprogramma te laten ontwikkelen dat al het rekenwerk en de beoordelingen uitvoert. Er is gekozen voor een programma op basis van Microsoft Excel, omdat dit bij alle diensten van Rijkswaterstaat en de waterschappen gemakkelijk geïnstalleerd kan worden zonder tussenkomst van de ICT-afdeling. Bovendien geeft het de mogelijkheid om gemakkelijk aanvullende berekeningen aan de spreadsheet toe te voegen.

In de afgelopen jaren is veel nieuwe kennis op het gebied van het toetsen van steenzettingen verworven in diverse onderzoeksprogramma's van Rijkswaterstaat (zoals het 'Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen'). In het rekenmodel STEENTOETS2015 zijn de nieuwste inzichten verwerkt als opvolger van STEENTOETS2014 (versie 14.1.2.1). Deze documentatie is opgezet voor Steentoets2015 versie 15.1.3.1.

Het onderhavige project is uitgevoerd in het kader van het meerjarige project 'Advisering steenbekledingen Zeeland' voor het Projectbureau Zeeweringen (PBZ). Dit projectbureau is opgericht ten behoeve van de renovatie van de steenzettingen in Zeeland en is een samenwerking van Rijkswaterstaat Zeeland en het Waterschap Scheldestromen. Contractueel is WVL van Rijkswaterstaat de opdrachtgever namens PBZ voor het onderhavige project. Het deel van het project dat gericht is op kennisontwikkeling sluit aan op het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen dat uitgevoerd is in de periode van 2003-2009 in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat namens PBZ.




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

Referenties

zaaknummer 31094141 / 45002226348 van 2 juni 2014

Contactpersoon RWS-WVL: dhr. K. Saathof

Contactpersoon Projectbureau Zeeweringen van RWS: dhr. Y. Provoost

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
14.1.1.1	Jul. 2014	M. Klein Breteler		R. 't Hart		M.R.A. van Gent	
15.1.1.1	Mei 2015	M. Klein Breteler		R. 't Hart		M.R.A. van Gent	
15.1.3.1	nov 2015	M. Klein Breteler		R. 't Hart		M.R.A. van Gent	

Status

definitief

Inhoud

Lijst van Symbolen	v
1 Inleiding	1
2 Werkbladen en menu	5
3 Structuur van rekenhart	9
3.1 Algemeen	9
3.2 Variabelen als structure	9
4 A: Bepaling algemene kenmerken van constructie en belasting	11
4.1 Belangrijke globale variabelen (switches)	11
4.2 Vaststellen welke regels bij elkaar horen in één dwarsprofiel	12
4.3 Enkele controles op de invoer en ontbrekende gegevens aanvullen uit de lijst default waarden	12
4.4 Geometrie van de dijk	15
4.5 Per regel vaststellen of er een toetsing moet worden uitgevoerd	18
4.6 Vaststellen of het een onderbeloop, berm, bovenbeloop, kruin of binnentalud is	18
4.7 Bepaling ervaringen aan de hand van de zorgplicht	19
4.8 Bepaling type steenzetting en ingieting	20
4.9 Veiligheidscoëfficiënten voor ontwerp	21
4.10 Spleetbreedte berekenen en open oppervlak	22
4.11 Hydraulische randvoorwaarden	23
4.12 Bepaling rekenwaarde van de toplaagdikte	27
4.12.1 Veiligheidsfactor voor toetsing m.b.t. reststerkte van de dijk	27
4.12.2 Stabiliteitsfactor van de toplaag voor ontwerpberekeningen	28
4.12.3 Berekening van de rekenwaarde van de toplaagdikte	29
4.13 Leklengte	29
4.13.1 Granulair materiaal	29
4.13.2 Geotextiel onder de zetting en onder het filter	31
4.13.3 Doorlatendheid toplaag van gezette steen	31
4.13.4 Doorlatendheid van een PBA toplaag	34
4.13.5 Leklengte	34
4.14 Golfploophoogte bij toetspeil	35
4.15 Dijk of havendam	37
5 B: Toetsing van de stabiliteit van de toplaag op het buitentalud	39
5.1 Algemene rekenmodule voor de toplaagstabiliteit op een dijk en buitentalud havendam	39
5.1.1 Maatgevende waterstand	39
5.1.2 Stabiliteit van flauwe taluds met een helling tussen 1:6 en 1:12	41
5.1.3 Twijfel/onvoldoende onderscheid	42
5.1.4 Minimaal benodigde toplaagdikte	42
5.1.5 Belastingkenmerken	44
5.2 Berekening golfcondities bij de betreffende waterstand	44
5.3 Fictieve taludhelling	45
5.4 Beoordeling of de steenzetting wel belast wordt	47

5.5	Bepaling bermfactor, bovenloopfactor en of de toplaag “onvoldoende” mag worden	49
5.5.1	Berm	50
5.5.2	Onder- en bovenbeloop	50
5.6	Invloed van scheve golfaanval	52
5.7	Belastingduur als functie van de locatie op de te toetsen steenzetting	52
5.7.1	Oosterschelde en rivierengebied	53
5.7.2	Overige gebieden	53
5.8	Invloedsfactoren voor de belastingduur	59
5.9	Maatgevend stijghoogteverloop op de toplaag	60
5.9.1	Golfklap van type 1	61
5.9.2	Golfklap van type 2	64
5.9.3	Hoog en steil stijghoogtefront	66
5.9.4	Karakteristieke punten in het stijghoogteverloop	69
5.9.5	Plaatsing punten tussen de overgangsconstructies	70
5.10	Stijghoogteverschil over de toplaag	79
5.11	Stabiliteit van los blok	86
5.12	Reststerkte van de toplaag en de kleilaag t.b.v. het beoordelen of klemming meegeteld mag worden	90
5.13	Klemming	92
5.13.1	Extreme momenten en dwarskrachten als $R_2 + R_3 + R_4 + R_5 > 0$	95
5.13.2	Extreme momenten en dwarskrachten als $R_2 + R_3 + R_4 + R_5 < 0$	96
5.13.3	Belasting	99
5.13.4	Aanwezige normaalkracht (sterkte)	99
5.13.5	Toetsing 105	99
5.14	Stabiliteit van ingegoten steenzettingen	107
5.15	Black box voor overige typen steenzettingen	110
5.15.1	Type 1: Toetsing van steenzetting op geotextiel op zand of klei	111
5.15.2	Type 2: Toetsing van steenzetting op goede klei	112
5.15.3	Type 4: Toetsing van geschakelde blokken op geotextiel op zand of klei	112
5.15.4	Type 5: Toetsing van geschakelde blokken op goede klei	113
5.15.5	Type 7: Noorse steen	114
5.15.6	Type 8: Doorgroeistenen	115
5.15.7	Type 9: blokken op een kant met slecht functionerende afstandhouders	115
5.15.8	Type 11: Toplaag en overlaging van polyurethaan gebonden breuksteen	116
6	C: Toetsing van stabiliteit van de toplaag op een havendam	121
6.1	Buitentalud van een havendam	122
6.2	Kruin en binnentalud van een havendam	123
7	D: Toetsing van de overige bezwijkmechanismen	129
7.1	Stabiliteit toplaag voor hergebruikte betonzuilen	129
7.2	Toetsing op langsstroming	129
7.3	Materiaaltransport vanuit de ondergrond	130
7.3.1	Eenvoudige toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond	130
7.3.2	Gedetailleerde toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond	132
7.4	Materiaaltransport vanuit de granulaire laag	136
7.5	Toetsing op afschuiving	137
7.5.1	Oude methode uit VTV2006	137
7.5.2	Nieuwe methode	138
7.6	Reststerkte	141
7.6.1	Reststerkte van de filterlagen	141

7.6.2	Reststerkte van de kleilaag	142
7.6.3	Duur totdat de steenzetting bezwijkt	143
7.6.4	Score met betrekking tot reststerkte	144
7.7	Overgangsconstructie	145
8	Eindscore	147
8.1	Toetsing	147
8.1.1	Aanpassen van de score aan WTI2017	148
8.2	Ontwerp	149
9	Overige functies	151
9.1	Itereer Hs	151
9.2	Itereer D	152
9.3	Itereer Rho	152
10	Literatuur	153
	Bijlage(n)	
A	Globaal stroomschema module A: algemeen	A-1
B	Globaal stroomschema module B: dijken	B-1
C	Globaal stroomschema module C: havendammen	C-1
D	Globaal Stroomschema module D: overige bezwijkmechanismen	D-1
E	Belangrijkste subroutines en functies	E-1
F	Testprocedure	F-1
G	Waterstandsverloop en belastingduur op Oosterschelde	G-1
G.1	Standaard sluiting (HR2006)	G-1
G.2	Noodsluiting	G-3
G.3	Niet-sluiting	G-3
G.4	Waterstanden en belaste zone	G-4
G.5	Hydraulische belastingen	G-4

Lijst van Symbolen

verslag	in code	omschrijving
A_g	gatgrootte1_ti of 2 of 3	Gatoppervlak (m^2)
A_{ro}	Aro	Relatief open oppervlak (-)
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_kleimming	Ligging van het zwaartepunt van het momentenvlak (m)
b'	btop_t	Kwadratische weerstandsterm van toplaag (s^2/m^2)
b_1	b1_ti	Dikte bovenste filterlaag (m)
b_2	b2_ti	Dikte tweede filterlaag (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'_{gat}	btop_gat_t	Kwadratische weerstandsterm van gat in toplaag (s^2/m^2)
$[b_g T_g]_1$	BgTg1_t	Weerstandsterm van geotextiel tussen toplaag en filter (s^2/m)

verslag	in code	omschrijving
$[b_g T_g]_2$	BgTg2_t	Weerstandsterm van geotextiel tussen filter en ondergrond (s^2/m)
b_g		Kwadratische weerstandsterm van geotextiel (s^2/m^2)
b_i	bi1_t of 2	Kwadratische weerstandsterm van inwasmateriaal (s^2/m^2)
b_{klei}	bklei_ti	Dikte van kleilaag (m)
b_{kleio}	bklei_o_ti	Overdikte van kleilaag (m)
$b_{klei,t}$	b_klei	Kleidikte op niveau $h_{toets} - 0,5H_{stoets}$ (m)
b_{sector}	sector	Breedte van de golfrichtingssector ($^\circ$)
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_{dijk}	dijkbreedte	Breedte van de dijk op niveau van toetspeil (m)
B_g	B_g_t	Gatgrootte in de toplaag (breedte van het gat, haaks op de dijkas, langs het talud gemeten) (m)
B_{ij}	B(ij)	Coëfficiënt voor het berekenen van het stijghoogteverschil tussen punt i en punt j (m)
$B_{klap50\%}$	B_klap_t	Breedte van de golfklap (langs het talud gemeten) (m)
B_{kruin}	Bkruin_t	Breedte van de kruin (m)
B_{segm}	Bsegment_ti	Breedte van het dwarsprofielsegment (m)
$B_{trog20\%}$	B_trog20_t	Breedte van de trog tussen de golfklap en de restanten van het golffront, gemeten op 20% van de fronthoogte (m)
B_o	B_ondermijning	Diameter van de ondermijning van de toplaag bij falen = 3 m
c	c_filter_t	Constante bij het filter ($m^{-0,77}$)
c_1 en c_2	c_1_t en c_2_t	Coëfficiënt voor het berekenen van de stijghoogte op de toplaag tijdens de golfklappen van het type 2 (-) en (m)
c_d	c_d_t	Relatieve diepte van de bovenste overgangsconstructie ten opzichte van de voet van het stijghoogtefront (-)

verslag	in code	omschrijving
C _{gradiënt}	c_gradiënt	Gradiënt in formule voor f_4 (klemming) (-)
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)
C _m	c_m_t	Macht bij het filter (-)
C _{macht}	c_macht	Macht in formule voor f_4 (klemming) (-)
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 $1/f_{\text{bovenbeloop}}$ wordt als de bekleding boven de waterlijn ligt (-)
C _{diep}	C_diep_t	Invloedsfactor voor diep gelegen steenzettingen (-)
C _{fijnfilter}	C_fijnfilter	Factor voor de invloed van een fijn filter voor de berekening van de stabiliteit van los blok (-)
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 (-)
C _{PBA}	c_PBA	Beddingsconstante ondergrond voor berekening buigtrekspanning van een PBA toplaag of overlaging (Pa/m)
C _{PBA,zand}	c_PBA_zand	C _{PBA} bij een PBA toplaag en een ondergrond van zand (default 64 MPa/m) (Pa/m)
C _{PBA,klei}	c_PBA_klei	C _{PBA} bij een PBA toplaag en een ondergrond van klei (default 30 MPa/m) (Pa/m)
C _{PBA,filter}	c_PBA_filter	C _{PBA} van de filterlaag, aangehouden bij een PBA overlaging (default 125 MPa/m) (Pa/m)
d _B	d_berm_t	Bermdiepte ($h - h_{\text{berm}}$) (m)
d _i	d_l_t	Laagdikte op het talud ter plaatse van de golfklap (m)
d _m	d_m	maatgevende waterdiepte op een halve diepwatergolf lengte van de teen van de dijk (m)
d _r	d_oneffen_ti	Hoogte van oneffenheden in het zettingoppervlak van een havendam (m)
D	D	Dikte toplaag (m)

verslag	in code	omschrijving
D _{15,PBA}	D15_PBA	D ₁₅ van de PBA toplaag of overlaging (Korrelgrootte dat door 15% op basis van gewicht wordt onderschreden) (m)
D _{b15}	D15zand_ti	Korrelgrootte van zand dat door 15% op basis van gewicht wordt onderschreden (m)
D _{b50}	D50zand_ti	korrelgrootte van zand dat door 50% op basis van gewicht wordt onderschreden (m)
D _{b90}	D90zand_ti	Korrelgrootte van zand dat door 90% op basis van gewicht wordt onderschreden (m)
D _{bekl}	D_bekl	totale dikte van bekledingsmateriaal op het zand (m)
D _{ingieting}	D_ingieting_ti	Diepte tot waar het gietasfalt tussen de stenen zit (m)
D _{f15}	D15f_t	Korrelgrootte van filter of inwasmateriaal dat door 15% op basis van gewicht wordt onderschreden (m)
D _{f151}	D15f1_ti	D _{f15} bovenste filterlaag (m)
D _{f152}	D15f2_ti	D _{f15} tweede filterlaag (m)
D _{f50}	D50f1_ti	Korrelgrootte van filter dat door 50% op basis van gewicht wordt onderschreden (m)
D _{goed}	D_goed	Toplaagdikte die het resultaat "goed" oplevert in de iteratie voor de minimaal benodigde toplaagdikte (m)
D _{gt}	D_gt_t	Benodigde toplaagdikte om nog net een toetsresultaat "goed" te krijgen m.b.t. topstabiliteit bij golfbelasting (m)
D _i	D_ti	Invoerwaarde van de toplaagdikte (m)
D _{i15}	D15inwas_ti	D _{f15} inwasmateriaal (m)
D _{min}	-	Benodigde toplaagdikte om nog net een toetsresultaat "goed" te krijgen m.b.t. topstabiliteit bij golfbelasting en langsstroming (m)
D _{min,stroom}	-	Benodigde toplaagdikte om nog net een toetsresultaat "goed" te krijgen m.b.t. langsstroming (m)
D _{nietgoed}	D_nietgoed	Toplaagdikte die niet het resultaat "goed" oplevert in de iteratie voor de minimaal benodigde toplaagdikte (m)
D _{PBA}	D_PBA	Dikte PBA toplaag of overlaging (m)

verslag	in code	omschrijving
D_{over}	D_{over_t}	Dikte-overschot van de toplaag ten opzichte van de dikte die nog net een toetsresultaat "goed" oplevert m.b.t. topstabiliteit bij golfbelasting en langsstroming (m)
$D_{over,golven}$	D_{over_golven}	Dikte-overschot van de toplaag ten opzichte van de dikte die nog net een toetsresultaat "goed" oplevert m.b.t. topstabiliteit bij golfbelasting (m)
$D_{over,strom}$	D_{over_strom}	Dikte-overschot van de toplaag ten opzichte van de dikte die nog net een toetsresultaat "goed" oplevert m.b.t. langsstroming (m)
D_{rf}	D_{rf}	rekendikte van de toplaag m.b.t. het front (m)
D_t	$D_{top_rek_t}$	Dikte van de toplaag inclusief de veiligheidsfactoren en de stabiliteitsfactor (m)
D_{to}	D_{to_t}	Anderhalf maal dikkere toplaag ten behoeve van beoordeling ten opzichte van de grens tussen twijfelachtig en "onvoldoende" inclusief de veiligheidsfactoren en de stabiliteitsfactor (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)
E_{PBA}	E_{PBA}	Buigstijfheid van de PBA toplaag of overlaging (default 3000 MPa) (Pa)
f_1, f_2, \dots	$f1_klemming, \dots$	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 (-)
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) (-)
$1/f_{bovenbeloop}$	$bovenbeloop_factor$	Invloedsfactor voor bekledingen boven toetspeil (-)

verslag	in code	omschrijving
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 _{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 _{G,PBA}	factor_gradering_PBA	Verhouding D_{50}/D_{15} van de PBA toplaag of overlaging (default 1.2) (-)
f _{havendam}	f_havendam_t	Factor waarmee de toplaagdikte wordt vermenigvuldigd tbv diepe buitentaluds op havendammen (-)
f _{lang}	f_lang	Invloedsfactor voor lange golven (alleen relevant voor geklemde steenzettingen) (-)
f _{od,front}	f_od_front	Invloedsfactor in verband met ondiepe voorlanden (locatie van het front) (m)
f _{od,klap}	f_od_klap	Invloedsfactor in verband met ondiepe voorlanden (locatie van de klap) (m)
f _{overgang}	f_overgang	Invloedsfactor voor het reduceren van het stijghoogteverschil voor als de bovenste overgangsconstructie zo laag ligt dat de belasting deels naast de te toetsen steenzetting valt (-)

verslag	in code	omschrijving
$f_{S,front}$	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 (-)
$f_{stabiliteit}$	stabiliteitsfactor	Stabiliteitsfactor voor specifieke toplaagtypen(-)
f_{talud}	f_talud	Factor voor de invloed van de taludhelling op de golfklapgrootte (-)
$f_{t/o}$	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_N		Stabiliteitsparameter van ingegoten steenzettingen bij een belastingduur van N golven (-)
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)
GK1_overschuiving_type	GK1_overschuiving_type	Parameter die aangeeft ten opzichte van welk punt de overgangsconstructie is verschoven bij golfklaptype 1 (zeewaarts = 4; landwaarts = 7)
h	h_MWS_t	Maatgevende waterstand t.o.v. NAP (m)
h_{berm}	Bermhoogte	Cumulatieve hoogte van de bermen tussen SWL en $SWL-1,5H_s$ (niveaunderschil tussen de buitenrand van de berm en de binnenrand) (m)
h_c	hc_t	$h_{kr} - h_{MWS}$
h_{geo}		Verval over het geotextiel tijdens een doorlatendheidsmeting (m)
h_{GHW}	h_GHW_ti	Gemiddeld hoogwater ten opzichte van 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_H	h_H_t	Hoogste waterstand die nog een belasting geeft (m)
h_{kr}	hkr_t	Kruinhoogte t.o.v. NAP (m)
h_L	h_L_t	Laagste waterstand die nog een belasting geeft (m)
h_{MWS}	h_MWS_t	Maatgevende waterstand t.o.v. NAP (m)

verslag	in code	omschrijving
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	$(f_{\beta} \cdot f_{havendam} \cdot C_{berm} \cdot C_{diep} \cdot H_s) / (C_{bovenbeloop} \cdot \Delta \cdot D)$ (-)
$H_{s/\Delta D, onder}$	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 (-)
h_{toets}	h_toets_tgi	Toetspeil t.o.v. NAP (m)
h_w	h_diepte_t	Waterdiepte bij de teen van de dijk (m)
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)
i...,-1	i..._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...,-2	i..._min2_t	Nummer van locatie zeewaarts van het punt i...,-1 (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)
i...,+1	i..._plus1_t	Nummer van locatie landwaarts van het punt waar maximum stijghoogteverschil optreedt (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)

verslag	in code	omschrijving
$i_{\dots\min}$	$i_{\dots\min_t}$	Nummer van locatie landwaarts van het punt waar minimum stijghoogteverschil optreedt (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)
i_{\perp}	$i_{\text{haaks_t}}$	Verhang haaks op het grensvlak (-)
$i_{\text{cr, neer}}$	$i_{\text{cr_neer_t}}$	Kritiek neerwaartse verhang in het filter met zand ondergrond (-)
i_{HF}	$i_{\text{HF_t}}$	Maximale opwaartse gradiënt in het hoge front (-)
i_{neer}	$i_{\text{neer_t}}$	Maximale neerwaartse gradiënt (-)
i_{op}	$i_{\text{op_t}}$	Maximale opwaartse gradiënt (-)
$i_{\text{cr, op}}$	$i_{\text{cr_op_t}}$	Kritiek opwaartse verhang in het filter met zand ondergrond (-)
$i_{\text{op, geo}}$	$i_{\text{geo_op_t}}$	Kritiek opwaartse verhang (-)
$i_{\text{neer, geo}}$	$i_{\text{geo_neer_t}}$	Kritiek neerwaartse verhang (-)
$i_{\text{cr, klei}}$	$i_{\text{klei_t}}$	Kritiek verhang ten aanzien van het uitspoelen van klei door een geotextiel (-)
i_{SF}	$i_{\text{SF_t}}$	Maximale opwaartse gradiënt in het steile front (-)
I	I_{klemming}	Traagheidsmoment van de geklemde ligger (m^4)
k	$k_{\text{f1_t}}$ of $k_{\text{f2_t}}$	Doorlatendheid van filter (m/s)
k'	$k_{\text{top_t}}$	Gelineariseerde doorlatendheid van toplaag (m/s)
$k'_{\text{stootvoegen}}$	$k_{\text{top_stoot_t}}$	Gelineariseerde doorlatendheid van de stootvoegen van toplaag (m/s)
$k'_{\text{langsvoegen}}$	$k_{\text{top_langs_t}}$	Gelineariseerde doorlatendheid van de langsvoegen van toplaag (m/s)
k_{g}	$k_{\text{g_t}}$	Doorlatendheid van het geotextiel (m/s)
k'_{gat}	$k_{\text{top_gat1_t}}$ of 2 of 3	Gelineariseerde doorlatendheid van een gat in toplaag (m/s)
k_{z}	$k_{\text{z_klemming}}$	Indrukkingsstijfheid van een 1 m breder strook van de bedding (N/m^2)
K_{toe}	$K_{\text{toe_t}}$	Bijdrage van toestroming (m)
K_{tr}	$K_{\text{tr_t}}$	Bijdrage van traagheid (m)
K_{wr}	$K_{\text{wr_t}}$	Bijdrage van wrijving (m)
L	$L_{\text{blok_ti}}$	Lengte van blok (m)

verslag	in code	omschrijving
L_{berm}	$L_{\text{berm_t}}$	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)
$L_{1, \dots}$	L_{1, \dots_t}	Afstand tussen maximum stijghoogteverschil en minimum stijghoogteverschil (m) (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)
$L_{2, \dots}$	L_{2, \dots_t}	Lengte raaklijn van $\phi_{w\text{min}}$ 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, \dots	L_{\dots_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^*	$M_{\text{ster_klemming}}$	Extreme waarde van het moment (Nm)
M_{dmax}	$M_{\text{dmax_klemming}}$	Optredende waarde van het maximale moment (Nm)
M_{dmin}	$M_{\text{dmin_klemming}}$	Optredende waarde van het minimale moment (Nm)
M_{max}	$M_{\text{max_klemming}}$	Maximale waarde van het moment (Nm)
M_{min}	$M_{\text{min_klemming}}$	Minimale waarde van het moment (Nm)
M_{umax}	$M_{\text{umax_klemming}}$	Toelaatbare waarde van het maximale moment (Nm)
M_{umin}	$M_{\text{umin_klemming}}$	Toelaatbare waarde van het minimale moment (Nm)
n		Porositeit (-)
n_b	n_b	Porositeit van het zand (-)
n_{f1}	n_{f1_ti}	Porositeit van filterlaag 1 (-)
n_{f2}	n_{f2_ti}	Porositeit van filterlaag 2 (-)
n_{fi}	$n_{\text{inwas_ti}}$	Porositeit van inwasmateriaal (-)

verslag	in code	omschrijving
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_{Mmin}	N_Mmin_t	Normaalkracht ter plaatse van M_{min} (N)
N_{Mmax}	N_Mmax_t	Normaalkracht ter plaatse van M_{max} (N)
N_{Va}	N_va	Aanwezige normaalkracht, ten aanzien van dwarskracht (N)
N_{Vmin}	N_Vmin_t	Normaalkracht ter plaatse van V_{max} (N)
overg_ti	overg_ti	Ingevoerde waarde voor het type overgangsconstructie (-)
O_{90}	O90_geo2_ti	Karakteristieke openingengrootte van geotextiel (m)
$P_{\text{max,PBA}}$	P_max_PBA	Maximale drukstoot van een golfklap (gebruikt bij bepaling stabiliteit PBA lagen) (Pa)
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)
$q_{\text{cr, op}}$	qcr_op_t	Kritieke opwaartse filtersnelheid in het filter met zand ondergrond (m/s)
$q_{\text{cr, neer}}$	qcr_neer_t	Kritieke neerwaartse filtersnelheid in het filter met zand ondergrond (m/s)
q_{PBA}	q_PBA	Stootfactor voor een golfklap op een PBA toplaag of overlaging (default 5.0) (-)
r of r_r		Regelnummer (-)
R_1, R_2, \dots	R1_klemming_t	Belastingparameters bij het berekenen van klemming (Pa·m)
$R_{\text{e, op}}$	Re_op_t	Reynoldsgetal tijdens omhoog gerichte stroming (-)
$R_{\text{e, neer}}$	Re_neer_t	Reynoldsgetal tijdens neerwaarts gerichte stroming (-)
R_{tij}	R_getij_tgi	Getijrange (m)
s		Spleetbreedte (m)

verslag	in code	omschrijving
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_{bezwijk}	t_bezwijk_t	Duur dat de toplaag belast wordt totdat de steenzetting bezwijkt gerekend vanaf het begin van de 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 Tg_geo2_ti	en Dikte van het geotextiel (m)
T_1 en T_2	T1_klemming T2_klemming	Randmomenten in de geklemde ligger (Nm)
$T_{m-1,0}$	Tm-1,0	Spektrale golfperiode bij de teen van de dijk op MWS (s)
$T_{m-1,0,\text{toets}}$	Tm-1,0_toets	Spektrale golfperiode bij de teen van de dijk op toetspeil (s)
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 $h = h_{\text{golven1_tgi}}$ (s)
$T_{p\text{min}}$	Tpmin_t	Golfperiode bij minimale golfhoogte (s)
$T_{p\text{toets}}$	Tp_toets	Golfperiode bij de teen van de dijk op toetspeil (m)
$\tan\alpha$	tana_ti	Taludhelling van de te toetsen steenzetting (-)
$\tan\alpha_{\text{bodem}}$	tana_bodem_ti	Helling van het voorland (-)

verslag	in code	omschrijving
$\tan\alpha_{\text{fict}}$	tana_fict_t	Rekenwaarde van de taludhelling (fictieve taludhelling) (-)
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)
w_v	LVergrVal	Vergrotingswaarde van de veiligheidsfactor
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_{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_{bv}	x_bv	Horizontale coördinaat van de bovenste overgangsconstructie na het landwaarts verleggen (m)
x_{HF}	x_HF_t	Locatie van de maximale opwaartse gradiënt in het hoge front (m)
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_m	x_m_t	Horizontale afstand van de top van het front tot de waterlijn (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)

verslag	in code	omschrijving
X _{RL}	x _{RL_t}	Lokale hulpvariabele om raaklijn mee te berekenen (m)
X _s	x _{s_t}	Horizontale afstand van de voet van het stijghoogtefront tot de waterlijn (altijd een positieve waarde) (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)
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 _{φmax}	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 _{φwmax}	x _{fiwmax_t}	Horizontale afstand van de snijlijn van de stilwaterlijn en het talud tot de locatie met grootste stijghoogteverschil (m)
X _{φwmin}	x _{fiwmin_t}	Horizontale afstand van de snijlijn van de stilwaterlijn en het talud tot de locatie met kleinste stijghoogteverschil (max. omlaag gerichte kracht)) (m)
Y	Y	Blokbeweging (m)
Y _b	Y _{b_ti}	Horizontale coördinaat boven-begrenzing van de te toetsen steenzetting (m)
Y _B		Totale lengte die bij de taludlengte wordt opgeteld vanwege de berm (m)
Y _{Bi}		= lengte aan een van de zijde van de berm waarover het aangrenzende talud wordt doorgetrokken (m)
Y _{bo}	Y _{bo_t}	Horizontale coördinaat van de voorrand van de berm (m)
Y _{front}	Y _{front}	Blokbeweging tijdens front (m)
Y _{klap}	Y _{klap}	Blokbeweging tijdens golfklap (m)
Y _l	Y _{l_oi}	Horizontale coördinaat aan linkerzijde van segment (m)
Y _o	Y _{o_ti}	Horizontale coördinaat onder-begrenzing van de te toetsen steenzetting (m)
Y _r	Y _{r_oi}	Horizontale coördinaat aan rechterzijde van segment (m)

verslag	in code	omschrijving
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}).
z	z	Niveau waarvoor de waarde van de maatgevende taludhelling $\tan\alpha_{mz}$ wordt bepaald in verband met afschuiving (m)
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_{a2b2}	$Z_{\text{overgang_a2b2}}$	Niveau van de laagste overgangsconstructie boven het zwaarst aangevallen punt op het buitentalud van het type a2 of b2 (m)
Z_b	Zb_ti	Niveau bovenbegrenzing van de te toetsen steenzetting (t.o.v. NAP) (m)
Z_{bb}	Zbb_ti	Niveau bovenste bovenbegrenzing van het dwarsprofiel (t.o.v. NAP) (m)
Z_{bdicht}	Zb	Niveau van de dichtstbijzijnde dichte overgangsconstructie boven het te toetsen punt (t.o.v. NAP) (m)
Z_{belast}	$Z_{\text{belast_t}}$	Niveau op het talud waar de maximale belasting optreedt (t.o.v. NAP) (m)
Z_{bo}	Z_{bo_t}	Verticale coördinaat van de voorrand van de berm (t.o.v. NAP) (m)
$Z_{b,\text{berm}}$	$Z_{b\text{berm_t}}$	Niveau van de landzijde van de berm (t.o.v. NAP) (m)
Z_{bodem}	$Z_{\text{bodem_ti}}$	Bodemniveau voor de teen van de dijk (t.o.v. NAP) (m)
Z_{bv}	Z_{bv}	Vertikale coördinaat van de bovenste overgangsconstructie na het landwaarts verleggen (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)
$Z_{o,\text{berm}}$	$Z_{o\text{berm_t}}$	Niveau van de zeezijde van de berm (t.o.v. NAP) (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)

verslag	in code	omschrijving
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_i	ZI_ti	Verticale coördinaat aan linkerzijde van segment (t.o.v. NAP) (m)
$Z_{N\text{max}}$	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)
$Z_{\text{verschuiving_overgang}}$	verschuiving_overgang	Grootte van de verplaatsing van Z_b (vertikaal) (m)
$Z_{2\%}$	oploop_t	Schatting van golfploophoogte die door 2% van golven wordt overschreden als de waterstand gelijk is aan toetspeil (m)
α		Taludhelling van de te toetsen steenzetting (-)
$\tan(\alpha_{\text{bodem}})$	tana_bodem	Helling van het voorland (-)
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 (-)
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) (-)
β	beta_t	Hoek van golfinval t.o.v. dijknormaal (0° is loodrecht) ($^\circ$)
β_{bed}	Betta_bed_klemming	Beddingsparameter (1/m)
β_d	beta_dijk_ti	Dijknormaal richting t.o.v. N (Het gaat om de lijn haaks op de dijk, gericht naar zee) ($^\circ$)

verslag	in code	omschrijving
β_g	beta11_tgi	Golfvoortplantingsrichting (Nautische richting; waar de golven vandaan komen) ($^{\circ}$)
β_{golf}	Beta_golf	Gemiddelde golfvoortplantingsrichting in gegeven richtingssector (Nautische richting; waar de golven vandaan komen) ($^{\circ}$)
γ_{berm,ϕ_k}	Gamma_bermfik_t	Factor die de invloed van de berm op ϕ_k tijdens de golfklap weergeeft (-)
γ_v	LFactorVal	Partiële veiligheidsfactor voor het ontwerp (-)
$\gamma_{v,t}$	veiligheidsfactor_reststerkte	Veiligheidsfactor voor het toetsen m.b.t. de reststerkte van de dijk (-)
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 (-)
Δ_{PBA}	delta_PBA	Relatieve soortelijke massa van de PBA toplaag of overlaging (default 0.8) (-)
ζ	Zeta	Aqua-planing-factor ten aanzien van wrijving tussen de stenen (-)
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 (-)
θ_f	Teta_f_t	Helling van het stijghoogtefront ($^{\circ}$)
θ_{fklap}	Teta_fklap_t	Helling van het front tijdens de golfklap ($^{\circ}$)
$\theta_{k50-80\%k}$	tan_theta_k50_80pk	Helling van de flank van het stijghoogteverloop aan de zeezijde van de golfklap ($^{\circ}$)
$\theta_{k20-50\%L}$	tan_theta_k20_50pL	Helling van de flank van het stijghoogteverloop aan de landzijde van de golfklap ($^{\circ}$)
Λ	labda_t	Leklengte (m)
Λ_{reken}	labda_reken	Rekenwaarde van de leklengte (m)
Λ_{to}	labda_to_t	Leklengte bij anderhalf maal dikkere toplaag (m)
ν	nu_filter_t	Kinematische viscositeit (m^2/s)

verslag	in code	omschrijving
ν_{PBA}	nu_Poisson_PBA	Poisson constante voor de berekening van de buigtrekspanning van een PBA toplaag of overlaging (default 0.35) (-)
ξ_{om}	ksi_m	Brekerparameter berekend met de spektrale golfperiode $T_{m-1,0}$ (-)
ξ_{op}	ksi_t	Brekerparameter berekend met de piekperiode T_p (-)
ρ	rho_water_i	Soortelijke massa van water (kg/m^3)
ρ_s	rho_ti	Soortelijke massa van toplaagelementen (beton, natuursteen) (kg/m^3)
σ_w	sigma_w_t	Oppervlaktespanning van het water = 0,073 N/m
$\sigma_{reken,PBA}$	sigma_reken_PBA	Berekende buigtrekspanning van een PBA toplaag of overlaging (Pa)
$\sigma_{max,PBA}$	sigma_max_PBA	Maximale buigtrekspanning van een PBA toplaag of overlaging (Pa)
ϕ_{bklap}	Fi_bklap_t	Hoogte van het front ten opzichte van de trog tijdens de golfklappen (m)
$\phi_{b2\%}$	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_c		Waarde waarmee de minimale stijghoogte en de hoogte van het front worden gecorrigeerd (m)
ϕ_{eg}	Fi_eg	Benadering voor stijghoogteverschil dat even grote kracht op het blok geeft als het eigengewicht van het blok onder water (ΔD) (m)
ϕ_{geo}	h_geo1_ti h_geo2_ti	Verval tijdens doorlatendheidsmeting van het geotextiel (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 golfhoogtefront (m)
ϕ_k	Fi_k_t	Max. stijghoogte t.o.v. de trog tijdens de golfklap met 2% overschrijdings-frequentie (-)
ϕ'_i	Fi_op_i_t	Stijghoogte op de toplaag ter plaatse van punt i (m)

verslag	in code	omschrijving
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)
ϕ_{vmin}	Fi_vmin_t	Lokale hulpvariabele om raaklijn mee te berekenen (m)
ϕ_{wi}	Fi_wi	Stijghoogteverschil in punt i (m)
ϕ_{wm}	Fi_wm	Stijghoogteverschil bij een golf gelijk aan de significante golfhoogte (m)
$\phi_{\text{wmax, ...}}$	Fi_wmax_..._t	Maximum stijghoogteverschil (m) (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)
$\phi_{\text{wmin, ...}}$	Fi_wmin_..._t	Minimum stijghoogteverschil (m) (op de puntjes wordt K1Z, K1L, K2, HF of SF ingevuld)
ϕ_{we}	Fi_we	Stijghoogteverschil met overschrijdingsfrequentie van 2% (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) (% in sheet; - in formules)

1 Inleiding

In het kader van de toetsing van de waterkeringen zoals voorgeschreven in de Waterwet dienen ook steenzettingen periodiek getoetst te worden. Om de toetsing te vereenvoudigen is door Rijkswaterstaat in 2006 het initiatief genomen om een computerprogramma te laten ontwikkelen dat al het rekenwerk en de beoordelingen uitvoert. Er is gekozen voor een programma op basis van Microsoft Excel, omdat dit bij alle diensten van Rijkswaterstaat en de waterschappen gemakkelijk geïnstalleerd kan worden zonder tussenkomst van de ICT-afdeling. Bovendien geeft het de mogelijkheid om gemakkelijk aanvullende berekeningen aan de spreadsheet toe te voegen.

In de afgelopen jaren is veel nieuwe kennis op het gebied van het toetsen van steenzettingen verworven in diverse onderzoeksprogramma's van Rijkswaterstaat (zoals het 'Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen'). In het rekenmodel STEENTOETS2014 zijn de nieuwste inzichten verwerkt als opvolger van STEENTOETS2008 (versie 1.15) en STEENTOETS2010 (versie 1.14). Vanaf mei 2015 bestaat STEENTOETS2015, waarin toplagen van PBA zijn opgenomen.

Het onderhavige project is uitgevoerd in het kader van het meerjarige project 'Advisering steenbekledingen Zeeland' voor het Projectbureau Zeeweringen (PBZ). Dit projectbureau is opgericht ten behoeve van de renovatie van de steenzettingen in Zeeland en is een samenwerking van Rijkswaterstaat Zeeland en het Waterschap Scheldestromen. Contractueel is WVL van Rijkswaterstaat de opdrachtgever namens PBZ voor het onderhavige project. Het deel van het project dat gericht is op kennisontwikkeling sluit aan op het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen dat uitgevoerd is in de periode van 2003-2009 in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat namens PBZ.

Door de nieuwe kennis die in het programma is opgenomen, is er op een aantal aspecten een verschil ontstaan tussen STEENTOETS2014 en het Technisch Rapport Steenzettingen (TAW, 2003). Enkele belangrijke verschillen zijn (waarvan sommige al in STEENTOETS2008 waren geïmplementeerd):

- 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. Vanaf

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.
- 11 De invloed van ondiepe voorlanden is toegevoegd.

In STEENTOETS2015 zijn enkele wijzigingen opgenomen ten opzichte van STEENTOETS2014. Deze zijn:

- Toetsmethodiek voor polyurethaan gebonden breuksteen (PBA) toegevoegd. Dit type, als afzonderlijke toplaag en als overlaging, kan met het programma worden getoetst. De ontwerpmethode is nog in ontwikkeling en is daarom nog niet in deze versie opgenomen.
- Veiligheidsfactor voor de toetsing van de toplaagstabiliteit afhankelijk van de reststerkte van de dijk.
- Nieuwe formule voor de reststerkte van klei.
- Aanpassingen voor de hydraulische randvoorwaarden:
 - Aanpassingen aan de golventabellen: twee verschillende tabellen per dijkvak (voor blokken en voor zuilen), invoer van maximaal 8 waterstanden met golfcondities, de golfrichting moet bij elke waterstand ingevuld worden.
 - Voor meren kan nu het streefpeil worden ingevuld, deze wordt aangehouden als start- en eindwaarde van het waterstandsverloop gedurende de storm.
 - Voor meren wordt de iteratie voor de maatgevende waterstand nu uitgevoerd zoals voor bv. Westerschelde, dus ook onder toetspeil. De golfcondities worden ook bij elke waterstand bepaald.
 - Voor rivieren worden de golfcondities ook bij elke waterstand bepaald, zoals bij bv. de Westerschelde.
 - Voor rivieren in het gebied “Benedenrivieren dg 1-2” wordt de iteratie voor de maatgevende waterstand nu uitgevoerd zoals voor bv. de Westerschelde, dus ook onder toetspeil.
- Naamgeving van de scores zijn voor de toetsing aangepast aan het WTI2017.
- Voor de toetsing kan in plaats van de aparte ervaringen nu een enkele melding m.b.t. de “ervaring vanuit zorgplicht” worden ingevuld. Deze wordt intern wel vertaald naar de aparte ervaringen zodat deze verder gehandhaafd kunnen worden.
- Kopiëren van de invoer vanuit STEENTOETS2014 is mogelijk.
- Er kan worden gerekend met toplaagtype-specifieke stabiliteitsfactoren, gebaseerd op Deltagootonderzoek.
- Er kan worden gerekend met een zeer fijn filter toegepast onder Verkalit, Verkalit is opgenomen als type toplaag.
- De rekenmethode voor de stabiliteit voor ingegoten steenzettingen is aangepast.
- De rekenmethode van flauwe taluds met hellingen tussen 1:6 en 1:12 is aangepast.
- Nieuwe typen betonzuilen zijn opgenomen.

In het onderhavige rapport 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, 2015a).

In dit rapport wordt slechts weergegeven wat er in het programma is geprogrammeerd. Voor de achtergronden en onderbouwing van de formules wordt verwezen naar de betreffende onderzoeksrapporten.

Het programma is ontwikkeld voor Excel 2003 en is tevens getest voor:

- Windows Vista 2006 Engels met Excel 2007 prof. Engels
- Windows 7 (32 bit) prof. Engels met Excel 2007 professional Engels
- Windows 7 (64 bit) prof. Engels met Excel 2010 (32 bit) professional Engels
- Windows 7 (64 bit) Home Premium Nederlands met Excel 2010 (32 bit) professional Nederlands
- Windows 8 (64 bit) Nederlands met Excel 2013 (64 bit) professional 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).

De eerste versies van het programma zijn 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: ZZP bij 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 STEENTOETS.

Verder wordt verwezen naar het validatieverslag (Klein Breteler, 2014) 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.

Vanaf november 2009 wordt het programma uitgegeven als twee verschillende versies:

- Steentoets2008 (versie = 2008) (conform VTV2006)
- Steentoets2010 (wordt vanaf 2012 geleverd met: versie = 2011)

Vanaf mei 2015 wordt het programma uitgegeven als Steentoets2015 met: versie = 2011.

In het programma is de variabele 'versie' opgenomen die de waarde 2008, 2010, 2011 of 2013 kan hebben. Afhankelijk van de waarde wordt er niet (versie = 2008) of juist wel (versie \geq 2010) rekening gehouden met de $\xi > 2$ -problematiek, de nieuwe kennis over overgangsconstructies en bekledingen boven het toetspeil. De invloed van ondiepe

voorlanden op de locatie van de maximale belasting en de nieuwe methode voor het berekenen van de belastingduur (met geleidelijke overgang in het criterium ten aanzien van de waterstand) is alleen actief als versie > 2010. Dit geldt ook voor het aanhouden van een minimale sectorbreedte van 30° bij scheve golfaanval.

In de opgeleverde versie van Steentoets2014 wordt vanaf 2014 “versie = 2011” aangehouden. Steentoets2008 met “versie = 2008” en Steentoets2010 met “versie = 2010” worden niet meer opgeleverd, maar kunnen nog wel voor specifieke doeleinden (zoals het testen van het programma) worden aangemaakt.

2 Werkbladen en menu

Het Excel-programma bestaat uit 12 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 toplaag- 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 STEENTOETS2014 ingekopieerd kan worden: 'invoer van STEENTOETS2014'.
- Werkblad met informatie over het rekenproces tijdens de toetsing: 'Rekenproces Toetsing'
- Werkblad met informatie over het rekenproces tijdens de ontwerpberekeningen: 'Rekenproces Ontwerp'.

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 toplaagtypen en typen filtermateriaal.

Verder kan het werkblad 'invoer van STEENTOETS2014' gebruikt worden om de data over te zetten van Steentoets2014 naar Steentoets2015. Dit is nuttig omdat er nieuwe kolommen bij gekomen zijn en zo de invoer niet rechtstreeks gekopieerd kan worden.

Tenslotte zijn er twee werkbladen over het rekenproces. Hier kan de deskundige gebruiker details omtrent het rekenproces zien, zoals welke aspecten/criteria maatgevend waren.

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

- 1 Invoegen lege regel(s)
- 2 Verwijder regel(s)
- 3 Invoegen kopie van huidige regel/Verplaats regel(s) naar klembord (cut to clipboard)
- 4 Kopieer regel(s) naar klembord (copy to clipboard)
- 5 Invoegen regels(s) van klembord (paste from clipboard)
- 6 Bereken alles opnieuw (noodzakelijk als de golventabel is veranderd, er wordt dan een buffer gelegeerd die is gecreëerd omwille van de rekensnelheid).
- 7 Bereken huidige dwarsprofiel (handig als de spreadsheet vrij groot is en vrij veel rekentijd vergt, en er slechts één dwarsprofiel opnieuw doorgerekend hoeft te worden).

Deze commando's zijn alleen beschikbaar in het werkblad 'Toetsing':

- 8 Kopieer regel naar 'ontwerp'
- 9 Kopieer van STEENTOETS2014

Deze bijzondere menu-opties zijn alleen beschikbaar in het werkblad 'Toetsing' als in het werkblad 'Algemeen' ervoor wordt gekozen:

- 10 Itereer Hs
- 11 Itereer D
- 12 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 gelegeerd. Dit gaat helaas niet vanzelf. Bovenaan het scherm moet het menu 'toetsing' of 'ontwerp' aangeklikt worden, waarna gekozen moet worden voor 'Bereken alles opnieuw'. De berekeningen van alle regels kunnen ook gestart worden met toets "F9".

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 of 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. Voor Office 2010 zijn de instellingen te vinden in Bestand – Vertrouwenscentrum – Instellingen voor het Vertrouwenscentrum – Instellingen voor macro's: Alle macro's inschakelen en VBA aanvinken (in het Engels: File – Options – Trust Center – Trust Center Settings – Macro Settings: Enable all macros and tick VBA).

Vervolgens moet het programma opnieuw opgestart worden.

3 Structuur van rekenhart

3.1 Algemeen

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 zeerste afgeraden, omdat het moeilijk is te overzien wat de consequenties ervan zullen zijn.

De verborgene 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) onderzoeksresultaten.

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.

3.2 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 rapport 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 moet richting de polder/haven lopen. De verticale as moet naar boven lopen.

Alle formules zijn zowel van toepassing op het werkblad 'TOETSING' als op het werkblad 'ONTWERP'. In het werkblad 'TOETSING' worden de veiligheidsfactoren (factor_....) gelijk aan 1 gehouden en de additionele veiligheidswaarde (vergr_...) gelijk aan 0 (zie paragraaf 4.9). In het werkblad 'ONTWERP' 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 Belangrijke globale variabelen (switches)

Er zijn enkele globale variabelen, die als switches worden gebruikt. Deze switches kunnen alleen binnen de code worden aangepast, dus kunnen alleen worden aangepast door een selecte groep deskundigen. In onderstaande tabel (Tabel 4.1) zijn de switches uitgelegd met de variabelenaam, de mogelijke waarde en de beschrijving.

Variabelenaam	Mogelijke waarde	Beschrijving	Gebruikt in paragraaf
versie	2008, 2010, 2011, 2013	switch voor het versienummer waarmee zal worden gerekend	in het hele document
ReststKleiMethode2015	True, False	switch om wel of niet gebruik te maken van de nieuwe reststerkteformule voor klei	7.6.2
ToplaagVeiligheidsfactorWTI2017	True, False	switch om wel of niet gebruik te maken van de veiligheidsfactor voor de toplaagdikte m.b.t. de reststerkte van de dijk	4.12.1
ScoreWTI2017	True, False	switch om wel of niet de scores laten vertalen naar WTI2017	8.1
StabiliteitsFactoren	True, False	switch om wel of niet de stabiliteitsfactoren te gebruiken	4.12.2
IngegotenMethode2015	True, False	switch om wel of niet gebruik te maken van de nieuwe methode voor ingegoten steenzettingen	5.14
BermMethode2015	True, False	switch om wel of niet gebruik te maken van de nieuwe methode voor flauwe taluds	5.1.2

Tabel 4.1 Definitie van de switches in de code

4.2 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`.

