

Concept

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde



Documentatie ANAMOS+

Onderzoeksprogramma
Kennisleemtes Steenbekledingen

september 2006

H4846

Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Rijkswaterstaat



WL | delft hydraulics

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, DWW

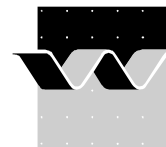
Documentatie ANAMOS+

Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen

ir M. Klein Breteler

Rapport

oktober 2006



OPDRACHTGEVER:	Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde						
TITEL:	Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen Documentatie ANAMOS +						
SAMENVATTING:	<p>Ingevolge de Wet op de Waterkering dienen steenzettingen op waterkeringen vijfjaarlijks getoetst te worden. In de praktijk kan aan veel steenzettingen geen definitief toetsoordeel toegekend worden wegens een gebrek aan wetenschappelijke kennis.</p> <p>In 2003 is daarom door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen opgestart. Doel van dit programma is het reduceren van deze kennisleemtes teneinde te komen tot scherpere toetsregels en daarmee sneller en vaker tot definitieve toetsresultaten. In het kader van dit onderzoeksprogramma heeft het voorliggende verslag betrekking op het deelonderzoek A1.1 “Ontwikkeling van nieuwe rekenmethodiek”.</p> <p>Het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen heeft tot nu toe veel nieuwe kennis opgeleverd. Een van de manieren om deze kennis beschikbaar te stellen aan gebruikers is door middel van een gebruiksvriendelijk computerprogramma waarmee steenzettingen getoetst en ontworpen kunnen worden.</p> <p>In het onderhavige verslag is gedetailleerd uitgewerkt welke formules in het programma zijn opgenomen en is een korte uitleg gegeven over de structuur van het programma.</p>						
REFERENTIES:	Contract DWW- 2913, SAP 4500051874 Projectleider DWW: B.G.H.M. Wichman						
VER	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING		
0	M. Klein Breteler	29-9-'06		J. Kramer	W.M.K. Tilmans		
PROJECTNUMMER:	H4846						
TREFWOORDEN:	steenzettingen, toetsing						
AANTAL BLADZIJDEN:	67						
VERTROUWELIJK:	<input type="checkbox"/> JA			<input checked="" type="checkbox"/> NEE			
STATUS:	<input checked="" type="checkbox"/> VOORLOPIG		<input type="checkbox"/> CONCEPT		<input type="checkbox"/> DEFINITIEF		

Dit document is een voorlopig rapport, niet een definitief rapport, en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden.
Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Werkbladen en menu	3
3	Structuur van rekenhart	5
4	A: Bepaling algemene kenmerken van constructie en belasting	7
4.1	Vaststellen welke regels bij elkaar horen in één dwarsprofiel	7
4.2	Enkele controles uitvoeren op de invoer en ontbrekende gegevens aanvullen uit de lijst default waarden	8
4.3	Uit de coördinaten van het dwarsprofiel de taludhellingen per segment bepalen.....	9
4.4	Per regel vaststellen of er een toetsing moet worden uitgevoerd.....	11
4.5	Vaststellen of het een onderbeloop, berm, bovenbeloop, kruin of binnentalud is.....	11
4.6	Spleetbreedte berekenen en open oppervlak.....	12
4.7	Bepaling type steenzetting en ingieting	12
4.8	Leklengte	13
4.8.1	Granulair materiaal	13
4.8.2	Geotextiel onder de zetting en onder het filter.....	15
4.8.3	Doorlatendheid toplaag.....	15
4.8.4	Leklengte	18
4.9	Hydraulische randvoorwaarden	18
4.10	Golfploophoogte bij toetspeil	19
4.11	Dijk of havendam	21
5	B: Toetsing van de stabiliteit van de toplaag op een dijk	23
5.1	Algemene rekenmodule voor de toplaagstabiliteit op een dijk.....	23

5.2	Berekeningen golfcondities bij de betreffende waterstand.....	25
5.3	Fictieve taludhelling.....	26
5.4	Beoordeling of de steenzetting wel belast wordt.....	26
5.5	Bepaling bermfactor, bovenbeloopfactor en of de toplaag onvoldoende mag worden.....	27
5.6	Invloed van scheve golfaanval	29
5.7	Belastingduur als functie van de locatie op de te toetsen steenzetting.....	29
5.8	Invloedsfactoren voor de belastingduur	32
5.9	Maatgevend stijghoogteverloop op de toplaag.....	32
5.10	Stijghoogteverschil over de toplaag	33
5.11	Reststerkte van de toplaag en de kleilaag t.b.v. het beoordelen of klemming meegeteld mag worden	33
5.12	Klemming.....	33
5.13	Stabiliteit van ingegoten steenzettingen	33
5.14	Black box voor overige type steenzettingen.....	35
5.14.1	Type 1: Toetsing van steenzetting op geotextiel op zand of klei.....	35
5.14.2	Type 2: Toetsing van steenzetting op goede klei.....	35
5.14.3	Type 4: Toetsing van geschakelde blokken op geotextiel op zand of klei.....	36
5.14.4	Type 5: Toetsing van geschakelde blokken op goede klei.....	37
5.14.5	Type 7: Noorse steen.....	37
5.14.6	Type 8: Doorgroeistenen	38
5.15	Bepaling van het toetsresultaat.....	38
6	C: Toetsing van stabiliteit van de toplaag op een havendam.....	39
6.1	Buitentalud van een havendam.....	39
6.2	Kruin en binnentalud van een havendam	40
6.2.1	Niet-ingegoten steenzettingen van het type 3 of 6	40
6.2.2	Ingegoten steenzettingen	44

6.2.3	Niet-ingesloten steenzettingen zonder filter.....	44
6.2.4	Overige type steenzettingen.....	44
7	D: Toetsing van de overige bezwijk-mechanismen.....	45
7.1	Toetsing op langsstroming	45
7.2	Materiaaltransport vanuit de ondergrond.....	45
7.2.1	Eenvoudige toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond.....	45
7.2.2	Gedetailleerde toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond.....	46
7.3	Materiaaltransport vanuit de granulaire laag	47
7.4	Toetsing op afschuiving	47
7.5	Reststerkte.....	48
8	Referenties	51
A	Globaal stroomschema module A: algemeen	
B	Globaal stroomschema module B: dijken	
C	Globaal stroomschema module C: havendammen	
D	Globaal stroomschema module D: overige bezwijkmechanismen	
E	Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen	