4.3 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 4.2.
- Onlogische invoer:
 - als $dijkoriëntatie > 360^\circ$ of $dijkoriëntatie < -360^\circ$ dan foutmelding: melding = "onlogische dijkoriëntatie".
 - als $\tan\alpha_{bodem} < 0$ of $\tan\alpha_{bodem} > 0,5$ 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 ($D > 0,6$ m)”.
- als $D < 0,04$ m, dan melding (fout): foutmelding = “toplaag is te dun ($D < 4$ 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 $L > 0,6$ m)”.
- als de spleetbreedte van de stootvoegen of langsvoegen 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 $D_{15} < 0,5$ mm, dan: foutmelding = “inwasmateriaal is te fijn ($D_{15} < 0,5$ mm)”.
- als $D_{15} > 200$ mm, dan: foutmelding = “inwasmateriaal is te grof ($D_{15} > 200$ 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(VGD) te groot (in GPa invoeren)”
- als de eerste filterlaag $b_1 > 1$ m, dan waarschuwing: melding = “onnauwkeurig vanwege grote filterlaagdikte”.
- als $\{(D_{15f1} \text{ is niet ingevuld of is gelijk aan } 0) \text{ en } (D_{15f2} \text{ is niet ingevuld of is gelijk aan } 0)\}$ en $\{\text{filter is st, my, gr, sl of pu}\}$, dan foutmelding = “Df15 ontbreekt”.
- als typesteen-zetting = 36,1 of 36,2, dan:
 - als $D_{f15} < 0,01$ mm, dan: foutmelding = “filter is te fijn ($D_{f15} < 0,01$ mm)”.
 - anders:
 - als $D_{f15} < 0,5$ mm, dan: foutmelding = “filter is te fijn ($D_{f15} < 0,5$ mm)”.
- als $D_{f15} > 300$ mm, dan waarschuwing (er wordt wel verder gerekend): “onnauwkeurig: filter is te grof ($D_{f15} > 300$ mm)”.
- als $D_{f50,1} < D_{f15,1}$ of $D_{f50,2} < D_{f15,2}$, dan foutmelding = “check $D_{15} < D_{50}$ filter”.
- Als $\{(\text{onderlaagtype_ti} = \text{st of my of gr of pu of sl}) \text{ en } b_1 + b_2 < 0,03 \text{ m, dan:}$
 - als ($b_1 = 0$ of blanco) en ($b_2 = 0$ of blanco): foutmelding: “Dikte van filter ontbreekt.”, anders:
 - $b_1 = 0,03 - b_2$ en waarschuwing: "Filter is erg dun, gerekend wordt met 3cm."
- 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: “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 bf2_t > 0 en in werkblad ‘Algemeen’ is aangegeven dat er geen tweede filterlaag is (cel F6 = nee), dan waarschuwing: “Er is een tweede filterlaag”.
- Als $D_{k90} < D_{k50}$, dan foutmelding = “check $D_{50} < D_{90}$ klei”.
- Als $D_{z50} > 1$ mm, dan foutmelding = “zand is te grof ($D_{z50} > 1$ mm)”.
- Als $D_{z90} < D_{z50}$ of $D_{z50} < D_{z15}$, dan foutmelding = “check $D_{15} < D_{50} < D_{90}$ zand”.
- Als $h_{\text{golven}1} > h_{\text{golven}2}$ of $h_{\text{golven}2} > h_{\text{golven}3}$ of ($h_{\text{golven}3} > h_{\text{golven}4}$ en $h_{\text{golven}4} > 0$), dan foutmelding = “check in golventabel $h_1 < h_2 < h_3 < h_4$ ”.
- Als de subvakgrenzen in twee verschillende gebieden zitten uit de golventabel, dan volgt een foutmelding: foutmelding = “subvakgrenzen in 2 zones van tabel met golfcondities”.

- Als ondanks het aanvullen uit Tabel 4.2 er toch één of meer coördinaten ontbreken, dan foutmelding = "coördinaat ontbreekt".

variabele waarvoor cel blanco is gelaten	default waarde als cel blanco is gelaten
Dijkoriëntatie t.o.v. N	gelijk aan golfrichting
Niveau van voorland	$\min(Z_o \text{ van laagste segment aan de zeezijde}; 0)$
Helling van voorland	$\tan\alpha_{\text{bodem}} = 1/100$
Minimale golfhoogte in golventabel	$H_{\text{smin}} = 0,1 \text{ m}$
B en L	$B = L = 0,3 \text{ m}$
spleetbreedte stootvoeg of -langsvoeg is blanco	spleetbreedte stootvoeg en -langsvoeg worden gelijkgesteld
Karakteristieke opening G	waarde uit de tabel in werkblad 'Info' (als 's', dan $\max(s_i; s_s)$ 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	$Y_{rr} = Y_{rr+1}; Z_{rr} = Z_{rr+1}$
Type bovenste overgang	Als geen type is ingevoerd, wordt a0 aangehouden, behalve bij het hoogstgelegen segment met een steenzetting, want die wordt b0.
Tweede filterlaag aanwezig	filter2_ti = ja als $b_2 > 0$, anders nee
Geotextiel tussen toplaag en filter	geo1_ti = ja als ($Tg_{\text{geo1_ti}}$ of $q_{\text{geo1_ti}}$ of $h_{\text{geo1_ti}}$) zijn niet blanco (alleen als in werkblad 'Algemeen' is gekozen voor dit geotextiel), anders nee
O_{90} en T_g geotextiel, indien aanwezig	beide: 1 mm
Doorlatendheid geotextiel, indien aanwezig	$h_{\text{geo}} = 100 \text{ mm}; q_{\text{geo}} = 10 \text{ l/s/m}^2$ (als deze waarden worden gebruikt, wordt een waarschuwing gegeven)
Type filter als $b_1 > 0$	steenslag (st)
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	zie onderstaand
Kleikwaliteit	slecht
Golventabel	tabel 1

Tabel 4.2 Waarde als cel blanco is gelaten

- Met betrekking tot de dijkopbouw en het onderlaagtype gelden volgende regels:
 - Als dijkopbouw = "gk" en onderlaagtype bevat "kl", dan foutmelding: "Type onderlagen in strijd met Dijkopbouw."
 - Als dijkopbouw leeg en onderlaagtype bevat "kl", dan: dijkopbouw = "kl" en waarschuwing: "Met kleilaag gerekend."

- Als dijkopbouw = “kl” of “kk” en onderlaagtype bevat geen “kl”, dan: toevoegen van “kl” aan onderlaagtype en waarschuwing: “Met kleilaag gerekend.”
- Als dijkopbouw leeg of “gk” en $b_{klei} > 0$ en onderlagen bevat geen “kl”, dan: dijkopbouw = “kl” en onderlaagtypen + “kl” en waarschuwing: “Met kleilaag gerekend.”
- Als dijkopbouw = “kl” en onderlaagtype bevat “kl” en b_{klei} is leeg, dan: foutmelding: “Kleilaagdikte ontbreekt.”
- Als dijkopbouw is leeg en onderlaagtype bevat “kl” en b_{klei} is leeg en D15, D50 of kleikwaliteit is ingevuld, dan: foutmelding: “Dijkopbouw niet ingevuld en laagdikte klei ontbreekt hoewel klei is aangegeven in onderlagen.”
- Als dijkopbouw = “gk” en onderlaagtype bevat geen “kl” en b_{klei} is leeg en D15, D50 of kleikwaliteit is ingevuld, dan: foutmelding: “Inputgegevens van de klei zijn strijdig.”
- Als onderlaagtype bevat geen “st” of “my” of “gr” of “pu” of “sl”, maar waarden zijn ingevuld bij de filterlaagdikte, dan wordt “st” toegevoegd aan 1^{ste} plaatst van onderlaagtype en waarschuwing: “Type filter- of uitvullaag is niet ingevuld, gerekend met default.”
- Als onderlaagtype bevat geen “ge”, maar waarden zijn ingevuld voor het geotextiel (1 of 2), dan wordt “ge” toegevoegd op de juiste plaatst in onderlaagtype en de volgende waarschuwing wordt gegeven: “Met geotextiel tussen toplaag en filter gerekend.”, resp. “Met geotextiel tussen filter en ondergrond gerekend.”
- Als in werkblad “Algemeen” is aangegeven dat er geen PBA-laag aanwezig is, maar toch via het toplaagtype een PBA-laag of -overlaging is gekozen, wordt een foutmelding gegeven en niet gerekend: “In werkblad Algemeen PBA-laag niet aangevinkt.”
- Als voor de laagdikte of de D_{15} van de PBA-laag geen waarde is ingevuld, wordt een foutmelding gegeven, omdat de stabiliteit niet berekend kan worden: “Laagdikte van PBA niet ingevuld.”, resp. “D15 van PBA niet ingevuld.”
- Als er in sheet “Algemeen” is aangegeven dat met aangepaste waarden voor de PBA laag wordt gerekend, maar er zijn geen waarden ingevuld, wordt met de default waarde gerekend en wordt een waarschuwing gegeven.

4.4 Geometrie van de dijk

De geometrie van de dijk kan ingevoerd worden met taludhellingen (boven- en ondergrens van elk segment, en de segmentbreedte als het segment horizontaal is), of met coördinaten. In beide gevallen worden de ingevoerde gegevens gecontroleerd. Dit is mogelijk omdat er meer gegevens gevraagd worden dan er strikt genomen noodzakelijk zijn. De belangrijkste controle is de aansluiting van de segmenten op elkaar. De bovengrens van het ene segment, moet dezelfde coördinaten of niveau hebben, als de ondergrens van het opvolgende segment.

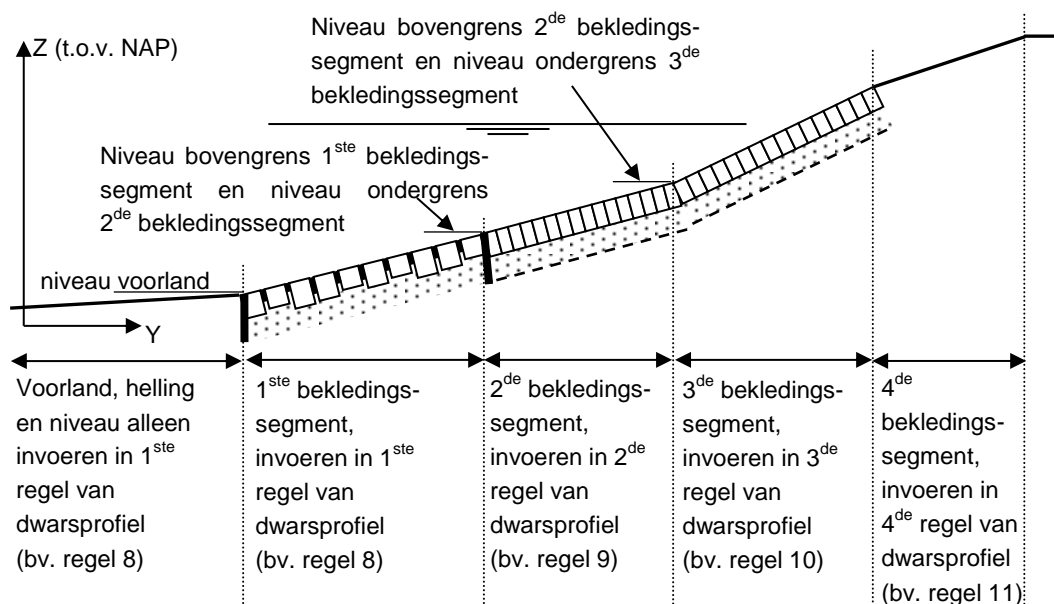
Daarnaast wordt voor bermen ook gecontroleerd of de ingevoerde onder- en bovengrens kloppen met de segmentbreedte en taludhelling.

Als invoer met de taludhellingen is gekozen in het werkblad ‘Algemeen’, worden achtereenvolgens de volgende controles uitgevoerd tijdens het berekenen van het toetsresultaat:

- Controle of alle taludhellingen zijn ingevoerd. Zo niet, dan volgt de foutmelding: “Taludhelling ontbreekt of onjuist”.

- Onder- en bovengrens worden met taludhelling omgerekend naar niveau van linker en rechter segmentgrens. Er volgt een foutmelding als de taludhelling ontbreekt.
- Ontbrekende waarden van niveau van linker en rechter segmentgrens worden aangevuld indien mogelijk. Lukt dat niet, dan volgt een foutmelding: "Coördinaten ontbreken".
- Voor versie 2008 geldt:
 - Als het meest zeewaartse segment een taludhelling heeft met $\tan\alpha < 1/9$, dan volgt een foutmelding: "Meest zeewaartse segment moet buitentalud zijn met $\tan() > 1/9$ ".
- Voor versie ≥ 2010 geldt:
 - Als meest zeewaartse segment een taludhelling heeft met $\tan\alpha < 1/9$ en niet op het voorland aansluit (voorland ligt meer dan 20 cm lager), dan volgt een foutmelding: "Meest zeewaartse segment moet buitentalud zijn met $\tan() > 1/9$ of gelijk/lager dan voorland liggen".
 - Als de helling van het meest zeewaartse segment flauw is, maar op het voorland aansluit, dan wordt het voorland bij de berekening van de fictieve taludhelling verdisconteerd.
- Als van zee naar land een negatieve taludhelling gevolgd wordt door een positieve taludhelling, volgt een foutmelding: "Kuil in profiel".
- Als $\tan\alpha > 1$ dan foutmelding: "Talud is te steil".
- Als $\tan\alpha > 0,5$ dan volgt een waarschuwing: "Controleer de stabiliteit van de teen.
- Als $\tan\alpha = 0$ en onder- en bovengrens zijn ongelijk, dan volgt een foutmelding als het verschil groter is dan 0,05 m: Niveau onder- en bovengrens ongelijk, terwijl $\tan()=0$. Als het verschil kleiner is dan 0,05 m, dan worden onder- en bovengrens aan elkaar gelijk gemaakt.
- Als bovengrens van ene segment meer dan 5 cm afwijkt van ondergrens van het volgende segment, dan volgt een foutmelding: "Profiel delen sluiten niet op elkaar aan". Als het verschil kleiner is, dan worden ze gelijk aan elkaar gemaakt.
- Als $\tan\alpha = 0$ en onder- en bovengrens zijn ongelijk door voorgaande reparaties, dan volgt een foutmelding als het verschil groter is dan 0,05 m: "Niveau onder- en bovengrens ongelijk, terwijl $\tan()=0$ ". Als het verschil kleiner is dan 0,05 m, dan worden onder- en bovengrens aan elkaar gelijk gemaakt.
- Als $\tan\alpha = 0$ en de segmentbreedte ontbreekt, dan volgt een foutmelding: "Segmentbreedte ontbreekt".
- Als segmentbreedte – $\text{Abs}(Z_o - Z_b) / \tan\alpha > 0.05$, dan volgt een foutmelding: Segmentbreedte klopt niet met coördinaten. Als het verschil kleiner is dan 5 cm, dan wordt de segmentbreedte kloppend gemaakt.
- Als de segmentbreedte = 0, dan volgt een foutmelding: "Segmentbreedte is nul".
- Als $\tan\alpha \geq 0$ dan wordt het niveau van de ondergrens gelijk genomen aan de linker grens, en het niveau van de bovengrens gelijk aan de rechter grens. Als $\tan\alpha < 0$ gaat dit andersom.

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



Figuur 4.1 Verdeling van dwarsprofiel in bekledingsegmenten

Als invoer met coördinaten is gekozen, worden achtereenvolgens de volgende controles uitgevoerd:

- ontbrekende waarden van linker en rechter segmentgrens worden aangevuld indien mogelijk. Lukt dat niet, dan volgt een foutmelding: "Coördinaten ontbreken".
- Als de rechter coördinaten van ene segment meer dan 5 cm afwijken van de linker coördinaten van het volgende segment, dan volgt een foutmelding: "Profiel delen sluiten niet op elkaar aan". Als het verschil kleiner is, dan worden ze gelijk aan elkaar gemaakt.
- Als de segmentbreedte = 0, dan volgt een foutmelding: "Segmentbreedte is nul".
- Op basis van de aangepaste coördinaten wordt de taludhelling bepaald:

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

- Als $\tan \alpha > 1$ dan foutmelding: "Talud is te steil".
- Als $\tan \alpha > 0,5$ dan volgt een waarschuwing: "Controleer de stabiliteit van de teen".
- Er wordt gecontroleerd of de Y-coördinaten monotoon stijgend of monotoon dalend zijn. Zoniet, dan volgt een foutmelding: "Segmenten niet op volgorde".
- Als van zee naar land een negatieve taludhelling gevolgd wordt door een positieve taludhelling, volgt een foutmelding: "Kuil in profiel".
- Als meest zeewaartse segment een taludhelling heeft met $\tan \alpha < 1/9$, dan volgt een foutmelding: "Meest zeewaartse segment moet buitentalud zijn met $\tan() > 1/9$ ".
- Als de y-as van land naar zee loopt, worden alle y-coördinaten met -1 vermenigvuldigd.

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.

Ook als er geswitched wordt van taludhelling-invoer naar coördinaten-invoer, worden een aantal controles uitgevoerd:

- Als de bovengrens niet aansluit op de ondergrens van het volgende segment, dan wordt bij een fout van minder dan 5 cm de bovengrens aangepast en wordt er een comment toegevoegd aan de cellen van de coördinaten: Aangepast, want segmenten sloten niet aan.
- Als $\tan\alpha = 0$ maar de onder- en bovengrens hebben een verschillende hoogte, dan wordt bij een fout van minder dan 5 cm de ondergrens aangepast, en wordt er een comment toegevoegd aan de cellen van de coördinaten: Aangepast, want onder- en bovengrens niet gelijk en $\tan\alpha=0$.
- Als er geen y-coördinaat beschikbaar is van de linker grens van het meest zeewaartse segment, dan wordt hiervoor nul aangehouden, anders de beschikbare waarde.

Ook als er geswitched wordt van coördinaten-invoer naar taludhelling-invoer, worden geen controles uitgevoerd.

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

4.5 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).

4.6 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:
 - 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).
 - De grootste waarde van Z_b wordt gezocht: $h_{\text{kr}} = \max(Z_b)$ en $Y_{\text{kruin}} = Y_r$.
 - 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:
 - 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).

- 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:
 - 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
 - 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".

Tenslotte moet ook bij de toelichting op het rekenproces vermeld worden wat het segmenttype is (melding rekenproces).

4.7 Bepaling ervaringen aan de hand van de zorgplicht

Vanaf versie 15.1.3.1 kunnen niet meer aparte ervaringen worden ingevuld (bv. ervaring materiaaltransport vanuit de ondergrond of ervaring afschuiving). In plaats ervan kunnen de ervaringen worden ingevuld die bij de vervulling van de jaarlijkse zorgplicht worden gemaakt. Binnen het programma wordt deze ervaring omgezet naar de aparte ervaringen om de vorige code te kunnen gebruiken.

Als ervaring vanuit zorgplicht = "g" of "goed", dan:

ervaring filter = "g"
 ervaring uitspoeling = "g"
 ervaring afschuiving = "g"
 ervaring stroming = "g"
 ervaring overgang = "g"
 ervaring afstandhouders = "g"
 ervaring PBA = "g"

Anders:

ervaring filter = "o"
 ervaring uitspoeling = "o"
 ervaring afschuiving = "o"
 ervaring stroming = "o"
 ervaring overgang = "o"
 ervaring afstandhouders = "o"
 ervaring PBA = "o"

Als de ervaringen op "onvoldoende" staan, dan worden alle scores, met betrekking tot de ervaringen, op "onvoldoende" gezet. Er komt dan een waarschuwing: "Toets op maat, wegens onvoldoende ervaring vanuit zorgplicht."

4.8 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: Doorgroeistenen
- Type 9: blokken op hun kant met twijfelachtige of slechte afstandhouders
- Type 11: toplaag van polyurethaan gebonden breuksteen (PBA)

Type toplaag	Type onderlagen	Type steenzetting
10 ≤ type < 12 of 26 ≤ type < 28,6 28,7 ≤ type ≤ 29,03 of 32 of 32,03 of 36,1 of 36,2	{ge of as} en {géén: st of pu of sl of gr of my}	1
10 ≤ type < 12 of 26 ≤ type ≤ 28,03 of 28,11 of 28,12 of 28,21 ≤ type ≤ 28,59 of 28,7 ≤ type ≤ 29,03 of 32 of 32,03 of 36,1 of 36,2	kl en {géén ge of st of pu of sl of gr of my}	2
(10 ≤ type < 12 èn ervaring_afstandhouders_ti = g of blanco) of 26 ≤ type < 28,03 of 28,11 of 28,11 of 28,21 ≤ type < 28,6 of 28,7 ≤ type ≤ 29,03 of 32 of 32,03 of 36,1 of 36,2	st of pu of sl of gr of my	3
12 ≤ type < 14	ge en {géén: st of pu of sl of gr of my}	4
12 ≤ type < 14	{kl of as} en {géén ge of st of pu of sl of gr of my}	5
12 ≤ type < 14	st of pu of sl of gr of my	6
28,6 ≤ type < 28,7 of 28,1 of 28,13 of 28,2 of 28,23	alles	7
type = 17	kl	8
10 ≤ type < 12 èn ervaring_ afstandhouders_ti = t of o of ?	st of pu of sl of gr of my	9
type = 35 (alleen voor toetsing)	alles	11
overige	overige	0

Tabel 4.3 Indeling naar type steenzetting afhankelijk van type toplaag en type onderlagen

In Tabel 4.3 is de relatie gegeven tussen het type toplaag, het type onderlagen en het resulterende type steenzetting. Voor een lijst met verklaring van de typenummers wordt verwezen naar de handleiding (Klein Breteler, 2015a).

Als de bekleding geen steenzetting blijkt te zijn, is het type 0 en wordt de score van de toetsing “?”. Bovendien volgt er een waarschuwing: Dit type toplaag kan niet met Steentoets doorgerekend worden.

De waarde van de tweede decimaal (achter de komma) van het type toplaag bepaalt of de toplaag is ingegoten, of ze met een laag PBA overlaagd is, danwel of het om hergebruikte betonzuilen gaat:

- tweede decimaal = 0: ingegoten = nee
- tweede decimaal = 1: ingegoten = gietasfalt
- tweede decimaal = 2: ingegoten = beton
- tweede decimaal = 3: overlaging van PBA
- tweede decimaal = 9: hergebruikte betonzuilen (dit komt alleen voor bij type 27 betonzuilen; ingegoten = nee)
- Als $D_{ingieting_ti} > 0$ en $E_VGD_ti > 0$ en tweede decimaal = 0 dan geldt toch ingegoten = gietasfalt. Er wordt dan de waarschuwing gegeven: “Toplaagtype zonder ingieting gekozen, maar ingietdiepte ingevuld, dus is met gietasfalt gerekend.”
- Als $D_{ingieting_ti} > 0$ en E_VGD_ti is blanco en tweede decimaal = 0 dan: melding = “Is toplaag 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_{f151} is blanco of 0 dan volgt er een foutmelding: melding = “Df15 van filter is niet ingevuld”.

4.9 Veiligheidscoëfficiënten voor ontwerp

Één van de verschillen tussen het toetsen en ontwerpen is dat er bij het ontwerp gebruikgemaakt wordt van de veiligheidscoëfficiënten zoals deze door de gebruiker zijn ingevuld in het werkblad ‘Algemeen’. Steeds wordt eerst de betreffende variabele vermenigvuldigd met, of gedeeld door de partiële veiligheidsfactor γ_v en daarna wordt de vergrotingswaarde w_v erbij geteld.

Afhankelijk of een grotere dan wel een kleinere waarde leidt tot een veilig ontwerp, wordt de betreffende variabele vermenigvuldigd met de partiële veiligheidscoëfficiënt of juist erdoor gedeeld. In Tabel 4.4 is aangegeven wat bij welke variabele van toepassing is.

		factor	vergroting	dimensie
in verband met stabiliteit toplaag	golfhoogte	*	+	[m]
	golfperiode	*	+	[s]
	stroomsnelheid	*	+	[m/s]
	taludhelling	*	+	[-]
	toplaagdikte	/	+	[m]
	soortelijke massa stenen	/	+	[kg/m ³]
	spleetbreedte	/	+	[m]
	open oppervlak	/	+	[-]
	VGD-meting	/	+	[GPa]
	filterlaag dikte	*	+	[m]
	korrelgrootte filter	*	+	[m]
	porositeit filter	*	+	[-]
in verband met materiaaltransport	filterlaag dikte	/	+	[m]
	spleetbreedte	*	+	[m]
	open oppervlak	*	+	[-]
	filterlaag dikte	/	+	[m]
	korrelgrootte filter	*	+	[m]
	porositeit filter	*	+	[-]
	korrelgrootte van het zand	/	+	[m]
in verband met afschuiving	taludhelling	*	+	[-]
	toplaagdikte	/	+	[m]
	soortelijke massa stenen	/	+	[kg/m ³]
	bovenste filterlaag dikte	/	+	[m]
	tweede filterlaag dikte	/	+	[m]
	korrelgrootte van het zand	/	+	[m]

Tabel 4.4 *Bewerking die in het programma wordt uitgevoerd met de veiligheidsfactor en vergrotingswaarde*

4.10 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 of 27,4 of 27,5 of 27,6) 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 of 27,4 of 27,5 of 27,6 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 of 27,4 of 27,5 of 27,6), dan wordt het berekend (als geen gaten dan geldt $N_{gat} = A_{gat} = 0$):

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

4.11 Hydraulische randvoorwaarden

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

- gemiddeld hoogwater (als het gebied geen meer is)
- gemiddelde laagwater (als het gebied geen meer is)
- meerpeil (als het gebied een meer is)
- toetspeil (+ toeslagen) of ontwerppeil
- eventueel de stroomsnelheid (als getoetst moet worden op stroming; stroming_i=ja)
- twee tabellen met golfcondities bij maximaal acht waterstanden. De eerste tabel is voor zuilenzettingen, de tweede voor zettingen met een toplaag van blokken. Een set golfcondities per waterstand bestaat uit achtereenvolgens:
 - golfhoogte
 - golfperiode
 - golfrichting
- minimale golfhoogte

Er kunnen tot acht waterstanden worden ingevuld, waarbij tenminste de golftrandvoorwaarden voor de eerste drie waterstanden ingevuld moeten zijn. De kolommen van de twee golftrandvoorwaardentabellen moeten van links af worden gevuld, beginnend bij de laagste waterstand; zodra er een cel leeg wordt gelaten, worden de waarden uit de cellen rechts daarvan niet meer ingelezen. Met HydraQ kunnen de maatgevende condities voor de beoogde sectie worden bepaald voor het bezwijken van zuilen of blokken. In het programma wordt met het toplaagtype voor de juiste tabel gekozen, zie Tabel 4.5. Daarbij worden de randvoorwaarden voor zuilen aangehouden voor open blokkenmatten afgestrooid met granulair materiaal, Basalt, betonzuilen, natuurstenen, Verkalit en PBA toplagen, voorzover ze niet ingegoten zijn. Alle andere typen worden met de randvoorwaarden van blokken doorgerekend. Als de toplaag is overlaagd met PBA, wordt het eronderliggende type aangehouden. De indeling is gebaseerd op het feit dat de randvoorwaarden voor zuilen worden gedefinieerd door het falen van de steenzetting door golfklappen. Bij blokken is het falen gedefinieerd door de stroming door op- en neerloop.

In het werkblad ‘Algemeen’ kan de karakteristieke golfperiode gekozen worden die ingevuld moet worden in de golventabel. Er is keus uit de piekperiode T_p en de spectrale periode $T_{m-1,0}$. De spectrale periode wordt voor de verdere berekeningen naar de piekperiode omgerekend. Dit is een equivalente piekperiode als ware het een smal spectrum:

$$T_p = 1,084 \cdot T_{m-1,0} \quad (4.4)$$

In het vervolg wordt daarom in dit rapport slechts gewerkt met T_p .

Code	Omschrijving	Zuilen	Blokken
10	Betonblokken met afgeschuinde hoeken of gaten erin		x
11	Betonblokken zonder openingen		x
11.1	Haringmanblokken (uitsparing verdisconteerd in soortelijke massa)		x
11.2	Diaboolblokken		x
11.3	Plat gezette blokken met afstandhouders		x
11.4	Blokken op hun kant		x
11.5	Blokken op hun kant met afstandhouders		x
11.51	Blokken op hun kant met afstandhouders en ingegoten met gietasfalt		x
12	Open blokkenmatten, afgestrooid met granulair materiaal	x	
13	Blokkenmatten zonder openingen		x
17	Doorgroeisteen, beton		x
25.1	Breuksteenoverlaging, teenbestorting		
26	Basalt, gezet	x	
26.01	Basalt, gezet, ingegoten met gietasfalt		x
26.02	Basalt, gezet, ingegoten met colloïdaal beton of cementbeton		x
26.1	Basalt, waarbij op een apart terrein de slechte zuilen eruit gehaald zijn	x	
26.11	Basalt, zonder slechte zuilen en ingegoten met gietasfalt		x
26.12	Basalt, zonder slechte zuilen en ingegoten met beton		x
27	Betonzuilen en andere niet rechthoekige blokken zonder kanalen	x	
27.01	Betonzuilen of niet rechthoekige blokken, ingegoten met gietasfalt		x
27.02	Betonzuilen of niet rechthoekige blokken, ingegoten met beton		x
27.09	Hergebruikte betonzuilen	x	
27.1	Basalton	x	
27.2	PIT Polygoon zuilen	x	
27.3	Hydroblock	x	
27.4	Ronaton	x	
27.5	C-Star	x	
27.6	Hillblock	x	
27.7	Basalton STS+	x	
27.8	Ronataille	x	
27.11	Basalton, ingegoten met gietasfalt		x
27.21	PIT Polygoon zuilen, ingegoten met gietasfalt		x
27.31	Hydroblock, ingegoten met gietasfalt		x
27.41	Ronaton, ingegoten met gietasfalt		x
27.51	C-Star, ingegoten met gietasfalt		x
27.61	Hillblock, ingegoten met gietasfalt		x
27.71	Basalton STS+, ingegoten met gietasfalt		x
27.81	Ronataille, ingegoten met gietasfalt		x
27.12	Basalton, ingegoten met beton		x
27.22	PIT Polygoon zuilen, ingegoten met beton		x
27.32	Hydroblock, ingegoten met beton		x
27.42	Ronaton, ingegoten met beton		x
27.52	C-Star, ingegoten met beton		x

27.62	Hillblock, ingegoten met beton		x
27.72	Basalton STS+, ingegoten met beton		x
27.82	Ronataille, ingegoten met beton		x
28	Natuursteen, gezet	x	
28.01	Natuursteen, gezet, en ingegoten met gietasfalt		x
28.02	Natuursteen, gezet, en ingegoten met beton		x
28.1	Vilvoordse	x	
28.2	Lessinische	x	
28.3	Doornikse	x	
28.4	Petit graniet	x	
28.5	Graniet	x	
28.6	Noorse steen	x	
28.11	Vilvoordse, ingegoten met gietasfalt		x
28.21	Lessinische, ingegoten met gietasfalt		x
28.31	Doornikse, ingegoten met gietasfalt		x
28.41	Petit graniet, ingegoten met gietasfalt		x
28.51	Graniet, ingegoten met gietasfalt		x
28.61	Noorse steen, ingegoten met gietasfalt		x
28.12	Vilvoordse, ingegoten met beton		x
28.22	Lessinische, ingegoten met beton		x
28.32	Doornikse, ingegoten met beton		x
28.42	Petit graniet, ingegoten met beton		x
28.52	Graniet, ingegoten met beton		x
28.62	Noorse steen, ingegoten met beton		x
29	Koperslakblokken		x
32	Klinkers, beton of gebakken.		x
35	Toplaag van polyurethaangebonden breuksteen (PBA); alleen Toetsing	x	
36	Verkalit	x	

Tabel 4.5 Indeling type steenzetting voor de hydraulische randvoorwaarden

Als in dit rapport het 'toetspeil' wordt genoemd, wordt steeds bedoeld 'toetspeil + toeslagen'. De naamgeving van de golfcondities bij de waterstanden zijn verduidelijkt in Tabel 4.6.

Waterstand	Golfhoogte		Golfperiode		Golfrichting	
	In dit rapport	In de code	In dit rapport	In de code	In dit rapport	In de code
Algemeen met index i ($i = 1$ t/m 8):						
$h_{\text{golveni_tgi}}$	H_{si}	Hsi	T_{pi}	Tpi	β_i	betai
Voorbeeld voor de eerste waterstand:						
$h_{\text{golven1_tgi}}$	H_{s1}	$Hs1$	T_{p1}	$Tp1$	β_1	beta1

Tabel 4.6 Naamgeving van de golfcondities bij de waterstanden

Als H_{s1} , H_{s2} , H_{s3} , T_{p1} , T_{p2} of T_{p3} gelijk aan nul zijn, of blanco, dan volgt er een foutmelding. Ingeval van een toetsing is deze foutmelding: "Hs of Tp ontbreekt in werkblad 'Toetsgolven'". In het ontwerp is het: "Hs of Tp ontbreekt in werkblad 'Ontwerpgolven'".

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: H_s_{toets})
- T_{ptoets} (in code: T_p_{toets})
- β_{toets} (in code: β_{toets})

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

- $H_{\text{stoets}} = H_{s\text{min}}$ en (4.5)

- $T_{\text{ptoets}} = T_{p\text{min}} = T_{p1} \cdot \sqrt{(H_{s\text{min}}/H_{s1})}$ (4.6)

- melding rekenproces = "Minimum H_s bij toetspeil gehanteerd".

Dit houdt in dat er gewerkt wordt met een minimum golfhoogte. Daarbij wordt een minimum golfperiode ($T_{p\text{min}}$) 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:

$$T_{\text{ptoets}} = \min(\max(T_p; \sqrt{(H_s/1,56/0,1)}) ; 30) \quad (4.7)$$

Als $T_{\text{ptoets}} = 30$, dan melding rekenproces = "Maximum T_p bij toetspeil gehanteerd".

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

$$H_{\text{stoets}} = \min(H_{\text{stoets}} ; 10) \quad (4.8)$$

Als $H_{\text{stoets}} = 10$, dan melding rekenproces = "Maximum H_s bij toetspeil gehanteerd".

Voor de resulterende golfcondities wordt de golfsteilheid berekend:

$$S_{\text{op}} = H_{\text{stoets}} / (1,56 T_{\text{ptoets}}^2) \quad (4.9)$$

Als $S_{\text{op}} > 0,08$, dan volgt er een melding (waarschuwing): melding = "golfsteilheid > 0,08".

De golfrichting kan ook afhankelijk zijn van de waterstand en moet worden geïnterpoleerd. Omdat er de sprong over de $360^\circ/0^\circ$ kan optreden, moet dat worden gecontroleerd:

- Als $\text{abs}(\beta_a - \beta_b) > 180$, dan:
 - Als $\beta_a > \beta_b$, dan: $\beta_a = \beta_a - 360$
 - Anders: $\beta_b = \beta_b - 360$

Met deze waarden kan gewoon linear geïnterpoleerd worden.

Voor het resultaat β_{golf} geldt:

- Als $\beta_{\text{golf}} < 0$, dan: $\beta_{\text{golf}} = \beta_{\text{golf}} + 360$

Voor de golfrichting ten opzichte van de dijk geldt:

- als $\beta_{\text{dijk}} > 180$ dan $\beta_{\text{dijk}} = \beta_{\text{dijk}} - 360$; als $\beta_{\text{dijk}} < -180$ dan $\beta_{\text{dijk}} = \beta_{\text{dijk}} + 360$ (4.10)

- als $\beta_{\text{golf}} > 180$ dan $\beta_{\text{golf}} = \beta_{\text{golf}} - 360$; als $\beta_{\text{golf}} < -180$ dan $\beta_{\text{golf}} = \beta_{\text{golf}} + 360$ (4.11)

- $\beta = \text{abs}(\beta_{\text{golf}} - \beta_{\text{dijk}})$ (4.12)

- als $\beta > 180$ dan $\beta = \text{abs}(\beta - 360)$ (4.13)

- als $\beta < 15$ dan: $\beta = 0$
- anders: $\beta = \beta - 15$

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".

4.12 Bepaling rekenwaarde van de toplaagdikte

Voor het berekenen van de stabiliteit van de toplaagdikte onder golfaanval wordt er een rekenwaarde van de toplaagdikte bepaald. Hierbij worden de veiligheidsfactoren van toetsing en ontwerp verdisconteerd, alsook de stabiliteitsfactor van de toplaagtypen voor ontwerp. De bepaling van de veiligheidsfactor voor ontwerp wordt in paragraaf 4.9 beschreven. Over de twee overige factoren wordt hieronder uitleg gegeven. In paragraaf 4.12.3 staat, hoe de rekenwaarde berekend wordt.

4.12.1 Veiligheidsfactor voor toetsing m.b.t. reststerkte van de dijk

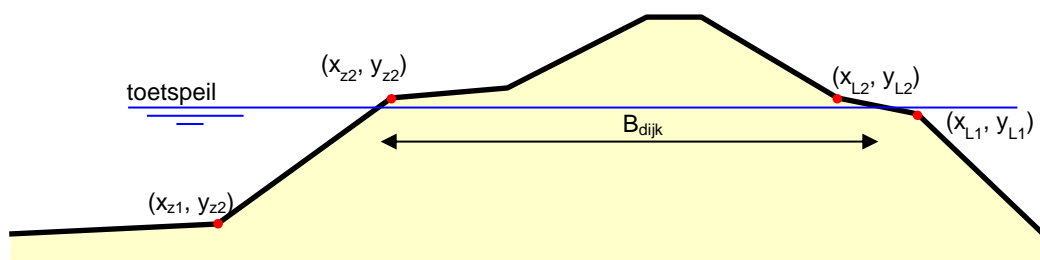
In het kader van WTI2017 is een veiligheidsfactor voor het toetsen van de toplaagstabiliteit onder golfaanval geïntroduceerd die afhankelijk is van de grootte van de reststerkte. Bij een grote reststerkte is een kleinere veiligheidsmarge nodig voor het toetsen van de toplaag. Afhankelijk van de eigenschappen van de dijk, zoals de kleilaagdikte en de dijkbreedte, en de golfhoogte wordt de dijk in drie categorieën ingedeeld: kleine, grote of middelgrote reststerkte.

De veiligheidsfactor voor toetsing wordt alleen berekend als de globale variabele $\text{ToplaagVeiligheidsfactorWTI2017} = \text{True}$ is (zie paragraaf 4.1), anders geldt: $\gamma_{v,t} = 1$.

Bereken dijkbreedte op niveau toetspeil

Eerst moet de dijkbreedte op niveau toetspeil worden berekend. Een definitie ervan is gegeven in Figuur 4.2.

$$B_{\text{dijk}} = \left(x_{L2} + (y_{L2} - h_{\text{toets}}) \frac{x_{L1} - x_{L2}}{y_{L2} - y_{L1}} \right) - \left(x_{z1} + (h_{\text{toets}} - y_{z1}) \frac{x_{z2} - x_{z1}}{y_{z2} - y_{z1}} \right) \quad (4.14)$$



Figuur 4.2 Definitie van de dijkbreedte op niveau toetspeil voor het bepalen van de veiligheidsfactor voor toetsing

Als de dijkbreedte niet kan worden berekend, omdat er geen volledig dijkprofiel is ingevuld, dan wordt gekeken of in de invoer een waarde is gegeven. Let op, alleen de waarde opgegeven bij het eerste segment van het betreffende dijkprofiel wordt ingelezen.

Bepalen van de veiligheidsfactor voor toetsing $\gamma_{v,t}$

- Als segmenttype = {"kruin" of "binnenberm" of "bovenbeloop binnen" of "onderbeloop binnen"}, dan: $\gamma_{v,t} = 1,1$
- Als $B_{\text{dijk}} = 0$, dan: $\gamma_{v,t} = 1,1$ en waarschuwing: "Dijkbreedte niet berekenbaar en niet ingevuld, er is met factor reststerkte = 1,1 gerekend."

Voor de volgende checks worden de kleilaagdikte $b_{klei,t}$, kleikwaliteit en dijkopbouw van het segment gekozen, waar $h_{toets} - H_{stoets}/2$ in ligt.

- Als dijkopbouw = "kk" AND $b_{klei,t} = 0$, dan: $b_{klei,t} = 3$
- Als kleikwaliteit = {"w" of "weinig" of "?" of "" of "s" of "c3"}, dan: $b_{klei,t} = 0$
- Als $H_{s,toets} > 2,0$ OF $(b_{klei,t}/H_{s,toets} < 0,6$ EN $B_{dijk}/H_{s,toets} < 20)$ OF gebied = Bovenrivieren, dan: $\gamma_{v,t} = 1,1$
- Als $(H_{s,toets} \leq 1,5$ EN $b_{klei,t}/H_{s,toets} \geq 0,8)$ OF $(H_{s,toets} \leq 1,5$ EN $B_{dijk}/H_{s,toets} \geq 30)$, dan: $\gamma_{v,t} = 0,9$
- Anders: $\gamma_{v,t} = 1,0$

Met:

H_{stoets} = significante golfhoogte op toetspeil [m]

$b_{klei,t}$ = kleidikte op toetspeil – $H_{stoets}/2$ [m]

B_{dijk} = dijkbreedte op niveau toetspeil [m]

De veiligheidsfactor wordt voor een ontwerpberekening: $\gamma_{v,t} = 1$.

4.12.2 Stabiliteitsfactor van de toplaag voor ontwerpberekeningen

De stabiliteitsfactor wordt alleen toegepast voor een ontwerpberekening, voor een toetsing wordt hij = 1 gezet.

In een serie van grootschalige modelproeven is voor enkele typen toplaag een specifieke stabiliteitsfactor bepaald. Die stabiliteitsfactor geeft aan in hoeverre de toplaag in de modelproeven beter presteerde dan met Steentoets2014, versie 14.1.2.1, berekend, onder bijtelling van een veiligheidsfactor. Meer informatie hierover kan worden gevonden in Klein Breteler (2015b).

Type zetsteen	Toplaagtype	Stabiliteitsfactor
Betonzuilen en andere niet rechthoekige blokken zonder kanalen	27,0	0,95
Basalton 30 STS	27,1	0,98
RONA [®] ton	27,4	1,21
C-Star	27,5	1,16
Hillblocks (type Basisblock en Slimblock)	27,6	1,19
Basalton 30 STS+	27,7	1,19
RONA [®] Taille	27,8	0,90
Verkalit [®] mgv	36,1	0,89
Verkalit [®] GOR	36,2	0,72

Tabel 4.7 Stabiliteitsfactor voor de geteste toplaagtypen

De stabiliteitsfactor wordt alleen bepaald als de globale variabele StabiliteitsFactoren = True is (zie paragraaf 4.1), anders geldt: $f_{stabiliteit} = 1$.

Als toplaagtype 27,0 is ingevuld, dan volgt een waarschuwing: "Kies type zetsteen (dan tot 20% hogere stabiliteit mogelijk)."

De stabiliteitsfactor wordt alleen bepaald voor niet ingegoten steenzettingen en niet hergebruikte steenzettingen. Hij wordt wel bepaald, als de steenzetting overlaagd is met PBA, omdat dan de stabiliteit van de onderliggende steenzetting apart berekend wordt.

4.12.3 Berekening van de rekenwaarde van de toplaagdikte

De rekenwaarde van de toplaagdikte wordt met de volgende formule berekend:

$$D_t = \left(\frac{D_i}{\gamma_v} + w_v \right) / \gamma_{v,t} \cdot f_{\text{stabiliteit}} \quad (4.15)$$

Met:

- D_t = rekenwaarde van de toplaagdikte [m]
- D_i = invoerwaarde van de toplaagdikte [m]
- γ_v = veiligheidsfactor voor het ontwerp [-]
- w_v = vergrotingswaarde voor het ontwerp [-]
- $\gamma_{v,t}$ = veiligheidsfactor voor de toetsing [-]
- $f_{\text{stabiliteit}}$ = stabiliteitsfactor van de toplaag [-]

4.13 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.

Er wordt steeds gerekend met een korrelgrootte van de bovenste filterlaag van ten minste 3 mm. Voor het inwasmateriaal geldt dat gerekend wordt met ten minste 2 mm.

Als de korrelgrootte van het filter van de bovenste filterlaag heel klein is, volgt er een waarschuwing en wordt de rekenwaarde aangepast:

- Als toplaagtype = 36,1 of 36,2, dan: Als $D_{f15,1} < 0,1$ mm, dan: waarschuwing: "Filter is te fijn (toplaag berekend met $D_{f15} = 0,1$ mm). "
- Anders: Als $D_{f15,1} < 3$ mm, dan: waarschuwing: "Filter is te fijn (toplaag berekend met $D_{f15} = 3$ mm). "

Voor een toplaag van PBA (typesteenzetting = 11) wordt de doorlatendheid van de toplaag met andere formules berekend, zie paragraaf 4.13.4.

4.13.1 Granulair materiaal

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

$$a_f = 160 \frac{v(1-n)^2}{gn^3 D_{15}^2} \quad (4.16)$$

$$b_f = \frac{2,2}{gn^2 D_{15}} \quad (4.17)$$

$$k = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 1,2 \cdot b}}{0,6 \cdot b} \quad (4.18)$$

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

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	a_{f1}	b_{f1}	k_1
$D_{15} = D_{f152}$ factor_toplaag_D15f+ vergr_toplaag_D15f	$n = n_{f2}$ factor_toplaag_nf+ vergr_toplaag_nf	a_{f2}	b_{f2}	k_2

Tabel 4.8 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 onder de spleten:

$$a_{flop} = 160 \frac{\nu(1-n-0,1)^2}{g(n+0,1)^3 D_{15}^2} \quad (4.19)$$

$$b_{flop} = \frac{0,14}{g(n+0,1)^5 D_{15}} \quad (4.20)$$

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

- Inwasmateriaal:

$$a_i = 160 \frac{\nu(1-n)^2}{gn^3 D_{15}^2} \quad (4.21)$$

$$b_i = \frac{0,10}{gn^5 D_{15}} \quad (4.22)$$

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

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_{ftop}	b_{ftop}	Filtermateriaal bij de toplaag
$D_{15} = D_{i15}$	$n = n_i = 0,7$	a_i	b_i	Inwasmateriaal

Tabel 4.9 Berekende weerstands- en doorlatendheidsparameters van het filter bij de toplaag en het inwasmateriaal

4.13.2 Geotextiel onder de zetting en onder het filter

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

$$a_g T_g = \frac{\phi_{geo}}{q_{geo}} (1 - p_{geo}) \quad (4.23)$$

$$b_g T_g = \frac{\phi_{geo}}{q_{geo}^2} p_{geo} \quad (4.24)$$

$$p_{geo} = 0,20 \quad (4.25)$$

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		
$\phi_{geo} = \phi_{geo1}$	$q_{geo} = q_{geo1}$	$[a_g T_g]_1$	$[b_g T_g]_1$	Tussen toplaag en filter
$\phi_{geo} = \phi_{geo2}$	$q_{geo} = q_{geo2}$	$[a_g T_g]_2$	$[b_g T_g]_2$	Tussen filter en ondergrond

Tabel 4.10 Berekende weerstandsparameters van het geotextiel.

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

4.13.3 Doorlatendheid toplaag van gezette steen

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

- ten behoeve van toplaagstabiliteit:
 - $s_s = [s_s]_{input} / \text{factor_toplaag_s} + \text{vergr_toplaag_s}$
 - $s_l = [s_l]_{input} / \text{factor_toplaag_s} + \text{vergr_toplaag_s}$
 - $\Omega = [\Omega]_{input} / \text{factor_toplaag_omega} + \text{vergr_toplaag_omega}$
 - $D = [D]_{input} / \text{factor_toplaag_D} + \text{vergr_toplaag_D}$
 - $D_{f15} = [D_{f15}]_{input} \cdot \text{factor_toplaag_D15f} + \text{vergr_toplaag_D15f}$
 - $n_f = [n_f]_{input} \cdot \text{factor_toplaag_nf} + \text{vergr_toplaag_nf}$

- ten behoeve van beoordeling materiaaltransport :

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

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

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

$$D = [D]_{input} / factor_toplaag_D + vergr_toplaag_D$$

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

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

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 ($[D]_{input} / factor_toplaag_D + vergr_toplaag_D$), maar ook met een vergrote toplaagdikte: $D_{to} = 1,5 \cdot ([D]_{input} / factor_toplaag_D + vergr_toplaag_D) = D_{to_t}$. 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 $D_{to} = 1,5 \cdot ([D]_{input} \cdot factor_toplaag_D + vergr_toplaag_D)$, bijvoorbeeld:

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

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

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

$$A_{ro} = (s_s + 0,3 \cdot 10^{-3}) / (L + s_s + 0,3 \cdot 10^{-3}) \quad (4.26)$$

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

$$A_{ro} = (s_l + 0,3 \cdot 10^{-3}) / (B + s_l + 0,3 \cdot 10^{-3}) \quad (4.27)$$

4.13.3.1 Spleetweerstand

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

$$a_s = \frac{12\nu}{g s^2 A_{ro}} \quad (4.28)$$

$$b_s = 0 \quad (4.29)$$

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 :

$$v_t = k_t / A_{ro} \quad (4.30)$$

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

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

$$a_s = 0 \quad \text{en} \quad (4.31)$$

$$b_s = \frac{2}{s C^2 A_{ro}^2} \quad (4.32)$$

$$C = 18 \cdot \log\left(\frac{6s}{1 \cdot 10^{-4}}\right) \quad (4.33)$$

Hiermee wordt de definitieve waarde voor k' berekend.

4.13.3.2 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 $[a_g T_g]_1 = [b_g T_g]_1 = 0$.

$$e = \exp(1) \quad (4.34)$$

$$r_{\min} = \max(0,8D_{f15} ; 0,5s) \quad (4.35)$$

$$n_{\text{instroom}} = 0,6 \quad (4.36)$$

$$\text{Als er inwasmateriaal is: } n = n_i = 0,7, \text{ anders: } n = n_{\text{instroom}} \quad (4.37)$$

$$a_{\text{spleet}} = a_s + \frac{s a_{\text{flop}}}{\pi D A_{ro}} \cdot \ln\left(\frac{s}{\pi e A_{ro} r_{\min}}\right) + \frac{[a_g T_g]_1}{D A_{ro}} + \frac{a_i}{2 A_{ro}} \quad (4.38)$$

$$b_{\text{spleet}} = b_s + \frac{1}{g D A_{ro}^2} \left(1 - \frac{1}{n} + \frac{1 - A_{ro}^2}{2 n_{\text{instroom}}^2}\right) + \frac{1}{g D} \left(1 - \frac{1}{A_{ro}}\right) + \frac{s b_{\text{flop}}}{\pi D A_{ro}} \left(\frac{s}{\pi r_{\min} A_{ro}} - 2\right) + \frac{[b_g T_g]_1}{D A_{ro}^2} + \frac{b_i}{2 A_{ro}^2} \quad (4.39)$$

$$k' = \frac{-a_{\text{spleet}} + \sqrt{a_{\text{spleet}}^2 + 4 b_{\text{spleet}}}}{2 b_{\text{spleet}}} \quad (4.40)$$

4.13.3.3 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 $A_g = A_{g1}$ en $A_{ro} = A_{g1}/(B + s_i + 0,3 \cdot 10^{-3})/(L + s_s + 0,3 \cdot 10^{-3})$ (4.41)

- de doorlatendheid van het tweede gat (k'_{gat2}) berekenen met $A_g = A_{g2}$ en $A_{ro} = A_{g2}/(B + s_i + 0,3 \cdot 10^{-3})/(L + s_s + 0,3 \cdot 10^{-3})$ (4.42)

- de doorlatendheid van het derde gat (k'_{gat3}) berekenen met $A_g = A_{g3}$ en $A_{ro} = A_{g3}/(B + s_i + 0,3 \cdot 10^{-3})/(L + s_s + 0,3 \cdot 10^{-3})$ (4.43)

$$r_{\min} = \max(0,8D_{f15} ; 0,5\sqrt{A_g}) \quad (4.44)$$

$$\text{Als er inwasmateriaal is: } n = n_i = 0,7, \text{ anders: } n = n_{\text{instroom}} \quad (4.45)$$

$$a_{\text{gat}} = \frac{a_{\text{flop}}}{D} \sqrt{\frac{A_g}{4\pi A_{ro}}} \left(\frac{1}{r_{\min}} \sqrt{\frac{A_g}{4\pi A_{ro}}} - 2\right) + \frac{[a_g T_g]_1}{D A_{ro}} + \frac{a_i}{2 A_{ro}} \quad (4.46)$$

$$\begin{aligned}
 b_{gat} = & \frac{1}{gDA_{ro}^2} \left(1 - \frac{1}{n} + \frac{1 - A_{ro}^2}{2n_{instroom}^2} \right) + \frac{1}{gD} \left(1 - \frac{1}{A_{ro}} \right) + \\
 & + \frac{b_{fiop}}{D} \sqrt{\frac{A_g}{4\pi A_{ro}}} \left(3 \left(\frac{1}{r_{min}} \sqrt{\frac{A_g}{4\pi A_{ro}}} \right)^3 - 4 \right) + \frac{[b_g T_g]_1}{DA_{ro}^2} + \frac{b_i}{2A_{ro}^2}
 \end{aligned} \tag{4.47}$$

$$k'_{gat} = \frac{-a_{gat} + \sqrt{a_{gat}^2 + 4b_{gat}}}{2b_{gat}} \tag{4.48}$$

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

4.13.3.4 Totale toplaagdoorlatendheid

Tenslotte worden alle doorlatendheden opgeteld:

$$k' = k'_{stootvoegen} + k'_{langsvoegen} + N_{gat1}k'_{gat1} + N_{gat2}k'_{gat2} + N_{gat3}k'_{gat3} \tag{4.49}$$

4.13.4 Doorlatendheid van een PBA toplaag

Bij een toplaag van PBA kan de doorlatendheid met de formules voor filtermateriaal worden berekend. De formules zijn dan:

$$a_{PBA} = 160 \frac{v(1 - n_{PBA})^2}{gn_{PBA}^3 D_{PBA15}^2} \tag{4.50}$$

$$b_{PBA} = \frac{2,2}{gn_{PBA}^2 D_{PBA15}} \tag{4.51}$$

$$k'_{PBA} = \frac{-a_{PBA} + \sqrt{a_{PBA}^2 + 4b_{PBA}}}{2b_{PBA}} \tag{4.52}$$

4.13.5 Leklengte

De leklengte kan als volgt berekend worden:

$$\Lambda = \sqrt{\frac{D(b_1 k_1 + b_2 k_2)}{k'}} \tag{4.53}$$

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

Voor alle typen steenzetting, behalve Verkalit mgv en Verkalit GOR geldt een minimum waarde voor de leklengte:

- Als typesteenzetting NIET (36,1 of 36,2), dan:

$$\Lambda = \max(\Lambda; 0,5 \cdot D)$$

Als $\Lambda = 0,5D$ dan melding rekenproces = "Minimum leklengte gehanteerd".

De leklengte van de toplaag moet worden berekend met de rekenwaarde van de toplaagdikte D_t , maar ook met een vergrote toplaagdikte: $D_{to} = 1,5 \cdot D_t$. In deze paragraaf is de toplaagdikte steeds aangeduid met D .

Het resultaat is als volgt (variabelen zoals in de code):

- De leklengte met $D_{top_rek_t}$ levert: $labda_t$
- De leklengte met D_{to_t} levert: $labda_to_t$

4.14 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 4.6 is bepaald.

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 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 $h_{toets} - (Z_o + Z_b)/2$).

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

$$Z_{o,berm} = \min(\text{alle } Z_o \text{ met segmenttype}_t = \text{buitenberm}) \quad (4.54)$$

$$Z_{b,berm} = \max(\text{alle } Z_b \text{ met segmenttype}_t = \text{buitenberm}) \quad (4.55)$$

melding rekenproces: "Naast elkaar gelegen bermen samengesteld tot 1 berm".

Omdat er gerekend wordt bij toetspeil, geldt hier:

$$H_s = H_{stoets}$$

$$T_p = T_{ptoets}$$

$$h = h_{toets}$$

$$\beta = \beta_{toets}$$

Voor de eventuele buitenberm wordt de diepte en breedte bepaald:

$$d_B = h - (Z_{o,berm} + Z_{b,berm})/2 \quad (\text{berm onder water, dan } d_B > 0) \quad (4.56)$$

$$B_{berm} = \sum B_{segm} \quad (4.57)$$

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

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

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:
 - $$Y_{h-dB-Hs} = Y_{li} + \frac{h-d_B-H_s-Z_{li}}{Z_{ri}-Z_{li}}(Y_{ri}-Y_{li}) \quad (4.58)$$
 - $$Y_{h-dB+Hs} = Y_{lj} + \frac{h-d_B+H_s-Z_{lj}}{Z_{rj}-Z_{lj}}(Y_{rj}-Y_{lj}) \quad (4.59)$$
- $$L_{berm} = \text{abs}(Y_{h-dB-Hs} - Y_{h-dB+Hs}) \quad (4.60)$$

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:
 - $$Y_{h-1,5Hs} = Y_{li} + \frac{h-1,5H_s-Z_{li}}{Z_{ri}-Z_{li}}(Y_{ri}-Y_{li}) \quad (4.61)$$
 - $$Y_{h+1,5Hs} = Y_{lj} + \frac{h+1,5H_s-Z_{lj}}{Z_{rj}-Z_{lj}}(Y_{rj}-Y_{lj}) \quad (4.62)$$

- 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 ($\text{abs}(d_B) > 1,5H_s$):

$$\tan \alpha_{oploop} = \frac{3H_s}{\text{abs}(Y_{h-1,5Hs} - Y_{h+1,5Hs})} \quad (4.63)$$

melding rekenproces = "Oploop berekend zonder berm."

- anders:
$$\tan \alpha_{oploop} = \frac{3H_s}{\text{abs}(Y_{h-1,5Hs} - Y_{h+1,5Hs}) - B_{berm}} \quad (4.64)$$

melding rekenproces = "Oploop berekend met berm".

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

$$\xi_{om,toets} = \frac{\tan \alpha_{oploop}}{\sqrt{H_{s,toets} / (1,56T_{m-1,0,toets}^2)}} \quad (4.65)$$

Als $T_{m-1,0}$ niet beschikbaar is, wordt met $T_p/1,084$ gerekend.

Ten aanzien van γ_b geldt:

- Als $L_{berm} = 0$ dan $\gamma_b = 1$, (4.66)

- anders:

$$\gamma_b = \max\{ 1 - B_{berm}/L_{berm} \cdot (0,5 + 0,5\cos[\min(\text{abs}(\pi d_B/(2H_{stoets})); \pi)]) ; 0,6 \} \quad (4.67)$$

$$\gamma_{\beta} = \max\{ 1 - 0,0022 \cdot \text{abs}(\beta) ; 0,824 \} \quad (4.68)$$

$$Z_{2\%} = \gamma_{\beta} \cdot H_{\text{stoets}} \cdot \min\{ 1,75 \cdot 0,95 \cdot \gamma_b \cdot \xi_{\text{om,toets}} ; 0,95 \cdot (4,3 - 1,6/\sqrt{(\xi_{\text{om,toets}})}) \} \quad (4.69)$$

4.15 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 het buitentalud

Een belangrijke complicatie bij het toetsen van de stabiliteit van de toplaag op een dijk (of buitentalud van havendam) 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 positieafhankelijk 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 en buitentalud havendam

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.

5.1.1 Maatgevende waterstand

De berekeningen worden gestart bij het toetspeil of iets daarboven. De hydraulische randvoorwaarden voor het toetspeil zijn reeds in paragraaf 4.11 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 $f_{t/o}$ zijn 99.

Opgemerkt moet worden dat de huidige generatie Hydra-programmatuur (anno 2008) niet goed is afgestemd op Steentoets, 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 $Z_o < h_{toets}$ dan: iteratie starten bij $h_{toets} + 0,2$
- Als $Z_o \geq h_{toets}$ dan: iteratie starten bij h_{toets}

Vanaf die startwaarde wordt de waterstand met stapjes van 30 cm verlaagd, beginnend met het toetspeil.

Voor elke waterstand worden de golfcondities weer bepaald (interpolatie uit de golventabel: toetsgolven of ontwerp golven), maar als de waterstand boven het toetspeil is, worden de golfcondities van het toetspeil gehanteerd (als $h_{MWS} > h_{toets}$ dan melding rekenproces = "Gerekend met waterstand boven toetspeil, maar met golven van toetspeil"). Ook voor de belastingduur wordt die bij toetspeil aangehouden als er gerekend wordt boven het toetspeil.

Met deze hydraulische randvoorwaarden worden de diverse modules weer doorlopen.

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 rapport gebruik gemaakt is van $\tan\alpha$.

In Steentoets2015 (als versie > 2009) wordt bij elke waterstand gecontroleerd of de brekerparameter $\xi_{op} > 2$, omdat in dat geval de stabiliteit bij $\xi_{op} = 2$ kleiner zou kunnen zijn. Als versie > 2009 En $\Lambda < 1$ En $h > Z_o$ En $H_s / (D \cdot (\rho_s / 1025 - 1)) > 1.5$ En {in het werkblad 'Algemeen' staat bij "Als $\xi_{op} > 2$, dan golfperiode verkleinen als dat maatgevend is voor de toplaagstabiliteit?" het antwoord 'ja' is} dan wordt ook een berekening gemaakt met $T_p = 2 \sqrt{(H_s / 1.56) / \tan\alpha_{fict}}$, dus bij $\xi_{op} = 2$. De aangepaste golfperiode wordt in de verborgen kolommen weergegeven. In de niet verborgen kolommen wordt de werkelijke waarde van de golfperiode vermeld (met $\xi_{op} > 2$).

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

- als $h < Z_o$ bij toplaagtype = 11 of
- als $h < Z_o + H_s/4$ bij alle andere toplaagtypes, of
- als het gebied Bovenrivieren of Benedenrivieren dg3-5 is, dan wordt de iteratie gestopt als $h < h_{toets} - 0,4$
- als $f_{g/t} < 0,1$ of
- als $h < -R_{tij}/2$
- als de waterstand 10 m is verlaagd.

Als het criterium $h < Z_o + H_s/4$ (resp. $h < Z_o$, bij toplaagtype = 11) overschreden wordt, wordt ook nog één berekening uitgevoerd bij $h = \min(Z_o + H_s/4; h_{toets})$ (resp. $h = \min(Z_o; h_{toets})$, bij toplaagtype = 11).

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 $h_{MWS_t} = h_{toets}$.

Als de minimale waarde van f_{gt} is berekend met een aangepaste waarde van T_p (zodat $\xi_{op} = 2$), dan wordt de indicator ("ksi2_Indicator") op true gezet. De indicator wordt verder doorgegeven voor later gebruik. Er volgt dan een waarschuwing: melding = "Golfperiode verkleind tot ksi=2. Controleer of dit terecht is".

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 $s_{op} > 0,08$, dan volgt er een melding (waarschuwing): melding = "golfsteilheid > 0,08".

Als $4 < H_s < 10^6$ m, dan volgt er een melding (waarschuwing): melding = "onbetrouwbaar: golfhoogte te groot ($H_s > 4m$)".

Als $H_s > 0,60 \cdot (h_{MWS} - Z_{bodem} + \tan \alpha_{bodem} \cdot 1,56 T_p^2 / 2)$ en $H_s < 10^6$ dan volgt er een melding (waarschuwing): melding = "Hs te groot voor waterdiepte (verklein Hs bij lage waterstanden)". Er wordt ondanks deze meldingen wel gewoon doorgerekend.

De voorwaarde $H_s < 10^6$ is toegevoegd om te voorkomen dat de waarschuwing ook optreedt als de golfhoogte niet te berekening is en dus de waarde 10^{30} krijgt.

Als $h_{MWS_t} > h_{toets}$ dan wordt in kolom BW (maatgevende waterstand) h_{toets} gegeven. De werkelijke maatgevende waterstand is wel in de verborgen kolommen te zien (kolom FZ in Toetsing, kolom FJ in Ontwerp).

5.1.2 Stabiliteit van flauwe taluds met een helling tussen 1:6 en 1:12

Zoals in paragraaf 4.6 is uitgelegd, wordt een flauw taluddeel met een helling $< 1:9$ ingedeeld als berm. Voor de bermen geldt dan de bermfactor (zie paragraaf 5.5) en soms andere regels. Door Mourik (2015b) is vastgesteld dat er een vrij groot verschil in de stabiliteit is van

een taluddeel met een helling van 1:9 en een taluddeel iets steiler dan 1:9. Daarom is de door hem voorgestelde methode aangehouden om met flauwe taluddelen om te gaan.

Als met de nieuwe methode zal worden gerekend (globale variabele *BermMethode2015* = true, zie paragraaf 4.1), dan wordt het navolgende aangehouden: Als de helling van een taluddeel tussen 1:6 en 1:12 ligt, wordt bij elke waterstand de stabiliteit met een helling van 1:6 en de stabiliteit met een helling van 1:12 berekend. Daarna wordt de f_{gt} geïnterpoleerd op basis van de cotangens van de helling. Voor alle typesteenzetting niet gelijk aan 3 of 6 of die zijn ingegoten worden ook de f_{to} en de D_{over} geïnterpoleerd.

Hiervoor wordt voor de berekening met de helling 1:6 de segmenttype = "onderbeloop" gezet, voor de berekening met 1:12 wordt de segmenttype = "buitenberm" gezet. Achteraf wordt de segmenttype weer op de oorspronkelijke waarde teruggezet.

Voor beide berekeningen wordt opnieuw de fictieve taludhelling berekend en alle andere stappen van de berekening doorlopen, namelijk paragrafen 5.3 t/m 5.13, oftewel paragraaf 5.14 voor ingegoten steenzettingen of 5.15 voor de black box types.

In de output-kolommen wordt wel de fictieve taludhelling getoond die is berekend met de oorspronkelijke taludhelling. Hetzelfde geldt voor de bermfactoren, invloedsfactoren en de parameters voor de stijghoogteverloop etc.

5.1.3 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} :

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

Ook voor de f_{to} -waarde voor de steenzettingen type 3 of 6 die niet zijn ingegoten, wordt voor flauwe taluds tussen 1:6 en 1:12 voortgegaan zoals in paragraaf 5.1.2 is beschreven. Dus worden de twee berekeningen uitgevoerd met de hellingen 1:6 en 1:12 en de resultaten geïnterpoleerd op basis van de cotangens van de helling.

5.1.4 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 $D_{goed} = 4$ en $D_{nietgoed} = D_{to}$, anders
 - b. als toetsresultaat met $D = D_t$ "goed" is, dan $D_{goed} = D_t$ en $D_{nietgoed} = 0,04$, anders
 - c. als toetsresultaat met $D = D_{to}$ "goed" is, dan $D_{goed} = D_{to}$ en $D_{nietgoed} = D_t$
2. $D_{gt} = (D_{goed} + D_{nietgoed})/2$ (5.2)

$$3. \text{ Bereken nieuwe } \Lambda_{gt}: \quad \Lambda = \frac{\Lambda \sqrt{\frac{D_{gt}}{D}} + \Lambda_{to} \sqrt{\frac{D_{gt}}{D_{to}}}}{2} \quad (5.3)$$

en doorloop alle modules (paragraaf 5.5 t/m 5.13) 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 2 tot en met 4 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 toetsresultaat "goed" oplevert voor de toetsing op golven. Daarmee wordt de overdikte van de toplaag m.b.t. de golfbelasting berekend:

$$D_{over, golven} = D - D_{gt} \quad (5.4)$$

Verder moet de minimaal benodigde toplaagdikte ook getoetst worden op langsstroming. Als deze relatief groot is kan de stroming maatgevend zijn. Om de minimaal benodigde toplaagdikte voor een toetsresultaat "goed" voor langsstroming te berekenen, wordt formule (7.3) gebruikt in de volgende vorm:

$$D_{min, stroom} = \frac{u_s^2}{1.51^2 \cdot g \cdot \Delta} \quad (5.5)$$

Met: u_s is de snelheid van de langsstroming (m/s), g is de versnelling van de zwaartekracht (= 9,8 m/s²) en Δ is de relatieve soortelijke massa van toplaagelementen (-).

Daarmee wordt de overdikte m.b.t. langsstroming bepaald:

$$D_{over, stroom} = D - D_{min, stroom} \quad (5.6)$$

De maatgevende waarde voor de overdikte D_{over} is het minimum van $D_{over, golven}$ en $D_{over, stroom}$ en wordt in het werkblad 'Toetsing' als dikte-overschot gepresenteerd.

Als de ervaring stroming = "onvoldoende" is, dan wordt de $D_{over} = 99$ gezet, omdat de waarde niet bepaald kan worden.

In het werkblad 'Ontwerp' wordt de maatgevende waarde van de minimaal benodigde toplaagdikte D_{min} in de resultaten gegeven. De maatgevende waarde van D_{min} wordt berekend met:

$$D_{min} = D - D_{over} \quad (5.7)$$

5.1.5 Belastingkenmerken

Na afloop van het iteratieproces worden de volgende belastingkenmerken berekend:

- brekerparameter: $\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_{op}}}$ (5.8)

- belastingparameter: $\frac{H_s}{\Delta D}$ (5.9)

- stabiliteitsparameter: $F = \frac{H_s}{\Delta D} \xi_{op}^{2/3}$ (5.10)

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 4.11). De golfcondities worden als volgt genoemd:

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

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

- $H_s = H_{smin}$ en (5.11)

- $T_p = T_{pmin} = T_{p1} \cdot \sqrt{(H_{smin}/H_{s1})}$ (5.12)

- melding rekenproces = "Minimum H_s gehanteerd".

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.

Vervolgens wordt voorkomen dat de golfperiode nul wordt (golfsteilheid is begrensd op 0,10) of te groot:

$$T_p = \min(30 ; \max(T_p ; \sqrt{(H_s/1,56/0,1)}))$$
 (5.13)

Als $T_p = 30$, dan melding rekenproces = "Maximum T_p gehanteerd".

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

$$H_{stoets} = \min(H_{stoets} ; 10)$$
 (5.14)

Als $H_{stoets} = 10$, dan melding rekenproces = "Maximum H_s gehanteerd".

Tenslotte wordt in Steentoets2015 (versie>2009) bekeken of de golfperiode verkleind moet worden zodat $\xi_{op} = 2$. Als de vijfde decimaal van de maatgevende waterstand 2 is en $\xi_{op} > 2$, dan wordt T_p :

$$T_p = \frac{2}{\tan \alpha_{fict}} \sqrt{\frac{H_s}{1.56}} \quad (5.15)$$

en wordt een melding over het rekenproces gegeven: "Ook gerekend met $k_{si} = 2$ ".

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.

Daarvoor 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"; dit geldt niet als er tijdens de berkening met 1:12 vanwege flauwe taluds wordt gerekend (zie paragraaf 5.1.2);
 - anders: $\tan \alpha_{fict} = \tan \alpha$
- als er tijdens de berekeningen met 1:12 vanwege flauwe taluds wordt gerekend (zie paragraaf 5.1.2, en dat flauwe talud betreft het onderste segment, dan wordt de helling van het voorland gelijk gezet aan de helling die het oorspronkelijke segment heeft. Deze helling kan worden gebruikt, als segment $i = 0$ of segment $j = 0$ (zie speciale gevallen hier beneden).
- als het dwarsprofiel uit meer dan één segment bestaat, dan worden segment i en j als volgt bepaald:
- 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 formule (5.16) gebruiken met het onderste segment (bovenste regel) (segment $i = 1$)
 - Voor versie > 2008 geldt: als het onderste segment een berm is met $Z_o > h - 1,5H_s$ en het voorland steiler is dan 1:9, dan wordt het voorland meegeteld bij de berekeningen van de fictieve taludhelling. Segment i is dan 0.
 - Voor versie > 2008 geldt: Als alle $Z_b < h - 1,5H_s$, dan het bovenste segment van het buitentalud gebruiken voor segment i (het segment dat één regel boven de kruin staat; of de onderste regel als er geen kruin is).
 - Als alle $Z_b < h$, dan het bovenste segment van het buitentalud gebruiken voor segment j (het segment dat één regel boven de kruin staat; of de onderste regel als er geen kruin is).
 - Als $Z_{o1} > h$, dan formule (5.17) gebruiken met het onderste segment (bovenste regel) (segment $j = 1$)
 - Voor versie > 2008 geldt: als het onderste segment een berm is met $Z_o > h$ en het voorland steiler is dan 1:9, dan wordt het voorland meegeteld bij de berekeningen van de fictieve taludhelling. Segment j is dan 0.

Als segment i of segment j een berm is geldt:

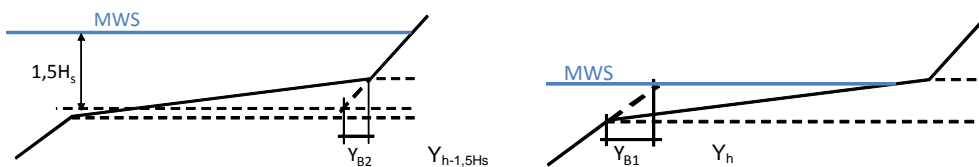
- Als segment i een berm is, dan formule (5.16) gebruiken met het erboven gelegen segment dat geen berm is. Alle segmenten op het talud, vanaf segment i tot het segment j, worden bekeken om te zoeken naar het dichtstbij gelegen segment dat geen berm is.
- Als segment j een berm is, dan formule (5.17) gebruiken met het eronder gelegen segment dat geen berm is. Alle segmenten op het talud, vanaf segment j tot het segment i, worden bekeken om te zoeken naar het dichtstbij gelegen segment dat geen berm is.
- Als geen segment gevonden wordt dat geen berm is, wordt de fictieve taludhelling met alle segmenten (bermen) tussen h en $h - 1,5H_s$ bepaald. In dit geval wordt er een waarschuwing gegeven: "Resultaat is niet nauwkeurig omdat volledige zone tussen SWL en SWL - 1,5-Hs een berm is."
- Als i en j in het onderste segment liggen en het is een berm, dan wordt de taludhelling van het segment erboven genomen om $\tan\alpha_{fict}$ te bepalen.

- 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:

$$- Y_{h-1,5H_s} = Y_{li} + \frac{h-1,5H_s - Z_{li}}{\tan \alpha} \quad (5.16)$$

$$- Y_h = Y_{lj} + \frac{h - Z_{lj}}{\tan \alpha} \quad (5.17)$$

Als segment i of j een berm is, leidt dit tot de situatie die getekend is in Figuur 5.1.



Figuur 5.1 Bepalen van Y als segment i een berm is (links) of als segment j een berm is (rechts)

- De horizontale afstand van $Z = h - 1,5H_s$ tot het punt met $Z = h$ wordt bepaald door $Y_{h-1,5H_s}$, Y_h en de breedte van de segmenten tussen de segmenten i en j te sommeren, maar de segmenten met een berm over te slaan. Zo wordt Y_{totaal} bepaald. Als het segment een berm is, wordt de berm eerst horizontaal gemaakt, zoals in Figuur 5.2 links is getoond. Voor het niveau van de berm wordt het gemiddelde genomen van het meest zeewaarts en meest landwaartse punt van de berm. De berm wordt aangenomen horizontaal te zijn op de gemiddelde hoogte. De aansluitende segmenten worden dan verlengd tot op de hoogte van de horizontale berm. Daardoor ontstaan de delen Y_{B1} en Y_{B2} die bij Y_{totaal} opgeteld worden:

$$Y_B = Y_{B1} + Y_{B2} = h_{\text{berm}} \left(\frac{1}{2 \tan \alpha_1} + \frac{1}{2 \tan \alpha_2} \right) \quad (5.18)$$

Met:

h_{berm} = cumulatieve hoogte van de bermen tussen SWL en SWL-1,5H_s (niveauverschil tussen de buitenrand van de berm en de binnenrand) (m)

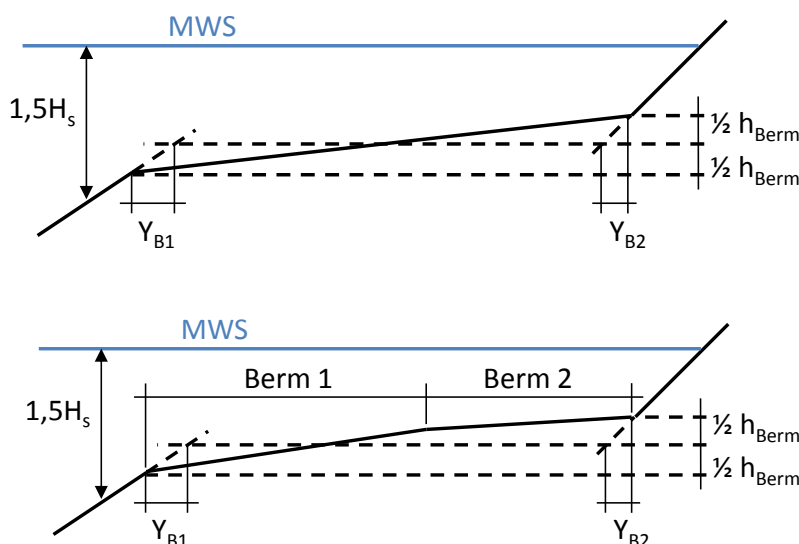
$\tan\alpha_1$ = taludhelling van het taluddeel links van de berm (-)

$\tan\alpha_2$ = taludhelling van het taluddeel rechts van de berm (-)

Y_B = totale lengte die bij de talud lengte wordt opgeteld vanwege de berm (m)

Y_{Bi} = lengte aan een van de zijde van de berm waarover het aangrenzende talud wordt doorgetrokken (m)

Als er twee of meer bermen naast elkaar zijn, worden alle bermhoogten opgeteld en Y_{B1} en Y_{B2} bepaald zoals met één berm (zie Figuur 5.2 rechts).



Figuur 5.2 Berekening van relevante waarde van Y bij een berm

Als er alleen bermen in het beschouwde bereik zijn, dan wordt Y_{totaal} met bermsegmenten bepaald.

De gemiddelde taludhelling wordt uiteindelijk berekend met:

$$\tan \alpha_{\text{fict}} = \frac{1,5H_s}{Y_{\text{totaal}}} \quad (5.19)$$

Als de fictieve taludhelling steiler is dan 1:2, dan volgt een waarschuwing: “Onnauwkeurig resultaat: talud is te steil.”

5.4 Beoordeling of de steenzetting wel belast wordt

De beoordeling of de steenzetting wel belast wordt, wordt alleen doorgevoerd voor buitensegmenten, welke geen berm zijn. Voor binnensegmenten en buitenbermen wordt $C_{\text{diep}} = 1$ gezet en altijd de stabiliteit berekend.

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 toplaag 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 toplaag verder niet getoetst te worden. Er geldt dan: $f_{gt} = 99$. De geschatte waarde van de

golfloop is voldoende nauwkeurig om te weten dat in dit geval de bekleding boven de met het Technisch Rapport Golfloop en Golfverslag berekende halve golfploophoogte ligt.

Het bovenstaande vervalt als men in het werkblad 'Algemeen' bij "Ook hoog boven toetspeil gelegen bekleding doorrekenen?" 'ja' heeft ingevuld.

Er wordt vervolgens gerekend met de waterstand en golfcondities die gelden in de betreffende iteratie. Als de steenzetting op het buitentalud heel diep onder die waterstand zit, wordt hij niet belast en is hij dus ook "goed". Als de steenzetting op een berm, kruin, binnentalud of binnenberm zit, dan wordt onderstaande berekening overgeslagen.

Om dit te kunnen beoordelen wordt eerst het volgende berekend:

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56T_p^2}}} \quad \text{met } \alpha = \alpha_{\text{fict}} \quad (5.20)$$

$$d_m = h - Z_{\text{bodem}} + 0,5 \tan \alpha_{\text{bodem}} \cdot (1,56T_p^2) \quad (5.21)$$

Als versie < 2010,5 dan $f_{\text{od,front}} = 1$, anders:

$$f_{\text{od,front}} = \min \left\{ 1; \max \left\{ 1 - \frac{\left(2,8 - \frac{d_m}{H_s} \right) \left(1 - \min(12,9s_{op} + 0,5; 1) \right)}{0,6}; \min(12,9s_{op} + 0,5; 1) \right\} \right\} \quad (5.22)$$

$$x_{s,hoog} = \frac{H_s f_{\text{od,front}}}{\tan \alpha} \cdot \min \left\{ 0,25 + 0,11 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha}; 2,0 \right\} \quad (5.23)$$

$$\phi_{\text{min}} = H_s \cdot \max \left\{ -0,16 \left(\frac{\xi_{op}}{\sqrt{\tan \alpha}} \right)^{1,25}; \frac{-2,5}{1 + 0,9/\sqrt{\xi_{op}}} \right\} \quad (5.24)$$

$$\tan(\theta_f) = \max \left\{ 1; \min \left\{ 8 - 0,6 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha}; 2,5 \right\} \right\} \quad (5.25)$$

- θ_f = helling van het stijghoogtefront ($^\circ$)
- $x_{s,hoog}$ = 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)
- d_m = maatgevende waterdiepte op een halve diepwatergolflengte van de teen van de dijk (m)
- $f_{\text{od,front}}$ = invloedsfactor in verband met ondiepe voorlanden (m)

Vervolgens wordt de waarde van ϕ_{min} eventueel gecorrigeerd:

$$\phi_{\text{min}} = \phi_{\text{min}} + \max \left(0; -x_{s,hoog} \cdot \tan \alpha - \phi_{\text{min}} \right) \quad (5.26)$$

Tenslotte kan c_d als volgt berekend worden:

$$c_d = \frac{h_{MWS} - Z_b - x_{s,hoog} \tan \alpha}{\phi_{\min} \tan \alpha / \tan \theta_f} \quad (5.27)$$

c_d = relatieve diepte van de bovenste overgangsconstructie ten opzichte van de voet van het stijghoogtefront (-)

De formule voor ϕ_{\min} wijkt af van die in paragraaf 5.9.3, omdat er daar een ongewenst verloop van de stijghoogte op de toplaag kan resulteren, terwijl dat hier geen probleem is. Daarom wordt hier gebruikgemaakt van de oorspronkelijke formule.

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: $f_{gt} = 99$ en er wordt een melding gegeven over het rekenproces: "Bekleding onbelast omdat diep onder water".
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: $f_{gt} = 99$ en er wordt een melding gegeven over het rekenproces: "Bekleding onbelast omdat diep onder water".
Als $-2 \leq c_d < 0$, dan

$$C_{diep} = \max\left(0; 1 - 0,15 \cdot c_d^2 + 0,2 \cdot c_d\right) \quad (5.28)$$
Melding over het rekenproces: "Bekleding minder belast omdat diep onder water".
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, bovenloopfactor en of de toplaag "onvoldoende" mag worden

Normaal wordt er gerekend met de volgende parameters:

- bermfactor: $C_{berm} = 1$
- bovenloopfactor: $C_{bovenloop} = 1$
- parameter die aangeeft dat de toplaag ook het toetsresultaat onvoldoende kan krijgen: $C_{onv} = 1$

Voor het berekenen van de bovenloopfactor wordt gebruikgemaakt van de volgende formule:

- Als versie < 2009: $f_{bovenloop} = 0,80$ (5.29)

- Als versie > 2009: $f_{bovenloop} = \max\left(0,01; 0,55 - 0,55 \frac{Z_o - h}{z_{2\%}}\right)$ (5.30)

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

5.5.1 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.
Om dezelfde reden wordt de invloed van de taludhelling meegenomen tot 1:2,5 en 1:6. Alleen tussen deze waarden wordt er geïnterpoleerd en geëxtrapoleerd, en daarbuiten blijft de waarde gelijk aan die bij de rand van dit gebied.
Als de resulterende waarde van C_{berm} kleiner is dan 0,1, dan wordt 0,1 aangehouden. Ook als de waarde van de dimensieloze waterdiepte op de berm buiten de range van de figuren valt, wordt 0,1 aangehouden.
- Als er sprake is van een smalle berm met breedte $H_s < B_{\text{berm}} < 2 \cdot H_s$ dan wordt een melding over rekenproces gegeven: "Smalle berm".
Bepaal de bermfactor als boven.
 - Als $C_{\text{berm}} < 1$, dan: Reken met $C_{\text{berm}} = 1$, en als $Z_o \geq h$ dan: $C_{\text{bovenbeloop}} = 1/f_{\text{bovenbeloop}}$ 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 $B_{\text{berm}} < H_s$ dan wordt een melding over rekenproces gegeven: "Zeer smalle berm".
Doe net alsof de betreffende toplaag op een talud ligt met helling α_{fict} . Reken met $C_{\text{berm}} = 1$.
Als de berm het onderste segment is en het voorland is flauwer dan 1:9, wordt met $C_{\text{berm}} = 1$ gerekend.

5.5.2 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. Het gaat hierbij niet om de bekleding op de berm, maar om de bekleding eronder of erboven. Als de berm meer dan H_s onder de waterlijn zit, heeft die geen invloed op de belasting op het talud.

Als het segmenttype 'onder/bovenbeloop' of 'bovenbeloop' is, en er zijn twee bermen, dan geldt:

- Als $Z_{o,\text{bovenste berm}} \leq h - H_s$, dan tellen de bermen niet mee, en wordt verder gewerkt alsof het een onderbeloop is, dus $Z_{o,\text{berm}} = Z_{o,\text{bovenste berm}}$ en segmenttype = onderbeloop. Anders:
- Als $Z_{o,\text{bovenste berm}} \leq Z_o$, dan is de bovenste berm maatgevend, en wordt verder gewerkt alsof het een bovenbeloop is, dus $Z_{o,\text{berm}} = Z_{o,\text{bovenste berm}}$ en segmenttype = bovenbeloop. Anders:

- Als $Z_{o, \text{onderste berm}} \leq h - H_s$, dan telt de onderste berm niet mee, en is de bovenste berm maatgevend (bepalend voor of het een onderbeloop of bovenbeloop is), dus $Z_{o, \text{berm}} = Z_{o, \text{bovenste berm}}$ en segmenttype = onderbeloop. Anders:
- Als $Z_{o, \text{onderste berm}} \leq Z_o$, dan is de onderste berm maatgevend, en wordt verder gewerkt alsof het een bovenbeloop is, dus $Z_{o, \text{berm}} = Z_{o, \text{onderste berm}}$ en segmenttype = bovenbeloop. Anders:
- dan is de onderste berm maatgevend, en wordt verder gewerkt alsof het een onderbeloop is, dus $Z_{o, \text{berm}} = Z_{o, \text{onderste berm}}$ en segmenttype = onderbeloop.

Als er sprake is van een onderbeloop dan geldt:

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

Als $C_{\text{onv}} = 1$ dan kan de toplaag ook “onvoldoende” worden, terwijl als $C_{\text{onv}} = 0$, dan is “geavanceerd” het slechtste resultaat.

Als er sprake van een bovenbeloop is, dan geldt:

- Als er sprake is van een zeer smalle berm met breedte $B_{\text{berm}} < H_s$ dan wordt de bekleding berekend alsof er geen berm is (dus $C_{\text{berm}} = 1$ en talud: α_{fict}). Als de toplaag geheel en al boven de waterstand ligt ($Z_o \geq h$), geldt: $C_{\text{bovenbeloop}} = 1/f_{\text{bovenbeloop}}$ en $C_{\text{onv}} = 0$. Als de toplaag niet boven de waterstand ligt ($Z_o < h$) geldt $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$ en $C_{\text{onv}} = 1$. Melding over rekenproces: “Zeer smalle berm”.
- 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 $H_s \leq B_{\text{berm}} < 2 \cdot H_s$ geldt voor Steentoets2008 (versie < 2009):
 - Als $C_{\text{berm}} < 1$ of $Z_{o, \text{berm}} \leq h - H_s$, dan wordt het bovenbeloop berekend alsof er geen berm is (dus wordt $C_{\text{berm}} = 1$). Als $Z_o \geq h$ dan $C_{\text{bovenbeloop}} = 1/f_{\text{bovenbeloop}}$ en $C_{\text{onv}} = 0$, anders $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$ en $C_{\text{onv}} = 1$.
 - Anders wordt het bovenbeloop berekend alsof er wel een normale berm is (dus reken met berekende waarde van C_{berm} , $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$ en $C_{\text{onv}} = 1$).

Als geldt dat $H_s \leq B_{\text{berm}} < 2 \cdot H_s$ en versie > 2009 dan wordt de bekleding berekend alsof er geen berm is (dus $C_{\text{berm}} = 1$ en talud: α_{fict}). Als de toplaag geheel en al boven de waterstand ligt ($Z_o \geq h$), geldt: $C_{\text{bovenbeloop}} = 1/f_{\text{bovenbeloop}}$ en $C_{\text{onv}} = 0$. Als de toplaag niet boven de waterstand ligt ($Z_o < h$) geldt $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$ en $C_{\text{onv}} = 1$.

Zowel in Steentoets2008, -2010 en -2014 volgt een melding over rekenproces: “Smalle berm”.

- Als er sprake is van een normale berm met $B_{\text{berm}} \geq 2 \cdot H_s$:
 - Als $h \leq Z_{o, \text{berm}}$ dan wordt net gedaan alsof de toplaag op de berm ligt en wordt dus de toetsing uitgevoerd met de berekende C_{berm} . Verder geldt: $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$ en $C_{\text{onv}} = 1$
 - Als $0 < (h - Z_{o, \text{berm}}) < H_s$ dan geldt:
 - Als $C_{\text{berm}} > f_{\text{bovenbeloop}}$ en $h < Z_o$ dan: $C_{\text{berm}} = 1$, $C_{\text{bovenbeloop}} = 1/f_{\text{bovenbeloop}}$ en $C_{\text{onv}} = 0$
 - Als $C_{\text{berm}} > 1$ en $h \geq Z_o$ dan: $C_{\text{berm}} = 1$, $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$ en $C_{\text{onv}} = 1$

- anders wordt de berekening uitgevoerd met de berekende waarde van C_{berm} , $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$ en $C_{\text{onv}} = 1$, en wordt verder gerekend met de bovenste overgangconstructie op de stilwaterlijn en de onderste op $h - 2H_s$.
- Als $(h - Z_{\text{oberm}}) \geq H_s$ dan is de invloed van de berm verwaarloosbaar: $C_{\text{berm}} = 1$. Als $Z_0 \geq h$ dan $C_{\text{bovenbeloop}} = 1/f_{\text{bovenbeloop}}$ en $C_{\text{onv}} = 0$, anders $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$ en $C_{\text{onv}} = 1$.

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 ($\tan \alpha_{\text{scheef}} = \tan \alpha \cdot \cos \beta$), 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: $H_s/\Delta D = F(\tan \alpha / \sqrt{(H_s/L_{\text{op}})})^{-2/3}$. 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:

- als in het werkblad 'Algemeen' bij 'In "Toetsgolven"/"Ontwerpgolven" staan golfcondities waarin de invloed van de golfrichting m.b.v. $(\cos \beta)^{2/3}$ is verdisconteerd?' er 'ja' is ingevuld:
 - Toetsing:

$$f_{\beta} = \max(0.3; (\max(\cos \beta; 0,01))^{2/3}) \quad (\text{met } \beta \text{ in graden}) \quad (5.31)$$
 - Ontwerp:

$$f_{\beta} = \max(0.4; (\max(\cos \beta; 0,01))^{2/3}) \quad (\text{met } \beta \text{ in graden}) \quad (5.32)$$
 - Als $\cos \beta < -0,5$ dan zijn er aflandige golven:

$$f_{\beta} = 0,2 \quad (5.33)$$
- als in het werkblad 'Algemeen' bij 'In "Toetsgolven"/"Ontwerpgolven" staan golfcondities waarin de invloed van de golfrichting m.b.v. $(\cos \beta)^{2/3}$ is verdisconteerd?' er 'nee' is ingevuld:

$$f_{\beta} = 1 \quad (5.34)$$

In geval van aflandige golven (als $\cos \beta < -0,5$) wordt een waarschuwing gegeven: Aflandige golven.

Voor de bepaling van β wordt verwezen naar paragraaf 4.11.

Deze factor wordt voornamelijk ook toegepast als $\xi_{\text{op}} > 2,5$, 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 en 5.15).

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 (reststerkte_i = 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 5.1, waarin ook de stormduur en het stormverloop die voor die systemen worden gehanteerd zijn vermeld.

watersysteem	Stormduur [uur]	Stormverloop
Westerschelde	35	HR2006 fig. 2-10
Oosterschelde	35	Belastingduur afhankelijk van waterstand: $h_{\text{toets}} - 1 < h \leq h_{\text{toets}}$: $t_{\text{belast}} = 5$ uur $h_{\text{toets}} - 2 \leq h \leq h_{\text{toets}} - 1$: $t_{\text{belast}} = 25$ uur $h_{\text{toets}} - 3 < h < h_{\text{toets}} - 2$: $t_{\text{belast}} = 20$ 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 5.1 Stormduur en stormverloop in de verschillende watersystemen

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.

5.7.1 Oosterschelde en rivierengebied

Voor de Oosterschelde en het Rivierengebied (Benedenrivieren, deelgebied 3 t/m 5 en Bovenrivieren) wordt een vaste belastingduur aangehouden. In de Oosterschelde is deze afhankelijk van de waterstand:

- Oosterschelde:
 - $h > h_{\text{toets}} + 0,2$: $t_{\text{belast}} = 0$ uur
 - $h_{\text{toets}} - 1 < h \leq h_{\text{toets}} + 0,2$: $t_{\text{belast}} = 5$ uur
 - $h_{\text{toets}} - 2 < h \leq h_{\text{toets}} - 1$: $t_{\text{belast}} = 25$ uur
 - $h < h_{\text{toets}} - 2$: $t_{\text{belast}} = 20$ uur
- Bovenrivieren en Benedenrivieren dg3-5:
 - $t_{\text{belast}} = 12$ uur

5.7.2 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 5.6)
- 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 5.6)
- 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 5.4)
- landwaarts van de golfklap van het type 1
- landwaarts van de golfklap van het type 2 (golfklaptype 2 is een gevolg van een golfklappen op de voet van het front, zie Figuur 5.5)

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 leklengte te werken met de locatie van de voet van het hoge stijghoogtefront en bij een korte leklengte een locatie tussen de zeewaartse gelegen locatie en de landwaarts gelegen locatie met grootste stijghoogteverschil in golfklap type 1 (h is de waterstand uit de betreffende iteratieslag: h_{MWS_t}). Eerst wordt de maatgevende waterdiepte berekend:

$$d_m = h - Z_{bodem} + 0,5 \tan \alpha_{bodem} \cdot (1,56T_p^2) \quad (5.35)$$

Met:

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

d_m = maatgevende waterdiepte op een halve diepwatergolflengte van de teen van de dijk (m)

Als ingegoten of $\Lambda > 1,5$ m of geen (type 3 of 6 of 7):

- Als versie < 2010,5 dan $f_{od,front} = 1$, anders:

$$f_{od,front} = \min \left\{ 1; \max \left\{ 1 - \frac{\left(2,8 - \frac{d_m}{H_s} \right) \left(1 - \min(12,9s_{op} + 0,5; 1) \right)}{0,6}; \min(12,9s_{op} + 0,5; 1) \right\} \right\} \quad (5.36)$$

$$\frac{x_s}{H_s} \tan \alpha = \min \left\{ 0,25 + 0,11 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha}; 2,0 \right\} f_{od,front} \quad (5.37)$$

$$Z_{belast} = \max(\min\{ Z_b; h - x_s \tan \alpha \}; Z_o) \quad (5.38)$$

Als $\Lambda \leq 1,5$ m of type 7:

- Als versie < 2010,5 dan $f_{od,klap} = 1$, anders:

$$f_{od,klap} = \min \left\{ 1; \max \left\{ 1 - \frac{\left(2,8 - \frac{d_m}{H_s} \right) \left(1 - \min(17,55s_{op} + 0,22; 1) \right)}{0,6}; \min(17,55s_{op} + 0,22; 1) \right\} \right\} \quad (5.39)$$

$$\frac{x_{\phi\max}}{H_s} = \min \left\{ \frac{0,42}{\sqrt{s_{op}}} - 0,9 ; 6,5 \right\} f_{od,klap} \quad (5.40)$$

$$\frac{B_{klap50\%2\%}}{H_s} = 0,96 - 0,11\xi_{s_{op}} \quad (5.41)$$

$$Z_{belast} = \max(\min\{ Z_b ; h - (x_{\phi\max} - (B_{klap50\%2\%} \cdot \cos\alpha)/2) \cdot \tan\alpha \} ; Z_o) \quad (5.42)$$

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 (zie Figuur 5.4) (m)
- $f_{od,front}$ = invloedsfactor in verband met ondiepe voorlanden (locatie van het front) (m)
- $f_{od,klap}$ = invloedsfactor in verband met ondiepe voorlanden (locatie van de klap) (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., 2012). 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.

Het verloop van de waterstand is afhankelijk van de getijrange. Deze wordt als volgt bepaald:

$$R_{tij} = \max(h_{GHW} - h_{GLW}; 0) \quad (5.43)$$

Met:

- R_{tij} = getijrange (m)
- h_{GHW} = niveau van gemiddeld hoogwater ten opzichte van NAP bij (m)
- h_{GLW} = niveau van gemiddeld laagwater ten opzichte van NAP bij (m)

Als $h_{GLW} > h_{GHW}$ dan volgt er een waarschuwing: Omdat $GLW > GHW$ is gerekend met getijrange=0.

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

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

– Als $t > 0$ uur:

$$h = \max \left(h_{toets} + \frac{R_{tij}}{2} \left(\cos \left(\frac{2\pi t}{12,42} \right) - 1 \right) - \frac{3,97t}{t_{storm}/2} ; -\frac{R_{tij}}{2} \right) \quad (5.44)$$

- Overige gebieden:

– als versie > 2009 en {gebied is IJsselmeer, Randmeren of Markermeer} dan $R_{tij} = 0$

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

$$h = h_{toets} + \frac{R_{ij}}{2} \left(\cos \left(\frac{2\pi t}{12,42} \right) - 1 \right) - 0,05 \cdot t \quad (5.45)$$

- Als $t > 2$ uur:

$$h = h_{toets} - 0,1 + \frac{R_{ij}}{2} \left(\cos \left(\frac{2\pi t}{12,42} \right) - 1 \right) - \frac{h_{toets} - h_0 - 0,1 - R_{ij} / 2}{(t_{storm} - 4) / 2} \cdot (t - 2) \quad (5.46)$$

Met h_0 = meerpeil bij meren, anders $h_0 = 0$.

Hierbij geldt dat het waterstandverloop symmetrisch is ten opzichte van het moment $t = 0$, namelijk het moment waarop het toetspeil bereikt wordt: $h(-t) = h(t)$. Verder is hierbij aangenomen dat niveau A uit de HR2006 gelijk is aan 0 in Steentoets (doorgaans overeenkomstig met NAP). Uitzondering daarop zijn de meren waarvoor het meerpeil in de formules is opgenomen.

De belastingduur wordt bepaald door te berekenen hoe lang het waterstandsverloop h binnen de belaste zone van de steenzetting valt. De onder- en bovengrens van die zone worden gekarakteriseerd door respectievelijk de niveaus h_L en h_H .

- $h_L = Z_{belast} + 0,2H_s \cdot \min(\xi_{sop}; 4)$ (5.47)

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

- $h_H = Z_{belast} + 0,6H_s \cdot \min(\xi_{sop}; 4)$ (5.48)

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

Als versie < 2010,5 (Steentoets2008) wordt uitgegaan van harde grenzen van de belaste zone (de tijdsduur dat h net binnen de belaste zone valt, draagt wel volledig bij aan de belastingduur, maar de tijdsduur dat h er net buiten valt draagt in het geheel niet mee). Als versie > 2010,5 wordt uitgegaan van meer diffuse grenzen van de belaste zone (de tijdsduur dat h in het middelste gedeelte van de belaste zone valt, draagt volledig bij aan de belastingduur, maar de tijdsduur dat h rond de boven- of ondergrens valt, heeft een kleinere bijdrage). Voor het rekenen met diffuse grenzen is de rekenstructuur voor het bepalen van de belastingduur voor versie > 2010,5 gewijzigd:

Als versie < 2010,5 (Steentoets2008):

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

$$h_L \leq h \leq h_H \quad (5.49)$$

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 $h_{i-1} > h_H \geq h_i$ (wellicht is geen vergroting nodig).

Bereken dan de volgende interpolatie:

$$t_{Bj} = t_{i-1} + \frac{t_i - t_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} (h_H - h_{i-1}) \quad (5.50)$$

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

Als $h_i \leq h_L$ dan:

$$t_{Ej} = t_{i-1} + \frac{t_i - t_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} (h_L - h_{i-1}) \quad (5.51)$$

$$t_{\text{belast},j} = \min(t_{Ej}; t_{\text{eind}}) - t_{Bj} \quad (5.52)$$

$j = j+1$

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

b) De waterstand is te laag.

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

Bereken dan de volgende interpolatie:

$$t_{Bj} = t_{i-1} + \frac{t_i - t_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} (h_L - h_{i-1}) \quad (5.53)$$

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

Als $h_i \geq h_H$ dan

$$t_{Ej} = t_{i-1} + \frac{t_i - t_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} (h_H - h_{i-1}) \quad (5.54)$$

$$t_{\text{belast},j} = \min(t_{Ej}; t_{\text{eind}}) - t_{Bj} \quad (5.55)$$

$j = j+1$

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:

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

$$t_{Ej} = t_{i-1} + \frac{t_i - t_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} (h_L - h_{i-1}) \quad (5.56)$$

$$t_{\text{belast},j} = \min(t_{Ej}; t_{\text{eind}}) - t_{Bj} \quad (5.57)$$

$j = j+1$

ga verder naar b.