Symbolenlijst

verslag	in code	omschrijving
A_g	gatgrootte1_ti of 2 of 3	gatoppervlak (m^2)
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)
b_f	bf1_t of 2	Kwadratische weerstandsterm van filter (s^2/m^2)
b_{ftop}	bftop1_t of 2	Kwadratische weerstandsterm van filter bij de openingen in de toplaag (s^2/m^2)
b_i	bi1_t of 2	Kwadratische weerstandsterm van inwasmateriaal (s^2/m^2)
b'	btop_t	Kwadratische weerstandsterm van toplaag (s^2/m^2)
b'_{gat}	btop_gat_t	Kwadratische weerstandsterm van gat in toplaag (s^2/m^2)
b_1	b1_ti	dikte bovenste filterlaag (m)
b_2	b2_ti	dikte tweede filterlaag (m)
b_{klei}	bklei_ti	dikte van kleilaag (m)
b_{kleio}	bklei_o_ti	overdikte van kleilaag (m)
b_s		verhouding belasting/sterkte volgens ANAMOS
B	Bblok_ti	breedte van blok (m)
B_{berm}	Bberm_t	breedte van de berm (m)
$B_{klap50\%2\%}$	B_klap_t	Breedte van de golfklap (m)
B_{kruin}	Bkruin_t	breedte van de kruin (m)
B_{segm}	Bsegment_ti	breedte van het dwarsprofielsegment (m)
$[b_g T_g]_1$	BgTg1_t	Weerstandsterm van geotextiel tussen toplaag en filter (s^2/m)

$[b_g T_g]_2$	BgTg2_t	Weerstandsterm van geotextiel tussen filter en ondergrond (s^2/m)
C_{berm}	Cberm_t	invloedsfactor voor toetsing zetting op de berm (-)
$C_{\text{bovenbeloop}}$	C_bovenbeloop_t	Parameter die normaal 1 is, maar 1,25 wordt als de bekleding boven de waterlijn ligt (-)
C_{slib}		invloedsfactor i.v.m. slib in de bekleding of gietasfalt (-)
C_{onv}	C_onv_t	parameter die bepaalt of er een onvoldoende als toetsresultaat van de toplaagstabiliteit mogelijk is (-)
C_{β}	C_beta_t	Invloedsfactor voor de taludhelling als gevolg van scheve golfaanval (-)
d_o		$h - h_{\text{berm}}$
d_B		$(h - h_{\text{berm}})/H_s$
d_r	d_oneffen_ti	Hoogte van oneffenheden in het zettingoppervlak van een havendam (m)
D	D_ti	dikte toplaag (m)
D	D_t	Dikte van de toplaag inclusief de veiligheidsfactoren (m)
D_{to}	D_to_t	Anderhalf maal dikkere toplaag ten behoeve van beoordeling ten opzichte van de grens tussen twijfelachtig en onvoldoende (m)
D_{reken}		rekenwaarde van de toplaagdikte (m)
D_{b15}	D15zand_ti	korrelgrootte van zand dat door 15% op basis van gewicht wordt overschreden (m)
D_{b50}	D50zand_ti	korrelgrootte van zand dat door 50% op basis van gewicht wordt overschreden (m)
D_{b90}	D90zand_ti	Korrelgrootte van zand dat door 90% op basis van gewicht wordt overschreden (m)
D_{cr}		benodigde toplaagdikte om stabiel te zijn voor statische overdruk (m)
D_{f15}		korrelgrootte van filter of inwasmateriaal dat door 15% op basis van gewicht wordt overschreden (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 overschreden (m)

D_{f90}		korrelgrootte van filter dat door 90% op basis van gewicht wordt onderschreden (m)
D_{gt}	D_{gt_t}	Benodigde toplaagdikte om nog net een goed toetsresultaat te krijgen (m)
D_{i15}	$D15inwas_ti$	D_{f15} inwasmateriaal (m)
D_{over}	D_{over_t}	Dikte-overschot van de toplaag ten opzichte van de dikte die nog net een goed toetsresultaat oplevert ($D_{gt} - D$) (m)
$f_{havendam}$	$f_{havendam_t}$	Factor waarmee de toplaagdikte wordt vermenigvuldigd tbv diepe buitentaluds op havendammen (-)
$f_{g/t}$	$f_{g_t_eenvoudig_t}$	waarde van $H_s/\Delta D$ op de ondergrens van twijfelachtige gebied, gedeeld door de actuele waarde van $H_s/\Delta D$ (-)
$f_{v/o}$	$f_{t_o_eenvoudig_t}$	waarde van $H_s/\Delta D$ op de bovengrens van twijfelachtige gebied, gedeeld door de actuele waarde van $H_s/\Delta D$ (-)
g	9,8	versnelling van de zwaartekracht (9,8 m/s ²)
g_o		golfrandvoorwaarde-ondergrens uit werkblad 'golven'
g_b		golfrandvoorwaarde-bovengrens uit werkblad 'golven'
G	$opening_ti$	karakteristieke diameter van gaten in de toplaag (tussen de stenen) (m)
h	h_MHW_t	maatgevende waterstand t.o.v. NAP (m)
h_c	hc_t	$h_{kr} - h$
h_{kr}	hkr_t	Kruinhoogte t.o.v. NAP (m)
h_{golven}	$h_golven1_tgi$ of 2 of 3 of 4	Waterstand waarbij golfcondities zijn gegeven in de golventabel (er zijn er 4)
h_{berm}		niveau voorrand van de berm t.o.v. NAP (m)
h_{bermb}		niveau binnenrand van de berm t.o.v. NAP (m)
h_L	h_L_t	Laagste waterstand die nog een belasting geeft (m)
h_H	h_H_t	Hoogste waterstand die nog een belasting geeft (m)
h_{toets}	h_toets_tgi	toetspeil t.o.v. NAP (m)
h_w	h_diepte_t	Waterdiepte bij de teen van de dijk (m)
H_s	Hs_t	significante golfhoogte bij de teen van de dijk op MHW (m)

H_{smin}	Hsmin_tgi	Minimale golfhoogte (m)
H_{s1}	Hs1_t of 2 of 3 of 4	significante golfhoogte bij de teen van de dijk op $h = h_{golven1_tgi}$ (m)
H_{stoets}	Hs_toets	significante golfhoogte bij de teen van de dijk op toetspeil (m)
$H_s/\Delta D$	Hs_over_DeltaD_t	$C_{berm} \cdot H_s / (\Delta DC_{bovenbeloop})$
$H_s/\Delta D$, onder	Hs_over_DeltaD_o_t	Ondergrens in het Black box model (-)
$H_s/\Delta D$, boven	Hs_over_DeltaD_b_t	Bovengrens in het Black box model (-)
$H_s/\Delta D; g/t; \Lambda=0,4$	Hs_over_DeltaD_gt_0,4_t	$H_s/\Delta D$ op de g/t grens bij $\Lambda = 0,4$ m
$H_s/\Delta D; g/t; \Lambda=1$	Hs_over_DeltaD_gt_1_t	$H_s/\Delta D$ op de g/t grens bij $\Lambda = 1$ m
$H_s/\Delta D; t/o; \Lambda=0,4$	Hs_over_DeltaD_to_0,4_t	$H_s/\Delta D$ op de t/o grens bij $\Lambda = 0,4$ m
$H_s/\Delta D; t/o; \Lambda=1$	Hs_over_DeltaD_to_1_t	$H_s/\Delta D$ op de t/o grens bij $\Lambda = 1$ m
$H_s/\Delta D; g/t$	Hs_over_DeltaD_gt_t	$H_s/\Delta D$ op de g/t grens bij havendam
$H_s/\Delta D; t/o$	Hs_over_DeltaD_to_t	$H_s/\Delta D$ op de t/o grens bij havendam
k	kf1_t of kf2_t	doorlatendheid van filter (m/s)
k'	ktop_t	gelineariseerde doorlatendheid van toplaag (m/s)
k' stootvoegen	ktop_stoot_t	gelineariseerde doorlatendheid van de stootvoegen van toplaag (m/s)
k' langsvoegen	ktop_langs_t	gelineariseerde doorlatendheid van de langsvoegen van toplaag (m/s)
k' gat	ktop_gat1_t of 2 of 3	gelineariseerde doorlatendheid van een gat in toplaag (m/s)
L	Lblok_ti	lengte van blok (m)
n		porositeit (-)
n_{f1}	nf1_ti	porositeit van filterlaag 1 (-)
n_{f2}	nf2_ti	porositeit van filterlaag 2 (-)
n_{fi}	n_inwas_ti	porositeit van inwasmateriaal (-)
N	N_golven_t	Aantal golven tijdens de belastingduur (-)
N_{gat}	gataantal1_ti gataantal2_ti gataantal3_ti	Aantal gaten van een bepaalde grootte (-)
O_{90}	O90_geo2_ti	karacteristieke openingengrootte van geotextiel (m)
q_{geo}	q_geo1_ti q_geo2_ti	Specifiek debiet tijdens doorlatendheidsmeting van geotextiel (m/s)

R_{ij}	R_getij_tgi	Getijrange (m)
r of r_r		regelnummer (-)
s		spleetbreedte (m)
s_l	sl_ti	spleetbreedte langsvoegen (m)
s_s	ss_ti	spleetbreedte stootvoegen (m)
t	t	tijd (uur)
t_{belast}	t_belast_t	Belastingduur (uur)
t_o		duur van de overbelaste situatie, dus de tijdsduur dat het stijghoogteverschil groter is dan het eigen gewicht plus wrijving en klemming (s)
t_o		toetslocatie ondergrens
t_b		toetslocatie bovengrens
t_{rf}	t_restf_t	reststerkte filterlaag (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_p	Tp_t	golfperiode bij piek van spectrum bij de teen van de dijk op MHW (s)
T_{p1}	Tp1 of 2 of 3 of 4	golfperiode bij piek van spectrum bij de teen van de dijk op $h = h_{golven1_tgi}$ (s)
T_{pmin}	Tpmin_t	Golfperiode bij minimale golfhoogte (s)
T_{ptoets}	Tp_toets	Golfperiode bij de teen van de dijk op toetspeil (m)
$\tan\alpha$	tana_ti	taludhelling van de te toetsen steenzetting (-)
$\tan\alpha_{bodem}$	tana_bodem_ti	helling van het voorland (-)
$\tan\alpha_{fict}$	tana_fict_t	Rekenwaarde van de taludhelling (fictieve taludhelling) (-)
u_s	u_stroom_tgi	Optredende stroomsnelheid langs de dijk (m/s)
x_s	x_s_t	Lokatie van het stijghoogtefront (m)
$x_{\phi max}$	x_klap_t	Lokatie waar de golfklap optreedt (m)
Y_b	Yb_ti	Horizontale coördinaat boven-begrenzing van de te toetsen steenzetting (m)
Y_o	Yo_ti	Horizontale coördinaat onder-begrenzing van de te toetsen steenzetting (m)

Y_{bo}	Y_{bo_t}	Horizontale coördinaat van de voorrand van de berm (m)
Y_l	Y_{l_oi}	Horizontale coördinaat aan linkerzijde van segment (m)
Y_r	Y_{r_oi}	Horizontale coördinaat aan rechterzijde van segment (m)
Z_b	Z_{b_ti}	niveau bovenbegrenzing van de te toetsen steenzetting (t.o.v. NAP) (m)
Z_{belast}	Z_{belast_t}	Niveau op het talud waar de maximale belasting optreedt (m)
Z_{bodem}	Z_{bodem_ti}	Bodem niveau voor de teen van de dijk (m)
Z_o	Z_{o_ti}	niveau onderbegrenzing van de te toetsen steenzetting (t.o.v. NAP) (m)
$Z_{o,berm}$	Z_{oberm_t}	Niveau van de zeezijde van de berm (m)
$Z_{b,berm}$	Z_{bberm_t}	Niveau van de landzijde van de berm (m)
Z_{bo}	Z_{bo_t}	verticale coördinaat van de voorrand van de berm (m)
Z_l	Z_{l_ti}	Verticale coördinaat aan linkerzijde van segment (t.o.v. NAP) (m)
Z_r	Z_{r_ti}	Verticale coördinaat aan rechterzijde van segment (t.o.v. NAP) (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 (-)
α_{bodem}		helling van het voorland (-)
α_{fict}	$tana_{fict_t}$	Rekenwaarde van de taludhelling (fictieve taludhelling) (-)
β	$beta_t$	hoek van golfinval t.o.v. dijknormaal (0° is loodrecht) ($^\circ$)
β_d	$beta_{dijk_ti}$	dijknormaal richting t.o.v. N (Het gaat om de lijn haaks op de dijk, gericht naar zee) ($^\circ$)
β_g	$beta_{11_tgi}$	golfvoortplantingsrichting (Nautische richting; waar de golven vandaan komen)
Δ		relatieve soortelijke massa van toplaagelementen (beton, natuursteen) (-)
ε		relatieve blokbeweging, bijvoorbeeld 10% van de blokdikte (-)