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

$$t_{Ej} = t_{i-1} + \frac{t_i - t_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} (h_H - h_{i-1}) \quad (5.58)$$

$$t_{\text{belast},j} = \min(t_{Ej}; t_{\text{eind}}) - t_{Bj} \quad (5.59)$$

$$j = j+1$$

ga verder naar a.

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

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

Als $t_{belast} = T_p/1,1/3,6$ dan melding rekenproces: "Minimum belastingduur gehanteerd".

De belastingduur mag niet groter zijn als de stormduur, dus: $t_{belast} = \min(t_{belast}, t_{storm})$.

Als versie > 2010,5:

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

Voor elke tijdstap wordt bepaald hoe effectief die bijdraagt aan de totale belastingduur met factor f_{duur} (zie Figuur 5.3). De factor f_{duur} is een maat voor de bijdrage van de tijdstap (aan de totale belastingduur), afhankelijk van het niveau van h ten opzichte van h_H en h_L . Wanneer h in het middelste gedeelte van de belaste zone valt, is $f_{duur} = 1$, waardoor de beschouwde tijdstap in dat geval volledig bijdraagt aan de totale belastingduur. Naarmate h verder naar de grenzen van de zone ligt, neemt de factor f_{duur} af tot 0 en neemt de effectieve bijdrage van de tijdsduur af. Wanneer h buiten de belaste zone valt, geldt altijd dat $f_{duur} = 0$.

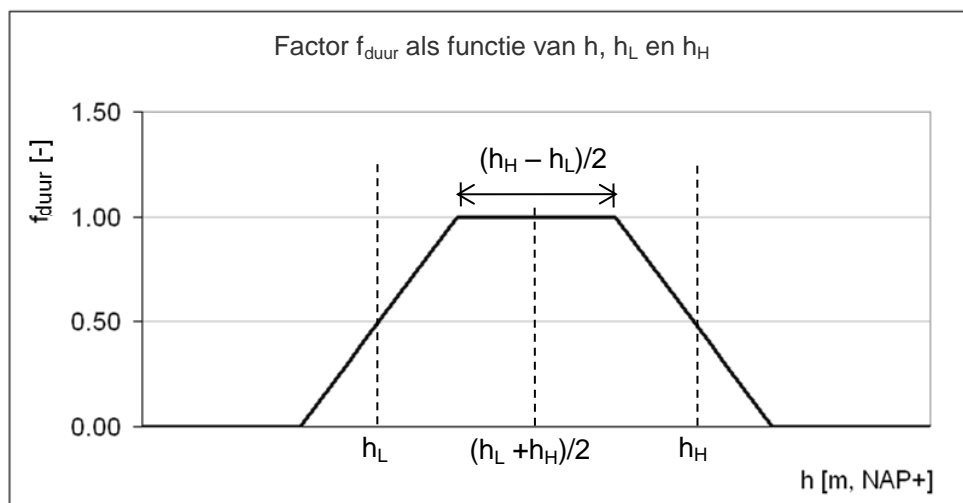
De factor f_{duur} wordt gegeven door de formules:

Als $h < (h_L + h_H)/2$ dan

$$f_{duur} = \max(0; \min(R_c \cdot (h - h_L) + 0,5; 1)) \quad (5.60)$$

Als $h > (h_L + h_H)/2$ dan

$$f_{duur} = \max(0; \min(-R_c \cdot (h - h_H) + 0,5; 1)) \quad (5.61)$$



Figuur 5.3 Factor f_{duur} als functie van h , h_H en h_L

In deze formules is h de waterstand in het midden van de beschouwde tijdstap. R_c is de richtingscoëfficiënt van f_{duur} rond de onder- en bovengrens van de belaste zone. Er geldt: $R_c = 2/(h_H - h_L)$.

De belastingduur is tenslotte gelijk aan tweemaal de som van alle effectieve tijdsduren, met een minimum van 1000 golven:

$$t_{\text{belast}} = \max \left(2 \sum_{t=0}^{t_{\text{eind}}} (dt \cdot f_{\text{duur}}); \frac{1000 \cdot T_p}{1,1 \cdot 3600} \right) \quad (5.62)$$

Als $t_{\text{belast}} = T_p/1.1/3.6$ dan melding rekenproces: "Minimum belastingduur gehanteerd".
De belastingduur mag niet groter zijn als de stormduur, dus: $t_{\text{belast}} = \min(t_{\text{belast}}; t_{\text{storm}})$.

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, 6 of 7, dan geldt dat voor de invloedsfactoren $f_B = 1$ en $f_S = 1$.

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

$$N = 1,1 \cdot 3600 \cdot t_{\text{belast}} / T_p \quad (5.63)$$

$$h_w = h - Z_{\text{bodem}} \quad (5.64)$$

$$c_H = \max \left\{ 1,06; 0,8 + \frac{(0,098 + 1,62 \tan \alpha_{\text{bodem}}) h_w^2}{0,673 H_s h_w + 0,203 H_s^2} \right\} \quad (5.65)$$

$$f_B = \frac{1,71 \cdot \min \{ 1,54; c_H \}}{\min \left\{ \sqrt{\ln N}; c_H (\ln N)^{1/3,6} \right\}} \quad (5.66)$$

$$f_{S,\text{front}} = \max \left\{ 1 - c_1 \cdot \log \frac{N}{1000}; c_2 \right\} \quad (5.67)$$

$$f_{S,\text{klap}} = \max \left\{ 1 - c_1 \cdot \log \left(\frac{\max \left\{ 0,08; 1 - \frac{0,057}{\sqrt{H_s / 1,56 / T_p^2}} \right\}}{0,72} \frac{N}{1000} \right); c_2 \right\} \quad (5.68)$$

- Basalt, Basalton, PIT-Polygoon, Hydroblock, Ronaton, Hillblock, C-Star, Verkalit mgv en Verkalit GOR (ook al zijn ze ingegoten met gietasfalt): $c_1 = 0,15$ en $c_2 = 0,85$
- Blokken op hun kant (ook als ze met afstandhouders zijn uitgevoerd en/of ingegoten zijn met gietasfalt): $c_1 = 0,35$ en $c_2 = 0,80$
- Overige typen: $c_1 = 0,30$ 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

Ten aanzien van de meldingen over het rekenproces geldt:

- Als $c_H = 1,06$ OF ($c_H > 1,54$ and $c_H \cdot (\ln(N))^{1/3,6} > \sqrt{(\ln(N))}$) dan: “Geen invloed van diepte op invloedsfactor belastingduur f_B ”.
- Als $f_{S,front} = c_2$ dan: “Minimum invloedsfactor belastingduur f_S gehanteerd”.

In de formule voor $f_{S,klap}$ 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.

Als het type gelijk is aan 7 (Noorse steen), dan worden de factoren als volgt berekend (vergelijkbare invloed als bij breuksteen volgens de formules van Van der Meer):

$$f_B = 1 \quad (5.69)$$

$$f_{S,klap} = f_{S,front} = \left(\frac{N}{1000} \right)^{-0,1} \quad (5.70)$$

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. (2012). 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 e.a., 2006b).

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:

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56T_p^2}}} \quad (5.71)$$

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:

$$H_s = H_s/f_B \quad (5.72)$$

5.9.1 Golfklap van type 1

Voor de locatie waar de maximale stijghoogte in de golfklap optreedt, geldt:

$$\frac{x_{\phi \max}}{H_s} = \min \left\{ \frac{0,42}{\sqrt{s_{op}}} - 0,9; 6,5 \right\} \cdot f_{od,klap} \quad (5.73)$$

Daarin is $f_{od,klap}$ een invloedsfactor voor de invloed van ondiepe voorlanden op de locatie van de maximale belasting op het talud. De factor is 1 bij diep water en neemt af wanneer sprake is van ondiep water. De formule voor $f_{od,klap}$ is:

Als versie < 2010,5 dan $f_{od,klap} = 1$, anders:

$$f_{od,klap} = \min \left\{ 1; \max \left\{ 1 - \frac{\left(2,8 - \frac{d_m}{H_s}\right) \left(1 - \min(17,55s_{op} + 0,22; 1)\right)}{0,6}; \min(17,55s_{op} + 0,22; 1) \right\} \right\} \quad (5.74)$$

$$d_m = h - Z_{bodem} + 0,5 \tan \alpha_{bodem} \cdot (1,56T_p^2) \quad (5.75)$$

Met:

d_m = maatgevende waterdiepte op een halve diepwatervlengte van de teen van de dijk (m)

De helling van de flank van het stijghoogteverloop aan de zeezijde van de golfklap wordt berekend met:

- Als $\xi_{op}/\tan \alpha < 7$: $\theta_{k50-80\%k} = \max(85^\circ - 0,5 \cdot \text{abs}(7 - \xi_{op}/\tan \alpha); 83^\circ)$ (5.76)

- Als $\xi_{op}/\tan \alpha \geq 7$: $\theta_{k50-80\%k} = \max(85^\circ - \text{abs}(7 - \xi_{op}/\tan \alpha); 82^\circ)$ (5.77)

Voor de invloed van de berm op de maximale stijghoogte in de golfklap geldt tijdelijk:

$$\gamma_{berm,\phi k} = 1 \quad (5.78)$$

Er wordt gebruikgemaakt van een invloedsfactor voor de invloed van de taludhelling op de maximale stijghoogte in de golfklap. Als de taludhelling flauwer is dan 1:4, is de maximale stijghoogte kleiner dan bij 1:3,5, en bij een taludhelling steiler dan 1:3 is die groter. Tussen 1:3 en 1:4 is het verschil klein. De formule voor deze invloedsfactor is:

$$f_{talud} = 1 + \left(\frac{\tan \alpha}{1/3,5} + 0,3 \cdot \left(\frac{1}{1 + 10 \cdot \text{abs}\left(\tan \alpha - \frac{1}{3,5}\right)} - 1 \right) \cdot \text{sign}\left(\tan \alpha - \frac{1}{3,5}\right) - 1 \right) \cdot \frac{\min(0,03; s_{op})}{0,03} \quad (5.79)$$

Voor de maximale en minimale stijghoogte in de golfklap geldt:

$$\phi_k = \gamma_{berm,\phi k} \cdot f_{talud} \cdot H_s \left(30 - \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha} \right) \left(\frac{\rho g H_s^2}{\sigma_w} \right)^{-0,2} \quad (5.80)$$

$$\phi_{\min klap} = 0,05 H_s \quad (5.81)$$

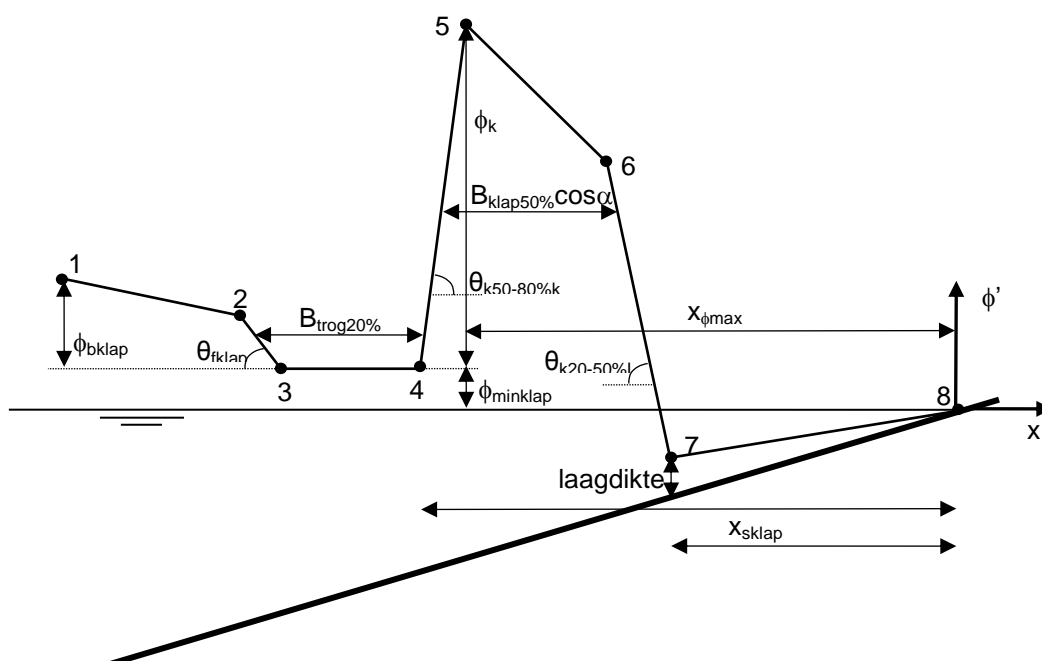
$$\phi_{bklap} = 0,63 H_s \quad (5.82)$$

$$\tan \theta_{fklap} = 2,1 \quad (5.83)$$

De helling van de flank van het stijghoogteverloop aan de landzijde van de golfklap wordt berekend met:

- Als $\xi_{op}/\tan\alpha < 7$: $\theta_{k20-50\%L} = \max(80^\circ - 0,5 \cdot \text{abs}(7 - \xi_{op}/\tan\alpha) ; 77^\circ)$ (5.84)

- Als $\xi_{op}/\tan\alpha \geq 7$: $\theta_{k20-50\%L} = \max(80^\circ - \text{abs}(7 - \xi_{op}/\tan\alpha) ; 76^\circ)$ (5.85)



Figuur 5.4 Geschematiseerd 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)

Voor de breedte van de golfklap en de laagdikte erboven geldt:

$$B_{trog20\%} = 0,29H_s \quad (5.86)$$

$$B_{klap50\%} = H_s (0,96 - 0,11\xi_{op}) \quad (5.87)$$

$$d_l = 0,17H_s \quad (5.88)$$

$$\sigma_w = 0,073 \quad (5.89)$$

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 ($^\circ$)

$\theta_{k50-80\%k}$ = helling van de flank van het stijghoogteverloop aan de zeezijde van de golfklap ($^\circ$)

$\theta_{k20-50\%L}$	=	helling van de flank van het stijghoogteverloop aan de landzijde van de golfklap ($^{\circ}$)
ϕ_{minklap}	=	stijghoogte in de trog tussen de golfklap en de restanten van het golffront (m)
$\gamma_{\text{berm},\phi_k}$	=	factor die de invloed van de berm op ϕ_k 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 golflengte (-)
T_p	=	golfperiode bij de piek van het spectrum (s)
g	=	versnelling van de zwaartekracht (m/s^2)
α	=	taludhelling ($^{\circ}$)
ρ	=	soortelijke massa van water (kg/m^3)

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

- Punt 4:

$$- \quad x_4 = -x_{\phi_{\text{max}}} - \frac{\phi_k}{\tan \theta_{k50-80\%k}} \quad (5.90)$$

$$- \quad \phi'_4 = \phi_{\text{minklap}} \quad (5.91)$$

- Punt 3:

$$- \quad x_3 = x_4 - B_{\text{trog}20\%} + \frac{0,2\phi_{\text{bklap}}}{\tan \theta_{\text{fklap}}} \quad (5.92)$$

$$- \quad \phi'_3 = \phi_{\text{minklap}} \quad (5.93)$$

- Punt 2:

$$- \quad x_2 = x_3 - \frac{0,5\phi_{\text{bklap}}}{\tan \theta_{\text{fklap}}} \quad (5.94)$$

$$- \quad \phi'_2 = 0,5 \cdot \phi_{\text{bklap}} + \phi_{\text{minklap}} \quad (5.95)$$

- Punt 1:

$$- \quad x_1 = x_2 - \frac{0,5\phi_{\text{bklap}}}{(\tan \theta_{\text{fklap}})/3} \quad (5.96)$$

$$- \quad \phi'_1 = \phi_{\text{bklap}} + \phi_{\text{minklap}} \quad (5.97)$$

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

- Punt 5:

$$- \quad x_5 = -x_{\phi_{\text{max}}} \quad (5.98)$$

$$- \quad \phi'_5 = \phi_k + \phi_{\text{minklap}} \quad (5.99)$$

- Punt 6:

$$- \quad x_6 = -x_{\phi_{\text{max}}} + \max \left(B_{\text{klap}50\%} / 20; B_{\text{klap}50\%} \cos \alpha - \frac{\phi_k}{2 \tan \theta_{k50-80\%k}} - \frac{\phi_k}{10 \tan \theta_{k20-50\%L}} \right) \quad (5.100)$$

$$- \phi'_6 = 0,6 \cdot \phi'_5 \quad (5.101)$$

• Punt 7:

$$- x_7 = x_6 + \max \left(\frac{B_{klap50\%}}{5}; \frac{\phi_k}{20}; \frac{\phi'_6}{\tan \theta_{k20-50\%L}} - \frac{\left(x_6 + \frac{\phi'_6}{\tan \theta_{k20-50\%L}} \right) \tan \alpha + d_l}{\tan \theta_{k20-50\%L}} \right) \quad (5.102)$$

$$- \phi'_7 = x_7 \tan \alpha + d_l \quad (5.103)$$

• Punt 8:

$$- x_8 = \max \left(0; x_7 + \frac{H_s}{2} \right) \quad (5.104)$$

$$- \phi'_8 = x_8 \tan \alpha \quad (5.105)$$

met:

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

Als $x_7 > -0,25 \cdot H_s$ dan volgt een melding over het rekenproces: "Golfklap 1 heeft punt 7 dicht bij waterlijn". Als $x_7 > 0$ dan volgt de melding: "Golfklap 1 heeft punt 7 boven SWL".

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):

$$- c_1 = \frac{3\phi_k - \phi_{\min klap} - \sqrt{(3\phi_k - \phi_{\min klap})^2 - (\phi_k + \phi_{\min klap})^2}}{2(B_{klap50\%} \cos \alpha)^2} \quad (5.106)$$

$$- c_2 = c_1 B_{klap50\%} \cos \alpha + \frac{\phi_k + \phi_{\min klap}}{2B_{klap50\%} \cos \alpha} \quad (5.107)$$

• Punt 1:

$$- x_1 = -x_{\phi_{\max}} - \frac{c_2}{2c_1} \quad (5.108)$$

$$- \phi'_1 = \phi_{\min klap} \quad (5.109)$$

• Punt 4:

$$- x_4 = -x_{\phi_{\max}} - B_{klap50\%} \cos \alpha + \frac{\phi_k}{2 \tan \theta_{k20-50\%L}} \quad (5.110)$$

$$- \phi'_4 = c_1 (x_4 + x_{\phi_{\max}})^2 + c_2 (x_4 + x_{\phi_{\max}}) + \phi_k + \phi_{\min klap} \quad (5.111)$$

• Punt 2:

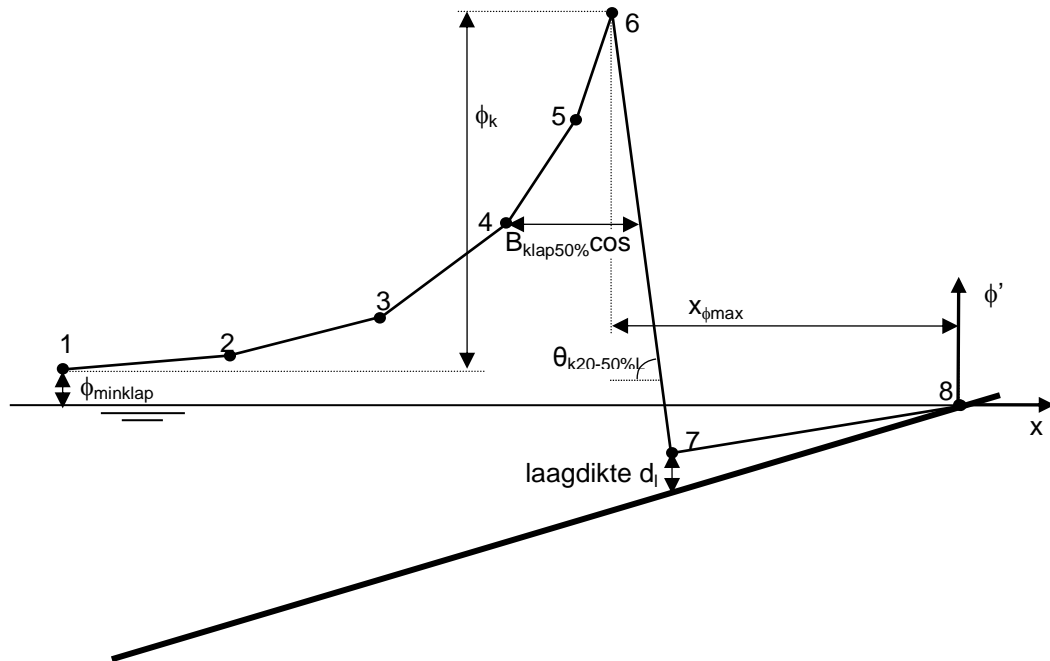
$$- x_2 = (x_4 + x_1) / 2 \quad (5.112)$$

$$- \phi'_2 = c_1 (x_2 + x_{\phi_{\max}})^2 + c_2 (x_2 + x_{\phi_{\max}}) + \phi_k + \phi_{\min klap} \quad (5.113)$$

- Punt 3:

- $x_3 = (x_2 + x_4) / 2$ (5.114)

- $\phi'_3 = c_1 (x_3 + x_{\phi_{\max}})^2 + c_2 (x_3 + x_{\phi_{\max}}) + \phi_k + \phi_{\min klap}$ (5.115)



Figuur 5.5 Schematische weergave van golfklap van type 2

- Punt 6:

- $x_6 = -x_{\phi_{\max}}$ (5.116)

- $\phi'_6 = \phi_k + \phi_{\min klap}$ (5.117)

- Punt 5:

- $x_5 = (x_6 + x_4) / 2$ (5.118)

- $\phi'_5 = c_1 (x_5 + x_{\phi_{\max}})^2 + c_2 (x_5 + x_{\phi_{\max}}) + \phi_k + \phi_{\min klap}$ (5.119)

- Punt 7:

- $x_7 = x_6 + \frac{\phi'_6}{\tan \theta_{k20-50\%L}} - \frac{\left(x_6 + \frac{\phi'_6}{\tan \theta_{k20-50\%L}} \right) \tan \alpha + d_l}{\tan \theta_{k20-50\%L}}$ (5.120)

- $\phi'_7 = x_7 \tan \alpha + d_l$ (5.121)

- Punt 8:

- $x_8 = \max \left(0; x_7 + \frac{H_s}{2} \right)$ (5.122)

- $\phi'_8 = x_8 \tan \alpha$ (5.123)

Als $x_7 > -0,25 \cdot H_s$ dan volgt een melding over het rekenproces: “Golfklap 2 heeft punt 7 dicht bij waterlijn”. Als $x_7 > 0$ dan volgt de melding: “Golfklap 2 heeft punt 7 boven SWL”.

5.9.3 Hoog en steil stijghoogtefront

Bij het bepalen van de eigenschappen van het hoge en het steile stijghoogtefront wordt door middel van de invloedsfactor $f_{od,front}$ rekening gehouden met de invloed van ondiepe voorlanden op de locatie van de maximale belasting op het talud. De factor is 1 bij diep water en neemt af wanneer sprake is van ondiep water. De formule voor $f_{od,front}$ is:

Als versie < 2010,5 dan $f_{od,front} = 1$, anders:

$$f_{od,front} = \min \left\{ 1; \max \left\{ 1 - \frac{\left(2,8 - \frac{d_m}{H_s} \right) \left(1 - \min(12,9s_{op} + 0,5; 1) \right)}{0,6}; \min(12,9s_{op} + 0,5; 1) \right\} \right\} \quad (5.124)$$

$$d_m = h - Z_{bodem} + 0,5 \tan \alpha_{bodem} \cdot (1,56T_p^2) \quad (5.125)$$

Met:

d_m = maatgevende waterdiepte op een halve diepwatergolflengte van de teen van de dijk (m)

$f_{od,front}$ = invloedsfactor in verband met ondiepe voorlanden (m)

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

- hoog stijghoogtefront:

$$- \frac{\phi_{b2\%}}{H_s} = \min \left\{ 0,5 + 0,12 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha}; 2,3 \right\} \quad (5.126)$$

$$- \tan(\theta_f) = \max \left\{ 1; \min \left\{ 8 - 0,6 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha}; 2,5 \right\} \right\} \quad (5.127)$$

$$- \frac{x_s}{H_s} \tan \alpha = \min \left\{ 0,25 + 0,11 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha}; 2,0 \right\} \cdot f_{od,front} \quad (5.128)$$

$$- \frac{\phi_{min}}{H_s} = \max \left\{ -0,16 \left(\frac{\xi_{op}}{\sqrt{\tan \alpha}} \right)^{1,25}; \frac{-2,5}{1 + 0,9 / \sqrt{\xi_{op}}} \right\} \quad (5.129)$$

Als $0,5 + 0,12\xi_{op}/\tan\alpha > 2,3$, dan volgt een melding over het rekenproces: "Maximum hoogte voor het front gehanteerd".

- steil stijghoogtefront:

$$- \frac{\phi_{b2\%}}{H_s} = \min \left\{ 0,4 + 0,08 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha}; 1,4 \right\} \quad (5.130)$$

$$- \tan(\theta_f) = \max \left\{ 2; \min \left\{ 12 - 0,8 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha}; 5 \right\} \right\} \quad (5.131)$$

$$- \frac{x_s}{H_s} \tan \alpha = \min \left\{ 0,2 + 0,06 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha}; 0,9 \right\} \cdot f_{od,front} \quad (5.132)$$

$$- \frac{\phi_{\min}}{H_s} = \max \left\{ -0,05 - 0,14 \frac{\xi_{op}}{\sqrt{\tan \alpha}}; -0,9; -\frac{\phi_{b2\%}}{H_s} \right\} \quad (5.133)$$

Als $12 - 0,8\xi_{op}/\tan\alpha > 5$, dan volgt een melding over het rekenproces: "Maximum steilheid voor het front gehanteerd".

Wanneer factor $f_{od,front}$ een kleine waarde heeft, is het mogelijk dat $-\phi_{\min}$ groter is dan de afstand tussen de stilwaterlijn en het talud t.h.v. punt 7 (ofwel: punt 7 ligt in dat geval onder het talud). Met de volgende formule wordt gecontroleerd of punt 7 onder het talud ligt. Zo ja, dan geeft ϕ_c/H_s de afstand tussen punt 7 en het talud. Zo nee, dan resulteert dat in $\phi_c/H_s = 0$.

$$- \frac{\phi_c}{H_s} = \max \left(0; \frac{-x_s \cdot \tan \alpha - \phi_{\min}}{H_s} \right) \quad (5.134)$$

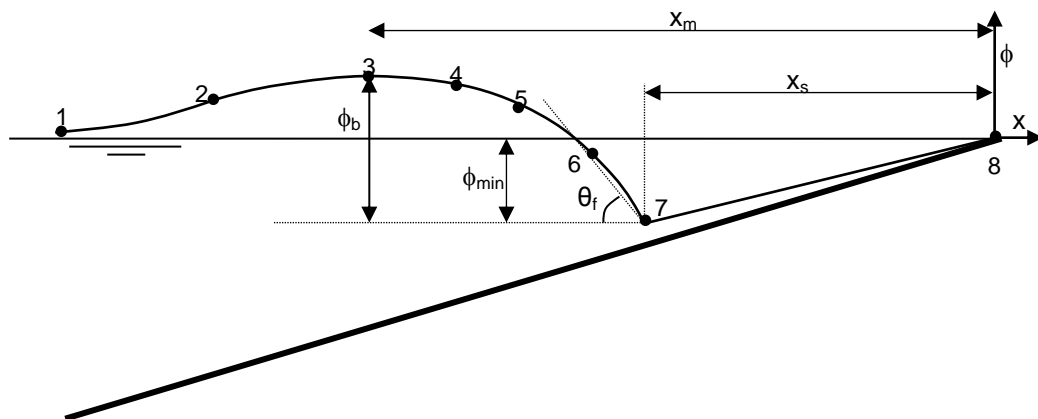
Wanneer $\phi_c/H_s > 0$ worden ϕ_{\min} en ϕ_b gecorrigeerd met ϕ_c zodat punt 7 in verticale richting verschuift tot op het talud en de top van het stijhoogtefront (punt 3) hetzelfde niveau behoudt:

$$- \frac{\phi'_{\min}}{H_s} = \frac{\phi_{\min}}{H_s} + \frac{\phi_c}{H_s} \quad (5.135)$$

$$- \frac{\phi'_{b2\%}}{H_s} = \frac{\phi_{b2\%}}{H_s} - \frac{\phi_c}{H_s} \quad (5.136)$$

Met:

- $\phi_{b2\%}$ = hoogte van het stijhoogtefront met 2% overschrijdingsfrequentie (m)
- ϕ_c = waarde waarmee de minimale stijhoogte en de hoogte van het front worden gecorrigeerd (m)
- ϕ' = stijhoogte op het talud ten opzichte van de stilwaterlijn (m)
- x = horizontale coördinaat vanaf de waterlijn, positief landinwaarts (m)
- θ_f = helling van het stijhoogtefront ($^\circ$)
- x_s = horizontale afstand van de voet van het stijhoogtefront tot de waterlijn (altijd een positieve waarde) (m)
- ϕ_{\min} = minimale stijhoogte aan de voet van het stijhoogtefront (altijd een negatieve waarde) (m)



Figuur 5.6 stijhoogteverloop tijdens het stijhoogtefront

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

$$x_m = \frac{3\phi_{b2\%} + 1,4\phi_{\min}}{\tan \theta_f} + x_s \quad (5.137)$$

met:

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

• Punt 1:

$$- x_1 = -x_m - 4 \cdot (x_m - x_s) \quad (5.138)$$

$$- \phi'_1 = \left(-x_1 \tan \theta_f - x_s \tan \theta_f + \phi_{\min} \right) e^{\frac{(x_1 + x_s) \tan \theta_f}{3\phi_{b2\%} + 2,4\phi_{\min}}} \quad (5.139)$$

• Punt 2:

$$- x_2 = -2x_m + x_s \quad (5.140)$$

$$- \phi'_2 = \left(-x_2 \tan \theta_f - x_s \tan \theta_f + \phi_{\min} \right) e^{\frac{(x_2 + x_s) \tan \theta_f}{3\phi_{b2\%} + 2,4\phi_{\min}}} \quad (5.141)$$

• Punt 3:

$$- x_3 = -x_m \quad (5.142)$$

$$- \phi'_3 = \phi_{b2\%} + \phi_{\min} \quad (5.143)$$

• Punt 4:

$$- x_4 = -x_s - 0,8 \cdot (x_m - x_s) \quad (5.144)$$

$$- \phi'_4 = \left(-x_4 \tan \theta_f - x_s \tan \theta_f + \phi_{\min} \right) e^{\frac{(x_4 + x_s) \tan \theta_f}{3\phi_{b2\%} + 2,4\phi_{\min}}} \quad (5.145)$$

• Punt 5:

$$- x_5 = -x_s - 0,5 \cdot (x_m - x_s) \quad (5.146)$$

$$- \phi'_5 = \left(-x_5 \tan \theta_f - x_s \tan \theta_f + \phi_{\min} \right) e^{\frac{(x_5 + x_s) \tan \theta_f}{3\phi_{b2\%} + 2,4\phi_{\min}}} \quad (5.147)$$

• Punt 6:

$$- x_6 = -x_s - 0,3 \cdot (x_m - x_s) \quad (5.148)$$

$$- \phi'_6 = \left(-x_6 \tan \theta_f - x_s \tan \theta_f + \phi_{\min} \right) e^{\frac{(x_6 + x_s) \tan \theta_f}{3\phi_{b2\%} + 2,4\phi_{\min}}} \quad (5.149)$$

• Punt 7:

$$- x_7 = -x_s \quad (5.150)$$

$$- \phi'_7 = \phi_{\min} \quad (5.151)$$

• Punt 8:

$$- x_8 = 0 \quad (5.152)$$

$$- \phi'_8 = 0 \quad (5.153)$$

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.

	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 5.2 nummer van de karakteristieke locaties

In Tabel 5.2 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.

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.

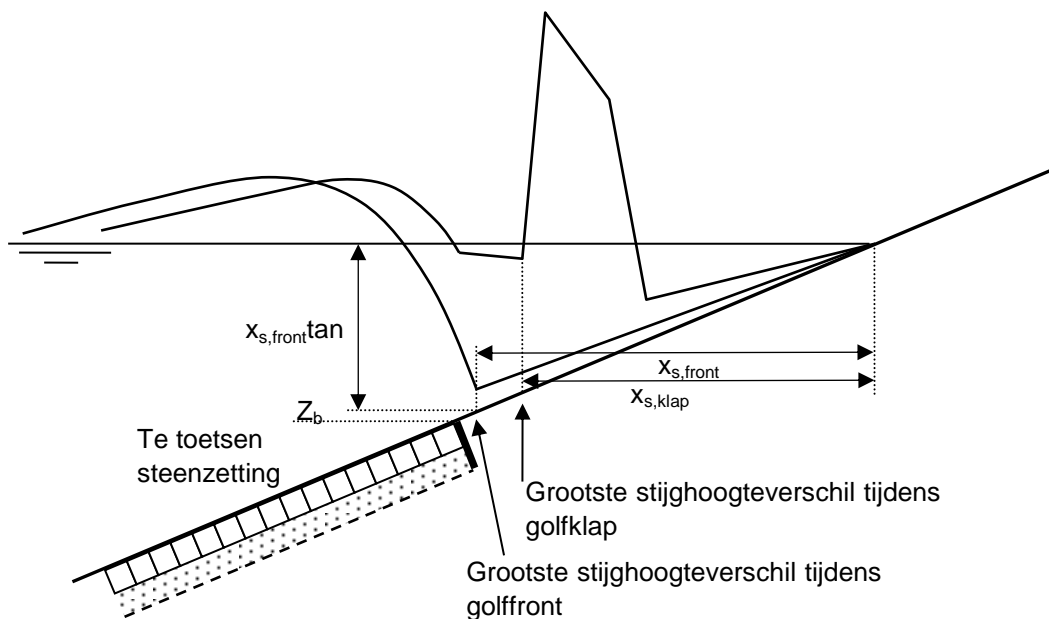
Dit is onderstaand nader uitgewerkt.

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):

$$Z_o = \min(Z_{oi}; h_{MWS} - 2H_s) \quad (5.154)$$

$$x_o = (Z_o - h_{MWS})/\tan\alpha \quad (5.155)$$

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



Figuur 5.7 Steenzetting die diep ligt en daardoor nauwelijks belast wordt.

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 of a2) 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, b2, c0 of c1 dat hoger op de dijk ligt dan het te toetsen segment.
 - Als er geen segmenten zijn met overg_ti = b0, b1, b2, 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, b2, c0 of c1) en (segmenttype_t = onderbeloop, onder/bovenbeloop of bovenbeloop), dan geldt $Z_{bdicht} = Z_b$.

Het niveau Z_{bdicht} komt overeen met het niveau van de dichtstbijzijnde overgangsconstructie van het type b0, b1, b2, c0 of c1, gerekend vanaf het punt waar de belasting maximaal is.

In Steentoets2008 wordt een overgangsconstructie van het type a2 of b2 geïnterpreteerd als respectievelijk a0 of b0.

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

$$Z_{bdicht} = \max(h_{MWS}; Z_b) \quad (5.156)$$

Vervolgens wordt voor de twee golfklappen en de twee fronten gekeken welke punten naast de te toetsen steenzetting vallen. Die punten worden veranderd.

Als geldt dat $(Z_{\text{bdicht}} - h_{\text{MWS}})/\tan\alpha < x_1$, dan hoeft de betreffende belasting niet berekend te worden. Dit geldt zowel voor buitentaluds als buitenbermen.

Met betrekking tot de onderste overgangsconstructie (ook als type a₀ of a₁, want dat heeft toch geen invloed):

- als $x_4 < x_0$ dan:

$$- \phi'_1 = \phi'_4 + (x_0 - x_4) \frac{\phi'_5 - \phi'_4}{x_5 - x_4} \quad (5.157)$$

$$- \phi'_2 = \phi'_5 \quad (5.158)$$

$$- \phi'_3 = \phi'_5 + 0,01 \frac{\phi'_6 - \phi'_5}{x_6 - x_5} \quad (5.159)$$

$$- \phi'_4 = \phi'_5 + 0,02 \frac{\phi'_6 - \phi'_5}{x_6 - x_5} \quad (5.160)$$

$$- \phi'_5 = \phi'_5 + 0,03 \frac{\phi'_6 - \phi'_5}{x_6 - x_5} \quad (5.161)$$

- $x_1 = x_0$
- $x_2 = x_5$
- $x_3 = x_2 + 0,01$
- $x_4 = x_2 + 0,02$
- $x_5 = x_2 + 0,03$

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)
- $i_{K1Z,+1} = 2$
- $i_{K1Zmin} = 2$

Ten aanzien van de melding over het rekenproces geldt:

- als Golfklap type 1: "Punten 1-4 in golfklap 1 zijn omhoog verplaatst".
- als Golfklap type 2: "Punten 1-4 in golfklap 2 zijn omhoog verplaatst".
- als Hoog Front: "Punten 1-4 in Hoog Front zijn omhoog verplaatst".
- als Steil Front: "Punten 1-4 in Steil Front zijn omhoog verplaatst".

- anders, als $x_3 < x_0$ dan:

$$- \phi'_1 = \phi'_3 + (x_0 - x_3) \frac{\phi'_4 - \phi'_3}{x_4 - x_3} \quad (5.162)$$

$$- \phi'_2 = \phi'_4 \quad (5.163)$$

$$- \phi'_3 = \phi'_4 + 0,01 \frac{\phi'_5 - \phi'_4}{x_5 - x_4} \quad (5.164)$$

$$- \phi'_4 = \phi'_4 + 0,02 \frac{\phi'_5 - \phi'_4}{x_5 - x_4} \quad (5.165)$$

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

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)

Ten aanzien van de melding over het rekenproces geldt:

- als Golfklap type 1: "Punten 1-3 in golfklap 1 zijn omhoog verplaatst".
- als Golfklap type 2: "Punten 1-3 in golfklap 2 zijn omhoog verplaatst".
- als Hoog Front: "Punten 1-3 in Hoog Front zijn omhoog verplaatst".
- als Steil Front: "Punten 1-3 in Steil Front zijn omhoog verplaatst".

- anders, als $x_2 < x_0$ dan:

$$- \phi'_1 = \phi'_2 + (x_0 - x_2) \frac{\phi'_3 - \phi'_2}{x_3 - x_2} \quad (5.166)$$

$$- \phi'_2 = \phi'_3 \quad (5.167)$$

$$- \phi'_3 = \phi'_3 + 0,01 \frac{\phi'_4 - \phi'_3}{x_4 - x_3} \quad (5.168)$$

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

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

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

Ten aanzien van de melding over het rekenproces geldt:

- als Golfklap type 1: "Punten 1-2 in golfklap 1 zijn omhoog verplaatst".
- als Golfklap type 2: "Punten 1-2 in golfklap 2 zijn omhoog verplaatst".
- als Hoog Front: "Punten 1-2 in Hoog Front zijn omhoog verplaatst".
- als Steil Front: "Punten 1-2 in Steil Front zijn omhoog verplaatst".

- anders, als $x_1 < x_0$ dan:

$$- \phi'_1 = \phi'_1 + (x_0 - x_1) \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1} \quad (5.169)$$

$$- x_1 = x_0 \quad (5.170)$$

Hetzelfde wordt gedaan voor de bovenste overgangsconstructie:

$$x_b = (Z_{\text{bicht}} - h_{\text{MWS}}) / \tan \alpha \quad (5.171)$$

$$x_{\text{overgang}} = \max(0,2; H_s / \tan \alpha / 20) \quad (5.172)$$

met:

x_b = horizontale coördinaat van de bovenste overgangsconstructie (m)

x_{overgang} = minimale afstand tussen punt 7 in het stijghoogteverloop en de overgangsconstructie (m)

Door een minimale afstand (x_{overgang}) in acht te nemen tussen punt 7 in het stijghoogteverloop en de overgangsconstructie wordt ervoor gezorgd dat het stijghoogteverschil niet extreem afhankelijk is van de keuze van de waterstand.

Vervolgens wordt ervoor gezorgd dat in de berekeningen de bovenste overgangsconstructie altijd landwaarts blijft van de locatie waar het grootste stijghoogteverschil optreedt, mits versie > 2012. Als de bovenste overgangsconstructie van het type b_0 , b_1 , c_0 of c_1 zeewaarts van het grootste stijghoogteverschil ligt, wordt de overgangsconstructie landwaarts verplaatst en wordt het stijghoogteverschil vermenigvuldigd met een factor f_{overgang} . De mate waarin de

overgangsconstructie is verplaatst wordt bewaard in de variabele $Z_{\text{verschuiving_overgang}}$, zodat dit gebruikt kan worden bij het berekenen van het stijghoogteverschil.

Voor golfklaptype 1 wordt ook vastgelegd of de overgangsconstructie landwaarts verplaatst is in verband met het stijghoogteverschil bij punt 4 of bij punt 7, namelijk in de variabele $GK1_{\text{verschuiving_type}}$.

De verschuiving en de vermenigvuldigingsfactor wordt als volgt bepaald:

- Als versie < 2012:
 $f_{\text{overgang}} = 1; Z_{\text{verschuiving_overgang}} = 0$ (5.173)
- Anders:
 - Als golfklaptype 1:
 - Als $x_b < x_5 + (x_6 - x_5) \cdot 0.75$:
 $x_{bv} = x_5 + (x_6 - x_5) \cdot 0.75$ (5.174)
 $GK1_{\text{verschuiving_type}} = 4$
 - Als $x_5 + (x_6 - x_5) \cdot 0.75 \leq x_b < x_7 + x_{\text{overgang}}$:
 $x_{bv} = x_7 + x_{\text{overgang}}$ (5.175)
 $GK1_{\text{verschuiving_type}} = 7$
 - Anders
 $x_{bv} = x_b$ (5.176)
 $GK1_{\text{verschuiving_type}} = 0$
 - Voor golfklaptype 2, het steile front en het hoge front geldt:
 $x_{bv} = \max(x_7 + x_{\text{overgang}}; x_b)$ (5.177)

De grootte van f_{overgang} and $Z_{\text{verschuiving_overgang}}$ wordt per type belasting als volgt berekend:

$$f_{\text{overgang}} = \max\left(-0,05\left(\frac{x_{bv} - x_b}{H_s} \cdot 1,7 + 0,5\right)^2 + 1,0125; 0,001\right) \quad (5.178)$$

$$Z_{\text{verschuiving_overgang}} = (x_{bv} - x_b) \cdot \tan\alpha_{\text{fict}} \quad (5.179)$$

met:

x_{bv} = horizontale coördinaat van de bovenste overgangsconstructie na het landwaarts verleggen (m)

Z_{bv} = verticale coördinaat van de bovenste overgangsconstructie na het landwaarts verleggen (m)

f_{overgang} = invloedsfactor voor het reduceren van het stijghoogteverschil voor als de bovenste overgangsconstructie zo laag ligt dat de belasting deels naast de te toetsen steenzetting valt (-)

$Z_{\text{verschuiving_overgang}}$ = grootte van de verplaatsing van Z_b (vertikaal) (m)

$GK1_{\text{verschuiving_type}}$ = parameter die aangeeft ten opzichte van welk punt de overgangsconstructie is verschoven bij golfklaptype 1 (zeewaarts = 4; landwaarts = 7)

Op deze wijze valt de belasting altijd op de te toetsen steenzetting. Later in het rekenproces wordt de factor f_{overgang} in rekening gebracht (paragraaf 5.10) waarmee de invloed van het (deels) naast de steenzetting vallen van de belasting verdisconteerd wordt. Door het introduceren van deze factor en het rekenen alsof de belasting op de steenzetting valt, wordt bereikt dat er een vloeiende afname van de belasting is naarmate de bovenste overgangsconstructie dieper onder water komt te liggen, totdat de steenzetting helemaal niet meer belast wordt. Ook $GK1_{\text{verschuiving_type}}$ wordt doorgegeven aan de subroutine waarin het stijghoogteverschil wordt bepaald (paragraaf 5.10).

De waarde $Z_{\text{verschuiving_overgang}}$ wordt ook doorgegeven aan de subroutine 'klemming' (zie paragraaf 5.13.4), waar met deze waarde de $x_{N=0}$ wordt berekend.

De punten in het stijghoogteverloop worden als volgt verschoven om rekening te houden met de overgangsconstructie (als versie > 2012 wordt in feite weinig verschoven, tenzij het golfklaptype 1 is met $x_{bv} < x_5 + (x_6 - x_5) \cdot 0.75$):

- als $x_{bv} < x_2$
 - $x_8 = \max(x_{bv}; x_1 + 0,07)$ (5.180)
 - $\phi'_8 = \phi'_1 + (x_8 - x_1) \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.181)
 - $\phi'_7 = \phi'_1 + 0,06 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.182)
 - $\phi'_6 = \phi'_1 + 0,05 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.183)
 - $\phi'_5 = \phi'_1 + 0,04 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.184)
 - $\phi'_4 = \phi'_1 + 0,03 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.185)
 - $\phi'_3 = \phi'_1 + 0,02 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.186)
 - $\phi'_2 = \phi'_1 + 0,01 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.187)
 - $x_7 = x_1 + 0,06$
 - $x_6 = x_1 + 0,05$
 - $x_5 = x_1 + 0,04$
 - $x_4 = x_1 + 0,03$
 - $x_3 = x_1 + 0,02$
 - $x_2 = x_1 + 0,01$

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)
- $i_{K1Zmin} = 1$

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)

Ten aanzien van de melding over het rekenproces geldt:

- als Golfklap type 1: "Punten 2-8 in golfklap 1 zijn omlaag verplaatst".
- als Golfklap type 2: "Punten 2-8 in golfklap 2 zijn omlaag verplaatst".
- als Hoog Front: "Punten 2-8 in Hoog Front zijn omlaag verplaatst".
- als Steil Front: "Punten 2-8 in Steil Front zijn omlaag verplaatst".

- als $x_{bv} < x_3$
 - $x_8 = x_{bv}$ (5.188)
 - $x_7 = x_2$ (5.189)
 - $\phi'_8 = \phi'_2 + (x_{bv} - x_2) \frac{\phi'_3 - \phi'_2}{x_3 - x_2}$ (5.190)
 - $\phi'_7 = \phi'_2$ (5.191)
 - $\phi'_6 = \phi'_2 - 0,01 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.192)
 - $\phi'_5 = \phi'_2 - 0,02 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.193)
 - $\phi'_4 = \phi'_2 - 0,03 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.194)
 - $\phi'_3 = \phi'_2 - 0,04 \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.195)
 - $\phi'_2 = \phi'_7 - 0,05 \frac{\phi'_7 - \phi'_1}{x_2 - x_1}$ (5.196)
 - $x_6 = x_7 - 0,01$
 - $x_5 = x_7 - 0,02$
 - $x_4 = x_7 - 0,03$
 - $x_3 = x_7 - 0,04$
 - $x_2 = x_7 - 0,05$

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

 - $i_{K1Z,0} = 8$ (het maximum treedt op bij de overgangsconstructie)
 - $i_{K1Z,-1} = 7$
 - $i_{K1Z,-2} = 1$
 - $i_{K1Z,+1} = 0$ (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)

Ten aanzien van de melding over het rekenproces geldt:

 - als Golfklap type 1: “Punten 3-8 in golfklap 1 zijn omlaag verplaatst”.
 - als Golfklap type 2: “Punten 3-8 in golfklap 2 zijn omlaag verplaatst”.
 - als Hoog Front: “Punten 3-8 in Hoog Front zijn omlaag verplaatst”.
 - als Steil Front: “Punten 3-8 in Steil Front zijn omlaag verplaatst”.
- anders, als $x_{bv} < x_4$
 - $x_8 = x_{bv}$ (5.197)
 - $x_7 = x_3$ (5.198)
 - $\phi'_8 = \phi'_3 + (x_{bv} - x_3) \frac{\phi'_4 - \phi'_3}{x_4 - x_3}$ (5.199)
 - $\phi'_7 = \phi'_3$ (5.200)

$$- \phi'_6 = \phi'_3 - 0,01 \frac{\phi'_3 - \phi'_2}{x_3 - x_2} \quad (5.201)$$

$$- \phi'_5 = \phi'_3 - 0,02 \frac{\phi'_3 - \phi'_2}{x_3 - x_2} \quad (5.202)$$

$$- \phi'_4 = \phi'_3 - 0,03 \frac{\phi'_3 - \phi'_2}{x_3 - x_2} \quad (5.203)$$

$$- \phi'_3 = \phi'_3 - 0,04 \frac{\phi'_3 - \phi'_2}{x_3 - x_2} \quad (5.204)$$

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

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)

Ten aanzien van de melding over het rekenproces geldt:

- als Golfklap type 1: "Punten 4-8 in golfklap 1 zijn omlaag verplaatst".
- als Golfklap type 2: "Punten 4-8 in golfklap 2 zijn omlaag verplaatst".
- als Hoog Front: "Punten 4-8 in Hoog Front zijn omlaag verplaatst".
- als Steil Front: "Punten 4-8 in Steil Front zijn omlaag verplaatst".

- anders, als $x_{bv} < x_5$

$$- x_8 = x_{bv} \quad (5.205)$$

$$- x_7 = x_4 \quad (5.206)$$

$$- \phi'_8 = \phi'_4 + (x_{bv} - x_4) \frac{\phi'_5 - \phi'_4}{x_5 - x_4} \quad (5.207)$$

$$- \phi'_7 = \phi'_4 \quad (5.208)$$

$$- \phi'_6 = \phi'_4 - 0,01 \frac{\phi'_4 - \phi'_3}{x_4 - x_3} \quad (5.209)$$

$$- \phi'_5 = \phi'_4 - 0,02 \frac{\phi'_4 - \phi'_3}{x_4 - x_3} \quad (5.210)$$

$$- \phi'_4 = \phi'_4 - 0,03 \frac{\phi'_4 - \phi'_3}{x_4 - x_3} \quad (5.211)$$

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

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)

Ten aanzien van de melding over het rekenproces geldt:

- als Golfklap type 1: "Punten 5-8 in golfklap 1 zijn omlaag verplaatst".
- als Golfklap type 2: "Punten 5-8 in golfklap 2 zijn omlaag verplaatst".
- als Hoog Front: "Punten 5-8 in Hoog Front zijn omlaag verplaatst".
- als Steil Front: "Punten 5-8 in Steil Front zijn omlaag verplaatst".