ϕ_{geo}	h_geo1_ti h_geo2_ti	Verval tijdens doorlatendheidsmeting van het geotextiel (m)
ρ_s	rho_ti	soortelijke massa van toplaagelementen (beton, natuursteen) (kg/m ³)
ρ	rho_water_i	soortelijke massa van water (kg/m ³)
ξ_{op}	ksi_t	brekerparameter (-)
Ω	Omega_ti	open oppervlak (zie par 4.6) (%)
Γ_{traag}		invloedsfactor voor de traagheid van een bewegend blok (-)
Γ_{toe}		invloedsfactor voor de verhinderde toestroming naar een bewegend blok (-)
Γ_{totaal}		invloedsfactor voor traagheid en toestroming tezamen (-)
Λ	labda_t	leklengte (m)
Λ_{to}	labda_to_t	leklengte bij anderhalf maal dikkere toplaag (m)

1 Inleiding

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

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

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

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

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

- Windows XP prof. Engels, met Excel 2002 Engels
- Windows XP home Nederlands, met Excel 2002 Nederlands
- Windows XP prof. Nederlands, met Excel 2003 Nederlands
- Windows 2000 prof. Engels met Excel 2000 Engels
- Windows ME prof. Engels met Excel 2000ME Engels
- Windows '98 prof. Engels met Excel '97 Engels

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

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

- Y.M. Provoost (Rijkswaterstaat Zeeland, Projectbureau Zeeweringen)
- J.T.M. van der Sande (Waterschap Zeeuwse Eilanden)
- H.J. Regeling (Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied)
- S. Nurmohamed (Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde)
- B.G.H.M. Wichman (Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde)

- R. 't Hart (Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde)
- M.C.J. Bosters (Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde)

2 Werkbladen en menu

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

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

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 rapportage doeleinden.

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

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

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

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

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. Daarna zijn alle verborgen kolommen met tusseninformatie te zien en kan men bovendien in de VBA-code kijken met Alt-F11. Het aanpassen van de programmacode moet ten zeerste afgeraden worden omdat het bijzonder moeilijk is te overzien wat de consequenties ervan zijn.

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

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

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

3 Structuur van rekenhart

In het programma zijn twee soorten formules opgenomen:

- Eenvoudige formules, die zichtbaar zijn als men de cursor op de cel zet. Deze formules zijn te veranderen door de gebruiker (eigen verantwoordelijkheid).
- Verborgene toetsingsformules. Als men de cursor op een cel met een verborgen formule plaatst, dan ziet men slechts de variabelen die als invoer gebruikt worden.

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

De rekenmodules zijn te verdelen in vier hoofdgroepen:

- A. bepaling algemene kenmerken van constructie en belasting
- B. toetsing van de stabiliteit van de toplaag op een dijk
- C. toetsing van stabiliteit van de toplaag op een havendam
- D. toetsing van de overige bezwijkmechanismen

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 is de opzet voor het toetsen en het ontwerpen identiek.

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, gescheiden door een punt-komma. Een melding kan een waarschuwing (warning) zijn of een fout (error). In het eerste geval wordt er verder gerekend, terwijl in het tweede geval de berekening wordt afgebroken voor de betreffende regel. Als het een waarschuwing betreft, dan wordt dat expliciet in dit verslag genoemd.

Bij het invoeren van het profiel 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. Het is toegestaan om in de eerste regel een negatieve taludhelling te gebruiken, want dan wordt alleen de havenzijde van de havendam getoetst. Als de eerste regel horizontaal is en de volgende regels negatief zijn, dan wordt ook de kruin van de havendam getoetst.

De horizontale as mag richting zee of 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 'ontwerpen'. In het werkblad 'toetsing' worden de veiligheidsfactoren ($factor_{...}$) gelijk aan 1 gehouden en de additionele veiligheidswaarde ($vergr_{...}$) gelijk aan 0. In het werkblad ontwerpen worden de veiligheidsfactoren en de additionele veiligheidswaarden gebruikt uit het werkblad algemeen.

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

4.1 Vaststellen welke regels bij elkaar horen in één dwarsprofiel

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

Als ($dijkvak_r = dijkvak_{r-1}$ en $vlak_r = vlak_{r-1}$ en $dwp_r = dwp_{r-1}$) dan hoort de erbovenliggende regel ($r - 1$) bij hetzelfde dwarsprofiel als deze regel (i). Dit wordt opgeslagen in de kolom: `hoort_bij_dwp_t`.

4.2 Enkele controles uitvoeren 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) en type teenconstructie (teen_ti) worden per dwarsprofiel uit de eerste regel van het dwarsprofiel gebruikt, tenzij deze gegevens ontbreken en in een andere regel in hetzelfde dwarsprofiel wel zijn gegeven (dan worden de gegevens gebruikt uit het laagste regelnummer),
- Als er ontbrekende gegevens zijn, dan worden de getallen gebruikt uit tabel 4.1.

<i>variabele waarvoor cel blanco is gelaten</i>	<i>aangehouden waarde voor berekeningen</i>
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	$H_{\text{min}} = 0,1 \text{ m}$
B en L	$B = L = 0,3 \text{ m}$
karakteristieke opening G	waarde uit de tabel in werkblad 'algemeen' (als 's', dan $\max(s_1; s_s)$ gebruiken)
soortelijke massa toplaag	waarde uit de tabel in werkblad 'algemeen'
inwassing: D_{15} en n	als inwasmateriaal aanwezig, dan $D_{15} = 5 \text{ mm}$ en $n = 0,5$
Linker coördinaat	$Y_{\text{lr}} = Y_{\text{lr}-1}; Z_{\text{lr}} = Z_{\text{lr}-1}$
Rechter coördinaat	$Y_{\text{rr}} = Y_{\text{rr}+1}; Z_{\text{rr}} = Z_{\text{rr}+1}$
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, anders nee
O_{90} geotextiel	1 mm
type filter als $b_1 > 0$	steenslag
porositeit filter	waarde uit de tabel in werkblad 'algemeen'
D_{f50} van filter	$1,2 \cdot D_{15}$
D_{b15} zand	$D_{b50}/1,4$
D_{b50} zand	als D_{b15} niet blanco: $1,4 \cdot D_{b15}$, anders 0,13 mm
D_{b90} zand	$1,2 \cdot D_{b50}$
dijkopbouw	kleilaag
kleikwaliteit	slecht

Tabel 4.1, waarde als cel blanco is gelaten

- Onlogische invoer:
 - als $G > \min(B, L)/2$ dan melding = karakteristieke opening is te groot
 - als $\rho_s < 1000$ dan melding = soortelijke massa is te klein
 - als $D_{f90,1} < D_{f50,1}$ of $D_{f50,1} < D_{f15,1}$ of $D_{f90,2} < D_{f50,2}$ of $D_{f50,2} < D_{f15,2}$, dan melding = check $D_{15} < D_{50} < D_{90}$ filter
 - als $D_{z90} < D_{z50}$ of $D_{z50} < D_{z15}$, dan melding = check $D_{15} < D_{50} < D_{90}$ zand

- als $D_{k90} < D_{k50}$, dan melding = check D50<D90 klei
 - als $h_{golven1} > h_{golven2}$ of $h_{golven2} > h_{golven3}$ of $h_{golven3} > h_{golven4}$, dan melding = check in golventabel $h1 < h2 < h3 < h4$
 - als ondanks het aanvullen uit tabel 1 er toch één of meer coördinaten ontbreken, dan melding = coördinaat ontbreekt
 - als gekozen voor ‘invoer met taludhellingen’ (coord_talud_i = t) en $Z_b < Z_o$ dan worden Z_b en Z_o verwisseld.
 - als gekozen voor ‘invoer met taludhellingen’ (coord_talud_i = t) en $\tan\alpha = 0$ en B_{segm} is blanco, dan melding = segmentbreedte ontbreekt
 - als gekozen voor ‘invoer met taludhellingen’ (coord_talud_i = t) en $0 < \tan\alpha < 1/9$ en B_{segm} is niet blanco en $\text{abs}(B_{segm} - \text{abs}(Z_b - Z_o)/\tan\alpha) < 0,03$, dan $Z_b = Z_o + B_{segm} \cdot \tan\alpha$ (ingevoerde waarden blijven onveranderd, maar er wordt verder gerekend met de aangepaste waarde)
 - als $\Sigma N_{gat} \cdot A_{gat} > BL/3$, dan melding = gatoppervlak te groot
 - als $\{\text{onderlaagtype_ti} = \text{st of my of gr of pu of sl}\}$ of $26 \leq \text{toplaagtype_ti} < 27$ of $28 \leq \text{toplaagtype_ti} < 29$ en $b_1 + b_2 < 0,03$ m, dan $b_1 = 0,03 - b_2$ (als b_2 blanco, dan $b_1 = 0,03$)
- Aansluiting van coördinaten in opeenvolgende regels in hetzelfde dwarsprofiel (ingevoerde waarden blijven onveranderd, maar er wordt verder gerekend met de aangepaste waarde):
 - Als (gekozen voor coördinateninvoer en $\text{abs}(Z_{lr} - Z_{rr-1}) < 0,05$ m) dan $Z_{lr} = Z_{rr-1}$ anders: als $\text{abs}(Z_{lr} - Z_{rr-1}) > 0,05$ m dan melding = gat in profiel
 - Als (gekozen voor taludhellingeninvoer en $\text{abs}(Z_{or} - Z_{br-1}) \geq 0,05$ en $\text{abs}(Z_{or} - Z_{or-1}) \geq 0,05$) dan melding = gat in profiel, anders:
 - Als (gekozen voor taludhellingeninvoer en $\text{abs}(Z_{or} - Z_{br-1}) > 0$ en $\text{abs}(Z_{or} - Z_{or-1}) > 0$) dan:
 - Als ($\tan\alpha_r = 0$ en $\tan\alpha_{r-1} \geq 0$) dan $Z_{or} = Z_{br-1}$ en $Z_{br} = Z_{br-1}$, anders:
 - Als ($\tan\alpha_r = 0$ en $\tan\alpha_{r-1} < 0$) dan $Z_{or} = Z_{or-1}$ en $Z_{br} = Z_{or-1}$, anders:
 - Als $\tan\alpha_r > 0$ en $\tan\alpha_{r-1} \geq 0$ dan $Z_{or} = Z_{br-1}$ anders:
 - Als $\tan\alpha_r < 0$ en $\tan\alpha_{r-1} \leq 0$ dan $Z_{br} = Z_{or-1}$ anders:
 - Als $\tan\alpha_r < 0$ en $\tan\alpha_{r-1} > 0$ dan $Z_{br} = Z_{br-1}$ anders:
 - Als $\tan\alpha_r > 0$ en $\tan\alpha_{r-1} < 0$ dan $Z_{or} = Z_{or-1}$
- NB: als gekozen is voor taludhellingeninvoer dan heeft de zeezijde positieve taludhellingen, en de havenzijde of polderzijde heeft negatieve taludhellingen.

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

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

Indien gekozen is voor de optie ‘dwarsprofiel invoeren met taludhellingen’ zijn deze berekeningen niet nodig. In deze module moeten echter wel de formules opgenomen worden die nodig zijn om coördinaten te berekenen uit de taludhellingen. Men kan immers in het werkblad algemeen aangeven dat men toch wil overstappen op coördinaten. De coördinaten

worden dan berekend uitgaande van de oorsprong ($0, Z_{b1}$) in het meest zeewaarts gelegen punt van het profiel (= eerste regel).

Volgende berekeningen en controles worden uitgevoerd:

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

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

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

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

- Controle: er mag maximaal éénmaal een tekenwisseling in de taludhelling voorkomen per dwarsprofiel:
 - als er twee of minder regels in het dwarsprofiel zitten, dan OK.
 - Als alle $\tan \alpha_r \geq 0$ of alle $\tan \alpha_r \leq 0$ in één dwarsprofiel, dan OK.
 - als $\tan \alpha_1 = 0$, dan $R=2$, anders $R=1$ (R = referentie regelnummer voor deze controle):
 - als $\tan \alpha_R > 0$, dan wordt gezocht naar de regel in hetzelfde dwarsprofiel met $\tan \alpha_r < 0$ met het laagste regelnummer. Als er nog een hoger regelnummer is met $\tan \alpha_r > 0$, dan volgt er een melding: melding = 2 kruinen in dwp.
 - als $\tan \alpha_R < 0$, dan wordt gezocht naar de regel in hetzelfde dwarsprofiel met $\tan \alpha_r > 0$ met het laagste regelnummer. Als er nog een hoger regelnummer is met $\tan \alpha_1 < 0$, dan volgt er een foutmelding: melding = 2 kruinen in dwp.
- van taludhellingen naar coördinaten:

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

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

algemeen:

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

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

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

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

De beoordeling gaat als volgt:

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 blijven blanco en worden wit gekleurd).