- anders, als $x_{bv} \leq x_6$

- $x_8 = x_{bv}$ (5.212)

- $x_7 = x_5$ (5.213)

- $\phi'_8 = \phi'_5 + (x_{bv} - x_5) \frac{\phi'_6 - \phi'_5}{x_6 - x_5}$ (5.214)

- $\phi'_7 = \phi'_5$ (5.215)

- $\phi'_6 = \phi'_5 - 0,01 \frac{\phi'_5 - \phi'_4}{x_5 - x_4}$ (5.216)

- $\phi'_5 = \phi'_5 - 0,02 \frac{\phi'_5 - \phi'_4}{x_5 - x_4}$ (5.217)

- $x_6 = x_7 - 0,01$

- $x_5 = x_7 - 0,02$

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)

Ten aanzien van de melding over het rekenproces geldt:

- als Golfklap type 1: "Punten 6-8 in golfklap 1 zijn omlaag verplaatst".
- als Golfklap type 2: "Punten 6-8 in golfklap 2 zijn omlaag verplaatst".
- als Hoog Front: "Punten 6-8 in Hoog Front zijn omlaag verplaatst".
- als Steil Front: "Punten 6-8 in Steil Front zijn omlaag verplaatst".

- anders, als $x_{bv} < x_7$

- $x_8 = x_{bv} + x_{overgang}$ (5.218)

$$- \quad \phi'_8 = \phi'_6 + (x_{bv} - x_6) \frac{\phi'_7 - \phi'_6}{x_7 - x_6} \quad (5.219)$$

$$- \quad x_7 = x_{bv} \quad (5.220)$$

$$- \quad \phi'_7 = \phi'_8 \quad (5.221)$$

Hierbij wordt opgemerkt dat de dichte overgangsconstructie per definitie bij x_8 zit (zie formules voor het stijghoogteverschil), en het grootste stijghoogteverschil bij x_7 (of x_4). Er wordt voor gezorgd dat x_7 ten minste een afstand x_{overgang} houdt ten opzichte van de overgangsconstructie (x_8).

Ten aanzien van de melding over het rekenproces geldt:

— als Golfklap type 1: “Punten 7-8 in golfklap 1 zijn omlaag verplaatst”.

— als Golfklap type 2: “Punten 7-8 in golfklap 2 zijn omlaag verplaatst”.

— als Hoog Front: “Punten 7-8 in Hoog Front zijn omlaag verplaatst”.

— als Steil Front: “Punten 7-8 in Steil Front zijn omlaag verplaatst”.

- anders, als $x_{bv} < x_8$

$$- \quad \phi'_8 = \phi'_7 + (x_{bv} + x_{\text{overgang}} - x_7) \frac{\phi'_8 - \phi'_7}{x_8 - x_7} \quad (5.222)$$

$$- \quad x_8 = x_{bv} + x_{\text{overgang}} \quad (5.223)$$

Ten aanzien van de melding over het rekenproces geldt:

— als Golfklap type 1: “Punt 8 in golfklap 1 is omlaag verplaatst”.

— als Golfklap type 2: “Punt 8 in golfklap 2 is omlaag verplaatst”.

— als Hoog Front: “Punt 8 in Hoog Front is omlaag verplaatst”.

— als Steil Front: “Punt 8 in Steil Front is omlaag verplaatst”.

5.10 Stijghoogteverschil over de toplaag

Het maatgevend stijghoogteverschil 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. (2006b).

Het stijghoogteverschil 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 stijghoogteverschil 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:

$$C_1 = - \frac{\phi'_2 - \phi'_1}{x_2 - x_1} \cdot \Lambda \cos \alpha \quad (5.224)$$

$$C_i = \left(\frac{\phi'_{i+1} - \phi'_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{\phi'_i - \phi'_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right) \cdot \Lambda \cos \alpha \quad \text{met } i = 2, 3, 4, 5, 6, \text{ en } 7 \quad (5.225)$$

$$C_8 = - \frac{\phi'_8 - \phi'_7}{x_8 - x_7} \cdot \Lambda \cos \alpha \quad (5.226)$$

$$B_{78} = \frac{C_8 e^{\frac{x_1 - x_8}{\Lambda \cos \alpha}} - C_1 + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=2}^7 \left(C_i \left(e^{\frac{+(x_i - x_1)}{\Lambda \cos \alpha}} + e^{\frac{-(x_i - x_1)}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \right)}{e^{\frac{-x_1}{\Lambda \cos \alpha}} - e^{\frac{x_1 - 2x_8}{\Lambda \cos \alpha}}} \quad (5.227)$$

$$B_{67} = B_{78} - \frac{1}{2} \cdot C_7 e^{\frac{+x_7}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.228)$$

$$B_{56} = B_{67} - \frac{1}{2} \cdot C_6 e^{\frac{+x_6}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.229)$$

$$B_{45} = B_{56} - \frac{1}{2} \cdot C_5 e^{\frac{+x_5}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.230)$$

$$B_{34} = B_{45} - \frac{1}{2} \cdot C_4 e^{\frac{+x_4}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.231)$$

$$B_{23} = B_{34} - \frac{1}{2} \cdot C_3 e^{\frac{+x_3}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.232)$$

$$B_{12} = B_{23} - \frac{1}{2} \cdot C_2 e^{\frac{+x_2}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.233)$$

$$A_{78} = B_{78} e^{\frac{-2x_8}{\Lambda \cos \alpha}} + C_8 e^{\frac{-x_8}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.234)$$

$$A_{67} = A_{78} + \frac{1}{2} C_7 e^{\frac{-x_7}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.235)$$

$$A_{56} = A_{67} + \frac{1}{2} C_6 e^{\frac{-x_6}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.236)$$

$$A_{45} = A_{56} + \frac{1}{2} C_5 e^{\frac{-x_5}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.237)$$

$$A_{34} = A_{45} + \frac{1}{2} C_4 e^{\frac{-x_4}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.238)$$

$$A_{23} = A_{34} + \frac{1}{2} C_3 e^{\frac{-x_3}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.239)$$

$$A_{12} = A_{23} + \frac{1}{2} C_2 e^{\frac{-x_2}{\Lambda \cos \alpha}} \quad (5.240)$$

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

$$\text{Als } x/\Lambda \cos \alpha < -500, \text{ dan: } x = \max(-700\Lambda \cos \alpha; -500\Lambda \cos \alpha + (x + 500\Lambda \cos \alpha)/10) \quad (5.241)$$

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.

	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 5.3 Te berekenen parameters ten behoeve van klemming berekening (zie ook Figuur 5.8) (voor lengte met $\phi_w > \Delta D$, zie onderstaande procedure)

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 onderstaande formule (zie ook Tabel 5.3).

Als de bovenste overgangsconstructie van het type b_0 , b_1 , c_0 of c_1 vrij diep ligt, moet het stijghoogteverschil worden gereduceerd middels de factor $f_{overgang}$. Dit is reeds bepaald in paragraaf 5.9.5. Daarbij wordt er voor golfklap type 1 een onderscheid gemaakt tussen situaties waarbij de overgangsconstructie landwaarts verplaatst is in verband met het stijghoogteverschil bij punt 4 of bij punt 7. Dit is vastgelegd in de variabele $GK1_verschuiving_type$. In het eerste geval heeft $f_{overgang}$ betrekking op het stijghoogteverschil in punt 1 t/m 5 en in het tweede geval in punt 6 t/m 8

Het stijghoogteverschil in punt i wordt berekend met de volgende formules:

- Golfklaptype 1:

- als $GK1_verschuiving_type = 4$ (zeewaards)

$$f_{overgang, K1L} = 1$$

$$f_{overgang, K1Z} = f_{overgang}$$

- als $GK1_verschuiving_type = 7$ (landwaards)

$$f_{overgang, K1L} = f_{overgang}$$

$$f_{overgang, K1Z} = 1$$

- anders: $f_{overgang, K1Z} = 1$; $f_{overgang, K1L} = 1$

$$\text{als } i < 6: \quad \phi_{wi} = f_{\beta} f_{overgang, K1Z} \left(A_{i,i+1} e^{\frac{+x_i}{\Lambda \cos \alpha}} + B_{i,i+1} e^{\frac{-x_i}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \quad (5.242)$$

$$\text{als } 6 \leq i \leq 7: \quad \phi_{wi} = f_{\beta} f_{\text{overgang}, K1L} \left(A_{i,i+1} e^{\frac{+x_i}{\Lambda \cos \alpha}} + B_{i,i+1} e^{\frac{-x_i}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \quad (5.243)$$

$$\text{als } i = 8: \quad \phi_{wi} = f_{\beta} f_{\text{overgang}, K1L} \left(A_{78} e^{\frac{+x_8}{\Lambda \cos \alpha}} + B_{78} e^{\frac{-x_8}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \quad (5.244)$$

• Anders:

$$\text{als } 1 \leq i \leq 7: \quad \phi_{wi} = f_{\beta} f_{\text{overgang}} \left(A_{i,i+1} e^{\frac{+x_i}{\Lambda \cos \alpha}} + B_{i,i+1} e^{\frac{-x_i}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \quad (5.245)$$

$$\text{als } i = 8: \quad \phi_{wi} = f_{\beta} f_{\text{overgang}} \left(A_{78} e^{\frac{+x_8}{\Lambda \cos \alpha}} + B_{78} e^{\frac{-x_8}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \quad (5.246)$$

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)

f_{overgang} = invloedsfactor voor als de bovenste (dichte) overgangsconstructie zo diep ligt dat de belasting gereduceerd moet worden (-)

GK1_verschuiving_type = parameter die aangeeft ten opzichte van welk punt de overgangsconstructie is verschoven bij golfklaptype 1 (zeewaarts = 4; landwaarts = 7)

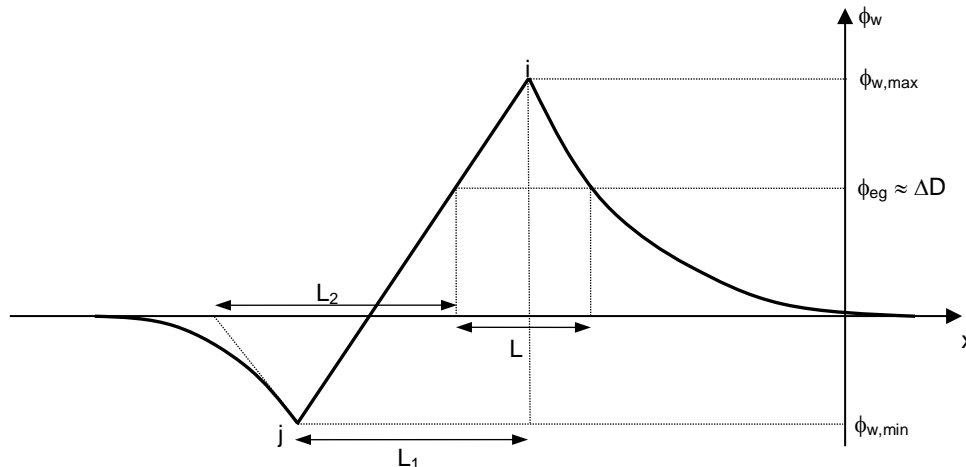
Het maximale stijghoogteverschil tijdens de golfklap blijkt maar weinig afhankelijk te zijn van de grootte van de leklengte.

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 de steenzetting op een buitentalud (onderbeloop, bovenbeloop of onder/bovenbeloop) zit dan wordt het volgende gecontroleerd:

- Als met $i = i_{K1Z,0}$ geldt
 Als $x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws} > Z_b$ dan: $i_{K1Z,0} = 0$ en $\phi_{wmax, K1Z} = 0$
 Als $Z_b - (x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws}) < 1,5 \cdot \max(0, 2 \cdot \tan \alpha; 4\phi_{eg}/20)$ dan melding over het rekenproces: "Grootste belasting in golfklap 1Z vlakbij overgang".
- Als met $i = i_{K1L,0}$ geldt
 Als $x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws} > Z_b$ dan: $i_{K1L,0} = 0$ en $\phi_{wmax, K1L} = 0$
 Als $Z_b - (x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws}) < 1,5 \cdot \max(0, 2 \cdot \tan \alpha; 4\phi_{eg}/20)$ dan melding over het rekenproces: "Grootste belasting in golfklap 1L vlakbij overgang".
- Als met $i = i_{K2,0}$ geldt
 Als $x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws} > Z_b$ dan: $i_{K2,0} = 0$ en $\phi_{wmax, K2} = 0$
 Als $Z_b - (x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws}) < 1,5 \cdot \max(0, 2 \cdot \tan \alpha; 4\phi_{eg}/20)$ dan melding over het rekenproces: "Grootste belasting in golfklap 2 vlakbij overgang".
- Als met $i = i_{HF,0}$ geldt
 Als $x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws} > Z_b$ dan: $i_{HF,0} = 0$ en $\phi_{wmax, HF} = 0$
 Als $Z_b - (x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws}) < 1,5 \cdot \max(0, 2 \cdot \tan \alpha; 4\phi_{eg}/20)$ dan melding over het rekenproces: "Grootste belasting in hoog front vlakbij overgang".
- Als met $i = i_{SF,0}$ geldt
 Als $x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws} > Z_b$ dan: $i_{SF,0} = 0$ en $\phi_{wmax, SF} = 0$

Als $Z_b - (x_i \cdot \tan \alpha + h_{mws}) < 1,5 \cdot \max(0,2 \cdot \tan \alpha ; 4\phi_{eg}/20)$ dan melding over het rekenproces: "Grootste belasting in steil front vlakbij overgang".

Voor de meldingen is gebruikgemaakt van $4\phi_{eg}$ in plaats van H_s omdat die laatste in de subroutines niet beschikbaar was en een redelijke schatting voor de melding acceptabel is.



Figuur 5.8 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)

Behalve de maxima en minima wordt ook de lengte berekend waarvoor geldt dat het stijghoogteverschil groter is dan het eigen gewicht (zie Figuur 5.8). Voor het eigen gewicht geldt:

$$\phi_{eg} = \Delta D \cdot f_{S,klap} C_{bovenbeloop} / C_{berm} / f_{havendam} \quad (5.247)$$

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:

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

$$x_{Lb} = x_i + (\phi_{eg} - \phi_{wi}) \frac{x_j - x_i}{\phi_{wj} - \phi_{wi}} \quad (5.248)$$

anders:

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

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

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

$$x_{Lb} = x_i + (\phi_{eg} - \phi_{wi}) \frac{x_j - x_i}{\phi_{wj} - \phi_{wi}} \quad (5.249)$$

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:

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

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

$$x_{Le,K1Z} = x_i + (\phi_{eg} - \phi_{wi}) \frac{x_j - x_i}{\phi_{wj} - \phi_{wi}} \quad (5.250)$$

$$\text{De afstand is: } L_{K1Z} = \max \left(x_{Le,K1Z} - x_{Lb} ; \frac{\phi_{wmax,K1Z} - \phi_{eg}}{\phi_{wmax,K1Z} - \phi_{wmin,K1Z}} L_{1,K1Z} ; 0 \right) \quad (5.251)$$

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

Als $L_{K1Z} = 0$ dan melding over rekenproces: "Geen potentiële instabiliteit zeewaarts van golfklap 1".

- 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:

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

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

$$x_{Lb,K1L} = x_i + (\phi_{eg} - \phi_{wi}) \frac{x_j - x_i}{\phi_{wj} - \phi_{wi}} \quad (5.252)$$

- 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:

$$\phi_{w7+\Lambda} = f_{\beta} f_{\text{overgang},K1L} \left(A_{78} e^{\frac{\min(x_7+\Lambda/2; (x_7+x_8)/2)}{\Lambda \cos \alpha}} + B_{78} e^{\frac{-\min(x_7+\Lambda/2; (x_7+x_8)/2)}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \quad (5.253)$$

daarmee wordt het einde berekend:

$$x_{Le} = x_7 + (\phi_{eg} - \phi_{w7}) \frac{\min(x_7 + \Lambda/2; (x_7 + x_8)/2) - x_7}{\phi_{w7+\Lambda} - \phi_{w7}} \quad (5.254)$$

anders:

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

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

$$x_{Le} = x_i + (\phi_{eg} - \phi_{wi}) \frac{x_j - x_i}{\phi_{wj} - \phi_{wi}} \quad (5.255)$$

$$\text{De afstand is: } L_{K1L} = \max \left(x_{Le} - x_{Lb,K1L} ; \frac{\phi_{wmax,K1L} - \phi_{eg}}{\phi_{wmax,K1L} - \phi_{wmin,K1L}} L_{1,K1L} ; 0 \right) \quad (5.256)$$

Als $L_{K1L} = 0$ dan melding over rekenproces: "Geen potentiële instabiliteit landwaarts van golfklap 1".

- 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 $K2$.

Als $L_{K2} = 0$ dan melding over rekenproces: "Geen potentiële instabiliteit bij golfklap 2".

- **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 K_{1L} vervangen moet worden door HF .
Als $L_{HF} = 0$ dan melding over rekenproces: "Geen potentiële instabiliteit bij hoog front".
- **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 K_{1L} vervangen moet worden door SF .
Als $L_{SF} = 0$ dan melding over rekenproces: "Geen potentiële instabiliteit bij steil front".

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 5.8). 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)
 $j = i_{K1Zmin}$; $x_{RL} = \min(x_j + \Lambda/4; x_{j+1})$ (5.257)
met: x_{RL} = lokale hulpvariabele om raaklijn mee te berekenen (m)

$$\phi_{vmin} = f_{\beta} f_{overgang,K1Z} \left(A_{j,j+1} e^{\frac{+x_{RL}}{\Lambda \cos \alpha}} + B_{j,j+1} e^{\frac{-x_{RL}}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \quad (5.258)$$

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

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

$$L_{2K1Z} = abs \left(\frac{\phi_{wmin,K1Z} \cdot (x_j - x_{RL})}{(\phi_{wmin,K1Z} - \phi_{vmin}) \cos \alpha} \right) + abs \left(\frac{x_j - x_{Le,K1Z}}{\cos \alpha} \right) \quad (5.259)$$

- **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)
 $j = i_{K1Lmin}$; $x_{RL} = \max(x_j - \Lambda/4; x_{j-1})$ (5.260)

$$\phi_{vmin} = f_{\beta} f_{overgang,K1L} \left(A_{j-1,j} e^{\frac{+x_{RL}}{\Lambda \cos \alpha}} + B_{j-1,j} e^{\frac{-x_{RL}}{\Lambda \cos \alpha}} \right) \quad (5.261)$$

Als $\phi_{wmin,K1L} > \phi_{vmin}$ dan $L_{2K1L} = 10$, anders:

$$L_{2K1L} = abs \left(\frac{\phi_{wmin,K1L} \cdot (x_{RL} - x_j)}{(\phi_{wmin,K1L} - \phi_{vmin}) \cos \alpha} \right) + abs \left(\frac{x_j - x_{Lb,K1L}}{\cos \alpha} \right) \quad (5.262)$$

- **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 K_{1L} vervangen moet worden door K_2 .
- **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 K_{1L} 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 K_{1L} vervangen moet worden door S_F .

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 golfhoogte blokbeweging geeft. Het stijghoogteverschil bij het front van een golf met hoogte gelijk aan de significante golfhoogte, 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 $Z_b > h_{GHW} + 1$ èn $h_{MWS} > h_{GHW} + 1$, dan is $f_{\text{basalt}} = 0,83$ en volgt er een melding over het rekenproces: "Gerekend met 0,83D omdat deze basalt een beperkte sterkte heeft". 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 (-)

Als de basalt niet is ingewassen wordt de waarde van f_{basalt} vermenigvuldigd met 0,9 om ervoor te zorgen dat de stabiliteit van niet ingewassen basalt lager is dan ingewassen basalt.

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:

$$D_{rf} = \frac{C_{\text{bovenbeloop}} f_{\text{basalt}}}{C_{\text{berm}} f_{\text{havendam}}} f_{S,\text{front}} D_t \quad (5.263)$$

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 = rekenwaarde van de toplaagdikte (inclusief verdisconteerde veiligheidsfactoren voor ontwerp en toetsing en stabiliteitsfactor, zie paragraaf 4.11) (m)

Als er sprake is van klemming wordt gerekend met $\Gamma_{klem} = 1,4$, en als er geen klemming is dan geldt $\Gamma_{klem} = 1$.

Invloedsfactor voor de wrijving Γ_{s1} :

- $f_b = 0,5$; $\zeta = 0,7$ (5.264)

- Als $D_{rf}/B \geq f_b$ dan: $\Gamma_{s1} = 1 + f_b \tan \alpha$ (5.265)

- Als $D_{rf}/B < f_b$ en $\zeta D_{rf}/B < \tan \alpha$ dan:

$$\Gamma_{s1} = \max \left(1 + \frac{D_{rf}}{B} \tan \alpha ; \frac{1 + f_b^2 \frac{B}{D_{rf}} \tan \alpha}{1 + \zeta \cdot f_b^2} \right) \quad (5.266)$$

- Als $D_{rf}/B < f_b$ en $\zeta D_{rf}/B \geq \tan \alpha$ dan: $\Gamma_{s1} = 1 + \frac{D_{rf}}{B} \tan \alpha$ (5.267)

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:

$$\phi_{we} = \max(\phi_{wmax,HF} ; \phi_{wmax,SF}) \quad (5.268)$$

Het stijghoogteverschil bij het front van een golf gelijk aan de significante golfhoogte is:

$$\phi_{wm} = 0,87 \cdot \phi_{we} \quad (5.269)$$

Hiermee wordt beoordeeld of er blokbeweging gaat optreden bij het front van een golf met hoogte gelijk aan de significante golfhoogte:

- Als $\phi_{wm} \neq 0$: $f_{gtm} = \frac{\max(\Gamma_{s1}; \Gamma_{klem}) \Delta D_{rf} \cos \alpha}{\phi_{wm}}$ (5.270)

- Als $\phi_{wm} = 0$: $f_{gtm} = 99$ (5.271)

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 $\xi_{op} < 2$: $t_0 = 0,25 + T_p/20$ (5.272)

- als $\xi_{op} \geq 2$: $t_0 = 0,25 + (2/\tan \alpha \cdot \sqrt{(H_s/1,56)})/20$ (5.273)

$$\phi_{we} = \max(\phi_{wmax,HF} ; \phi_{wmax,SF}) \quad (5.274)$$

Voor de berekening voor Verkalit wordt er een minimum waarde voor de lek lengte gehanteerd. Dit wordt gedaan om te voorkomen dat door het fijne filter de invloed van de toestroming onrealistisch groot zou worden:

- Als toplaagtype = 36,1 of 36,2, dan: $\Lambda_{reken} = \max(0,7 \cdot D_{rf}; \Lambda)$ (5.275)
- Anders: $\Lambda_{reken} = \Lambda$

$$K_{toe} = \max \left(0; \frac{1}{1,5t_o} \cdot \frac{D_{rf} \sqrt{BL}}{\pi k' \Lambda_{reken}} \left(0,56 + 0,18 \ln \left(\frac{\sqrt{BL}}{\Lambda_{reken}} \right) \right) \right) \quad (5.276)$$

$$K_{tr} = \frac{1,78 D_{rf} (\Delta + 2)}{gt_o^2} \quad (5.277)$$

$$K_{wr} = \max(\Gamma_{s1}; \Gamma_{klem}) \cdot \Delta D_{rf} \cos \alpha \quad (5.278)$$

De blokbeweging volgt vervolgens uit:

$$Y_{front} = \max \left(0,0001; \frac{\phi_{we} - K_{wr}}{\max(0,0001; K_{tr} + K_{toe})} \right) \quad (5.279)$$

met:

- K_{toe} = bijdrage van toestroming (m)
- K_{tr} = bijdrage van traagheid (m)
- K_{wr} = bijdrage van wrijving (m)
- k' = gelineariseerde toplaagdoorlatendheid (m/s)
- t_o = duur van de opwaartse belasting (s)
- Y_{front} = blokbeweging tijdens front (m)

- maatgevende golfklap:

$$\text{rekendikte voor de toplaag: } D_{rk} = \frac{C_{bovenbeloop} f_{basalt}}{C_{berm} f_{havendam}} f_{S,klap} D_{-t} \quad (5.280)$$

belastingduur:

$$\text{– als } \xi_{op} < 2: t_0 = 0,0018 T_p \left(\frac{\rho g H_s^2}{\sigma_w} \right)^{0,2} \quad (5.281)$$

$$\text{– als } \xi_{op} \geq 2: t_0 = 0,0018 \cdot \frac{2}{\tan \alpha} \sqrt{\frac{H_s}{1,56}} \cdot \left(\frac{\rho g H_s^2}{\sigma_w} \right)^{0,2} \quad (5.282)$$

$$\phi_{we} = \max(\phi_{wmax,K1Z}; \phi_{wmax,K1L}; \phi_{wmax,K2}) \quad (5.283)$$

Voor de berekening voor Verkalit wordt er een minimum waarde voor de lek lengte gehanteerd. Dit wordt gedaan om te voorkomen dat door het fijne filter de invloed van de toestroming onrealistisch groot zou worden:

- Als toplaagtype = 36,1 of 36,2, dan: $\Lambda_{reken} = \max(0,7 \cdot D_{rf}; \Lambda)$ (5.284)

- Anders: $\Lambda_{reken} = \Lambda$

$$K_{toe} = \max \left(0; \frac{1}{1,5t_o} \cdot \frac{D_{rk} \sqrt{BL}}{\pi k' \Lambda_{reken}} \left(0,56 + 0,18 \ln \left(\frac{\sqrt{BL}}{\Lambda_{reken}} \right) \right) \right) \quad (5.285)$$

$$K_{tr} = \frac{1,78 D_{rk} (\Delta + 2)}{gt_o^2} \quad (5.286)$$

$$K_{wr} = \max(\Gamma_{s1}; \Gamma_{klem}) \cdot \Delta D_{rk} \cos \alpha \quad (5.287)$$

De blokbeweging volgt vervolgens uit:

$$Y_{klap} = \max \left(0,0001; \frac{\phi_{we} - K_{wr}}{\max(0,0001; K_{tr} + K_{toe})} \right) \quad (5.288)$$

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:

$$f_{gtlos} = \min \left(f_{gtm}; \frac{0,1 \cdot D_{rf}}{Y_{front}}; \frac{0,1 \cdot D_{rk}}{Y_{klap}} \right) \quad (5.289)$$

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:

- Als versie < 2009:

$$f_{gtlos} = \min \left(\frac{7(\min(\xi_{op}; 2))^{-1/3} + \max(0,5 \cdot (\min(\xi_{op}; 5) - 2); 0)}{\max(f_{\beta}; 0,4; 0,3/H_s) \cdot H_s / (\Delta D)}; f_{gtlos} \right) \quad (5.290)$$

- Als versie > 2009:

Voor de berekening voor Verkalit is de formule aangepast, omdat er veel fijnere filter kan worden toegepast. Er wordt een factor $C_{fijnfilter}$ toegevoegd aan de formule voor f_{gtlos} .

Als topplaagtype = 36,1 of 36,2, dan:

$$L_D = \frac{\Lambda}{D} \cdot \max(0; \min(0,6 + \log(D_{f15,1} \cdot 1000); 1)) \quad (5.291)$$

$$C_{fijnfilter} = f_B \cdot \left(1 + 2,1 \cdot (L_D - 0,23) \cdot e^{-32 \cdot (L_D - 0,16)^4} \right) \quad (5.292)$$

Anders: $C_{fijnfilter} = 1$

$$f_{gtlos} = \min \left(\frac{7(\min(\xi_{op}; 2))^{-1/3} + \max(0, 5 \cdot (\min(\xi_{op}; 5) - 2); 0)}{\max(f_{\beta}; 0, 4; 0, 3/H_s) \cdot H_s / (\Delta D) \cdot \max(C_{diep}; 0, 3)} \cdot \min \left\{ \frac{C_{bovenbeloop} \cdot f_{sfront}}{C_{berm} \cdot f_{havendam}} \cdot C_{fijnfilter}; 2, 5 \right\}; f_{gtlos} \right) \quad (5.293)$$

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. De waarde van D betreft de door de gebruiker ingevoerde waarde.

Ten aanzien van de meldingen over het rekenproces geldt:

Als $f_{gtlos} = 99$ dan: "Geen belasting".

Als $f_{gtlos} = f_{gtm}$ dan: "Significante belasting zonder beweging is maatgevend voor los blok".

Als $f_{gtlos} = 0, 1D_{rf}/Y_{front}$ dan: "Blokbeving bij het front is maatgevend voor los blok".

Als $f_{gtlos} = 0, 1D_{rk}/Y_{klap}$ dan: "Blokbeving bij golfklap is maatgevend voor los blok".

Anders: "Stabiliteit is begrensd voor los blok".

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. Voor Verkaltit (toplaagtype = 36,1 of 36,2) wordt altijd zonder klemming gerekend. Er geldt:

- Als versie < 2009 en $\{f_{gtlos} \geq 1$ of $geklemd_ti \neq ja$ of $10 \leq toplaagtype \leq 11,5$ of $segmenttype = buitenberm$ of $(als\ havendam\ en\ h_{kr} - \min(h_{mws}; h_{toets}) < H_s/2)\}$, dan $f_{gt} = f_{gtlos}$.
- Als versie > 2009 en $\{geklemd_ti \neq ja$ of $10 \leq toplaagtype \leq 11,5$ 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.

Als $f_{gt} = f_{gtlos}$ dan is er geen klemming en volgt een melding over het rekenproces: "Er is zonder klemming gerekend".

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):

$$Z_{berm} = \min(\text{alle } Z_o \text{ met } segmenttype_t = \text{buitenberm}, \text{ voorzover } Z_o > h_{MWS} + x_{\phi wmax} \tan \alpha_{fict}) \quad (5.294)$$

$$Z_{overgang} = \min(\text{alle } Z_b \text{ met } overgang_ti = b0 \text{ of } b1, \text{ voorzover } Z_b > h_{MWS} + x_{\phi wmax} \tan \alpha_{fict}) \quad (5.295)$$

Als er geen berm is of overgangsconstructie van het type b0 of b1 (zie Figuur 5.10), 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).

Hier wordt gerekend met de werkelijke positie van de overgangsconstructie.

De reststerkte is afhankelijk van de volgende niveaus:

$$Z_{bb} = \max(\text{alle } Z_b \text{ in het onderhavige dwarsprofiel}) \quad (5.296)$$

$$x_{N=0} = (\min(Z_{berm}; Z_{overgang}; Z_{bb}) - h_{MWS}) / \tan \alpha_{fict} \quad (5.297)$$

$$z_g = Z_{belast} - h_{MWS} \quad (5.298)$$

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 5.3 in paragraaf 5.10) (geschematiseerd tot een recht talud; landinwaarts is positief) (m)

Volgens Peters (2007) geldt:

$$B_o = 0,9 \cdot \min\left(6D; \max\left(D; 0,2\left(x_{N=0} \tan \alpha_{fict} - z_g\right) + 3,89D - 0,63\right)\right) / \tan \alpha_{fict} \quad (5.299)$$

Verder worden de formules van Klein Breteler (2005b) gebruikt:

$$B_g = B$$

$$\text{Als } \frac{B_g}{D} \left(\frac{H_s}{D_{f50}}\right)^{1/3} < 8,79 \text{ dan } t_{rf} = 100, \text{ anders:}$$

$$t_{rf} = \frac{T_p}{4000} \left(\frac{B_o \cdot \exp\left(\min\left[80 \cdot \left(\frac{z_g}{H_s \xi_{op}} + 0,35\right)^4; 100\right]\right)}{H_s \cdot \left(-0,67 + 0,71 \cdot \log\left(\frac{B_g}{D} \left(\frac{H_s}{D_{f50}}\right)^{1/3}\right)\right)} \right)^{\frac{B_g}{0,15B_g + 0,5D}} \quad (5.300)$$

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 7.6.2. 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 $t_{\text{belast}} > t_{\text{rf}} + t_{\text{rk}}$ dan mag er niet gerekend worden met klemming en geldt $f_{\text{gt}} = f_{\text{gtlos}}$. Er volgt dan een melding over het rekenproces: "Reststerkte is onvoldoende om met klemming te rekenen".
- 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 belastingsituaties: aan weerszijden van de golfklap van type 1, de landzijde van golfklap van type 2 en de twee golffronten (als $(Z_b - h_{\text{MWS}})/\tan\alpha < x_1$, dan hoeft de golfklap van type 1 niet berekend te worden als versie < 2009).

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, L₁, L₂ en $z_{\text{verschuiving_overgang}}$ (zie ook Tabel 5.3).

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:

$$[\phi_{\text{min}}]_{\text{Peters}} = -\phi_{\text{w,max}}$$

$$[\phi_{\text{max}}]_{\text{Peters}} = -\phi_{\text{w,min}}$$

Verder zijn de L, L₁ en L₂ 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 leklengte klein:

$$f_{\text{lang}} = 1 + 0,2 \cdot (\max[(\min(\xi_{\text{op}}, 4); 2)] - 2) \cdot \min(\max[1,75 - 2,5\Lambda; 0]; 0) \quad (5.301)$$

$$\phi_{\text{wmax}} = \phi_{\text{wmax}}/f_{\text{lang}} \quad (\text{mits K1Z, K1L of K2}) \quad (5.302)$$

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.

Als ϕ_{wmax} , L, L₁, L₂, $i_{\text{K1Z},0}$, $i_{\text{K1L},0}$, $i_{\text{K2},0}$, $i_{\text{HF},0}$ of $i_{\text{SF},0}$ 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:

$$\bullet \quad \text{bij de golfklappen K1Z, K1L, K2: } D_{\text{rk}} = \frac{C_{\text{bovenbeloop}} \cdot f_{\text{basalt}}}{C_{\text{berm}} \cdot f_{\text{havendam}}} f_{\text{S,klap}} D_{\text{-t}} \quad (5.303)$$

- bij de golffronten HF en SF:
$$D_{rf} = \frac{C_{bovenbeloop} f_{basalt}}{C_{berm} f_{havendam}} f_{S,front} D_t \quad (5.304)$$

met:

- D_t = rekenwaarde van de toplaagdikte (inclusief verdisconteerde veiligheidsfactoren voor ontwerp en toetsing en stabiliteitsfactor, zie paragraaf 4.11) (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)

Allereerst wordt het stijghoogteverschil verkleind om de invloed van traagheid en toestroming te verdisconteren. Hierbij wordt aangenomen dat de beweging van de toplaag 3% van de toplaagdikte is, en alleen het maximaal belaste blok beweegt. Deze aannames zijn conservatief. Verder wordt het niet meegeteld bij het bepalen van de lengtes L , L_1 en L_2 , en dat is ook conservatief. De berekening gaat als volgt:

- in geval van een front (HF en SF):

belastingduur:

- als $\xi_{op} < 2$: $t_o = 0,25 + T_p/20$ (5.305)

- als $\xi_{op} \geq 2$: $t_o = 0,25 + (2/\tan\alpha \cdot \sqrt{(H_s/1,56)})/20$ (5.306)

$$\phi_{toe} = \max \left(0; \frac{0,03}{1,5t_o} \cdot \frac{D_{rf}^2 \sqrt{BL}}{\pi k' \Lambda} \left(0,56 + 0,18 \ln \left(\frac{\sqrt{BL}}{\Lambda} \right) \right) \right) \quad (5.307)$$

$$\phi_{tr} = \frac{1,78 \cdot 0,03 \cdot D_{rf}^2 (\Delta + 2)}{gt_o^2} \quad (5.308)$$

met:

ϕ_{toe} = verlaging van het stijghoogteverschil als gevolg van toestroming (m)

ϕ_{tr} = verlaging van het stijghoogteverschil als gevolg van traagheid (m)

k' = gelineariseerde toplaagdoorlatendheid (m/s)

t_o = duur van de opwaartse belasting (s)

- in geval van een golfklap (K1Z, K1L, K2):

belastingduur:

- als $\xi_{op} < 2$: $t_o = 0,0018 T_p \left(\frac{\rho g H_s^2}{\sigma_w} \right)^{0,2}$ (5.309)

- als $\xi_{op} \geq 2$: $t_o = 0,0018 \cdot \frac{2}{\tan\alpha} \sqrt{\frac{H_s}{1,56}} \cdot \left(\frac{\rho g H_s^2}{\sigma_w} \right)^{0,2}$ (5.310)

$$\phi_{toe} = \max \left(0; \frac{0,03}{1,5t_o} \cdot \frac{D_{rk}^2 \sqrt{BL}}{\pi k' \Lambda} \left(0,56 + 0,18 \ln \left(\frac{\sqrt{BL}}{\Lambda} \right) \right) \right) \quad (5.311)$$

$$\phi_{tr} = \frac{1,78 \cdot 0,03 \cdot D_{rk}^2 (\Delta + 2)}{gt_o^2} \quad (5.312)$$

met:

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} = rekendikte m.b.t. een belasting met golfklappen (m)

Voor het stijghoogteverschil geldt dan:

$$\phi_{wmax} = \phi_{wmax} - \phi_{toe} - \phi_{traag} \quad (5.313)$$

In het vervolg van paragraaf 5.13 wordt steeds voor de 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 5.4 zijn de namen van de invoervariabelen voor de klemmingroutine opgesomd.

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
ϕ_{wmin}	k12		m
ϕ_{wmax}	k13		m
L	k14		m
L₁	k15		m
L₂	k16		m
x_{N=0}	k17		m
x_{SWL}	k18	0	m
x_{teen}	k19		m
x_N	k20		m
tanα	k21		-
ϕ_{traag}	k22		m
D_{f50}	k23		m
f₁	k24	0.7	-
f₂	k25	0.9	-
f₃ (wrijving)	k26	basalt (26 en 26,1): 0,20 overige typen: 0,55	-
f₈	k29	1,0	-
f₁₁	k32	1.0	-
f₁₂	k33	1.0	-
f₁₃	k34	1.0	-
γ_m	k35	1.0	-
γ_s	k37	1.0	-
γ_R	k38	1.0	-

Tabel 5.4 Gebruikte invoervariabelen in de code

Eerst worden de volgende belastingparameters berekend (met liggerbreedte $B_y = 1$ m):

$$q_0 = \rho g \Delta D \cos \alpha \quad (5.314)$$

$$q_1 = -\rho g \phi_{w,max} + q_0 \quad (5.315)$$

$$q_2 = -\rho g \phi_{w,\min} + q_0 \quad (5.316)$$

$$a_4 = \max \left(10^{-10}; \frac{q_1}{q_1 - q_2} L_1 \right) \quad (5.317)$$

$$a_3 = \max \left(10^{-10}; L - a_4 \right) \quad (5.318)$$

$$a_2 = \max \left(10^{-10}; -\frac{q_0}{q_1} a_3 \right) \quad (5.319)$$

$$a_5 = \max \left(10^{-10}; \frac{q_2}{q_2 - q_1} L_1 \right) \quad (5.320)$$

$$R_1 = q_0 a_1 \quad (5.321)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} q_0 a_2 \quad (5.322)$$

$$R_3 = \frac{1}{2} q_1 a_3 \quad (5.323)$$

$$R_4 = \frac{1}{2} q_1 a_4 \quad (5.324)$$

$$R_5 = \frac{1}{2} q_2 a_5 \quad (5.325)$$

5.13.1 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 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:

$$\varepsilon_1 = \frac{2}{3} + \frac{1}{6} \left(1 - \frac{q_2}{q_1} \right) \frac{L}{L_1} \quad (5.326)$$

$$a_{x2} = \varepsilon_1 \sqrt{a_3 a_4} \quad (5.327)$$

$$R_{a2} = -\varepsilon_1^2 R_4 \quad (5.328)$$

$$R_{a5} = -R_3 - (R_4 + R_{a2}) \quad (5.329)$$

$$a_{x5} = \sqrt{\max \left(10^{-10}; -\frac{R_{a5} a_3 a_4}{R_3} \right)} \quad (5.330)$$

$$X_2 = \frac{1}{3} a_{x2} \quad (5.331)$$

$$X_3 = a_{x2} + \frac{2}{3} a_3 \quad (5.332)$$

$$X_4 = a_{x2} + a_3 + \frac{1}{3} a_4 \quad (5.333)$$

$$X_5 = a_{x2} + a_3 + a_4 + \frac{2}{3} a_{x5} \quad (5.334)$$

$$f_{M1} = R_{a2} X_2 + R_3 X_3 + R_4 X_4 + R_{a5} X_5 \quad (5.335)$$

$$f_{M0} = -R_4 \frac{1}{3} \sqrt{a_3 a_4} + R_3 (\sqrt{a_3 a_4} + \frac{2}{3} a_3) + R_3 (\sqrt{a_3 a_4} + a_3 + \frac{1}{3} a_4) - R_4 (\sqrt{a_3 a_4} + a_3 + a_4 + \frac{2}{3} \sqrt{a_3 a_4}) \quad (5.336)$$

$$L_0 = a_3 + a_4 + 2\sqrt{a_3 a_4} \quad (5.337)$$

De verbeterde waarde van ε_1 volgt nu uit:

$$\varepsilon_2 = 1 + \frac{f_{M0}}{f_{M0} - f_{M1}} (\varepsilon_1 - 1) \quad (5.338)$$

Vervolgens worden met deze factor de verbeterde waarden van a_{x2} en a_{x5} bepaald.

$$a_{x2} = \varepsilon_2 \sqrt{a_3 a_4} \quad (5.339)$$

$$R_{a2} = -\varepsilon_2^2 R_4 \quad (5.340)$$

$$R_{a5} = -R_3 - (R_4 + R_{a2}) \quad (5.341)$$

$$a_{x5} = \sqrt{\max\left(10^{-10}; -\frac{R_{a5} a_3 a_4}{R_3}\right)} \quad (5.342)$$

Uit deze waarden kunnen de gezochte extreme waarden van het buigend moment en de dwarskracht worden berekend.

$$V^* = \max(R_{a2}; R_{a5}) \quad (5.343)$$

$$M^* = -\frac{4}{3} R_{a2} a_{x2} \text{ voor het geval dat } R_{a2} \leq -R_3 \quad (5.344)$$

$$= -\frac{4}{3} R_{a5} a_{x5} \text{ voor het geval dat } R_{a2} > -R_3 \quad (5.345)$$

$$x_{M^*} = 2a_{x2} \text{ voor het geval dat } R_{a2} < -R_3 \quad (5.346)$$

$$= L_0 - 2a_{x5} \text{ voor het geval dat } R_{a2} > -R_3 \quad (5.347)$$

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 .

5.13.2.1 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.

$$\text{Als } \frac{L_2}{L} \left(\frac{q_2}{-q_1} \right) < 0.7 \text{ dan geldt } q_7 = q_0 + \frac{1}{3} (q_2 - q_0) \text{ en} \quad (5.348)$$

$$a_6 = \frac{1}{2(-16q^2 + 12q^2 + 4q_0q_2)q_1(q_1 - q_2)} (12q_1^3q_0L + 24Lq_1^3q_2 - 60q_1^2q_2q_0L - 24q_1^2Lq_0^2 - 24Lq_1^2q_2^2 + 48q_1q_2Lq_0^2 + 24q_1q_0^2q_2Ll + 48q_1q_0q_2^2L$$

$$+ 36q_1q_2^2Llq_0 - 24q_2^3Llq_1 + 12q_1Lq_0^3 - 24q_2^2Lq_0^2 - 12q_2Lq_0^3$$

$$+ 4 \sqrt{\left(\begin{aligned} &-36q_1^3L^2q_0^5 + 48q_2^4L^2q_0^4 + 33q_2^3L^2q_0^5 + 108q_1^4q_0^4L^2 - 48q_2^2q_1^5LlLq_0 + 45q_1^6q_0L^2q_2 - 240q_1^5q_0^2L^2q_2 - 138q_1^5q_0L^2q_2^2 + 450q_1^4q_0^3L^2q_2 \\ &+ 516q_1^4q_0^2L^2q_2^2 - 720q_1^3q_0^3L^2q_2^2 - 360q_1^3q_0^4L^2q_2 + 141L^2q_1^4q_2^3q_0 - 456L^2q_1^3q_2^3q_0^2 + 522q_1^2q_2^3q_0^3L^2 + 444q_1^2q_2^2q_0^4L^2 + 105q_1^2L^2q_0^5q_2 \\ &- 48L^2q_1^3q_2^4q_0 + 144L^2q_1^2q_2^4q_0^2 - 108q_1^5q_0^3L^2 + 36q_1^6q_0^2L^2 + 60q_1^4q_0^2Lq_2^2Ll + 102q_1^4q_0Lq_2^3Ll - 180q_1^3q_2^2q_0^3Ll - 180q_1^3q_2^3q_0^2Ll \\ &- 54q_1^3q_2^4q_0Ll - 72q_1^3Lq_0^4q_2Ll + 144q_1^2q_2^2Lq_0^4Ll - 240q_1q_2^3L^2q_0^4 - 102q_1q_2^2L^2q_0^5 + 36q_1^2q_0^4q_2^2Ll^2 + 36q_1^2q_0^3q_2^3Ll^2 + 12q_1^2q_0^2q_2^4Ll^2 \\ &- 144q_1q_0^3q_2^4L^2 - 3q_1^2q_2^5Ll^2q_0 + 36q_0^3q_1^5Ll + 198q_1^2q_2^3Lq_0^3Ll + 108q_1^2q_2^4Lq_0^2Ll + 36q_1^2q_0^5q_2Ll - 72q_1q_0^4q_2^3Ll - 36q_1q_0^5q_2^2Ll \\ &- 54q_1q_2^4Llq_0^3L + 12q_0^2q_2q_1^5Ll \end{aligned} \right)}$$

$$(5.349)$$

$$a_1 = \frac{-\frac{q_0^2 L}{2q_1} + \frac{1}{2} q_1 \left(\frac{L - q_1 L_1}{q_1 - q_2} \right) + \frac{q_1^2 L_1}{2(q_1 - q_2)} + \frac{q_2^2 L_1}{2(q_2 - q_1)} + q_0 a_6 + \frac{1}{2} (q_2 - q_0) a_6 + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{3} q_2 - \frac{1}{3} q_0 \right) a_6}{q_0} \quad (5.350)$$

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 (5.351)

$$a_6 = \frac{1}{2(-27q_2^2 + 13q_0^2 + 14q_2q_0)q_1(q_1 - q_2)} (36q_1^3 L q_2 + 12q_1^3 q_0 L - 24q_1^2 L^2 q_0^2 - 84q_1^2 q_0 q_2 L - 36q_1^2 L q_2^2 + 60q_1 q_2^2 L_1 q_0 - 36q_1 q_2^2 L_1 + 60q_1 q_2 L q_0^2 + 24q_1 q_0^2 q_2 L_1 + 12q_1 L q_0^3 + 72q_1 q_0 L q_2^2 - 36q_2^2 L q_0^2 - 12q_2 L q_0^3 + 8 \text{ sqrt}(\dots)) \quad (5.352)$$

$$a_1 = \frac{-\frac{q_0^2 L}{2q_1} + \frac{1}{2} q_1 \left(\frac{L - q_1 L_1}{q_1 - q_2} \right) + \frac{q_1^2 L_1}{2(q_1 - q_2)} + \frac{q_2^2 L_1}{2(q_2 - q_1)} + q_0 a_6 + \frac{1}{2} (q_2 - q_0) a_6 + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} q_2 - \frac{1}{2} q_0 \right) a_6}{q_0} \quad (5.353)$$

Als $1,3 \leq \frac{L_2}{L} \left(\frac{q_2}{-q_1} \right) < 2$ dan geldt $q_7 = q_0 + \frac{2}{3} (q_2 - q_0)$ en (5.354)

$$a_6 = \frac{1}{2(7q_0^2 - 25q_2^2 + 18q_0q_2)(q_1 - q_2)q_1} (6Lq_1^3q_0 + 30q_1^3Lq_2 - 66Lq_1^2q_0q_2 - 12q_0^2Lq_1^2 - 30q_1^2Lq_2^2 + 60Lq_1q_0q_2^2 + 54q_2^2L_1q_1q_0 + 42q_0^2Lq_1q_2 - 30q_2^3L_1q_1 + 12q_2L_1q_1q_0^2 + 6q_0^3Lq_1 - 30q_0^2Lq_2^2 - 6q_0^3Lq_2 + 4 \text{ sqrt}(\dots)) \quad (5.355)$$

$$a_1 = \frac{-\frac{q_0^2 L}{2q_1} + \frac{1}{2} q_1 \left(\frac{L - q_1 L_1}{q_1 - q_2} \right) + \frac{q_1^2 L_1}{2(q_1 - q_2)} + \frac{q_2^2 L_1}{2(q_2 - q_1)} + q_0 a_6 + \frac{1}{2} (q_2 - q_0) a_6 + \frac{1}{2} \left(\frac{2}{3} q_2 - \frac{2}{3} q_0 \right) a_6}{q_0} \quad (5.356)$$

Als $\frac{L_2}{L} \left(\frac{q_2}{-q_1} \right) \geq 2 > 2.0$ dan geldt $q_7 = q_2$ en (5.357)

$$a_6 = \frac{1}{2(-12q^2 + 12q_0q_2)q_1(q_1 - q_2)} (12Lq_1^3q_2 - 12Lq_1^2q_2^2 - 24q_0q_1^2Lq_2 + 12q_0^2Lq_1q_2 + 24q_0q_1q_2^2L_1 - 12q_2^3L_1q_1 + 24q_1Lq_0q_2^2 - 12q_2^2Lq_0^2 + 4\sqrt{q_1}(-30L^2q_1^5q_2^2q_0 + 84L^2q_1^4q_2^2q_0^2 + 33L^2q_1^4q_2^3q_0 - 96L^2q_1^3q_2^3q_0^2 - 12L^2q_1^3q_2^4q_0 + 36L^2q_1^2q_2^4q_0^2 - 72q_0^3q_1^3L^2q_2^2 + 90q_0^3q_1^2L^2q_2^3 + 12q_0^4L^2q_1^2q_2^2 - 24q_0^4L^2q_1q_2^3 + 12q_0^2q_1^2q_2^4L_1^2 + 12q_2^4L^2q_0^4 - 3q_0^5q_2^3L^2 - 3q_0q_1^2q_2^5L_1^2 + 30Lq_1^4q_2^3q_0L_1 - 12q_2^2q_1^5L_1L_1q_0 - 18Lq_1^3q_2^4q_0L_1 - 36q_0^2q_1^3Lq_2^3L_1 + 18q_0^3Lq_1^2q_2^3L_1 + 36q_0^2Lq_1^2q_2^4L_1 - 18q_0^3q_1q_2^4L_1L - 36q_1L^2q_0^3q_2^4 + 9q_0q_2q_1^6L^2 + 6q_0^5q_2^2L^2q_1 - 3q_0^5q_2L^2q_1^2 + 18q_0^3q_2L^2q_1^4 - 24q_0^2q_2q_1^5L^2 + 12q_0^2q_2q_1^5L_1L - 12q_0^2q_2^2q_1^4L_1L))$$

(5.358)

$$a_1 = \frac{-\frac{q_0^2L}{2q_1} + \frac{1}{2}q_1\left(L - \frac{q_1L_1}{q_1 - q_2}\right) + \frac{q_1^2L_1}{2(q_1 - q_2)} + \frac{q_2^2L_1}{2(q_2 - q_1)} + q_0a_6 + (q_2 - q_0)a_6}{q_0}$$

(5.359)

5.13.2.2 Als $L_2 < a_5 + a_6$

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_1^3L_1^2q_2^2 - 12q_2^5L_2Lq_1^2q_0 - 12q_0^3L_2q_1^4Lq_2 - 12q_0^3L_2q_2^3L_1q_1^2 + 12q_0^3q_1^4L_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_2^5L^2q_1^3 + 6q_2^4L^2q_1^4 - 6q_2^3L^2q_1^5 + 3q_2^2L^2q_1^6 + 3q_2q_1^7L^2 + 7q_0^4L^2q_1^4 + 7q_0^4q_1^4L_1^2 - 36q_0^2Lq_2^3q_1^3L_2 + 12q_0^2Lq_2^4q_1^2L_2 + 18q_0^2Lq_2^3q_1^3L_1 + 12q_0^3Lq_2^2q_1^3L_2 + 12q_0^3Lq_2^3q_1^2L_2 + 6q_0^4Lq_2q_1^3L_2 - 12q_0^4Lq_2^2q_1^2L_2 - 6q_0^4Lq_2q_1^3L_1 + 6q_0^2Lq_2^5q_1^3L_1 + 6q_0^2Lq_2^4q_1^2L_2 - 12q_0^3Lq_2^4q_1L_2 - 12q_0^3Lq_2^3q_1^2L_1 + 6q_0^4Lq_2^3q_1L_2 + 6q_0^4Lq_2^2q_1^2L_1 + 6q_1^5q_2^3L_2L_2 - 12q_1^4q_2^4L_2L_2 - 6q_1^5q_2^3L_1L_1 + 6q_1^3q_2^5L_1L_1 + 6q_1^3q_2^5L_2L_2 + 6q_2^6L_1q_1^2L_2 - 24q_2^4L_1^2q_1^3q_0 + 30q_2^3L_1^2q_1^3q_0^2 - 6q_2^4L_2q_1^4L_1 - 16q_2^3L_2^2q_1^4q_0 + 32q_2^4L_2^2q_1^3q_0 + 30q_2^2L_2^2q_1^4q_0^2 - 60q_2^3L_2^2q_1^3q_0^2 - 16q_1^2q_2^5L_2^2q_0 + 30q_1^2q_2^4L_2^2q_0^2 - 16q_2^3q_1^4L_1^2q_0 + 30q_2^2q_1^4L_1^2q_0^2 - 24q_2q_0^3L_2^2q_1^4 + 48q_2^2q_0^3L_2^2q_1^3 - 24q_1^2q_2^3q_0^3L_2^2 - 24q_2q_0^3q_1^4L_1^2 - 14q_0^4L_2^2q_1^3q_2 - 14q_0^4L_2q_1^4L_1 + 7q_1^2q_0^4L_2^2q_2^2 - 12q_1^5q_2^2Lq_0L_2 + 12q_1^4q_2^3Lq_0L_2 + 16q_1^5q_2^2Lq_0L_1 + 6q_1^5q_2Lq_0^2L_2 + 12q_1^4q_2^2Lq_0^2L_2 - 6q_1^5q_2Lq_0^2L_1 + 12q_1^3q_2^4Lq_0L_2 - 4q_1^4q_2^3Lq_0L_1 - 18q_1^4q_2^2Lq_0^2L_1 - 8q_2^4L_1q_1^3q_0L_2 - 24q_2^5L_1q_1^2q_0L_2 + 30q_2^3L_1q_1^3q_0^2L_2 + 30q_2^4L_1q_1^2q_0^2L_2 + 32q_2^3L_2q_1^4q_0L_1 - 60q_2^2L_2q_1^4q_0^2L_1 + 48q_2q_0^3L_2q_1^4L_1 - 36q_1^3q_2^2q_0^3L_2L_1 + 14q_1^3q_0^4L_2q_2L_1 - 8q_1^5q_2^2L^2q_0 + 16q_1^4q_2^3L^2q_0 - 8q_1^3q_2^4L^2q_0 - 8q_2^5L^2q_1^2q_0 - 12q_2^5L_1q_1^2Lq_0 - q_0^4L^2q_2^2q_1^2 + 2q_0^4L^2q_2^3q_1 + 6q_0^2L^2q_2^2q_1^4 - 12q_0^2L^2q_2^3q_1^3 + 6q_0^2L^2q_2^4q_1^2)(12q_0q_1q_2(-2Lq_1^3q_2q_0 + 4Lq_1^2q_2^2q_0 - 2Lq_1q_2^3q_0 - 2q_2^3L_1q_1q_0 + q_0^2Lq_2q_1^2 - 2q_0^2Lq_2^2q_1 + q_0^2Lq_2^3q_1^4q_2L - 2q_1^3q_2^2L + q_1^2q_2^3L + q_2^4L_1q_1 + q_2^2L_2q_1^3 - 2q_2^3L_2q_1^2 - q_2^2q_1^3L_1 - 2q_2q_0L_2q_1^3 + 4q_2^2q_0L_2q_1^2 + 2q_2q_0q_1^3L_1 + q_0^2L_2q_1^3 - 2q_0^2L_2q_1^2q_2 - q_0^2q_1^3L_1 + q_1q_2^4L_2 - 2q_1q_2^3q_0L_2 + q_1q_0^2L_2q_2^2 + q_0^2q_1^2L_1q_2))$$

(5.360)

$$a_1 = \frac{-\frac{q_0^2L}{2q_1} + \frac{1}{2}q_1\left(L - \frac{q_1L_1}{q_1 - q_2}\right) + \frac{q_1^2L_1}{2(q_1 - q_2)} + \frac{q_2^2L_1}{2(q_2 - q_1)} + q_0a_6 + \frac{(q_2 - q_0)^2\left(L_2 - \frac{q_1L_1}{q_1 - q_2}\right)}{2q_2}}{q_0}$$

(5.361)

5.13.2.3 Momenten en dwarskrachten

De lengte van het opgelichte veld is na bepaling van a_1 en a_6 bekend en is gelijk aan:

$$L_0 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 \quad (5.362)$$

De extreme waarden van de momenten en dwarskrachten worden berekend met:

$$a_M = \sqrt{\max\left(10^{-10}; \frac{2(R_1 + R_2)a_3}{-q_1}\right)} \quad (5.363)$$

$$V^* = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \quad (5.364)$$

$$x_1 = \frac{1}{2}a_1 \quad (5.365)$$

$$x_2 = a_1 + \frac{1}{3}a_2 \quad (5.366)$$

$$M^* = -R_1\left(a_1 + a_2 + \frac{2}{3}a_M - x_1\right) - R_2\left(a_1 + a_2 + \frac{2}{3}a_M - x_2\right) \quad (5.367)$$

$$x_{M^*} = a_1 + a_2 + a_M \quad (5.368)$$

5.13.3 Belasting

De resulterende belasting wordt berekend met verende randvoorwaarden (met liggerbreedte $B_y = 1$ m):

$$E = 300 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$k_z = 10 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$I = \frac{1}{12} D^3 \quad (5.369)$$

$$\beta_{bed} = \left(\frac{k_z}{4EI} \right)^{0,25} \quad (5.370)$$

$$c_k = \frac{k_z}{4\beta^3} \quad (5.371)$$

$$c_L = \frac{6EI}{L_0} \quad (5.372)$$

$$a_{zwM} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} L_0 + x_{M^*} \right) \quad (5.373)$$

$$\varphi_1 = - \frac{L_0 - a_{zwM} \frac{1}{2}}{L_0} \frac{M^* L_0}{EI} \quad (5.374)$$

$$\varphi_2 = \frac{a_{zwM} \frac{1}{2}}{L_0} \frac{M^* L_0}{EI} \quad (5.375)$$

$$T_1 = c_L \frac{2\varphi_1 + \varphi_2 + \frac{c_L}{c_k} \varphi_1}{3 + 4 \frac{c_L}{c_k} + \left(\frac{c_L}{c_k} \right)^2} \quad (5.376)$$

$$T_2 = -c_L \frac{2\varphi_2 + \varphi_1 + \frac{c_L}{c_k} \varphi_2}{3 + 4 \frac{c_L}{c_k} + \left(\frac{c_L}{c_k} \right)^2} \quad (5.377)$$

$$V_{\min} = V^* - \frac{T_2 - T_1}{L_0} \quad (= k194) \quad (5.378)$$

$$M_{\min} = M^* + T_1 + \frac{x_{M^*}}{L_0} (T_2 - T_1) \quad (5.379)$$

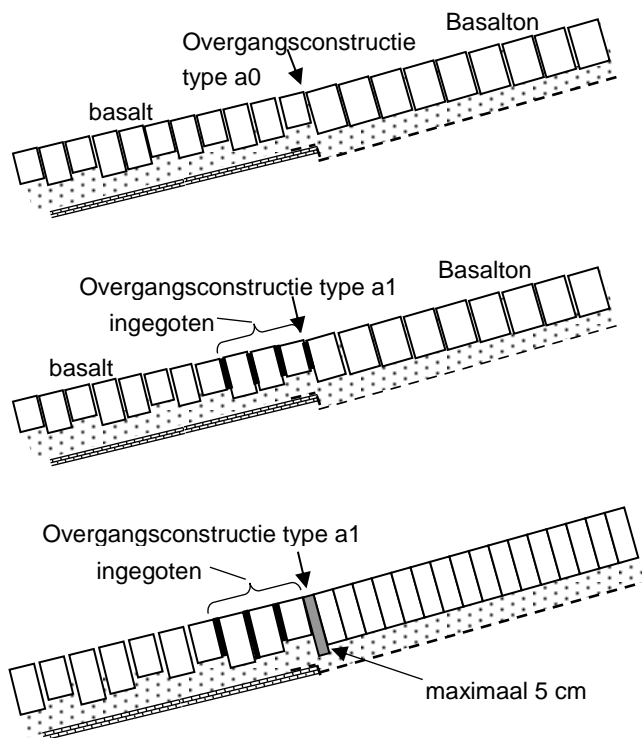
$$M_{\max} = T_2 \quad (5.380)$$

5.13.4 Aanwezige normaalkracht (sterkte)

De normaalkracht bouwt op vanaf de berm of de overgangsconstructie van type b (zie Figuur 5.11). Een 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.

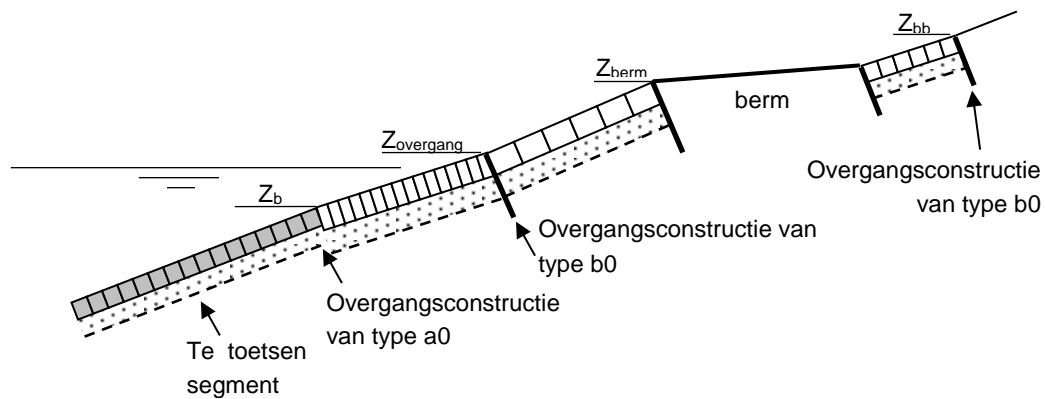
De volgende typen overgangsconstructies worden onderscheiden:

- 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 5.9):
 - a0: zonder gietasfalt tussen de stenen vlak onder de overgangsconstructie, zonder brede spleet tussen steenzetting en overgangsconstructie.
 - a1: met gietasfalt tussen de stenen in een strook van 0,4 à 2 m
 - a2: zonder gietasfalt tussen de stenen vlak onder de overgangsconstructie, met brede spleet tussen steenzetting en overgangsconstructie (alleen als versie > 2009)
- 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 5.11):
 - b0: zonder gietasfalt tussen de stenen vlak onder de overgangsconstructie, zonder brede spleet tussen steenzetting en overgangsconstructie
 - b1: met gietasfalt tussen de stenen in een strook van 0,4 à 2 m
 - b2: zonder gietasfalt tussen de stenen vlak onder de overgangsconstructie, met brede spleet tussen steenzetting en overgangsconstructie (alleen als versie > 2009)
- 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 5.12):
 - 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



Figuur 5.9 Overgangsconstructie van type a0 en a1

In Steentoets2008 wordt een overgangsconstructie van het type a2 of b2 geïnterpreteerd als respectievelijk a0 of b0.



Figuur 5.10 Naamgeving van relevante overgangsconstructies m.b.t. klemming

Ten behoeve van de toetsprocedure moet het volgende berekend worden:

- $Z_{berm} = \min(\text{alle } Z_o \text{ met segmenttype_t} = \text{buitenberm, voorzover } Z_o > h_{MWS} + x_{\phi wmax} \tan \alpha_{fict})$ (5.381)
- $Z_{overgang} = \max(Z_b \text{ te toetsen segment; min(alle } Z_b \text{ met overgang_ti} = \text{b0 of b1, voorzover } Z_b > h_{MWS} + x_{\phi wmax} \tan \alpha_{fict}))$ (5.382)
- $Z_{bb} = \max(\text{alle } Z_b \text{ in het onderhavige dwarsprofiel waarvan het type overgangsconstructie niet blanco is, en bovendien gelijk of hoger op het talud ligt dan het te toetsen segment})$ (5.383)
- $Z_{a2b2} = \max(Z_b \text{ te toetsen segment; min(alle } Z_b \text{ met overgang_ti} = \text{a2 of b2, voorzover } Z_b > h_{MWS} + x_{\phi wmax} \tan \alpha_{fict}))$ (alleen versie > 2009, zoals Steentoets2010 en -2014) (5.384)

met (zie ook Figuur 5.12):

- 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, maar niet lager dan Z_b (m)
- Z_{a2b2} = niveau van de laagste overgangsconstructie boven het zwaarst aangevallen punt op het buitentalud van het type a2 of b2 (m)
- $x_{\phi wmax}$ = horizontale afstand van de waterlijn tot het maximale stijghoogteverschil (zie Tabel 5.3 in paragraaf 5.10) (geschematiseerd is tot een recht talud; landinwaarts is positief) (m)
- $x_{\phi wmin}$ = horizontale afstand van de waterlijn tot het minimale stijghoogteverschil (zie Tabel 5.3 in paragraaf 5.10) (geschematiseerd is tot een recht talud; landinwaarts is positief) (m)

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 $Z_{bb} = Z_b$.

Ook hier wordt de overgangsconstructie verschoven als deze onder $x_5 + (x_6 - x_5) \cdot 0.75$ of $x_7 + x_{\text{overgang}}$ ligt voor respectievelijk golfklaptype 1 zeewaarts en de overige belastingtypes (mits versie > 2009, want anders geldt $Z_{\text{verschuiving_overgang}} = 0$). Voor golfklaptype 1 geldt:

- als GK1_overschuiving_type = 4 (zeewaards)
 - $Z_{\text{verschuiving_overgang K1Z}} = Z_{\text{verschuiving_overgang}}$
 - $Z_{\text{verschuiving_overgang K1L}} = 0$
- als GK1_overschuiving_type = 7 (landwaards)
 - $Z_{\text{verschuiving_overgang K1Z}} = 0$
 - $Z_{\text{verschuiving_overgang K1L}} = Z_{\text{verschuiving_overgang}}$
- anders: $\text{verschuiving_overgang}_{\text{K1Z}} = 0$; $\text{verschuiving_overgang}_{\text{K1L}} = 0$

Voor golfklaptype 2, steil front en een hoog front wordt steeds $Z_{\text{verschuiving_overgang}}$ toegepast, waarbij voor elk type belasting een andere waarde van $Z_{\text{verschuiving_overgang}}$ is berekend in paragraaf 5.9.5.

Als versie > 2009 worden Z_{berm} , Z_{overgang} , Z_{bb} and Z_{a2b2} net zo veel verplaatst:

$$Z_{\text{berm}} = Z_{\text{berm}} + Z_{\text{verschuiving_overgang}} \quad (5.385)$$

$$Z_{\text{overgang}} = Z_{\text{overgang}} + Z_{\text{verschuiving_overgang}} \quad (5.386)$$

$$Z_{\text{bb}} = Z_{\text{bb}} + Z_{\text{verschuiving_overgang}} \quad (5.387)$$

$$Z_{\text{a2b2}} = Z_{\text{a2b2}} + Z_{\text{verschuiving_overgang}} \quad (5.388)$$

Hiermee wordt de waarde van $x_{\text{N}=0}$ bepaald:

- Binnentalud:
 - $x_{\text{N}=0} = (\min(Z_{\text{berm}}; Z_{\text{overgang}}; Z_{\text{bb}}) - h_{\text{MWS}}) / \tan \alpha_{\text{fict}} \quad (5.389)$

- Anders:
 - $x_{\text{N}=0} = (\min(Z_{\text{berm}}; Z_{\text{overgang}}; Z_{\text{bb}}; Z_{\text{a2b2}}) - h_{\text{MWS}}) / \tan \alpha_{\text{fict}} \quad (5.390)$

Het type overgang bij $x_{\text{N}=0}$ wordt overgang_maatgevend genoemd.

Als ($x_{\text{N}=0} > 0$ of versie < 2009) geldt ten aanzien van de meldingen over het rekenproces (alleen bij hoog front, om meerdere identieke meldingen te voorkomen):

Als $Z_{\text{berm}} = \min(Z_{\text{berm}}; Z_{\text{overgang}}; Z_{\text{bb}})$ dan: "Bermniveau is maatgevend voor klemming".

Als $Z_{\text{overgang}} = \min(Z_{\text{berm}}; Z_{\text{overgang}}; Z_{\text{bb}})$ dan: "Niveau overgang is maatgevend voor klemming".

Als $Z_{\text{bb}} = \min(Z_{\text{berm}}; Z_{\text{overgang}}; Z_{\text{bb}})$ dan: "Niveau bovenste steen op talud is maatgevend voor klemming".

Als ($x_{\text{N}=0} \leq 0$ en versie > 2009) dan wordt de melding over het rekenproces (alleen bij hoog front, om meerdere identieke meldingen te voorkomen): "Niveau grootste belasting tov SWL is maatgevend voor klemming".

De grootte van een normaalkracht is verder afhankelijk van een aantal factoren:

$$x_{\text{teen}} = (Z_{\text{o1}} - h_{\text{MWS}}) / \tan \alpha_{\text{fict}} \quad (5.391)$$

$$x_{\text{SWL}} = 0$$

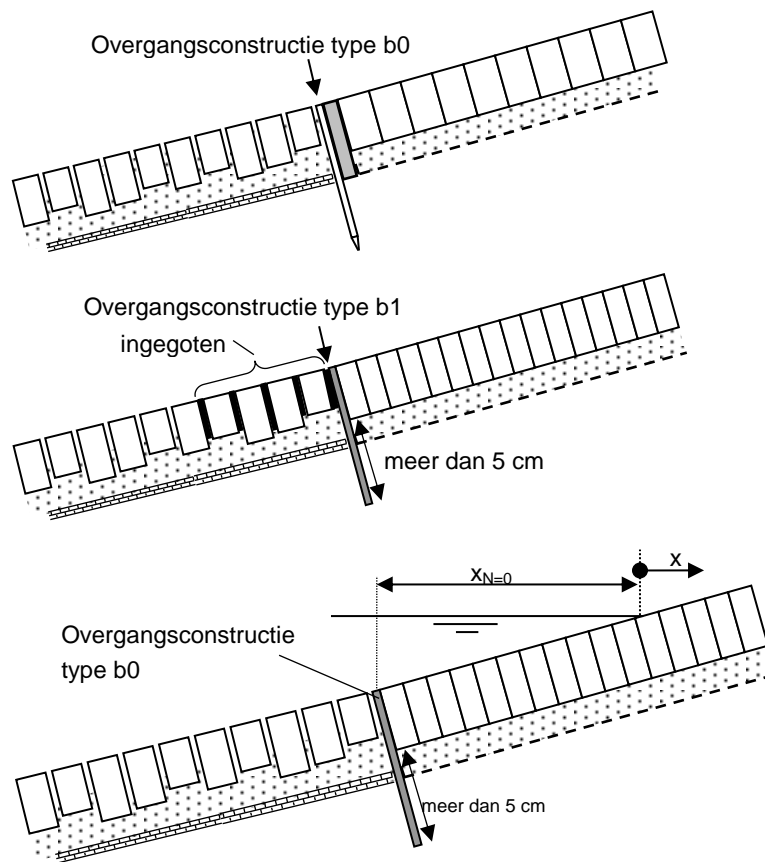
$\phi_{\text{trog}} = \phi'_i$ met $i = i_{\text{K1Z},0}$ of $i_{\text{K1L},0}$ of $i_{\text{K2},0}$ of $i_{\text{HF},0}$ of $i_{\text{SF},0}$ afhankelijk van welke golfklap of golffront doorgerekend wordt (zie Tabel 5.3 uit paragraaf 5.10).

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_{o1} = niveau van de ondergrens van het onderste segment (bovenste regel) (m)

ϕ_{trog} = stijghoogte op de toplaag ter plaatse van ϕ_{wmax} (m)



Figuur 5.11 Overgangsconstructie van type b0 en b1 ($x_{N=0}$ heeft hier een negatieve waarde)

Verder geldt:

$$x_N = x_{\phi_{w\max}} \quad (5.392)$$

$$f_5 = 1 \text{ (geen verminderde klemming bij de teen)} \quad (5.393)$$

$$z_{N\max} = 4D$$

$$c_{\text{macht}} = 0,2$$

$$c_{\text{gradient}} = 0,2$$

$$x_V = x_{\phi_{w\max}} + \frac{\phi_{w\max}}{\phi_{w\max} - \phi_{w\min}} L_1 \quad (5.394)$$

Er wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds versie < 2009 (Steentoets2008) en anderzijds versie > 2009.

Voor Steentoets2008 geldt:

Als {overgang_maatgevend = a1 of b1 of c1} dan:

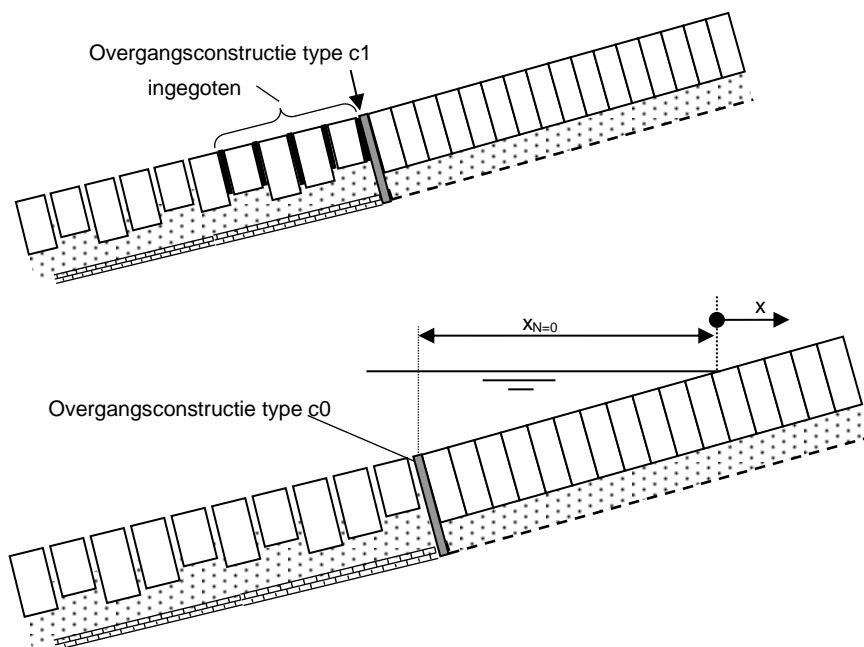
$$f_{4M} = \min \left(\left(\frac{\max(x_{N=0} - x_{\phi_{w\min}}; 1) \tan \alpha}{z_{N\max}} \right)^{c_{\text{macht}}} ; 1 + c_{\text{gradient}} \cdot \frac{\max(x_{N=0} - x_{\phi_{w\min}}; 1) \tan \alpha}{z_{N\max}} \right) \quad (5.395)$$

$$f_{4V} = \min \left(\left(\frac{\max(x_{N=0} - x_V; 1) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right)^{c_{macht}} ; 1 + c_{gradient} \cdot \frac{\max(x_{N=0} - x_V; 1) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right) \quad (5.396)$$

anders:

$$f_{4M} = \min \left(\left(\frac{(x_{N=0} - x_{\phi_{w \min}}) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right)^{c_{macht}} ; 1 + c_{gradient} \cdot \frac{(x_{N=0} - x_{\phi_{w \min}}) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right) \quad (5.397)$$

$$f_{4V} = \min \left(\left(\frac{(x_{N=0} - x_V) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right)^{c_{macht}} ; 1 + c_{gradient} \cdot \frac{(x_{N=0} - x_V) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right) \quad (5.398)$$



Figuur 5.12 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.

Voor versie > 2009 (zoals Steentoets2010 en -2015) geldt dat de normaalkracht minimaal opbouwt vanaf de waterlijn of het niveau waar een brede spleet bij de overgangsconstructie zit (laagste waarde):

Als $Z_{a2b2} > h$ dan:

$$f_{4M} = \min \left(\left(\frac{(\max(x_{N=0}; 0) - x_{\phi_{w \min}}) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right)^{c_{macht}} ; 1 + c_{gradient} \cdot \frac{(\max(x_{N=0}; 0) - x_{\phi_{w \min}}) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right) \quad (5.399)$$

$$f_{4V} = \min \left(\left(\frac{(\max(x_{N=0}; 0) - x_V) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right)^{c_{macht}} ; 1 + c_{gradient} \cdot \frac{(\max(x_{N=0}; 0) - x_V) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right) \quad (5.400)$$

anders:

$$f_{4M} = \min \left(\left(\frac{(x_{N=0} - x_{\phi_{wmin}}) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right)^{c_{macht}} ; 1 + c_{gradient} \cdot \frac{(x_{N=0} - x_{\phi_{wmin}}) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right) \quad (5.401)$$

$$f_{4V} = \min \left(\left(\frac{(x_{N=0} - x_V) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right)^{c_{macht}} ; 1 + c_{gradient} \cdot \frac{(x_{N=0} - x_V) \tan \alpha}{z_{N \max}} \right) \quad (5.402)$$

Voor alle versies geldt vervolgens:

$$N_{Ma} = f_{4M} f_5 \rho g D (1 + \Delta) z_{N \max} - \rho g D \tan \alpha (x_{SWL} - x_N) - f_{11} \rho g D \left(\phi_{trog} + \frac{1}{2} \phi_{w \max} \right) \quad (5.403)$$

$$N_{Va} = f_{4V} f_5 \rho g D (1 + \Delta) z_{N \max} - \rho g D \tan \alpha (x_{SWL} - x_N) - f_{11} \rho g D \left(\phi_{trog} + \frac{1}{2} \phi_{w \max} \right) \quad (5.404)$$

Er wordt echter gerekend met een minimale normaalkracht:

$$N_{Ma} = \max \left(N_{Ma} ; \rho g \Delta D^2 \tan \alpha \right) \quad (5.405)$$

$$N_{Va} = \max \left(N_{Va} ; \rho g \Delta D^2 \tan \alpha \right) \quad (5.406)$$

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)
- $z_{N \max}$ = 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 $f_4 \cdot f_5(\dots)$, 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.

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): $x_N = x_{\phi_{w \max}}$
- Voor toetsing van M_{\max} (bekleding bolt omlaag): $x_N = x_{\phi_{w \max}} + L_o/2$
- Voor toetsing van V_{\min} : $x_N = x_{\phi_{w \max}} + L_o/4$

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:

$$M_{d \min} = \gamma_S \frac{1}{\gamma_m} f_8 M_{\min} \quad (5.407)$$

$$M_{d \max} = \gamma_S \frac{1}{\gamma_m} f_8 M_{\max} \quad (5.408)$$

$$V_{d \min} = \gamma_S \frac{1}{\gamma_m} f_8 V_{\min} \quad (= k210) \quad (5.409)$$

- Sterkte:

$$M_{u \min} = \frac{f_1 f_2 f_{12}}{2\gamma_R} DN_{Ma} \quad (5.410)$$

$$M_{u \max} = \frac{f_1 f_2 f_{12}}{2\gamma_R} DN_{Ma} \quad (5.411)$$

$$V_{u \min} = \frac{f_3 f_{13}}{\gamma_R} N_{Va} \quad (= k220) \quad (5.412)$$

$$f_{gt} = \max \left(\min \left(\frac{M_{u \min}}{|M_{d \min}|}; \frac{M_{u \max}}{|M_{d \max}|}; \frac{V_{u \min}}{|V_{d \min}|} \right); f_{gtlos} \right) \quad (5.413)$$

Tenslotte wordt gecontroleerd of de stabiliteit niet onrealistisch hoog is volgens de berekeningen:

- Als versie < 2009:

$$f_{gt} = \min \left(\frac{7(\min(\xi_{op}; 2))^{-1/3} + \max(0,5 \cdot (\min(\xi_{op}; 5) - 2); 0)}{\max(f_\beta; 0,4; 0,3/H_s) \cdot H_s / (\Delta D)}; f_{gt} \right) \quad (5.414)$$

- Als versie > 2009:

$$f_{gt} = \min \left(\frac{7 \left(\min(\xi_{op}; 2) \right)^{-1/3} + \max \left(0,5 \cdot \left(\min(\xi_{op}; 5) - 2 \right); 0 \right)}{\max(f_{\beta}; 0,4; 0,3/H_s) \cdot H_s / (\Delta D) \cdot \max(C_{diep}; 0,3)} \cdot \min \left\{ \frac{C_{bovenbeloop} \cdot f_{Sfront}}{C_{berm} \cdot f_{havendam}}; 2,5 \right\}; f_{gt} \right) \quad (5.415)$$

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 dit 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 top laagstabiliteit “goed”. Voor die kleinste waarde moet een melding over het rekenproces gegeven worden:

Als $f_{gt} = f_{gtlos}$ dan: “Klemming is niet maatgevend”.

Als $f_{gtlos} = M_{umin}/\text{abs}(M_{dmin})$ OF $f_{gtlos} = M_{umax}/\text{abs}(M_{dmax})$ dan: “Moment is maatgevend voor klemming”.

Als $f_{gtlos} = V_{umin}/\text{abs}(V_{dmin})$ dan: “Dwarskracht is maatgevend voor klemming”.

Anders: “Stabiliteit met klemming is begrensd”.

Om praktische redenen wordt dit voorlopig alleen weergegeven voor de belasting zeewaarts van golfklap type 1.

Tevens moet aangegeven worden bij welke van de vijf belastinggevallen de f_{gt} het kleinste is:

“Maatgevende belasting is zeewaarts van golfklap type 1”.

“Maatgevende belasting is landwaarts van golfklap type 1”.

“Maatgevende belasting is bij golfklap type 2”.

“Maatgevende belasting is bij het hoge golffront”.

“Maatgevende belasting is bij het steile golffront”.

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 $f_{to} = 99$.

Als er volgens de oude methode zal worden gerekend (globale variabele IngegotenMethode2015 = false, zie paragraaf 4.1):

- 1 Als ($(D_{ingieting} > 0,49 \cdot D$ en $D_{ingieting} \geq 0,1$ m en versie > 2009) of ($D_{ingieting} > 0,5 \cdot D$ en $D_{ingieting} > 0,1$ m)) en ingegoten = gietasfalt, dan is de steenzetting goed ingegoten en geldt (Klein Breteler e.a., 2007):

$$F_N = f_B f_{S,front} (6,4 + 0,15 \cdot (E_{VGD} - 1)) \quad (5.416)$$

$$H_{s/\Delta D} = \frac{f_{\beta} f_{havendam} C_{berm} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \cdot \frac{H_s}{\Delta D} \quad (5.417)$$

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56T_p^2}}} \quad (5.418)$$

$$f_{gt} = \frac{F_N \xi_{op}^{-2/3}}{H_{s/\Delta D}} \quad (5.419)$$

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, rekenwaarde (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:

$$\Delta = (\rho_s - \rho)/\rho \quad (5.420)$$

$$H_{s/\Delta D} = \frac{f_\beta f_{havendam} C_{berm} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \cdot \frac{H_s}{\Delta D} \quad (5.421)$$

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56T_p^2}}} \quad \text{met } \alpha = \alpha_{fict} \quad (5.422)$$

$$\bullet \quad \xi_{op} \leq 2: f_{gt} = \frac{3,07 \cdot \xi_{op}^{-1}}{H_{s/\Delta D}} \quad (5.423)$$

$$\bullet \quad \xi_{op} > 2: f_{gt} = \frac{6,5 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,02 \cdot \xi_{op} + 1,09}{H_{s/\Delta D}} \quad (5.424)$$

Als er volgens de nieuwe methode (Mourik, 2015a) zal worden gerekend (globale variabele IngegotenMethode2015 = true) geldt:

Gerekend wordt voor typesteenzetting = 3, 6 of 7 en NIET voor ingegoten Noorse steen (toplaagtype 28.61 of 28.62).

Voor deze gevallen wordt ten eerste een berekening uitgevoerd alsof de steenzetting niet is ingegoten, met als resultaat $f_{gt,zonderIngieting}$. Als bij de invoer vanwege de ingieting niets is ingevuld bij de open oppervlak van zuilen, Verkalit en natuurstenen, worden defaultwaarden aangehouden volgens Tabel 5.5. De waarden zijn bepaald volgens het onderzoek van Klein Breteler (2015b). Deze worden vervolgens naar de spleetbreedtes omgerekend, zie paragraaf 4.10.

Als er bij zuilen, Verkalit, natuurstenen (behalve Vilvoordse en Lessinische) of blokken met afstandhouders "ingewassen" = "nee" geldt, wordt het aangepast naar "ja".

Als vervolgens "ingewassen" = "ja" en er is geen D_{15} voor het inwasmateriaal ingevuld, wordt met $D_{15inwas} = 7$ mm gerekend. De spleetbreedtes en de $D_{15inwas}$ worden gebruikt om de lek lengte te berekenen.

Als voor betonblokken is gekozen en er is niets ingevuld bij de spleetbreedte, volgt een foutmelding en kan niet verder gerekend worden. De foutmelding is: "Spleetbreedte invullen, zonder geen berekening mogelijk."

Verder wordt de variable "geklemd" van "nee" op "ja" gezet voor zuilen, Verkalit, natuurstenen (behalve Vilvoordse en Lessinische) of op z'n kant gezette blokken met afstandhouders.

Toplaagtype met nr. zonder 2 ^{de} decimaal	Open oppervlak
Verkalit mgv 36,1, Verkalit GOR 36,2	7
Hillblocks 27,6, Ronataille 27,8	8
Basalton STS+ 27,7	9
Betonzuilen zonder kanalen 27,0, Basalton en Basalton STS 27,1, Ronaton 27,4, C-Star 27,5	10
Hydroblock 27,3	11
Basalt 26,0 26,1, PIT Polygoon 27,2, natuurstenen 28,0 t/m 28,6	12

Tabel 5.5 Defaultwaarden voor de open oppervlak als er niets is ingevuld bij ingegoten steenzettingen

Als er geldt dat $\xi_{op} > 2$, dan wordt de berekening zonder ingieting doorgevoerd met $\xi_{op} = 2$ en gecorrigeerd voor de grotere waarde met deze formule:

$$f_{gt,zonderIngieting} = f_{gt,zonderIngieting} \cdot \xi_{op}^{-2/3} / 2^{-2/3} \quad (5.425)$$

De berekening wordt dan niet nog een keer doorgevoerd met $\xi_{op} = 2$, zoals dat voor andere typen steenzettingen het geval is.

Ten tweede wordt de f_{gt} voor de ingegoten steenzetting berekend.

Als ingegoten = gietasfalt EN ($D_{ingieting} < 0,1 \cdot D$ of $D_{ingieting} < 0,02$ m), dan geldt $f_{gt} = 99$ en score = "geavanceerd". Er wordt dan in deze routine niet verder gerekend en er wordt de volgende waarschuwing gegeven: "Geavanceerd omdat te ondiepe ingieting."

Als ingegoten = gietasfalt EN ($D_{ingieting} \geq 0,1 \cdot D$ en $D_{ingieting} \geq 0,02$ m), dan geldt:

$$F_N = f_B f_{S,front} (6 \cdot f_{ingieting} + 3,3) \quad (5.426)$$

$$H_{s/\Delta D} = \frac{f_\beta f_{havendam} C_{berm} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \cdot \frac{H_s}{\Delta D} \quad (5.427)$$

$$f_{gt,metIngieting} = \frac{F_N \xi_{op}^{-2/3}}{H_{s/\Delta D}} \quad (5.428)$$

$$\text{met } \xi_{\text{op}} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56T_p^2}}} \quad (5.429)$$

met:

$f_{\text{ingieting}}$ = factor t.a.v. de relatieve diepte tot waar gietasfalt tussen de toplaagelementen zit. Bijvoorbeeld: als de bovenste 66% van de spleet is ingegoten, dan is $f_{\text{ingieting}} = 0,66$ (-)

D = dikte van de toplaag, rekenwaarde (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 (-)

H_s = significante golfhoogte (m)

$H_{s/\Delta D}$ = gecorrigeerde dimensieloze belastingparameter $H_s/(\Delta D)$ (-)

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)

Vervolgens wordt de maatgevende f_{gt} bepaald van de berekeningen zonder en met ingieting:

$$f_{gt} = \max(f_{gt, \text{metIngieting}}; f_{gt, \text{zonderIngieting}})$$

Als ingegoten = beton, dan wordt gerekend volgens punt 2 van de oude methode.

Voor beide methoden geldt:

Het toetsresultaat is:

- als $f_{gt} > 1$, dan "goed"
- anders: "geavanceerd"

De overdikte m.b.t. het toetsresultaat "goed" voor golfbelasting wordt als volgt berekend:

$$D_{\text{over, golven}} = D \left(1 - \frac{1}{f_{gt}} \right) \frac{f_\beta C_{\text{berm}} f_{\text{havendam}} C_{\text{diep}}}{C_{\text{bovenbeloop}}} \quad (5.430)$$

Zoals bij typen 3 en 6, moet de overdikte ook worden getoetst op langsstroming. Dit wordt gedaan zoals in paragraaf 5.1.4 is beschreven met formule (5.5) voor de minimaal benodigde toplaagdikte voor een toetsresultaat "goed" voor stroming ($D_{\text{min, stroom}}$). De overdikte wordt berekend met $D_{\text{over, stroom}} = D - D_{\text{min, stroom}}$. De maatgevende waarde voor D_{over} wordt bepaald met het minimum van $D_{\text{over, golven}}$ en $D_{\text{min, stroom}}$.

5.15 Black box voor overige typen 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:

$$\Delta = \max((\rho_s - \rho)/\rho; 0,01)$$

$$H_{s/\Delta D} = \frac{f_{\beta} f_{havendam} C_{berm} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \cdot \frac{H_s}{\Delta D} \quad (5.431)$$

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56T_p^2}}} \quad \text{met } \alpha = \alpha_{fict} \quad (5.432)$$

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:

$$\xi_{op} \leq 2,2: H_{s/\Delta D, onder} = 4,31 \cdot \xi_{op}^{-0,926} \quad (5.433)$$

$$\xi_{op} > 2,2: H_{s/\Delta D, onder} = 11 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,09 \xi_{op} + 1,38 \quad (5.434)$$

Boven:

$$\xi_{op} \leq 2,2: H_{s/\Delta D, boven} = 6,78 \cdot \xi_{op}^{-0,588} \quad (5.435)$$

$$\xi_{op} > 2,2: H_{s/\Delta D, boven} = 17 \cdot \xi_{op}^{-2} + 1,84 \cdot \xi_{op} - 3,25 \quad (5.436)$$

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 m.b.t. het toetsresultaat "goed" voor golfbelasting geldt:

$$D_{over, golven} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \frac{f_{\beta} C_{berm} f_{havendam} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \quad (5.437)$$

Zoals bij typen 3 en 6, moet de overdikte ook worden getoetst op langsstroming. Dit wordt gedaan zoals in paragraaf 5.1.4 is beschreven met formule (5.5) voor de minimaal benodigde toplaagdikte voor een toetsresultaat "goed" voor stroming ($D_{min, stroom}$). De overdikte wordt berekend met $D_{over, stroom} = D - D_{min, stroom}$. De maatgevende waarde voor D_{over} wordt bepaald met het minimum van $D_{over, golven}$ en $D_{min, stroom}$.

Als de ervaring stroming = "onvoldoende" is, dan wordt de $D_{over} = 99$ gezet, omdat de waarde niet bepaald kan worden.

5.15.2 Type 2: Toetsing van steenzetting op goede klei

De onder- en bovengrens van het twijfelachtige gebied wordt als volgt berekend:

Onder:

$$\xi_{op} \leq 2,4: H_{s/\Delta D, onder} = 3,75 \cdot \xi_{op}^{-1} \quad (5.438)$$

$$\xi_{op} > 2,4: H_{s/\Delta D, onder} = 8 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,02 \cdot \xi_{op} + 1,25 \quad (5.439)$$

Boven:

$$\xi_{op} \leq 2,1: H_{s/\Delta D, boven} = 6,1 \cdot \xi_{op}^{-0,75} \quad (5.440)$$

$$\xi_{op} > 2,1: H_{s/\Delta D, boven} = 11 \cdot \xi_{op}^{-2} + 0,98 \cdot \xi_{op} - 1,0 \quad (5.441)$$

Toetsresultaat:

- $f_{g/t} = H_{s/\Delta D, onder} / H_{s/\Delta D}$
- $f_{v/o} = H_{s/\Delta D, boven} / H_{s/\Delta D}$
- als $f_{g/t} > 1$, dan score = "goed"
- als $f_{v/o} < C_{onv}$, dan score = "onvoldoende"
- overige gevallen: score = "geavanceerd"

Voor de overdikte m.b.t. het toetsresultaat "goed" voor golfbelasting geldt:

$$D_{over, golven} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \frac{f_{\beta} C_{berm} f_{havendam} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \quad (5.442)$$

Zoals bij typen 3 en 6, moet de overdikte ook worden getoetst op langsstroming. Dit wordt gedaan zoals in paragraaf 5.1.4 is beschreven met formule (5.5) voor de minimaal benodigde toplaagdikte voor een toetsresultaat "goed" voor stroming ($D_{min, stroom}$). De overdikte wordt berekend met $D_{over, stroom} = D - D_{min, stroom}$. De maatgevende waarde voor D_{over} wordt bepaald met het minimum van $D_{over, golven}$ en $D_{min, stroom}$.

Als de ervaring stroming = "onvoldoende" is, dan wordt de $D_{over} = 99$ gezet, omdat de waarde niet bepaald kan worden.

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:

$$\xi_{op} \leq 2,3: H_{s/\Delta D, onder} = 5,19 \cdot \xi_{op}^{-0,82} \quad (5.443)$$

$$\xi_{op} > 2,3: H_{s/\Delta D, onder} = 21 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,33 \cdot \xi_{op} + 1,18 \quad (5.444)$$

Boven:

$$\xi_{op} \leq 1,8: H_{s/\Delta D, boven} = 8,1 \cdot \xi_{op}^{-0,47} \quad (5.445)$$

$$\xi_{op} > 1,8: H_{s/\Delta D, boven} = 26 \cdot \xi_{op}^{-0,5} + 3,8 \cdot \xi_{op} - 20,03 \quad (5.446)$$

Toetsresultaat:

- $f_{g/t} = H_{s/\Delta D, \text{onder}}/H_{s/\Delta D}$
- $f_{t/o} = H_{s/\Delta D, \text{boven}}/H_{s/\Delta D}$
- als $f_{g/t} > 1$, dan score = "goed"
als $f_{t/o} < C_{\text{onv}}$, dan score = "onvoldoende"
overige gevallen: score = "geavanceerd"

Voor de overdikte m.b.t. het toetsresultaat "goed" voor golfbelasting geldt:

$$D_{\text{over, golven}} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \frac{f_{\beta} C_{\text{berm}} f_{\text{havendam}} C_{\text{diep}}}{C_{\text{bovenbeloop}}} \quad (5.447)$$

Zoals bij typen 3 en 6, moet de overdikte ook worden getoetst op langsstroming. Dit wordt gedaan zoals in paragraaf 5.1.4 is beschreven met formule (5.5) voor de minimaal benodigde toplaagdikte voor een toetsresultaat "goed" voor stroming ($D_{\text{min, stroom}}$). De overdikte wordt berekend met $D_{\text{over, stroom}} = D - D_{\text{min, stroom}}$. De maatgevende waarde voor D_{over} wordt bepaald met het minimum van $D_{\text{over, golven}}$ en $D_{\text{min, stroom}}$.

Als de ervaring stroming = "onvoldoende" is, dan wordt de $D_{\text{over}} = 99$ gezet, omdat de waarde niet bepaald kan worden.

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:

$$\xi_{\text{op}} \leq 2,2: H_{s/\Delta D, \text{onder}} = 4,31 \cdot \xi_{\text{op}}^{-0,93} \quad (5.448)$$

$$\xi_{\text{op}} > 2,2: H_{s/\Delta D, \text{onder}} = 11 \cdot \xi_{\text{op}}^{-4} + 0,09 \cdot \xi_{\text{op}} + 1,38 \quad (5.449)$$

Boven:

$$\xi_{\text{op}} \leq 2,2: H_{s/\Delta D, \text{boven}} = 6,78 \cdot \xi_{\text{op}}^{-0,59} \quad (5.450)$$

$$\xi_{\text{op}} > 2,2: H_{s/\Delta D, \text{boven}} = 17 \cdot \xi_{\text{op}}^{-2} + 1,84 \cdot \xi_{\text{op}} - 3,25 \quad (5.451)$$

Toetsresultaat:

- $f_{g/t} = H_{s/\Delta D, \text{onder}}/H_{s/\Delta D}$
- $f_{t/o} = H_{s/\Delta D, \text{boven}}/H_{s/\Delta D}$
- als $f_{g/t} > 1$, dan score = "goed"
als $f_{t/o} < C_{\text{onv}}$, dan score = "onvoldoende"
overige gevallen: score = "geavanceerd"

Voor de overdikte m.b.t. het toetsresultaat "goed" voor golfbelasting geldt:

$$D_{\text{over, golven}} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \frac{f_{\beta} C_{\text{berm}} f_{\text{havendam}} C_{\text{diep}}}{C_{\text{bovenbeloop}}} \quad (5.452)$$

Zoals bij typen 3 en 6, moet de overdikte ook worden getoetst op langsstroming. Dit wordt gedaan zoals in paragraaf 5.1.4 is beschreven met formule (5.5) voor de minimaal benodigde toplaagdikte voor een toetsresultaat “goed” voor stroming ($D_{\min, \text{stroom}}$). De overdikte wordt berekend met $D_{\text{over, stroom}} = D - D_{\min, \text{stroom}}$. De maatgevende waarde voor D_{over} wordt bepaald met het minimum van $D_{\text{over, golven}}$ en $D_{\min, \text{stroom}}$.

Als de ervaring stroming = “onvoldoende” is, dan wordt de $D_{\text{over}} = 99$ gezet, omdat de waarde niet bepaald kan worden.

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, als ze niet ingegoten zijn.

De stabiliteit van Noorse steen wordt beoordeeld met de methode van Wouters e.a. (2006):

$$\xi_{\text{op}} \leq 2,9: H_{s/\Delta D, \text{onder}} = 4 \cdot f_{s, \text{klap}} \cdot \xi_{\text{op}}^{-0,9} \quad (5.453)$$

$$\xi_{\text{op}} > 2,9: H_{s/\Delta D, \text{onder}} = 0,8 \cdot f_{s, \text{klap}} \cdot \xi_{\text{op}}^{0,6} \quad (5.454)$$

Boven:

$$\xi_{\text{op}} \leq 2,1: H_{s/\Delta D, \text{boven}} = 6,68 \cdot f_{s, \text{klap}} \cdot \xi_{\text{op}}^{-0,723} \quad (5.455)$$

$$\xi_{\text{op}} > 2,1: H_{s/\Delta D, \text{boven}} = (12 \cdot \xi_{\text{op}}^{-1,5} + 1,5 \cdot \xi_{\text{op}} - 3,12) \cdot f_{s, \text{klap}} \quad (5.456)$$

Toetsresultaat:

- $f_{g/t} = H_{s/\Delta D, \text{onder}} / H_{s/\Delta D}$
- $f_{t/o} = H_{s/\Delta D, \text{boven}} / H_{s/\Delta D}$
- als $f_{g/t} > 1$, dan score = “goed”
- als $f_{t/o} < C_{\text{onv}}$, dan score = “onvoldoende”
- overige gevallen: score = “geavanceerd”

Voor ingegoten Noorse steen kan de stabiliteit niet worden berekend met Steentoets. Daarom wordt de stabiliteit berekend zoals bij niet ingegoten Noorse steen, met de volgende waarschuwing: “Ingegoten Noorse steen kan niet worden berekend met Steentoets, gerekend zonder ingieting.”. Als het toetsresultaat dan “goed” is, blijft het “goed”. Anders wordt het resultaat “geavanceerd”.