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

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

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

- overige segmenten zijn onder/bovenloop (segmenttype_t = onder/bovenloop)
- Als het segment een berm is, en dit segment is de eerste regel van het dwarsprofiel, dan volgt de foutmelding: melding = helling ondertalud onbekend

4.6 Spleetbreedte berekenen en open oppervlak

Bij rechthoekige blokken wordt de spleetbreedte opgegeven, en bij zuilen het open oppervlak. Uiteindelijk is zowel het open oppervlak nodig, als de equivalente spleetbreedte:

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

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

anders:

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

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

4.7 Bepaling type steenzetting en ingieting

Op basis van de globale eigenschappen van de toplaag en het filter 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:

- 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
- Type 8: Doorgroeistenen

In onderstaande tabel 4.2 is de relatie gegeven tussen het type toplaag, het type onderlagen en het resulterende type steenzetting.

<i>Type toplaag</i>	<i>Type onderlagen</i>	<i>Type steenzetting</i>
$10 \leq \text{type} < 12$ of $26 \leq \text{type} < 28,6$ $28,7 \leq \text{type} \leq 29$	ge géén: <i>st of pu of sl of gr of my</i>	1
$10 \leq \text{type} < 12$ of $26 \leq \text{type} < 28,6$ $28,7 \leq \text{type} \leq 29$	kl <i>en</i> {géén <i>ge of</i> <i>st of pu of sl of gr of my</i> }	2
$10 \leq \text{type} < 12$ of $26 \leq \text{type} < 28,6$ $28,7 \leq \text{type} \leq 29$	<i>st of pu of sl of gr of my</i>	3
$12 \leq \text{type} < 14$	ge géén: <i>st of pu of sl of gr of my</i>	4
$12 \leq \text{type} < 14$	kl <i>en</i> {géén <i>ge of</i> <i>st of pu of sl of gr of my</i> }	5
$12 \leq \text{type} < 14$	<i>st of pu of sl of gr of my</i>	6
$28,6 \leq \text{type} < 28,7$	alles	7
type = 17	kl	8
overige	overige	0

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

Als type 0 blijkt te zijn, dan wordt de toetsing niet uitgevoerd en wordt er een witte blanco cel gegeven bij alle scores.

De waarde van de tweede decimaal van het type toplaag bepaalt of de toplaag is ingegoten:

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

4.8 Leklengte

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

4.8.1 Granulair materiaal

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

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

$$b_f = \frac{2,2}{gn^2 D_{15}}$$

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

$v = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (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

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

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

- Filter:

$$a_{f_{top}} = 160 \frac{v(1-n)^2}{gn^3 D_{15}^2}$$

$$b_{f_{top}} = \frac{0,14}{gn^5 D_{15}}$$

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

- Inwasmateriaal:

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

$$b_i = \frac{0,10}{gn^5 D_{15}}$$

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

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

Met deze formules wordt het volgende berekend:

input		resultaat		
$D_{15} = D_{f15f}$ factor_toplaag_D15f+ vergr_toplaag_D15f	$n = n_{f1}$ factor_toplaag_nf+ vergr_toplaag_nf + 0,1	$a_{f_{top}}$	$b_{f_{top}}$	Filtermateriaal bij de toplaag
$D_{15} = D_{i15}$	$n = n_i$	a_i	b_i	Inwasmateriaal

4.8.2 Geotextiel onder de zetting en onder het filter

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

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

$$b_g T_g = \frac{\phi_{geo}}{q_{geo}^2} p_{geo}$$

$$p_{geo} = 0,20$$

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

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

4.8.3 Doorlatendheid toplaag

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Als (s_s en s_l is blanco en er zijn geen gaten in de toplaag) of toplaagtype = 26 of 27,0 of 27,1 of 27,2 of 27,3 dan wordt de doorlatendheid van de toplaag berekend op basis van het open oppervlak Ω . Er geldt dan $A_{\text{ro}} = \Omega =$ relatieve open oppervlak (-). Hiermee wordt de spleetweerstand berekend en de doorlatendheid van de spleten met de berekende spleetbreedte.

In andere gevallen wordt de doorlatendheid van de stootvoegen, langsvvoegen en de gaten afzonderlijk berekend. De volgende berekeningen worden uitgevoerd:

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

Spleetweerstand

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

$$a_s = \frac{12\nu}{g s^2 A_{\text{ro}}}$$

$$b_s = 0$$

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 :

$$v_t = k_t / A_{\text{ro}}$$

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

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

$$a_s = 0 \quad \text{en}$$

$$b_s = \frac{2}{s C^2 A_{\text{ro}}^2}$$

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

Hiermee wordt de definitieve waarde voor k' berekend.

Doorlatendheid spleten tussen blokken of zuilen

Er wordt gerekend met de eigenschappen van de eerste (bovenste) filterlaag (D_{f151} en n_{f1}).
Als er geen geotextiel tussen toplaag en filter zit, dan geldt $[a_g T_g]_1 = [b_g T_g]_1 = 0$.

$$e = \exp(1)$$

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

als er inwasmateriaal is: $n = n_i$, anders: $n = n_{f1}$

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

$$b_{\text{spleet}} = b_s + \frac{1}{2gDA_{ro}^2} \left(2 - \frac{2}{n}\right) + \frac{1}{gD} \left(1 - \frac{1}{A_{ro}}\right) + \frac{s b_{\text{flop}}}{\pi DA_{ro}} \left(\frac{s}{\pi r_{\min} A_{ro}} - 2\right) + \frac{[b_g T_g]_1}{DA_{ro}^2} + \frac{b_i}{2A_{ro}}$$