Voor de overdikte m.b.t. het toetsresultaat “goed” voor golfbelasting geldt:

$$D_{\text{over, golven}} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \frac{f_{\beta} C_{\text{berm}} f_{\text{havendam}} C_{\text{diep}}}{C_{\text{bovenbeloop}}} \quad (5.457)$$

Zoals bij typen 3 en 6, moet de overdikte ook worden getoetst op langsstroming. Dit wordt gedaan zoals in paragraaf 5.1.4 is beschreven met formule (5.5) voor de minimaal benodigde toplaagdikte voor een toetsresultaat “goed” voor stroming ($D_{\min, \text{stroom}}$). De overdikte wordt berekend met $D_{\text{over, stroom}} = D - D_{\min, \text{stroom}}$. De maatgevende waarde voor D_{over} wordt bepaald met het minimum van $D_{\text{over, golven}}$ en $D_{\min, \text{stroom}}$.

Als de ervaring stroming = “onvoldoende” is, dan wordt de $D_{over} = 99$ gezet, omdat de waarde niet bepaald kan worden.

Als de toplaag bestaat uit Noorse steen (type 7) moet de volgende waarschuwing gegeven worden: “Niet toplaagdikte, maar Dn50 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 $f_{gt} = f_{to} = 0$. Anders wordt bij het toetsresultaat vermeld dat een ‘grastoets nodig’ is en wordt $f_{gt} = f_{to} = 0$.

Steeds wordt bij de overdikte (D_{over}) en bij de minimaal benodigde toplaagdikte (D_{min}) de waarde 10^{30} 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:

$$\xi_{op} \leq 2,0: H_{s/\Delta D, onder} = 3,07 \cdot \xi_{op}^{-1,014} \quad (5.458)$$

$$\xi_{op} > 2,0: H_{s/\Delta D, onder} = 6,5 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,02 \cdot \xi_{op} + 1,09 \quad (5.459)$$

Boven:

$$\xi_{op} \leq 2,3: H_{s/\Delta D, boven} = 5,08 \cdot \xi_{op}^{-0,785} \quad (5.460)$$

$$\xi_{op} > 2,3: H_{s/\Delta D, boven} = 13,8 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,26 \cdot \xi_{op} + 1,53 \quad (5.461)$$

Toetsresultaat:

- $f_{gt} = H_{s/\Delta D, onder} / H_{s/\Delta D}$
- $f_{to} = H_{s/\Delta D, boven} / H_{s/\Delta D}$
- als $f_{gt} > 1$, dan score = “goed”
- als $f_{to} < C_{onv}$, dan score = “onvoldoende”
- overige gevallen: score = “geavanceerd”

Voor de overdikte m.b.t. het toetsresultaat “goed” voor golfbelasting geldt:

$$D_{over, golven} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right) \frac{f_{\beta} C_{berm} f_{havendam} C_{diep}}{C_{bovenbeloop}} \quad (5.462)$$

Zoals bij typen 3 en 6, moet de overdikte ook worden getoetst op langsstroming. Dit wordt gedaan zoals in paragraaf 5.1.4 is beschreven met formule (5.5) voor de minimaal benodigde toplaagdikte voor een toetsresultaat “goed” voor stroming ($D_{min, stroom}$). De overdikte wordt berekend met $D_{over, stroom} = D - D_{min, stroom}$. De maatgevende waarde voor D_{over} wordt bepaald met het minimum van $D_{over, golven}$ en $D_{min, stroom}$.

Als de ervaring stroming = “onvoldoende” is, dan wordt de $D_{over} = 99$ gezet, omdat de waarde niet bepaald kan worden.

5.15.8 Type 11: Toplaag en overlaging van polyurethaan gebonden breuksteen

Steenstoets is in staat om 2 hoofdtypen van bekledingen met polyurethaan gebonden breuksteen (PBA) te toetsen:

- Steenzetting met overlaging van PBA (derde decimaal = 3)
- Toplaag van PBA op granulair filter of geotextiel en zand of klei (toplaagtype = 11)

Onderstaand is de toetsmethode voor de top laagstabiliteit beschreven, zoals opgesteld van Arcadis (2015). De andere bezwijkmechanismen komen in hoofdstuk 7 aan bod.

Als er een steenzetting met PBA-overlaging wordt doorgerekend, wordt eerst de stabiliteit van de steenzetting berekend en vervolgens de stabiliteit van de PBA-overlaging.

De stabiliteit van PBA-lagen (niet de overlagingen) wordt bepaald voor een belasting door golfklappen. Dit is tot een bepaalde waterstand boven de bovengrens van de bekleding Z_b het geval (niveau van bovenste overgangsconstructie van het segment). Daarbij is uitgegaan van de locatie van de golfklappen zoals gekwantificeerd in Klein Breteler (2009). Daar wordt de gemiddelde locatie van de maximale stijghoogte door golfklappen type 1 en 2 gegeven met de volgende formule:

$$\frac{x_{\phi\max}}{H_s} = \min \left(\frac{0,42}{\sqrt{s_{op}}} - 0,9; 6,5 \right) \quad (5.463)$$

met:

- $x_{\phi\max}$ = horizontale afstand van de snijlijn van de stilwaterlijn en het talud tot de locatie met de grootste stijghoogte in de golfklap [m]
- H_s = significante golfhoogte [m]
- s_{op} = golfsteilheid [-]

De bovenstaande formule is gebaseerd op de gemiddelde locaties van de grote golfklappen. Omdat bij een PBA-laag één golfklap voldoende kan zijn om de laag te breken, zijn de extreme waarden belangrijk. Daarom zijn de boven- en ondergrens van het 95%-interval van $x_{\phi\max}$ bekeken, die ook in de analyse van Klein Breteler (2009) zijn gegeven. De bovengrens ligt gemiddeld een factor 1,7 hoger dan de berekende waarde. Dat niveau wordt gekozen als benadering voor de maatgevende locatie van de golfklappen op het talud.

Hiermee wordt dus het volgende criterium afgeleid of de PBA top laag belast wordt (h = actuele waterstand in de berekening):

- als top laagtype = 11 EN $\{ h > Z_b + 1,7 \cdot H_s \cdot \tan \alpha \cdot \min \left(\frac{0,42}{\sqrt{s_{op}}} - 0,9; 6,5 \right) \}$ (5.464)

OF beschouwd taluddeel ligt op kruin of binnentalud}

dan: $f_{gt} = 99$, score = "n.v.t." (geen belasting door golfklappen op het beschouwde taluddeel).

- Voor alle andere waterstanden wordt de methode zoals hieronder beschreven gebruikt om de stabiliteit van de PBA-laag te bepalen.

Bovenstaand criterium is alleen geldig voor PBA lagen, niet voor overlagingen. Bij overlagingen wordt de sterkte van de onderliggende steenzetting ook bepaald en is het

stijghoogteverschil over de steenzetting en overlaging bepalend voor de stabiliteit. Daarom zijn voor overlagingen de voorwaarden van steenzettingen aangehouden.

Zie hieronder de stappen voor het bepalen van de stabiliteit van een PBA toplaag of een PBA overlaging.

Stap 1 Eenvoudige toetsingen en indeling

Stap 1.1 Is de PBA bekleding direct op het zand aangebracht OF is het direct op kleilaag aangebracht met laagdikte >2 m OF direct op kleikern (eventueel met geokunststof filter)? Dan mag de toetsing direct worden vervolgd met stap 2.2;
als $D_{f50} = 0$ (geen filter) EN ($b_{\text{klei}} > 2,0$ OF $b_{\text{klei}} = 0$ OF dijkopbouw = "kleikern"), dan: **stap 2.2;**
anders: stap 1.2

Stap 1.2 Is er een uitvullaag of granulair filter aanwezig direct onder de bekleding? [Dit is dus niet het geval bij PBA overlagingen.] Dan is het mogelijk dat verschildrukken in de filterlaag optreden. Dit wordt getoetst in stap 1.4.
als $D_{f50} > 0$ (filter aanwezig) EN NOT (PBA = overlaging), dan: **stap 1.4;**
anders: stap 1.3

Stap 1.3 Als de PBA bekleding is toegepast als overlaging van een bestaande bekleding, dan moet de toetsing worden uitgevoerd met de specifieke aandachtspunten voor overlagingen;
als PBA = overlaging, dan: **stap 2.2 en stap 2.3;**
anders: stap 1.4

Stap 1.4. Het optreden van verschildrukken onder de toplaag kan worden uitgesloten als de D_{15} van de uitvullaag of granulair filter kleiner is dan de D_{15} van het PBA mengsel. In dit geval kan de toetsing worden vervolgd met stap 2.2, de controle van de laagdikte.
als $D_{f15} < D_{PBA15}$, dan: **stap 2.2;**
anders: stap 2.1

Stap 2.1 Gedetailleerde toetsing o.b.v. leklengte (alleen PBA toplaag)

Als de verschildrukken niet zomaar kunnen worden uitgesloten in stap 1.4, wordt een gedetailleerde geavanceerde toets o.b.v. de leklengte-theorie uitgevoerd. Met de leklengtetheorie wordt de stabiliteit van de toplaag bepaald als bestond de toplaag uit losse blokken. Hierbij worden de waarden van de blokbreedte en de bloklengte op 0,3 m gezet. Dit is een conservatieve aanpak (veilig), alleen gebaseerd op het eigengewicht van de PBA-laag. Resultaat hiervan zijn de waarden voor f_{gt} en f_{to} .

Bereken f_{gt} en f_{to} van los blok met geklemd = "n" en $B = L = 0.3$

Dan: ga naar stap 2.4: score o.b.v. f_{gt} en f_{to}

Stap 2.2 Controle buigtrekspanning (met analytische formule)

De controle van de laagdikte wordt in Steentoets2015 met de analytische methode doorgevoerd. Daarvoor wordt ten eerste de door de golven opgewekte drukstoot berekend. Met deze wordt de buigtrekspanning berekend. De berekende waarde wordt met een maximale rekenwaarde vergeleken en op basis hiervan wordt de toplaag beoordeeld. Hieronder zijn de formules gegeven.

- Bereken drukstoot:

$$P_{\text{max,PBA}} = \rho_w \cdot g \cdot q_{PBA} \cdot H_s \quad (5.465)$$

met:

- $P_{\max,PBA}$ = maximale drukstoot bij golfklap [Pa]
- ρ_w = dichtheid water [kg/m^3]
- g = zwaartekrachtsversnelling [m/s^2]
- q_{PBA} = stootfactor [-]
- H_s = significante golfhoogte [m]

- Bereken buigtrekspanning aan de onderzijde van de bekleding $\sigma_{\text{reken},PBA}$:

$$\sigma_{\text{reken},PBA} = \frac{P_{\max,PBA}}{4\beta_{PBA}^3 z_{PBA}} \left[1 - e^{(-\beta_{PBA} z_{PBA})} (\cos(\beta_{PBA} z_{PBA}) + \sin(\beta_{PBA} z_{PBA})) \right] \frac{6}{(D_{PBA} / \gamma_{v,PBA})^2} \quad (5.466)$$

$$\text{met: } \beta_{PBA} = \sqrt[4]{\frac{3c_{PBA} (1 - \nu_{PBA}^2)}{E_{PBA} \cdot (D_{PBA} / \gamma_{v,PBA})^3}} \quad (5.467)$$

met:

- als PBA = overlaging, dan: $c_{PBA} = c_{PBA,filter}$
- anders als dijkopbouw GEEN {"kl" of "kk"}, dan: $c_{PBA} = c_{PBA,zand}$
- anders: $c_{PBA} = c_{PBA,klei}$

met:

- $\sigma_{\text{reken},PBA}$ = berekende buigtrekspanning van PBA bij gegeven eigenschappen [Pa]
 - $P_{\max,PBA}$ = maximale drukstoot bij golfklap [Pa]
 - c_{PBA} = beddingsconstante ondergrond; bij overlaging: beddingsconstante van filterlaag [Pa/m]
 - E_{PBA} = buigstijfheid PBA [Pa]
 - D_{PBA} = laagdikte PBA [m]
 - ν_{PBA} = constante van Poisson (aanname $\nu = 0,35$) [-]
 - z_{PBA} = halve breedte van de driehoeksbelasting ($= 0,5H_s$) [m]
- NB. hoeken in deze formule worden in radialen ingevoerd.

- Bepaal maximale buigtrekspanning van de PBA laag

De waarde van de maximale buigtrekspanning van een PBA laag is afhankelijk van de $D_{15,PBA}$ van de PBA laag en kan met onderstaand Tabel 5.6 interpoleerd worden.

Mengsel met minimaal 2% PU-lijm en o.b.v. sortering (mm)	Korrelgrootte (mm)	Maximale buigtreksterkte (MPa)
8/11	8	1.09
10/14	10	0.97
20/40	20	0.62
30/60	30	0.5

Tabel 5.6 Waarde van de maximale buigtrekspanning van een PBA laag afhankelijk van de $D_{15,PBA}$

Als de PBA laag dunner is dan $6 \cdot D_{50,PBA}$, dan wordt tussen de met de tabel bepaalde waarde ($\sigma_{\max,PBA,tabel}$) en 0 geïnterpoleerd. Met $D_{50,PBA} = f_{G,PBA} \cdot D_{15,PBA}$ is dit:

$$\sigma_{\max,PBA} = \min \left(\frac{\sigma_{\max,PBA,tabel}}{6 \cdot f_{G,PBA} \cdot D_{15,PBA}} \cdot D_{PBA}; \sigma_{\max,PBA,tabel} \right) \quad (5.468)$$

- Bereken f_{gt} en f_{to} :

$$f_{gt} = \frac{\sigma_{\max,PBA}}{\sigma_{reken,PBA}} \quad (5.469)$$

$$f_{to} = 2 \cdot f_{gt} \quad (5.470)$$

Dan: ga verder naar stap 2.4 voor de beoordeling, of naar stap 2.3 als het een PBA-overlaging is

Stap 2.3 Stabiliteit van PBA-overlagingen van steenzettingen

Aanvullend op de vorige beoordeling t.o.v. de buigtrekspanning van een PBA laag (stap 2.2) moet voor PBA-overlagingen van steenzettingen aanvullend getoetst worden, of het bijkomende gewicht van het PBA voldoende is om het diktetekort van de steenzetting te compenseren.

De aanvullende beoordeling van een PBA-overlaging op een steenzetting verloopt als volgt :

- Bereken de minimaal benodigde dikte van de zetsteen toplaag in Steentoets (zie paragraaf 5.1.4 en 5.15) en vergelijk deze met de aanwezige dikte. Houdt hierbij rekening met een afname van de doorlatendheid van de toplaag als gevolg van de bedekking van stoot- en langsvoegen of open ruimte tussen de blokken/zulen als gevolg van lijm en stenen van het te verwerken PBA. Hiervoor wordt een reductiefactor van 0,8 op de spleetbreedte of percentage open ruimte toegepast (veilige waarde op basis van expert judgement);
bereken D_{over} met 0,8-spleetbreedte of 0,8-open oppervlak (zie paragraaf 5.1.4 en 5.15)
- Met de relatieve soortelijke massa van de zetsteen kan het dikte tekort worden omgerekend naar een (onderwater) gewichtstekort per m^2 ;
Het moet worden gecontroleerd of het gewicht van de PBA overlaging voldoende is om het gewichtstekort op te heffen. Als voldoende gewicht is aangebracht om het diktetekort van de steenzetting te compenseren mag de deelscore 'voldoet' worden gegeven. In andere gevallen dient een toets op maat te worden uitgevoerd (geavanceerde analyse);
- **Bereken f_{gt} en f_{to} :**

Als $D_{over} < 0$, dan:

$$f_{gt,overlaging} = \frac{D_{PBA} \cdot \Delta_{PBA}}{-D_{over} \cdot \Delta_{steenzetting}} \quad (5.471)$$

$$f_{to,overlaging} = 2 \cdot f_{gt,overlaging} \quad (5.472)$$

Anders: $f_{gt,overlaging} = 99$; $f_{to,overlaging} = 99$

Vervolgens wordt de maatgevende waarde voor een PBA overlaging bepaald met de f_{gt} en f_{to} vanuit stap 2.2:

- Als $f_{gt,overlaging} < f_{gt}$, dan:
 $f_{gt} = f_{gt,overlaging}$
 $f_{to} = f_{to,overlaging}$
- Anders worden de f_{gt} en f_{to} waarden vanuit stap 2.2 aangehouden

Stap 2.4 Beoordeling van de stabiliteit toplaag

Met de f_{gt} en f_{to} waarden wordt de PBA laag beoordeeld. Als de f_{gt} groter is dan 1, is de laag voldoende. Als de f_{gt} en f_{to} waarde kleiner is dan 1, is de laag onvoldoende. Ertussen is het resultaat twijfelachtig.

- als $f_{gt} \geq 1$: score toplaag = voldoende
- als $f_{gt} < 1$ en $f_{to} \geq 1$: score toplaag = twijfelachtig
- als $f_{gt} < 1$ en $f_{to} < 1$: score toplaag = onvoldoende

Stap 2.5 Bereken de overdikte

Voor een PBA toplaag en overlaging wordt de overdikte met volgende formule berekend op basis van de f_{gt} waarde:

$$D_{over} = D_{PBA} \cdot \left(1 - \frac{1}{f_{gt}}\right) \quad (5.473)$$

Bij PBA lagen is de minimale toplaagdikte niet afhankelijk van het toetsen op stroming, zoals bij de andere typen steenzettingen.

Stap 2.6 Beoordeling ernstige schade

De beoordeling op ernstige schade wordt uitgevoerd op basis van de ervaring met de PBA-laag. Deze moet gebaseerd zijn op het inspectieresultaat.

Als $ervaring_PBA =$ onvoldoende: score toplaag = onvoldoende en waarschuwing: "Inspectieresultaat bepalend voor score toplaag."

6 C: Toetsing van stabiliteit van de toplaag op een havendam

De beoordeling van de stabiliteit van de toplaag 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). In zo'n geval wordt een melding gegeven omtrent het rekenproces:

Als $B_{\text{kruin}} < 1$ m dan: "Geavanceerd vanwege erg smalle kruin".

Als $\cot\alpha < 2,7$ (buitentalud) dan: "Geavanceerd vanwege erg steil buitentalud".

Als $\xi_{\text{op}} < 1,5$ dan: "Geavanceerd vanwege erg kleine brekerparameter".

Als $\xi_{\text{op}} > 3$ dan: "Geavanceerd vanwege erg grote brekerparameter".

Bovendien wordt een waarschuwing toegevoegd. De waarschuwing verschilt tussen de toetsing- en de ontwerpberekening.

Voor Toetsing:

Als $B_{\text{kruin}} < 1$ m dan: "Geavanceerd omdat kruinbreedte buiten bereik van formules."

Als $\cot\alpha < 2,7$ (buitentalud) dan: "Geavanceerd omdat taludhelling buiten bereik van formules."

Als $\xi_{\text{op}} < 1,5$ of $\xi_{\text{op}} > 3$ dan: "Geavanceerd omdat brekerparameter buiten bereik van formules."

Voor Ontwerp:

Als $B_{\text{kruin}} < 1$ m dan: "Onbekende stabiliteit omdat kruinbreedte buiten bereik van formules."

Als $\cot\alpha < 2,7$ (buitentalud) dan: "Onbekende stabiliteit omdat taludhelling buiten bereik van formules."

Als $\xi_{\text{op}} < 1,5$ of $\xi_{\text{op}} > 3$ dan: "Onbekende stabiliteit omdat brekerparameter buiten bereik van formules."

De score van de toplaag wordt dan voor Toetsing op "geavanceerd" gezet. Voor Ontwerp wordt de score op "?" gezet, omdat de stabiliteit niet bepaald worden kan, als de formules niet gebruikt worden kunnen.

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:

$$h_c = h_{kr} - h_{MWS}$$

met:

h_c = kruinhoogte ten opzichte van de maatgevende waterstand (m)

h_{MWS} = maatgevende waterstand (m)

h_{kr} = kruinhoogte (m + NAP)

Als bij een havendam het binnentalud ontbreekt, wordt het hoogste punt van het dwarsprofiel aangehouden als kruinhoogte.

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: $f_{gt} = 99$.

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 toplaag 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 $f_{gt} = 99$.

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 doorgroeienden 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 voor Toetsing: "Kop van havendam: geavanceerd". Voor Ontwerp is de waarschuwing: "Kop van havendam: onbekende stabiliteit."

Steeds wordt de maatgevende waterstand afgerond op vier decimalen.

6.1 Buitentalud van een havendam

Als de bekleding zich op het buitentalud bevindt, dan wordt eerst de volgende factor bepaald:

$$h_c = h_{kr} - h_{MWS}$$

$$\frac{h_c}{H_s} \geq -1: f_{havendam} = 1$$

$$\frac{h_c}{H_s} < -1: f_{havendam} = 0,2 + 0,8 \cdot e^{1,4 \cdot (0,8 + h_c/H_s)^3}$$
(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. Als bij een havendam het binnentalud ontbreekt, wordt het hoogste punt van het dwarsprofiel aangehouden als kruinhoogte.

Als de kruin onder water zit wordt in de volgende gevallen een melding gegeven over het rekenproces:

Als $-2 \leq h_c/H_s < -1$, dan: "Kruin vrij diep onder water".

Als $h_c/H_s < -2$, dan: "Kruin zeer diep onder water".

Verder verloopt de toetsing gelijk aan die op dijken (zie hoofdstuk 5), maar voor een maatgevende waterstand die niet ver onder het kruinniveau ligt ($h_c < H_s/2$) zal alleen met de stabiliteit van losse blokken worden gerekend. Ook wordt voor flauwe taluds dezelfde methode aangehouden als voor dijken, zie paragraaf 5.1.2.

6.2 Kruin en binnentalud van een havendam

Als $h_c \geq Z_{2\%}$ (kruin is hoger dan golfploopniveau 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:

- ten minste 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 $f_{gt} = 99$, en wordt een melding gegeven over het rekenproces: “Binnentalud diep onder water en daarom onbelast”.

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 leklengte 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:

$$\frac{h_c}{H_s} \geq -1: H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=0,4} = \min \left\{ 5 + 6 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 20 \right\}$$

(6.3)

$$\frac{h_c}{H_s} < -1: H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=0,4} = \min \left\{ \frac{5}{f_{havendam}} ; 20 \right\}$$

- 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:

$$\frac{h_c}{H_s} \geq -1: H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=1} = \frac{\min \left\{ 1,8 + 2,7 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 15 \right\}}{f_{damBB}} \quad (6.4)$$

$$\frac{h_c}{H_s} < -1: H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=1} = \frac{\min \left\{ \frac{1,8}{f_{havendam}} ; 15 \right\}}{f_{damBB}}$$

- t/o-grens bij $\Lambda = 1,0$ m voor de kruin en bovenbeloop-binnen (het binnentalud boven de eventuele binnenberm; niet de binnenberm):

$$\frac{h_c}{H_s} \geq -1: H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=1} = f_{damBB} \min \left\{ 3,8 + 7 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 20 \right\} \quad (6.5)$$

$$\frac{h_c}{H_s} < -1: H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=1} = f_{damBB} \min \left\{ \frac{3,8}{f_{havendam}} ; 20 \right\}$$

- g/t-grens bij $\Lambda = 1,0$ m voor de binnenberm en het onderbeloop-binnen (het talud onder de binnenberm):

$$H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=1} = \frac{\min \left\{ 3 + 4 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} \right)^3 ; 15 \right\}}{f_{damBB}} \quad (6.6)$$

- 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 leklengte 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 $H_{s/\Delta D;g/t} = 15$, dan volgt een melding over het rekenproces: "Maximum stabiliteit gehanteerd".

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 golfoploophoogte 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 4.14:

$$\xi_{om} = \frac{\tan \alpha_{\text{oploop}}}{\sqrt{H_s / (1,56T_{m-1,0}^2)}} \quad (6.13)$$

Als $T_{m-1,0}$ niet beschikbaar is, wordt met $T_p/1,084$ gerekend.

$$x = 2H_s$$

$$\gamma_b = \max\{ \min\{1 - B_{\text{berm}}/L_{\text{berm}} \cdot (0,5 + 0,5 \cos(\pi d_B/x)) ; 1,0\} ; 0,6\} \quad (6.14)$$

$$\gamma_\beta = \max\{1 - 0,0022 \cdot \text{abs}(\beta) ; 0,824\} \quad (6.15)$$

$$z_{2\%} = \gamma_\beta \cdot H_s \cdot \min\{1,75 \cdot 0,95 \cdot \gamma_b \cdot \xi_{om} ; 0,95 \cdot (4,3 - 1,6/\sqrt{\xi_{om}})\} \quad (6.16)$$

- Voor de **kruin** geldt (B = breedte van de blokken (m)) (er wordt gerekend met de taludhelling van het betreffende segment):

– als $d_r \leq 0,2B$:

$$\text{– als } 0,9(z_{2\%} - h_c) < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D} \text{ en } f_{g/t} > 1: \text{“goed”} \quad (6.17)$$

– anders, als $f_{t/o} < 1$: “onvoldoende” en als $f_{t/o} > 1$: “geavanceerd”

Ten aanzien van het rekenproces zijn er de volgende meldingen:

- Als $0,9(z_{2\%} - h_c) \geq \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D}$ en $f_{g/t} > 1$: “Oneffenheden zijn maatgevend”.

- Als $0,9(z_{2\%} - h_c) < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D}$ en $f_{g/t} \leq 1$: “Oneffenheden zijn niet maatgevend”.

– als $d_r > 0,2B$:

$$\text{– als } 0,9(z_{2\%} - h_c) < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B \left(2 - \frac{B}{5d_r}\right) - 0,5D} \text{ en } f_{g/t} > 1: \text{“goed”} \quad (6.18)$$

– anders, als $f_{t/o} < 1$: “onvoldoende” en als $f_{t/o} > 1$: “geavanceerd”

Ten aanzien van het rekenproces zijn er de volgende meldingen:

- Als $0,9(z_{2\%} - h_c) \geq \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B \left(2 - \frac{B}{5d_r}\right) - 0,5D}$ en $f_{g/t} > 1$: “Oneffenheden zijn maatgevend”.

- Als $0,9(z_{2\%} - h_c) < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B \left(2 - \frac{B}{5d_r}\right) - 0,5D}$ en $f_{g/t} \leq 1$: “Oneffenheden zijn niet maatgevend”.

- Voor het **binnentalud en binnenberm** (bovenbeloop-binnen, onderbeloop-binnen en binnenberm) geldt (er wordt gerekend met de taludhelling van het betreffende segment):

- als $d_r \leq 0,2B$:
 - als $0,9z_{2\%} < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D}$ en $f_{g/t} > 1$: “goed” (6.19)
(anders nog als buitentalud toetsen, zie verderop)
 - als $0,9z_{2\%} \geq \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D}$ dan: (6.20)
 - als $f_{t/o} < 1$: “onvoldoende”
 - als $f_{t/o} \geq 1$: “geavanceerd”

Ten aanzien van het rekenproces zijn er de volgende meldingen:

- Als $0,9z_{2\%} \geq \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D}$ en $f_{g/t} > 1$: “Oneffenheden zijn maatgevend”.
- Als $0,9z_{2\%} < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D}$ en $f_{g/t} \leq 1$: “Oneffenheden zijn niet maatgevend”.
- als $d_r > 0,2B$:
 - als $0,9z_{2\%} < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B\left(2 - \frac{B}{5d_r}\right) - 0,5D}$ en $f_{g/t} > 1$: “goed” (6.21)
(anders nog als buitentalud toetsen, zie verderop)
 - als $0,9z_{2\%} \geq \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B\left(2 - \frac{B}{5d_r}\right) - 0,5D}$ dan: (6.22)
 - als $f_{t/o} < 1$: “onvoldoende”
 - als $f_{t/o} > 1$: “geavanceerd”

Ten aanzien van het rekenproces zijn er de volgende meldingen:

- Als $0,9z_{2\%} \geq \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B\left(2 - \frac{B}{5d_r}\right) - 0,5D}$ en $f_{g/t} > 1$: “Oneffenheden zijn maatgevend”.
- Als $0,9z_{2\%} < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B\left(2 - \frac{B}{5d_r}\right) - 0,5D}$ en $f_{g/t} \leq 1$: “Oneffenheden zijn niet maatgevend”.

Als met het bovenstaande nog geen score is bereikt (als geldt: $f_{g/t} \leq 1$ en kleine of stabiele oneffenheden), dan volgt er een melding over het rekenproces, namelijk “Bekleding ook als buitentalud van dijk getoetst.”, en geldt:

- binnentalud of binnenberm:
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_{to} gelijk wordt aan de grootste waarde van deze berekening (tenzij het 99 is) of het resultaat van het voorgaande.

- Kruijn:
Als $f_{to} < 1$, 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 4.11).

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 paragraaf 5.1.3, om vervolgens met de routine uit paragraaf 5.1.4 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:

- als $h_c/H_s \geq 0$: $D_{over} = \min \left\{ D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right); D - \frac{d_r}{0,11} \right\}$ (6.23)

- als $h_c/H_s < 0$: $D_{over} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right)$ (6.24)

Voor de maatgevende golfcondities wordt de golfsteilheid berekend:

$$s_{op} = H_s / (1,56 T_p^2) \quad (6.25)$$

Als $s_{op} > 0,08$, dan volgt er een waarschuwing: melding = “golfsteilheid > 0,08”.

Als $H_s > 4$ m, dan volgt er een waarschuwing: melding = “onbetrouwbaar: golfhoogte te groot ($H_s > 4m$)”. 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).

Let op, voor de overige bezwijkmechanismen gelden andere veiligheidscoëfficiënten dan voor de toplaagstabiliteit. De rekenwaarden voor D en zo nodig de andere benodigde variabelen moeten dus per mechanisme worden bepaald.

7.1 Stabiliteit toplaag voor hergebruikte betonzuilen

In de Steentoets berekeningen wordt de score van de toplaagstabiliteit bepaald met behulp van de $f_{g,t}$ en $f_{t,o}$ -waarden. Dit wordt zowel gedaan voor een dijk als ook voor een havendam. Maar als het toplaagtype ‘hergebruikte betonzuilen’ is (27.09), dan wordt die beoordeling aan het eind van het rekenproces gewijzigd. Dit geldt alleen voor niet met asfalt ingegoten toplagen. De klemming van hergebruikte betonzuilen is namelijk onzeker. Er zijn aanwijzingen uit grootschalig modelonderzoek dat de stabiliteit minder is nadat de steenzetting al eens tot schade is belast en opnieuw met dezelfde zuilen is opgebouwd. In voorkomende gevallen moet specialistisch advies worden ingewonnen.

Als toplaagtype = 27.09 èn ingegoten = nee èn score ‘stabiliteit toplaag bij golven’ = “goed”, dan score ‘stabiliteit toplaag bij golven’ = “geavanceerd”. Er wordt dan een waarschuwing gegeven: "Hergebruikte betonzuilen kunnen met Steentoets niet berekend worden (zie sheet Info)."

7.2 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, $Z_o \geq h_{toets}$, 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_{stroom_tgi} is blanco, of $stroming_i =$ nee of n) dan foutmelding: “toplaag ook op langsstroming toetsen want $\Delta D < 0,25$ m”, resp. “Toetsresultaat geldig voor langsstroming < 5 m/s.” voor een PBA toplaag of overlaging.
- Als er volgens de gebruiker geen toetsing op langsstroming nodig is (bijvoorbeeld omdat het geen rivier is), wordt het toetsresultaat = “nvt”, anders:
- Voor PBA toplagen en overlagingen:
 - Als $u_s \leq 5$ m/s: toetsresultaat = “goed” (7.1)
 - Anders: “geavanceerd” (7.2)
- Voor alle andere typen:
 - Als $u_s \leq 1,51 \cdot \sqrt{g\Delta D}$: toetsresultaat = “goed” (7.3)

- Als $u_s > 2,50 \cdot \sqrt{(g\Delta D)}$: toetsresultaat = “onvoldoende” (7.4)
- Anders: “geavanceerd”

Voor Toetsing wordt de score aangepast aan de naamgeving van WTI2017, zie paragraaf 8.1.1.

Bij het ontwerp wordt de berekening met langsstroming uitgevoerd met de ingevoerde waarde van de topplagdikte 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. Het is wel mogelijk om de rekenwaarde van de stroomsnelheid te vergroten met een veiligheidscoëfficiënt.

7.3 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.

Voor Toetsing wordt de score aangepast aan de naamgeving van WTI2017, zie paragraaf 8.1.1.

7.3.1 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 topplag 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 topplag is ingegoten (met beton of gietasfalt) dan: score = ‘n.v.t.’
- Als ervaring is ‘g’, dan score = “goed”
- Als de dijkopbouw = “zs” (zandscheg) en type onderlaag bevat “kl”, dan: score = “geavanceerd” en er wordt een waarschuwing gegeven: “Geavanceerd vanwege combinatie van kleilaag en zandscheg.”, resp. voor Ontwerp: “Niet goed vanwege combinatie van kleilaag en zandscheg.”
- Als type onderlaag is ‘as’ (zandasfalt of gebitumineerd zand), dan: score = “goed”
- Als type onderlaag is ‘vl’ EN ‘kl’, dan: score = “goed”
- Als een geotextiel op de ondergrond aanwezig is:

- 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”
 - anders: 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”
 - anders: score = “onvoldoende”
(als hier de score onvoldoende wordt, omdat de D_{50} of de D_{90} van de klei niet is ingevuld, wordt een waarschuwing gegeven: “Onvoldoende omdat korrelgrootte van de klei ontbreekt.”, resp. voor Ontwerp: “Niet goed omdat korrelgrootte van de klei ontbreekt.”)
- 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 GEEN geotextiel op de ondergrond aanwezig is (let op volgorde):
 - Als er een geotextiel tussen toplaag en filter is en de filter dikte $b_1 + b_2 > 0,03$ m
 - 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”
 - 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”
 - anders: score = “onvoldoende”
(als hier de score onvoldoende wordt, omdat de D_{50} of de D_{90} van de klei niet is ingevuld, wordt een waarschuwing gegeven: “Onvoldoende omdat korrelgrootte van de klei ontbreekt.”, resp. voor Ontwerp: “Niet goed omdat korrelgrootte van de klei ontbreekt.”)
 - 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:
 - Als $26 \leq \text{toplaagtype} \leq 29$, dan is de score “onvoldoende”
 - anders is de score “geavanceerd”
 - Als de steenzetting het type 8 (doorgroeistenen) heeft en de klei is niet van goede kwaliteit, dan is de score “geavanceerd”, anders “goed”.
 - Als de steenzetting het type 11 (PBA toplaag) heeft:
 - Als {geen: 'my' of 'gr' of 'pu' of 'sl' of 'st' }:
 - Op klei: score = “geavanceerd”
 - Op zand:
 - als $0,5 \cdot D_{15,PBA} \leq D_{50,zand}$: score = “goed” (7.5)
 - anders: “geavanceerd”
 - Als type onderlaag is 'my' (mijnsteen):
 - als $D_{f15} < 0,038 \cdot D_{b50}^{0,333}$ dan: score = “goed” (7.6)
 - als $D_{f15} > 0,25 \cdot D_{b50}^{0,333}$ dan: score = “onvoldoende” (7.7)

- 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" (7.8)
 - als $D_{f15} > 0,13 \cdot D_{b50}^{0,333}$ dan: score = "onvoldoende" (7.9)
 - anders: score = 'twijfelachtig'
- Alle andere gevallen: score = "geavanceerd"
- 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" (7.10)
 - als $D_{f15} > 0,25 \cdot D_{b50}^{0,333}$ dan: score = "onvoldoende" (7.11)
 - 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" (7.12)
 - als $D_{f15} > 0,13 \cdot D_{b50}^{0,333}$ dan: score = "onvoldoende" (7.13)
 - anders: score = 'twijfelachtig'
- Alle andere gevallen: score = "geavanceerd"

Als de score twijfelachtig is, wordt verdergegaan met de gedetailleerde toetsing (zie volgende paragraaf).

7.3.2 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.

Voor de verdere berekeningen moet de leklengte opnieuw worden bepaald, zonder de veiligheidsfactoren voor de toplaag, en met de veiligheidsfactoren voor materiaaltransport vanuit de ondergrond.

7.3.2.1 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:
 $i = i_{HF,0}$; $j = i_{HFmin}$

$$x_{HF} = \frac{x_i + x_j}{2} \quad (7.14)$$

$$i_{HF} = abs \left(\frac{A_{i-1,i}}{\Lambda} e^{\frac{+x_{HF}}{\Lambda \cos \alpha}} - \frac{B_{i-1,i}}{\Lambda} e^{\frac{-x_{HF}}{\Lambda \cos \alpha}} + \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \cos \alpha \right) \quad (7.15)$$

- steil front:

Als $i_{SF,0} = 0$ of $i_{SFmin} = 0$, dan $i_{opSF} = 0$ anders:

$i = i_{SF,0}$; $j = i_{SFmin}$

$$x_{SF} = \frac{x_i + x_j}{2} \quad (7.16)$$

$$i_{SF} = abs \left(\frac{A_{i-1,i}}{\Lambda} e^{\frac{+x_{SF}}{\Lambda \cos \alpha}} - \frac{B_{i-1,i}}{\Lambda} e^{\frac{-x_{SF}}{\Lambda \cos \alpha}} + \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \cos \alpha \right) \quad (7.17)$$

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):

$$i_{op} = \max \left[i_{HF} \cdot \min \left(1; \frac{\phi_{bHF}}{(b_1 + b_2) \tan \theta_{jHF}} \right); i_{SF} \cdot \min \left(1; \frac{\phi_{bSF}}{(b_1 + b_2) \tan \theta_{jSF}} \right) \right] \quad (7.18)$$

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)

Voor de neerwaartse gradiënt geldt: $i_{neer} = \max(\sin \alpha; 0,2)$ (7.19)

7.3.2.2 Zonder geotextiel op zand

Net als bij de eenvoudige toetsing zijn bij de beoordeling in geval van twee filterlagen de waarden uit de tweede filterlaag (onderste laag) maatgevend.

Als $b_1 + b_2 \leq 0,15$ m EN $b_1 + b_2 \leq D/2$, dan is het toetsresultaat geavanceerd en wordt de volgende waarschuwing gegeven: "Score Transport vanuit ondergrond geavanceerd omdat granulaire laag erg dun is.", resp. voor Ontwerp "Score Transport vanuit ondergrond niet goed omdat granulaire laag erg dun is.". De rest van de berekeningen in deze paragraaf kunnen dan worden overgeslagen.

Voor het grensvlak tussen een granulaire filter en een ondergrond van zand gelden de volgende formules:

$$i_{\perp} = 0,2 \quad (7.20)$$

$$c = 0,2 (1000 \cdot D_{b50})^{-0,77} \quad (7.21)$$

$$\text{Als } D_{b50} < 0,149371 \cdot 10^{-3} \text{ dan: } c_m = 0,35 - 1000 \cdot D_{b50}, \text{ anders} \quad (7.22)$$

$$\text{Als } D_{b50} \leq 0,700549 \cdot 10^{-3} \text{ dan: } c_m = 0,255 - 364 \cdot D_{b50}, \text{ anders } c_m = 0. \quad (7.23)$$

$$\text{Als } D_{b50} \leq 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ dan } \Phi_i = 0,333 \pi, \text{ anders} \quad (7.24)$$

$$\text{Als } D_{b50} \leq 0,65 \cdot 10^{-3} \text{ dan } \Phi_i = 0,306\pi, \text{ anders } \Phi_i = 0,278\pi \quad (7.25)$$

$$\Psi_s = 25D_{b50} + 0,011 \cdot (1000 \cdot D_{b50})^{-0,97} \quad (7.26)$$

$$\Delta_b = 1,65 \quad (7.27)$$

$$n_b = 0,4 \quad (7.28)$$

$$\nu = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (7.29)$$

$$q_{cr,op} = \left(\frac{n_f}{c} \left(\frac{D_{f15}}{\nu} \right)^{c_m} \cdot \sqrt{\Psi_s \Delta_b g D_{b50} \left(\frac{\sin(\Phi_i + \alpha)}{\sin(\Phi_i)} - \frac{i_{\perp}}{\Delta_b (1 - n_b)} \right)} \right)^{1/(1-c_m)} \quad (7.30)$$

$$q_{cr,neer} = \left(\frac{n_f}{c} \left(\frac{D_{f15}}{\nu} \right)^{c_m} \cdot \sqrt{\Psi_s \Delta_b g D_{b50} \left(\frac{\sin(\Phi_i - \alpha)}{\sin(\Phi_i)} - \frac{i_{\perp}}{\Delta_b (1 - n_b)} \right)} \right)^{1/(1-c_m)} \quad (7.31)$$

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 (-)
ν	= 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:

$$i_{op,cr} = a_f \cdot q_{cr,op} + b_f \cdot q_{cr,op}^2 \quad (7.32)$$

$$i_{op,neer} = a_f \cdot q_{cr,neer} + b_f \cdot q_{cr,neer}^2 \quad (7.33)$$

met:

a_f	= lineaire weerstandsterm van het filter (zie paragraaf 4.13.1) (s/m)
b_f	= turbulente weerstandsterm van het filter (zie paragraaf 4.13.1) (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"

7.3.2.3 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.

Als $b_1 + b_2 \leq 0,15$ m EN $b_1 + b_2 \leq D/2$, dan is het toetsresultaat geavanceerd en wordt de volgende waarschuwing gegeven: "Score Transport vanuit ondergrond geavanceerd omdat granulaire laag erg dun is.", resp. voor Ontwerp "Score Transport vanuit ondergrond niet goed omdat granulaire laag erg dun is.". De rest van de berekeningen in deze paragraaf kunnen dan worden overgeslagen.

$$m_g = 0,75 \quad (7.34)$$

$$k_g = \frac{q_{geo}}{(\phi_{geo}/T_g)^{0,75}} \quad (7.35)$$

$$\Delta_b = 1,65 \quad (7.36)$$

$$w = 10 \frac{v}{D_{b50}} \left(\sqrt{1 + 0,01 \frac{\Delta_b g D_{b50}^3}{v^2}} - 1 \right) \quad (7.37)$$

$$c_{geo} = 0,5 \quad (7.38)$$

$$R_{e,op} = \frac{q_{cr,op} D_{f15}}{v} \quad (7.39)$$

$$e_{R,op} = c R_{e,op}^{c_m} \quad (7.40)$$

$$q_{geo,op} = c_{geo} \left(12 \left[\frac{D_{b90}}{O_{90}} \right]^4 \frac{T_g}{D_{b90}} \left[\frac{w}{k_g} \right]^{\left(\frac{1}{2m_g} \right)} + \frac{n_f}{e_{R,op}} \right) \sqrt{\psi_s \Delta_b g D_{b50}} \quad (7.41)$$

$$R_{e,neer} = \frac{q_{cr,neer} D_{f15}}{v} \quad (7.42)$$

$$e_{R,neer} = c R_{e,neer}^{c_m} \quad (7.43)$$

$$q_{geo,neer} = c_{geo} \left(12 \left[\frac{D_{b90}}{O_{90}} \right]^4 \frac{T_g}{D_{b90}} \left[\frac{w}{k_g} \right]^{\left(\frac{1}{2m_g} \right)} + \frac{n_f}{e_{R,neer}} \right) \cdot \sqrt{\psi_s \Delta_b g D_{b50}} \quad (7.44)$$

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:

$$i_{op,geo} = a_f \cdot q_{geo,op} + b_f \cdot q_{geo,op}^2 \quad (7.45)$$

$$i_{neer,geo} = a_f \cdot q_{geo,neer} + b_f \cdot q_{geo,neer}^2 \quad (7.46)$$

met:

- a_f = lineaire weerstandsterm van het filter (zie paragraaf 4.13.1) (s/m)
- b_f = turbulente weerstandsterm van het filter (zie paragraaf 4.13.1) (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"

7.3.2.4 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.

Als $b_1 + b_2 \leq 0,05$ m, dan is het toetsresultaat geavanceerd en wordt de volgende waarschuwing gegeven: "Score Transport vanuit ondergrond geavanceerd omdat granulaire laag erg dun is.", resp. voor Ontwerp "Score Transport vanuit ondergrond niet goed omdat granulaire laag erg dun is.". De rest van de berekeningen in deze paragraaf kunnen dan worden overgeslagen.

Het kritieke verhang in geval van een basis van klei is:

- goede klei: $i_{cr,klei} = \frac{0,034}{n_f^2 D_{f15}}$ (7.47)

- matige of slechte klei: $i_{cr,klei} = \frac{0,012}{n_f^2 D_{f15}}$ (7.48)

Het toetsresultaat volgt uit:

- goed als: $i_{cr,klei} > i_{op}$ en $i_{cr,klei} > i_{neer}$ en $O_{90} < 0,3$ mm en $D_{f15} < 250$ mm
- zo niet: "onvoldoende"

7.4 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 (%). Voor Ω wordt in de spreadsheet 10 ingevuld als het relatieve open oppervlak 10% is, maar in onderstaande formules geldt dan $\Omega = 0,10$.

Het wordt als volgt beoordeeld (volgorde is belangrijk):

- Als toplaag met PBA-overlaging: score = 'nvt'
 - Als de bekleding boven het toetspeil ligt, $Z_o \geq h_{\text{toets}}$, of de bekleding ligt op het binnentalud: score = 'nvt'
 - Als het filter bestaat uit zandasfalt (as): score = "goed"
 - Als er geen filter is (géén: st of pu of sl of gr of my): score = 'n.v.t.'
 - Als er sprake is van onvoldoende gedrag: score = "onvoldoende"
 - Als er sprake is van goed gedrag: score = "goed"
 - Als de toplaag is ingegoten (met beton of gietasfalt): score = "goed"
 - Als er een geotextiel tussen toplaag en filter aanwezig is: score = "goed"
 - Als type = 11 (PBA toplaag):
 - Als $n_{\text{PBA}} \cdot D_{15,\text{PBA}} \leq D_{f50}$: score = "goed" (7.49)
 - anders: "geavanceerd"
 - Als $D_{50} \geq \max(s_i; s_s)$ EN $D_{50} \geq G$: score = "goed"
 - Anders moet de erosiediepte berekend worden:
 - Als $G \geq 0,1$ m: $Y = 0,23 \cdot G \cdot (H_s/D_{50})^{0,33}$ (7.50)
 - Als $G < 0,1$ m: $Y = 0,04 \cdot G \cdot \Omega^{-0,75} \sqrt{(H_s/D_{50})}$ (7.51)
- Als $Y/D < 0,5$, dan score = "goed"
 Als $Y/D > 1,5$, dan score = "onvoldoende"
 Anders: "geavanceerd"

Voor Toetsing wordt de score aangepast aan de naamgeving van WT12017, zie paragraaf 8.1.1.

7.5 Toetsing op afschuiving

De toetsing op afschuiving wordt uitgevoerd met de nieuwe methode van Bosters (2008). De oude methode uit de VTV2006 kan alleen nog gekozen worden door de beveiliging van het werkblad te verwijderen (Ctrl-Shift-F12 of Ctrl-Shift-F9) en in het werkblad Algemeen (regel 12) hiervoor te kiezen.

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'.

Voor Toetsing wordt de score aangepast aan de naamgeving van WT12017, zie paragraaf 8.1.1.

7.5.1 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 $b_{kleio} = -9$
- Als $H_s < b_{klei}$, dan score = “goed” en $b_{kleio} = 8$
- Als $\tan\alpha > 1/2,7$, dan score = “geavanceerd” en $b_{kleio} = -8$

Vervolgens wordt de gedetailleerde rekenmethode toegepast:

- Te toetsen segment is “goed” als $\Delta D + b_1 + b_2 + b_{klei} \geq H_s \cdot \min(1,5 ; 0,112 \cdot (1,56 T_p^2 \cdot \tan\alpha_m / H_s)^{0,8}) - 1334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan\alpha_m) \cdot D_{b15} \sqrt{T_p}$ (7.52)
- anders: score = “geavanceerd”

De overdikte volgt tenslotte uit:

$$b_{kleio} = \Delta D + b_1 + b_2 + b_{klei} - (H_s \cdot \min(1,5 ; 0,112 \cdot (1,56 T_p^2 \cdot \tan\alpha_m / H_s)^{0,8}) - 1334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan\alpha_m) \cdot D_{b15} \sqrt{T_p}) \quad (7.53)$$

7.5.2 Nieuwe methode

Voor de taludhelling wordt het gemiddelde gehanteerd in een strook van $4D_{bekl}$ (langs het talud gemeten, zie onderstaande procedure).

Zodra een toetsoordeel is bereikt, wordt de verdere procedure gestopt.

Voor deze methode wordt gecontroleerd of de breedte van de kering op een niveau $2,5 \text{ m} + \text{NAP} > 150 \text{ m}$ is. Hiervoor wordt ten eerste geprobeerd om de breedte op dat niveau te berekenen, als er een gehele dijkprofiel is ingevuld. Daarvoor worden dezelfde formules gebruikt zoals voor de dijkbreedte op toetspeil, zie paragraaf 4.12.1. Als dit niet lukt, wordt gekeken of de invoer hiervoor is gegeven. Als de invoer blanco is, dan geldt het als “nee”.

7.5.2.1 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 $b_{kleio} = -9$

7.5.2.2 Maatgevende taludhelling

Vervolgens wordt de maatgevende taludhelling bepaald.