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

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 $A_{ro} = A_{g1}/(B + s_1 + 0,3 \cdot 10^{-3})/(L + s_s + 0,3 \cdot 10^{-3})$
- de doorlatendheid van het tweede gat (k'_{gat2}) berekenen met $A_g = A_{g2}$ en $A_{ro} = A_{g2}/(B + s_1 + 0,3 \cdot 10^{-3})/(L + s_s + 0,3 \cdot 10^{-3})$
- de doorlatendheid van het derde gat (k'_{gat3}) berekenen met $A_g = A_{g3}$ en $A_{ro} = A_{g3}/(B + s_1 + 0,3 \cdot 10^{-3})/(L + s_s + 0,3 \cdot 10^{-3})$

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

Als er inwasmateriaal is: $n = n_i$, anders: $n = n_{f1}$

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

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

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

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

Totale toplaag doorlatendheid

Tenslotte worden alle doorlatendheden opgeteld:

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

4.8.4 Leklengte

De leklengte kan als volgt berekend worden:

$$\Lambda = \sqrt{\frac{D(b_1k_1 + b_2k_2)}{k'}}$$

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

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

Het resultaat is als volgt:

- De leklengte met $D_{\text{t}} = [D]_{\text{input}} \cdot \text{factor_toplaag_D} + \text{vergr_toplaag_D}$: labda_t
- De leklengte met $D_{\text{to_t}} = 1,5([D]_{\text{input}} \cdot \text{factor_toplaag_D} + \text{vergr_toplaag_D})$: labda_to_t

4.9 Hydraulische randvoorwaarden

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

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

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

Voor elke waterstand wordt de golfsteilheid berekend:

$$s_{\text{opi}} = H_{\text{si}} / (1,56T_{\text{pi}}^2) \quad \text{voor } i = 1 ; 2 ; 3 \text{ of } 4$$

Als $s_{\text{op}} > 0,06$, dan volgt er een melding (waarschuwing): melding = golfsteilheid $> 0,06$. Er wordt ondanks deze melding wel gewoon doorgerekend.

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

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

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

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

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

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.

Voor de golfrichting ten opzichte van de dijk geldt:

- als tabel 1 van toepassing:
 $\beta = \min(\text{beta11_tgi} - \text{beta_dijk_ti} ; \text{beta12_tgi} - \text{beta_dijk_ti})$
- als tabel 2 van toepassing:
 $\beta = \min(\text{beta21_tgi} - \text{beta_dijk_ti} ; \text{beta22_tgi} - \text{beta_dijk_ti})$
- als tabel 3 van toepassing:
 $\beta = \min(\text{beta31_tgi} - \text{beta_dijk_ti} ; \text{beta32_tgi} - \text{beta_dijk_ti})$

Als $\text{abs}(\beta) > 90^\circ$, 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 > 90 .

4.10 Golfploophoogte bij toetspeil

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

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

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

$$Z_{o,\text{berm}} = \min(\text{alle } Z_o \text{ met segmenttype_t} = \text{buitenberm})$$

$$Z_{b,\text{berm}} = \max(\text{alle } Z_b \text{ met segmenttype_t} = \text{buitenberm})$$

Omdat er gerekend wordt bij toetspeil, geldt hier:

$$H_s = H_{\text{stoets}}$$

$$T_p = T_{\text{ptoets}}$$

$$h = h_{\text{toets}}$$

Voor de eventuele buitenberm wordt de diepte en breedte bepaald:

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

$$B_{\text{berm}} = \Sigma B_{\text{segm}} \quad (\text{als er meerdere bermen naast elkaar liggen, dan worden de segmentbreedtes opgeteld})$$

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

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

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

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 als er geen kruin is) gebruiken
- De Y-coördinaat van het punt met $Z = h - 1,5H_s$ en het punt met $Z = h + 1,5H_s$ volgt uit een interpolatie:
 - $$Y_{h-1,5H_s} = Y_{li} + \frac{h-1,5H_s-Z_{li}}{Z_{ri}-Z_{li}}(Y_{ri}-Y_{li})$$
 - $$Y_{h+1,5H_s} = Y_{lj} + \frac{h+1,5H_s-Z_{lj}}{Z_{rj}-Z_{lj}}(Y_{rj}-Y_{lj})$$
- De gemiddelde taludhelling is dan:
 - als er geen buiten berm is, of als de buitenberm meer dan $1,5H_s$ onder water ligt of meer dan $1,5H_s$ boven water ($\text{abs}(d_B) > 1,5H_s$):

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

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

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

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

$$x = 2H_{stoets}$$

$$\gamma_b = \max\{ \min\{ 1 - B_{berm}/L_{berm} \cdot (0,5 + 0,5\cos(\pi d_B/x)) ; 1,0 \} ; 0,6 \}$$

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

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

4.11 Dijk of havendam

Het vaststellen of de constructie een dijk of een havendam is, gaat als volgt:

- Als in het dwarsprofiel alle taludhellingen positief zijn, wordt aangenomen dat er sprake is van een dijk: constructie_t = dijk, anders:
- Als in het dwarsprofiel alle taludhellingen niet-positief zijn, wordt aangenomen dat er sprake is van een havendam: constructie_t = havendam, anders:
- Als $h_{kr} > h_{toets} + 0,8 \cdot z_{2\%}$, dan is er sprake van een dijk: constructie_t = dijk, anders:
- Als de taludhelling van teken verandert en $h_{kr} \leq h_{toets} + 0,8 \cdot z_{2\%}$, is het een havendam: constructie_t = havendam.

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

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

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

5.1 Algemene rekenmodule voor de toplaagstabiliteit op een dijk

In deze module wordt gezocht naar de maatgevende waterstand en wordt de toetsing van de toplaagstabiliteit uitgevoerd. In deze module is een iteratie opgenomen die stap voor stap de waterstand aanpast op zoek naar de maatgevende waterstand. De maatgevende waterstand is gelijk aan 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. Reststerkte van de toplaag en de klei.
11. Klemming.
12. Stabiliteit ingegoten steenzettingen.
13. Black box voor overige type steenzettingen.
14. Bepaling van het toetsresultaat.

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

Maatgevende waterstand

De iteraties worden gestart bij het toetspeil. De hydraulische randvoorwaarden voor het toetspeil zijn reeds in paragraaf 4.9 bepaald. Met deze hydraulische randvoorwaarden worden de diverse modules doorlopen.

Als de bekleding (deels) boven toetspeil zit ($Z_b > h_{\text{toets}}$), dan zijn de iteraties voltooid, want dan hebben we de juiste waterstand voor de berekeningen reeds gebruikt. Zoniet, dan moet de waterstand met stapjes van 30 cm verlaagd worden.