Er geldt:

$$D_{bekl} = D + b_1 + b_2 + b_{klei} + D_{PBA} \quad (7.54)$$

$$Z_{bb} = \max(\text{alle } Z_b \text{ in het onderhavige dwarsprofiel}) \quad (7.55)$$

$$\text{startwaarde van het niveau } z: z_{start} = \min(Z_{bb}; h_{toets}; Z_b + 4D_{bekl} \cdot \sin\alpha) \quad (7.56)$$

met:

D_{bekl} = totale dikte van bekledingsmateriaal op het zand (m)

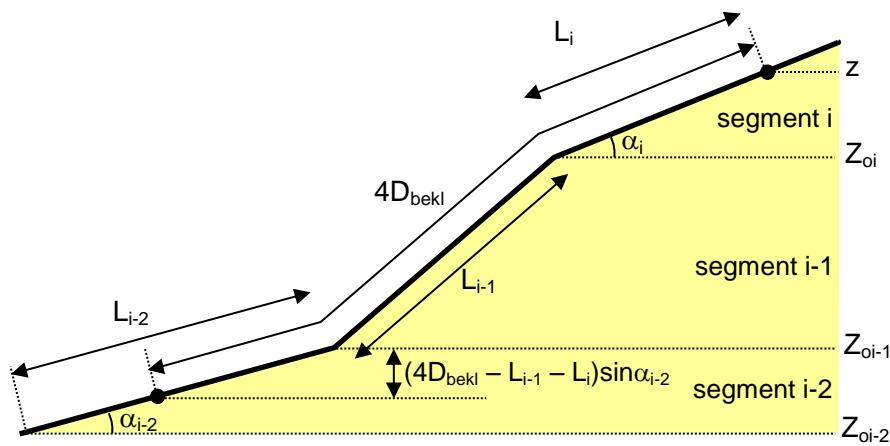
D_{PBA} = laagdikte van de eventuele PBA (m)

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 ($^\circ$)



Figuur 7.1 Berekening maatgevende taludhelling ten aanzien van afschuiving

De procedure start bij het niveau $z = z_{\text{start}}$ 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 $4D_{\text{bekl}}$.

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: $L_i = (z - Z_{oi})/\sin \alpha_i$ (7.57)
- als $L_i \geq 4D_{\text{bekl}}$, 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: $L_{i-1} = (Z_{oi} - Z_{oi-1})/\sin \alpha_{i-1}$ (7.58)

- als $L_i + L_{i-1} \geq 4D_{\text{bekl}}$, dan geldt:

$$\tan \alpha_{mz} = \frac{\{z - Z_{oi}\} + (4D_{\text{bekl}} - \{L_i\}) \sin \alpha_{i-1}}{\{L_i \cos \alpha_i\} + (4D_{\text{bekl}} - \{L_i\}) \cos \alpha_{i-1}} \quad (7.59)$$

- anders:
 - als Z_{oi-1} de onderste overgangsconstructie is van alle segmenten, of het eronder gelegen segment is een berm: $\tan \alpha_{mz} = \frac{z - Z_{oi-1}}{L_i \cos \alpha_i + L_{i-1} \cos \alpha_{i-1}}$ (7.60)

– anders segment eronder ook meetellen, zie vervolg:

- lengte van het eronder gelegen segment (langs het talud gemeten) tot de onderste overgangsconstructie van dat segment: $L_{i-2} = (Z_{oi-1} - Z_{oi-2})/\sin\alpha_{i-2}$ (7.61)

- als $L_i + L_{i-1} + L_{i-2} \geq 4D_{bekl}$, dan geldt:

$$\tan \alpha_{mz} = \frac{\{z - Z_{oi-1}\} + (4D_{bekl} - \{L_i + L_{i-1}\}) \sin \alpha_{i-2}}{\{L_i \cos \alpha_i + L_{i-1} \cos \alpha_{i-1}\} + (4D_{bekl} - \{L_i + L_{i-1}\}) \cos \alpha_{i-2}} \quad (7.62)$$

- anders:

– als Z_{oi-2} de onderste overgangsconstructie is van alle segmenten, of het eronder gelegen segment is een berm:

$$\tan \alpha_{mz} = \frac{z - Z_{oi-2}}{L_i \cos \alpha_i + L_{i-1} \cos \alpha_{i-1} + L_{i-2} \cos \alpha_{i-2}} \quad (7.63)$$

– anders segment eronder ook meetellen, zie vervolg

- lengte van het eronder gelegen segment (langs het talud gemeten) tot de onderste overgangsconstructie van dat segment: $L_{i-3} = (Z_{oi-2} - Z_{oi-3})/\sin\alpha_{i-3}$ (7.64)

- als $L_i + L_{i-1} + L_{i-2} + L_{i-3} \geq 4D_{bekl}$, dan geldt:

$$\tan \alpha_{mz} = \frac{\{z - Z_{oi-2}\} + (4D_{bekl} - \{L_i + L_{i-1} + L_{i-2}\}) \sin \alpha_{i-3}}{\{L_i \cos \alpha_i + L_{i-1} \cos \alpha_{i-1} + L_{i-2} \cos \alpha_{i-2}\} + (4D_{bekl} - \{L_i + L_{i-1} + L_{i-2}\}) \cos \alpha_{i-3}} \quad (7.65)$$

- anders:

– als Z_{oi-2} de onderste overgangsconstructie is van alle segmenten, of het eronder gelegen segment is een berm:

$$\tan \alpha_{mz} = \frac{z - Z_{oi-3}}{L_i \cos \alpha_i + L_{i-1} \cos \alpha_{i-1} + L_{i-2} \cos \alpha_{i-2} + L_{i-3} \cos \alpha_{i-3}} \quad (7.66)$$

– 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 ($^\circ$)

7.5.2.3 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 $H_s/(\Delta D + b_1 + b_2 + b_{klei} + (\Delta D)_{PBA}) < 3\cos\alpha_m$ (7.67)
 - anders: score = “geavanceerd”.
$$b_{kleio} = b_{klei} - (H_s/(3\cos\alpha_m) - \Delta D - b_1 - b_2 - (\Delta D)_{PBA}) \quad (7.68)$$
- 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 $\Delta D + b_1 + b_2 + (\Delta D)_{PBA} > H_s \cdot \min(1,5; 0,112 \cdot (1,56T_p^2 \cdot \tan\alpha_m/H_s)^{0,8}) - 1334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan\alpha_m) \cdot D_{b15} \sqrt{T_p}$ (7.69)
 - anders: score = “geavanceerd”
$$b_{kleio} = \Delta D + b_1 + b_2 + (\Delta D)_{PBA} - (H_s \cdot \min(1,5; 0,112 \cdot (1,56T_p^2 \cdot \tan\alpha_m/H_s)^{0,8}) - 1334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan\alpha_m) \cdot D_{b15} \sqrt{T_p}) \quad (7.70)$$
- 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. Als $b_{kleio} > b_1 + b_2 + b_{klei}$, dan wordt de waarde van $b_1 + b_2 + b_{klei}$ vermeld. Bij ontwerp wordt een minimaal benodigde filterdikte van 5 cm en minimaal benodigde kleilaagdikte van 30 cm aangehouden.

7.6 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 , ten minste hoger is dan een halve golfhoogte boven de maatgevende waterstand ($h_c > H_s/2$). Dit is uiteraard bij dijken altijd het geval. Als bij een havendam het binnentalud ontbreekt, wordt het hoogste punt van het dwarsprofiel aangehouden als kruinhoogte.

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:

7.6.1 Reststerkte van de filterlagen

De reststerkte van de filterlagen (uitgedrukt in uren) bestaat uit de reststerkte van het filter, de toplaag en het geotextiel. De reststerkte van de filterlagen wordt als volgt bepaald (wordt wellicht aangepast met de nieuwe formules van Klein Breteler, 2005b):

- $$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56T_p^2}}} \quad (7.71)$$
- Als toplaagtype = 11 (PBA toplaag) dan: $t_{rf} = 0$
- Als $C_{berm}H_s/(\Delta DC_{bovenbeloop}) > 10\xi_{op}^{-2/3}$ dan: $t_{rf} = 0$. (7.72)
- Als $\{ \beta \leq 20^\circ \}$ EN $\{ b_1 + b_2 < 0,1 + 0,023 \cdot \sqrt{(1,56T_p^2 \cdot H_s)} \}$ EN geen 'ge' dan: $t_{rf} = 0$. (7.73)
- Als $\{ \beta > 20^\circ \}$ EN $\{ b_1 + b_2 < 0,1 + 0,038 \cdot \sqrt{(1,56T_p^2 \cdot H_s)} \}$ EN geen 'ge' dan: $t_{rf} = 0$. (7.74)
- Anders: $t_{rf} = 15,8 \cdot T_p \cdot \exp[-0,51 \cdot \sqrt{(1,56T_p^2 \cdot H_s)}]$. (7.75)

7.6.2 Reststerkte van de kleilaag

De reststerkte van de kleilaag wordt alleen berekend voor het buitentalud.

Verder geldt:

- Als $h_{kr} < h_{MWS} + H_s/2$, dan: $t_{rk} = 0$

Als er met de nieuwe reststerkte formule (Klein Breteler, 2015c) zal worden gerekend (globale variabele ReststKleiMethode2015 = True, zie paragraaf 4.1), dan:

- Als dijkopbouw GEEN {"kk" of "kl"}, dan $t_{rk} = 0$.
- Anders:
 - Als kleikwaliteit = {"w" of "weinig" of "?" of "" of "s" of "c3"}, dan $t_{rk} = 0$
 - Als $H_s \leq 0,4$, dan: $t_{rk} = 1000$
 - Anders:
 - Als dijkopbouw = "kk" AND $b_{klei} = 0$, dan: $b_{klei} = 3$.

$$R_{rk} = \frac{(b_{klei} + 0,14)^2}{466 \cdot c_e \cdot H_s^2 \cdot (H_s - 0,4)^2 \cdot (\tan \alpha)^3 \cdot \min\left(3,6; \frac{0,0061}{S_{op}^{1,5}}\right)} \quad (7.76)$$

$$t_{rk} = 27 \cdot H_s^2 \cdot R_{rk}^{1,5} \quad (7.77)$$

- Voor een kleikern wordt altijd minimaal 24 uur aangehouden om aan te sluiten aan de oude methode:

Als dijkopbouw = kleikern, dan: $t_{rk} = \max(t_{rk}; 24)$

Anders:

Allereerst wordt er gecontroleerd of de maatgevende golfhoogte niet te hoog is en of er een kleikern is:

- Als $H_s > 2$ m, dan $t_{rk} = 0$.
- Als $H_s \leq 2$ m EN er is een kleikern, dan $t_{rk} = 24$ 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 $\min(Z_b; h_{MWS} - 0,2H_s \cdot \min(\xi_{op}; 4)) > h_{GHW} + 1$, 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 Tabel 7.1 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.

7.6.3 Duur totdat de steenzetting bezwijkt

Met behulp van de overdikte van de steenzetting kan de tijd berekend worden totdat de steenzetting bezwijkt ($t_{bezwijk}$). Dat geeft aan na hoeveel uur met de huidige belasting de steenzetting bezwijkt volgens Steentoets.

Voor de berekening van $t_{bezwijk}$ worden de coëfficiënten $f_{S,front}$ en f_B gebruikt, die in de stabiliteitsberekeningen toegepast worden voor het verdisconteren van de belastingduur. Met behulp van een iteratie wordt het aantal golven bepaald, waarbij de toplaagdikte net voldoet.

In de stabiliteitsberekeningen wordt de invloed van de belastingduur verwerkt door de coëfficiënten $f_{S,front} \cdot f_B$ te vermenigvuldigen met de toplaagdikte. De minimaal benodigde toplaagdikte bij de huidige belastinggrootte en belastingduur is reeds berekend (zie berekening van $D_{over,golven}$ in paragraaf 5.1.4, resp. voor de black box types paragraaf 5.15). Om $t_{bezwijk}$ te berekenen wordt alleen gekeken naar de minimaal benodigde toplaagdikte m.b.t. de belasting door de golven (zonder de langsstroming). Om praktische redenen wordt de benodigde toplaagdikte $D_{min,golven}$ hier opnieuw berekend aan de hand van $D_{over,golven}$:

$$D_{min,golven} = D - D_{over,golven} \quad (7.78)$$

Er wordt nu gezocht naar de belastingduur waarvoor de huidige toplaagdikte net precies leidt tot schade. Daartoe wordt gezocht naar de waarden van de coëfficiënten $f_{S,front}$ en f_B die in combinatie met de huidige toplaagdikte D net precies tot schade leidt: $[f_{S,front} \cdot f_B]_{bezwijk}$. Dit is hetzelfde als het oplossen van de volgende vergelijking:

$$D \cdot [f_{S,front} \cdot f_B]_{bezwijk} = D_{min,golven} \cdot f_{S,front} \cdot f_B \quad (7.79)$$

Voor de iteratie naar het juiste aantal golven wordt ten eerste bovenstaande formule omgevormd naar:

$$[f_{S,front} \cdot f_B]_{bezwijk} = \frac{D_{min,golven}}{D} f_{S,front} \cdot f_B \quad (7.80)$$

Verder worden de termen opgedeeld naar:

$$A = \frac{D_{\min, \text{golven}}}{D} f_{S, \text{front}} \cdot f_B = \left(1 - \frac{D_{\text{over, golven}}}{D}\right) \cdot f_{S, \text{front}} \cdot f_B \quad (7.81)$$

$$B = \left[f_{S, \text{front}} \cdot f_B \right]_{\text{bezwijk}} \quad (7.82)$$

De coëfficiënten $f_{S, \text{front}}$ en f_B in term B bevatten het aantal golven N_{bezwijk} , waarbij D net voldoet, resp. waarna D net bezwijkt. Nu wordt in een iteratie het juiste aantal golven N_{bezwijk} gezocht, zodat geldt term B = term A, met een nauwkeurigheid van 0,1%.

De iteratie wordt afgebroken, als:

- het aantal golven kleiner wordt dan 10, waarbij $N_{\text{bezwijk}} = 10$ gezet wordt (er wordt de melding voor het rekenproces toegevoegd: "Minimum aantal golven voor t_bezwijk gehanteerd.")
- het aantal golven groter wordt dan 1.000.000, waarbij $N_{\text{bezwijk}} = 1.000.000$ gezet wordt (er wordt de melding voor het rekenproces toegevoegd: "Maximum aantal golven voor t_bezwijk gehanteerd.")
- de iteratie blijkt eindeloos te zijn met meer dan 1000 stappen, waarbij N_{bezwijk} de laatst berekende waarde behoudt (er wordt de melding voor het rekenproces toegevoegd: "Iteratie voor t_bezwijk afgebroken (n > 1000).")
- de waarde van term B nauwelijks verandert met $B_{\text{vorig}} = B$ met een nauwkeurigheid van 0,1%, waarbij N_{bezwijk} de laatst berekende waarde behoudt (er wordt de melding voor het rekenproces toegevoegd: "Iteratie voor t_bezwijk afgebroken (term B niet veranderd).")

De t_{bezwijk} wordt met de volgende formule berekend:

$$t_{\text{bezwijk}} = \frac{N_{\text{bezwijk}} \cdot T_p}{1,1 \cdot 3600} \quad (7.83)$$

De t_{bezwijk} kan niet worden berekend voor het steenzetting type 8 (toplaagtype 17) en wordt dan op $t_{\text{bezwijk}} = 0$ gezet.

7.6.4 Score met betrekking tot reststerkte

De score is afhankelijk van de belastingduur. Als de waarde van t_{belast} nog niet bepaald is (steenzettingen 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 de score als "met reststerkte toetsen" = nee; OF als {de score van materiaaltransport uit de ondergrond = "goed" of "nvt"} EN {materiaaltransport vanuit de granulaire laag = "goed" of "nvt"} EN {de score van de toplaag = "goed"} EN {score stroming = "goed" of "nvt"} EN {score overgangsconstructie = "goed"}, dan is de score: "nvt"
- Als $t_{\text{belast}} \leq t_{\text{rf}} + t_{\text{rk}}$, dan is de score: "voldoende".
- Als $h_c < h + H_s/2$, dan is de score van de reststerkte "onvoldoende".
- Anders: "geavanceerd".

Voor Toetsing wordt de score aangepast aan de naamgeving van WTI2017, zie paragraaf 8.1.1.

7.7 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_o) is nooit een probleem.

De score van de overgangsconstructie is “goed” als de ervaring goed is, of als $Z_b \geq h_{\text{toets}}$.
Als de ervaring t, ? of blanco is, dan is de score van de overgangsconstructie: “geavanceerd”.
Als de ervaring “onvoldoende” is, dan is de score “onvoldoende”.

Voor Toetsing wordt de score aangepast aan de naamgeving van WTI2017, zie paragraaf 8.1.1.

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 eindscore 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.

8.1 Toetsing

- Als de score van de toplaagstabiliteit "n.v.t." is, dan is de eindscore ook "N.V.T."
- Als score afschuiving = "onvoldoende" OF overgangsconstructie = "onvoldoende", dan eindscore = "ONVOLDOENDE".
- Als score afschuiving = "?" OF score afschuiving = "?", dan eindscore = "?".
- Als score reststerkte is "geavanceerd" OF "onvoldoende" OF "met reststerkte toetsen = nee" OF ToplaagVeiligheidsfactorWTI2017 = true:
 - 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 stroming = "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 OF nvt} EN "met reststerkte toetsen = ja":
 - Als overgangsconstructie = "geavanceerd" OF 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 stroming = "onvoldoende", dan eindscore = "VOLDOENDE".
 - Als score toplaag = "geavanceerd", dan eindscore = "VOLDOENDE".
 - Als score toplaag = "Grastoets nodig", dan eindscore = "VOLDOENDE".

- Als materiaaltransport uit de ondergrond = "geavanceerd" OF score materiaaltransport vanuit de granulaire laag = "geavanceerd" OF score stroming = "geavanceerd", dan eindscore = "VOLDOENDE".
- Als score toplaag = "?" OF materiaaltransport uit de ondergrond = "?" OF materiaaltransport vanuit de granulaire laag = "?" OF score stroming = "?" , dan eindscore = "VOLDOENDE".
- Als score toplaag = "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.

8.1.1 Aanpassen van de score aan WTI2017

In WTI2017 zijn er minder scores mogelijk dan in de VTV2006, namelijk "Voldoet" en "Toets op maat". Als resultaat van de toetsing van steenzettingen kan echter ook het volgende eindresultaat optreden:

- "Check $z_{2\%}/2$ ": als de onderste overgang in de buurt ligt van de halve golfoploop. Als dit boven $z_{2\%}/2$ ligt, is de steenzetting goed, daaronder niet. Steentoets kan in dit geval de $z_{2\%}$ niet nauwkeurig genoeg bepalen om hier uitsluitel over te geven.
- "Grastoets nodig": doorgroeienden moeten boven het toetspeil getoetst worden alsof het gras is.

Alle scores in Steentoets die zichtbaar zijn in de output kolommen worden aangepast. Zie onderstaande tabel voor de toewijzing van de nieuwe scores op basis van de oude. De aanpassingen worden alleen doorgevoerd voor Toetsing en als de globale variabele $ScoreWTI2017 = true$ is (zie paragraaf 4.1).

Score volgens oude methode	Score volgens WTI2017
Goed	Voldoet
Voldoende	Voldoet
N.V.T.	Voldoet
Geavanceerd	Toets op maat
Onvoldoende / Niet goed	Toets op maat
Check $z_{2\%}/2$	Check $z_{2\%}/2$
Grastoets nodig	Grastoets nodig
?	Toets op maat

Tabel 8.1 Vertaling van de scores voor WTI2017

8.2 Ontwerp

In het werkblad "ONTWERP" is "geavanceerd" of "onvoldoende" voor geen enkel mechanisme een mogelijke uitkomst. Bij elk mechanisme wordt "geavanceerd" en "onvoldoende" vertaald naar "niet goed". Op basis van de beoordelingsresultaten wordt als volgt een eindscore bepaald:

- Als de score van de toplaagstabiliteit "n.v.t." is, dan is de eindscore ook "N.V.T."
- Als score afschuiving "niet goed" is, dan eindscore = "NIET GOED".
- Als score afschuiving = "?", dan eindscore = "?".
- Als materiaaltransport uit de ondergrond "niet goed" is, dan eindscore = "NIET GOED".
- Als materiaaltransport vanuit de granulaire laag "niet goed" is, dan eindscore = "NIET GOED".
- Als score toplaag "niet goed" is, dan eindscore = "NIET GOED".
- Als score stroming "niet goed" is, dan eindscore = "NIET GOED".
- Als score toplaag = "Grastoets nodig", dan eindscore = "GRASTOETS NODIG".
- Als score toplaag = "check $z_{2\%}/2$ ", dan eindscore = "CHECK $z_{2\%}/2$ ".
- Als score toplaag = "goed", dan eindscore = "GOED".
- Anders: eindscore = "?".

9 Overige functies

In het menu “Toetsing” zijn drie speciale opties opgenomen voor gevorderde gebruikers. Deze worden alleen zichtbaar als in het werkblad ‘Algemeen’ ervoor gekozen wordt om de bijzondere menu-opties te activeren.

- Itereer Hs
- 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 Hs

De optie “Itereer Hs” maakt gebruik van de verborgen kolommen IB en IC van het tabblad TOETSING, 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

Eerst wordt er een schatting gemaakt van de golfhoogte bij bezwijken:

$$H_s = 5 \left(\frac{\rho_s - 1000}{1000} \right) D \quad (9.1)$$

Afhankelijk of het toetsresultaat bij deze golfhoogte goed is of niet, wordt de golfhoogte stap voor stap vergroot of verkleind. Deze stapgrootte is 10%. Als het toetsresultaat verandert, worden vervolgens kleine stapjes de andere kant op gedaan van 1% totdat het toetsresultaat weer verandert.

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 “TOplaagOpDijk_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:

$$D = \max((D_{\text{onder}} + D_{\text{boven}})/2 ; 0,04) \quad (9.2)$$

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:

$$\rho_s = \max \left((\rho_s - \rho) \cdot \frac{D - D_{\text{over}}}{D} + \rho ; \rho \right) \quad (9.3)$$

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.

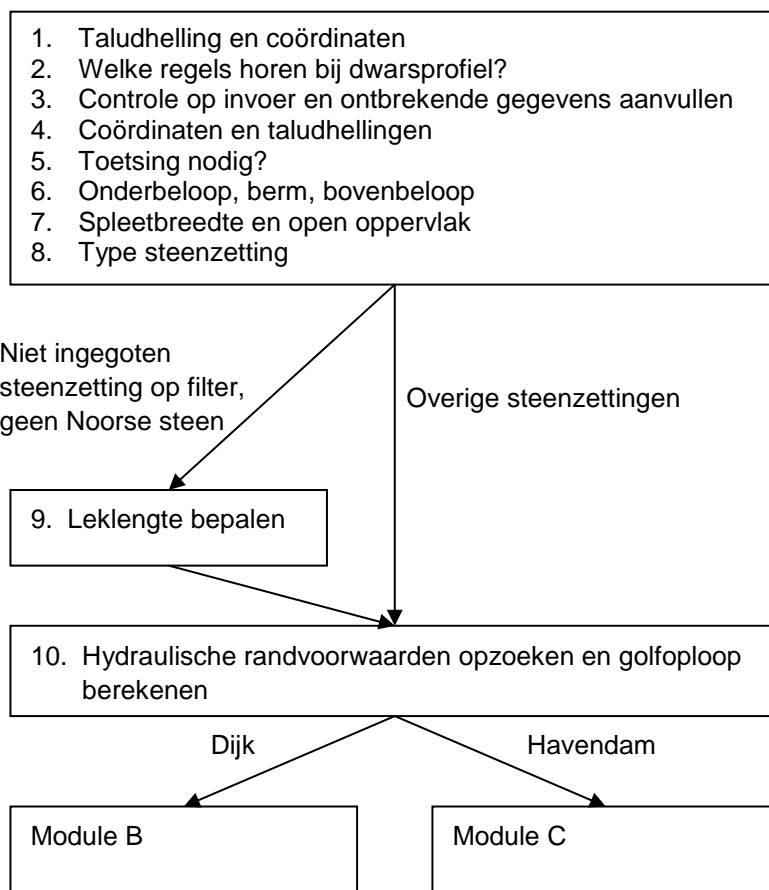
10 Literatuur

- Arcadis (2014), Toetsing van polyurethaan gebonden breuksteen bekledingen.
Arcadis, rapport 077963042:E, oktober 2015.
- Bosters, R. (2008), Aanpassing toetsmethodiek Afschuiving bij steenzettingen
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, RWS Zeeland, PZDT-R-08300, 1 september 2008
- 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. en I van der Werf (2006b), Onderzoeksprogramma Kennisleemtes
Steenbekledingen, Kennisontwikkeling ten behoeve van Steentoets2006,
WL | Delft Hydraulics, verslag H4421, november 2006
- Klein Breteler, M. en I. van de Werf (2007), Onderzoeksprogramma Kennisleemtes
Steenbekledingen, Toetscriterium voor ingegoten steenzettingen,
WL | Delft Hydraulics, verslag H4635, oktober 2007

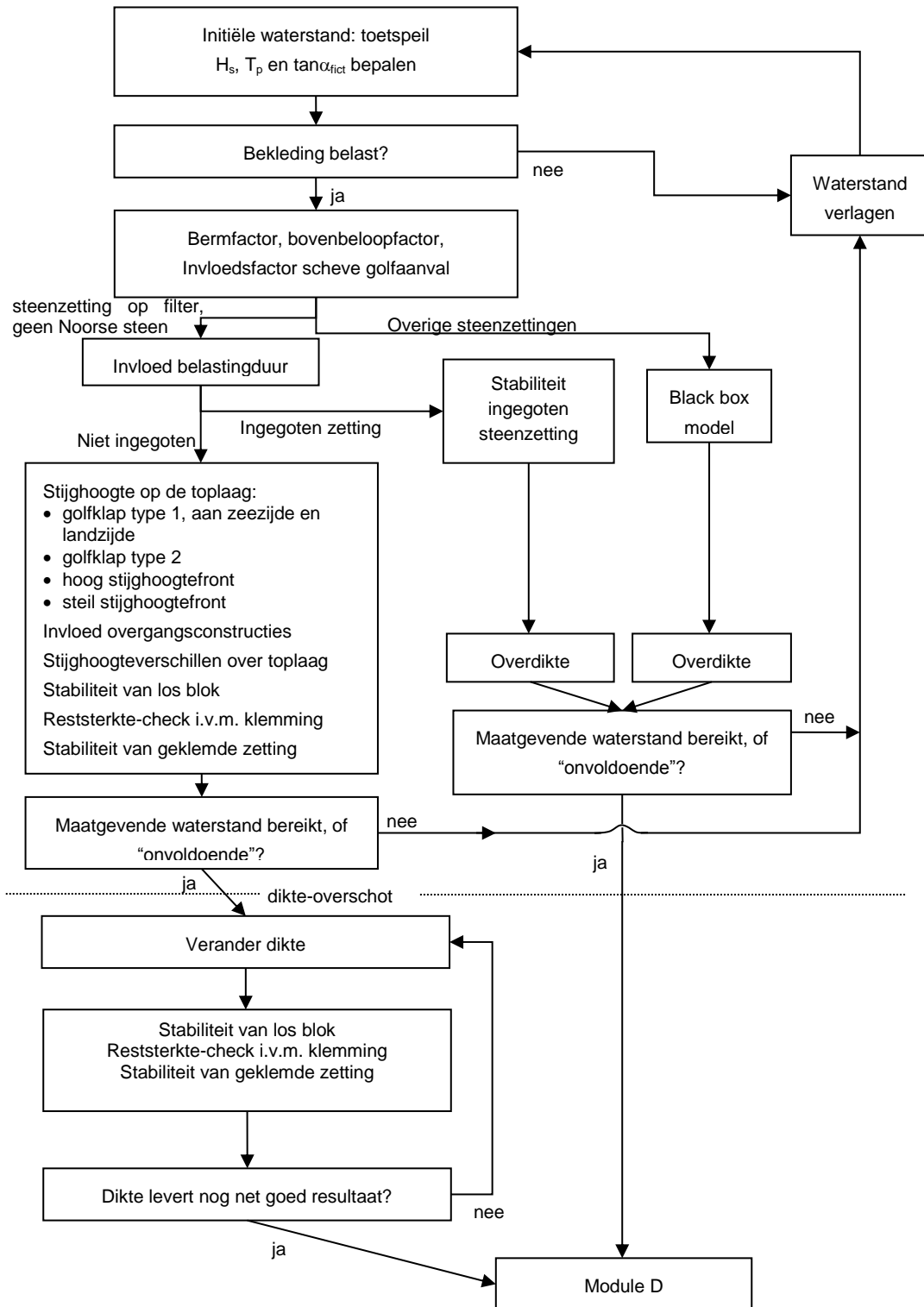
- Klein Breteler, M. (2009), Validatie STEENTOETS2008 – Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen.
Deltares, rapport H4846, februari 2009.
- Klein Breteler, M., I. van de Werf en I. Wenneker (2012), Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen; Kwantificering golfbelasting en invloed lange golven,
Deltares, verslag H4421, 1204727, maart 2012
- Klein Breteler, M. (2014), Validatie van Steentoets2014,
Deltares, verslag 1208045-009, concept, februari 2014
- Klein Breteler, M. (2015a), Handleiding Steentoets2015
Deltares, verslag 1209832-006, november 2015
- Klein Breteler, M. (2015b), Vergelijkend onderzoek zetstenen voor dijken – Samenvattend rapport,
Deltares, verslag 1208618-006, concept versie, november 2015.
- Klein Breteler, M. (2015c), Benodigde veranderingen in Steentoets/Ringtoets in verband met reststerkte.
Deltares, memo 1220086-014, 24 juni 2015.
- 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
- Mourik, G.C. (2015a), Stabiliteitsformules voor ingegoten steenzettingen.
Deltares, verslag 1208045-021, november 2015.
- Mourik, G.C. (2015b), Analyse van discontinuïteiten in stabiliteitsformules voor kruinen van havendammen en buitenbermen in Steentoets.
Deltares, verslag 1209832-011, mei 2015.
- 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
- TAW (2003), Technisch Rapport Steenzettingen,
TAW, 2003

Wouters e.a. (2006), Toetsmethodiek Noorse steen,
Infram rapport 04i034, november 2006

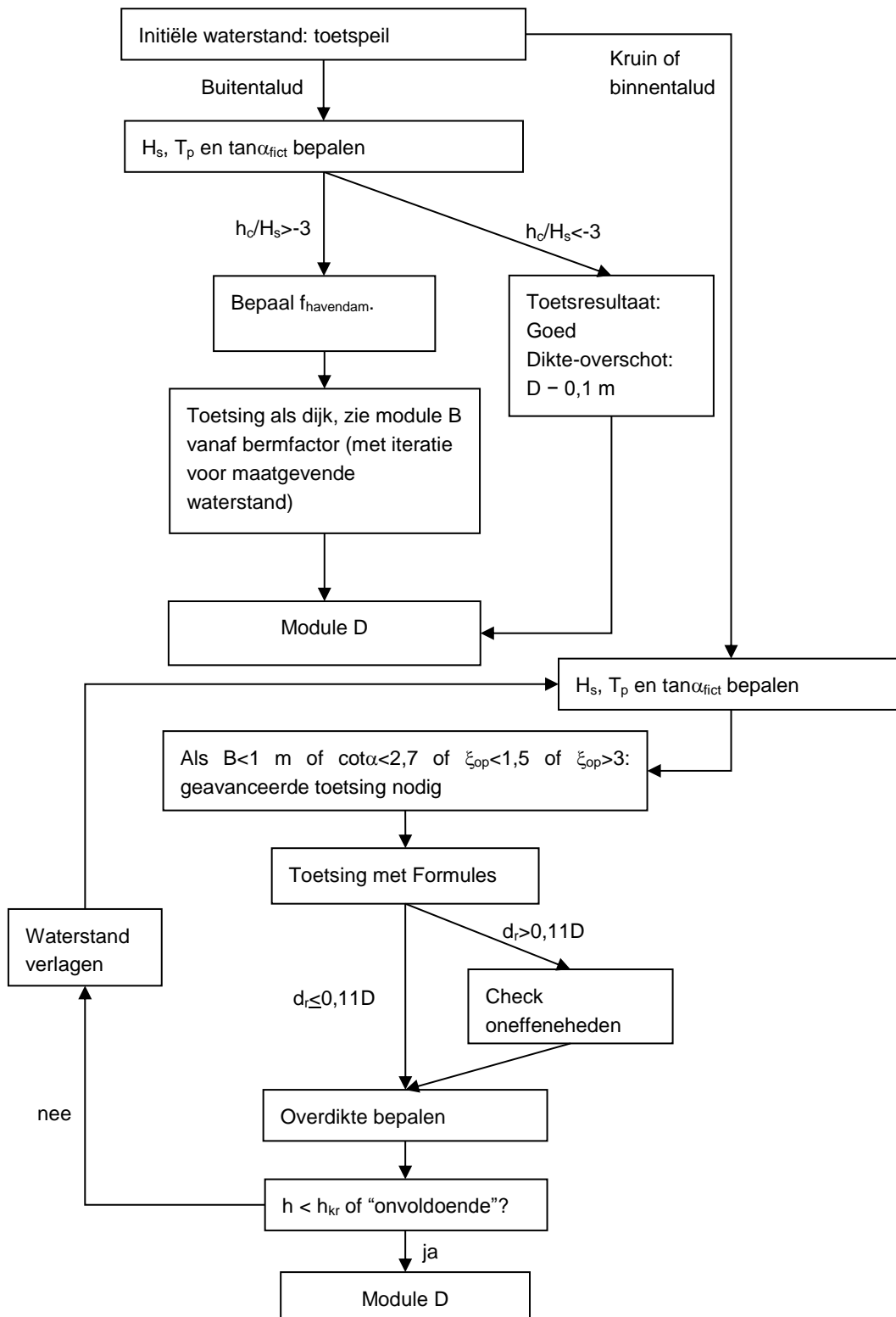
A Globaal stroomschema module A: algemeen



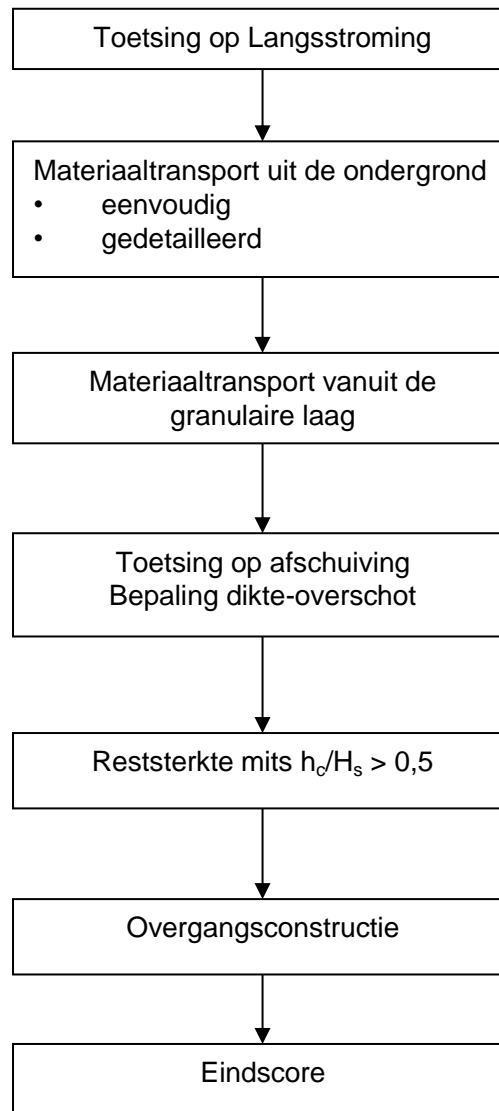
B Globaal stroomscheme module B: dijken



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_YI
AlgKenm_Yr
Etc

VerwisselZ1
AlgKenm_Zb
AlgKenm_Zo
AlgKenm_ZI
AlgKenm_Zr

AlgKenm_tana
    AlgKenm_Bereken_tana
AlgKenm_BSegment

AlgKenm_Segmenttype
    Local_SegmentType

AlgKenm_typesteen-zetting
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_BeoordelingSteenZettingBelast
 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. 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 F9 aan om het rekenen te starten. 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.

Voor het bekijken van een structure (speciale variabele, te herkennen aan een punt in de naam) gaat men als volgt te werk: view - 'watch window', op variabele gaan staan, debug - 'add watch'.

Met F5 gaat het automatische rekenproces weer verder.

Als het rekenproces in een specifieke regel bekeken moet worden, ga dan naar de module 'toetsing' en zoek de volgende functions:

- RecalculatePass0
- RecalculatePass1
- RecalculatePass2
- RecalculatePass3
- RecalculatePass4
- RecalculatePass5
- RecalculatePass6

In deze functies worden alle resultaten en tussenresultaten één voor één berekend. Zet op een geschikte locatie de volgende code (in dit voorbeeld is gekozen voor regel 11):

```
If iRow = 11 Then
    iRow = iRow
End If
```

Er kan dan een 'stop' geplaatst worden op de regel met 'iRow = iRow'.

Het berekenen van de stabiliteit, nadat de leklengte en de geometrie en dergelijke zijn bepaald, vindt plaats in de module 'MaatgevendeWaterstand'. Het rekenhart staat in de functie 'ToplaagOpDijk_Iteratie_MaatgevendeWaterstand', waar stap voor stap de waterstand wordt veranderd en bij elke waterstand de stabiliteit wordt berekend. Het berekenen van de stabiliteit gebeurt in de statement "MWS_Type = Bepaal_MaatgevendeWaterStand(...)".

Voor testdoeleinden kan hier een tijdelijke loop omheen gezet worden met een 'stop':

```
Dim i As Double
Hs(2) = 2.1           'startwaarde voor de golfhoogte
h_MWS(2) = 4.8       'waarde voor de waterstand
For i = 1 To 10
    Hs(2) = Hs(2) + 0.2
    Tp(2) = Sqrt(Hs(2) / 1.56 / Sop_iterate_i)
    MWS_Type = Bepaal_MaatgevendeWaterStand(...)
next
```

Start de berekening in dit geval in het werkblad 'TOETSING' door in het menu 'Itereer Hs' te kiezen.

F Testprocedure

De testprocedure bij de ontwikkeling van STEENTOETS omvatte de volgende fases:

- 1 bij het programmeren van een subroutine is direct gecontroleerd of er foutmeldingen ontstaan door programmeerfouten
- 2 voor drie profielen (aanwezig in opgeleverde versie), 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.

Na deze testprocedure zijn de resultaten van het programma vergeleken met de resultaten van Deltagootproeven (Klein Breteler, 2014).

Tenslotte is het programma beschikbaar gesteld aan het Projectbureau Zeeweringen in Zeeland. Daar is er proefgedraaid op een groot aantal dijken. Die ervaringen zijn vervolgens weer gebruikt om het programma te verbeteren.

G Waterstandsverloop en belastingduur op Oosterschelde

Het waterstandsverloop en de daarmee samenhangende belastingduur op de steenzettingen wordt in de Oosterschelde sterk bepaald door het sluitingsregiem 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 mondig 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.

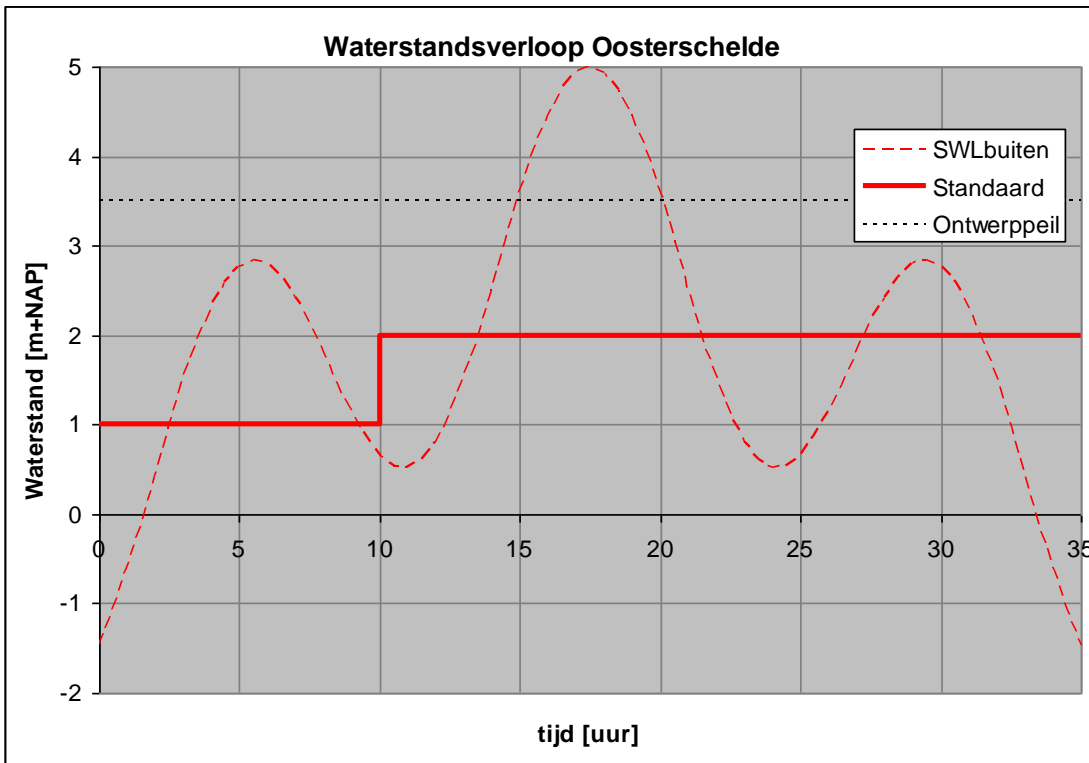
Deze scenario's betreffen de Standaard sluiting en de Noodsluiting. Die scenario's betreffen situaties waarbij de waterstand op de Noordzee dusdanig is dat de kering dicht moet. Vooral voor de bekledingen lager op het talud zouden echter ook situaties maatgevend kunnen zijn waarbij de wind wel extreem 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.

G.1 Standaard sluiting (HR2006)

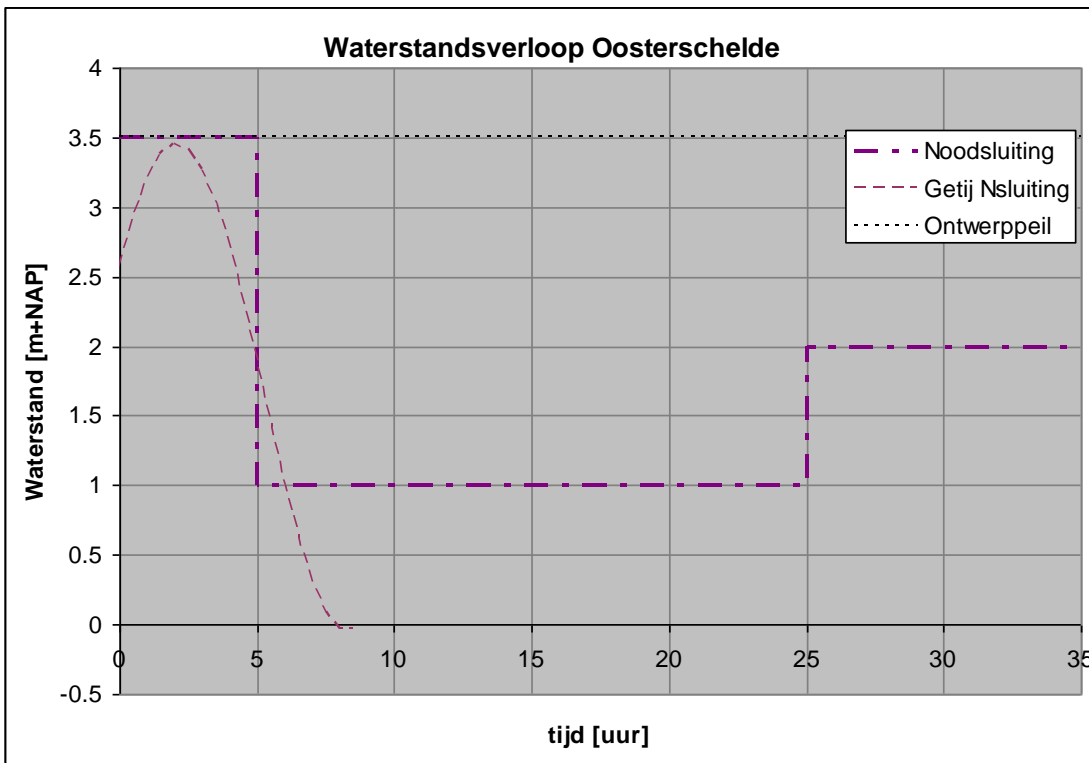
De Standaardsluiting (volgens HR2006) vindt plaats als er vroegtijdig een waterstand buiten de kering wordt voorzien van ruim NAP+5 m. De kering wordt dan gesloten zodanig dat het eerstvolgende hoogwater wordt afgesloten waardoor op de Oosterschelde een gemiddelde waterstand van NAP+1 m resulteert. Rond 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 waterstandsverlooplijn 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 G.1 Verloop waterstand op de Oosterschelde bij Standaard sluiting.



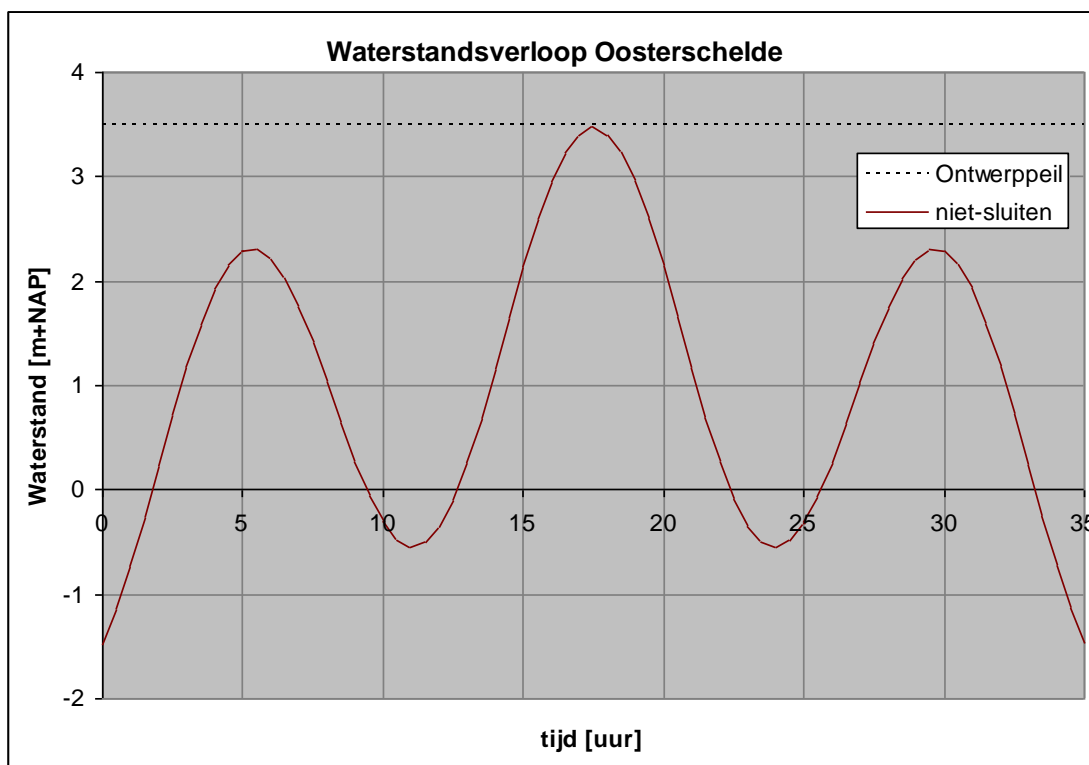
Figuur G.2 Verloop waterstand op de Oosterschelde bij Noodsluiting (levert ook het ontwerppeil voor de Oosterschelde).

G.2 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 10 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 G.3 Verloop waterstand op de Oosterschelde bij Niet-sluiten.

G.3 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.

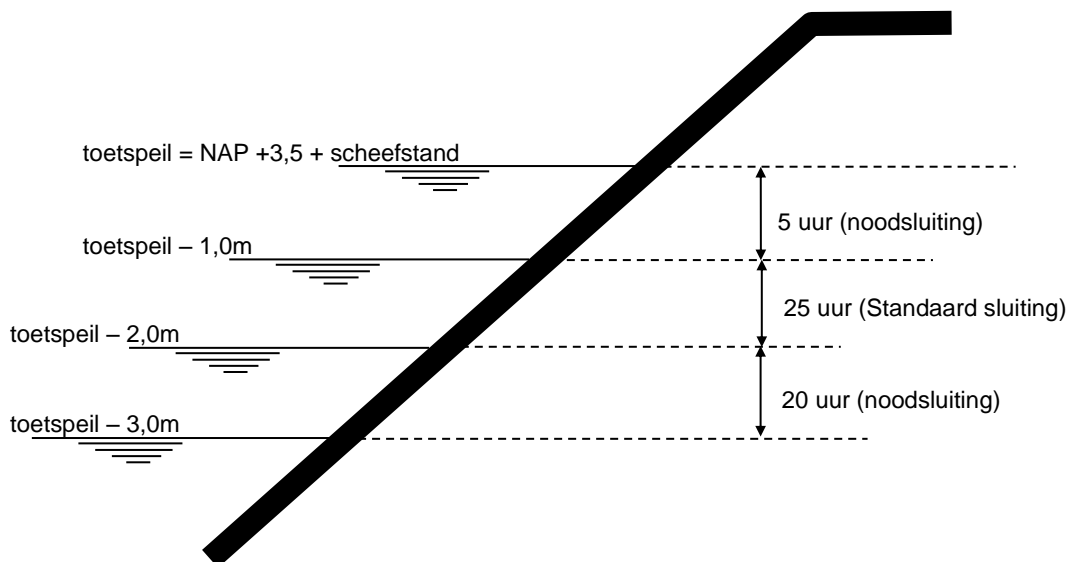
G.4 Waterstanden en belaste zone

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 G.4 zonering belastingsduren Oosterschelde

G.5 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.