Voor deze nieuwe schatting van de waterstand moeten de golfcondities weer bepaald worden (interpolatie uit de golventabel: toetsgolven of ontwerp golven). Met deze hydraulische randvoorwaarden worden de diverse modules weer doorlopen.

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

Het verlagen van de waterstand met stapjes van 30 cm wordt voortgezet totdat:

- Als $f_{g/t}$ (paragraaf 5.12 t/m 5.15) groter is dan in de vorige iteratie
- de waterstand 4 meter is verlaagd.

Als de waterstand 4 meter is verlaagd en aan de andere voorwaarde is nog steeds niet voldaan, dan volgt de foutmelding: melding = maatgevende waterstand niet gevonden.

Vervolgens wordt de waterstand in stapjes van 5 cm verhoogd totdat:

- Als $f_{g/t}$ (paragraaf 5.12 t/m 5.15) groter is dan in de vorige iteratie
- de waterstand 0,6 meter is verhoogd.

De waterstand uit de een na de laatste iteratie is de maatgevende waterstand: h_{MHW_t} . De bijbehorende golfcondities zijn de maatgevende golfcondities: Hs_t en Tp_t .

Twijfel/onvoldoende onderscheid

Als de toplaag niet goed is, moet nog berekend worden of de toplaag twijfelachtig of onvoldoende is. 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 ($D_{to} = 1,5(D_{\text{input}} \cdot \text{factor_toplaag_D} + \text{vergr_toplaag_D}$ met $D_{\text{input}} = D_{ti}$) en bijbehorende lek lengte (Λ_{to}).

Minimaal benodigde toplaagdikte

Tenslotte moet voor niet-ingegoten steenzettingen 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 lek lengte berekend:

$$\Lambda_{gt} = \Lambda + \frac{D_{gt} - D}{D_{1,5D} - D} (\Lambda_{1,5D} - \Lambda)$$

- als toetsresultaat met $D = D_t$ goed is,
 1. bereken Λ_{to} met $D_{to} = 1,5D$.
 2. reken dan met toplaagdikte $D_{gt} = (D_t)/2$, bereken nieuwe Λ_{gt} , en doorloop alle modules weer. Dit levert toetsresultaat voor D_{gt} .

3. beschouw $D_{\text{goed}} = D_{\text{t}}$ en $D_{\text{nietgoed}} = 0$ en bepaal de volgende iteratieslag:
4. als toetsresultaat bij D_{gt} is goed, dan $D_{\text{goed}} = D_{\text{gt}}$ en dan $D_{\text{gt}} = (D_{\text{gt}} + D_{\text{nietgoed}})/2$ en, bereken nieuwe Λ_{gt} , doorloop alle modules weer met de nieuwe D_{gt} . Dit levert toetsresultaat voor D_{gt} .
5. als toetsresultaat bij D_{gt} is niet goed, dan $D_{\text{nietgoed}} = D_{\text{gt}}$ en dan $D_{\text{gt}} = (D_{\text{gt}} + D_{\text{goed}})/2$, bereken nieuwe Λ_{gt} , en doorloop alle modules weer met de nieuwe D_{gt} . Dit levert toetsresultaat voor D_{gt} .
6. Herhaal punt 4 t/m 5 totdat: $\text{abs}(D_{\text{nietgoed}} - D_{\text{goed}}) < 0,02 \text{ m}$
anders:
 - Als het toetsresultaat met D_{to} goed is,
 1. reken dan met toplaagdikte $D_{\text{gt}} = (D_{\text{t}} + D_{\text{to}})/2$, bereken nieuwe Λ_{gt} , en doorloop alle modules weer. Dit levert toetsresultaat voor D_{gt}
 2. beschouw $D_{\text{nietgoed}} = D_{\text{t}}$ en $D_{\text{goed}} = D_{\text{to}}$, en bepaal de volgende iteratieslag:
 3. als toetsresultaat bij D_{gt} is goed, dan $D_{\text{goed}} = D_{\text{gt}}$ en dan $D_{\text{gt}} = (D_{\text{gt}} + D_{\text{nietgoed}})/2$, bereken nieuwe Λ_{gt} , en doorloop alle modules weer met de nieuwe D_{gt} . Dit levert toetsresultaat voor D_{gt} .
 4. als toetsresultaat bij D_{gt} is niet goed, dan $D_{\text{nietgoed}} = D_{\text{gt}}$ en dan $D_{\text{gt}} = (D_{\text{gt}} + D_{\text{goed}})/2$, bereken nieuwe Λ_{gt} , en doorloop alle modules weer met de nieuwe D_{gt} . Dit levert toetsresultaat voor D_{gt} .
 5. Herhaal punt 3 t/m 5 totdat: $\text{abs}(D_{\text{nietgoed}} - D_{\text{goed}}) < 0,02 \text{ m}$
anders:
 - Als het toetsresultaat met $D = D_{\text{to}}$ niet goed is,
 1. reken dan met toplaagdikte $D_{\text{gt}} = 3 \cdot D_{\text{to}}$, bereken nieuwe Λ_{gt} , en doorloop alle modules weer. Dit levert toetsresultaat voor D_{gt}
 2. beschouw $D_{\text{nietgoed}} = D_{\text{to}}$ en $D_{\text{goed}} = 30 \cdot D_{\text{to}}$, en bepaal de volgende iteratieslag:
 3. als toetsresultaat bij D_{gt} is goed, dan $D_{\text{goed}} = D_{\text{gt}}$ en dan $D_{\text{gt}} = (D_{\text{gt}} + D_{\text{nietgoed}})/2$, bereken nieuwe Λ_{gt} , en doorloop alle modules weer met de nieuwe D_{gt} . Dit levert toetsresultaat voor D_{gt} .
 4. als toetsresultaat bij D_{gt} is niet goed, dan $D_{\text{nietgoed}} = D_{\text{gt}}$ en dan $D_{\text{gt}} = (D_{\text{gt}} + D_{\text{goed}})/2$, bereken nieuwe Λ_{gt} , en doorloop alle modules weer met de nieuwe D_{gt} . Dit levert toetsresultaat voor D_{gt} .
 5. Herhaal punt 3 t/m 5 totdat: $\text{abs}(D_{\text{nietgoed}} - D_{\text{goed}}) < 0,02 \text{ m}$

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

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

5.2 Berekeningen golfcondities bij de betreffende waterstand

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

- H_s (in code: Hs_{t})
- T_p (in code: Tp_{t})

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

- $H_s = H_{s\text{min}}$ en

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

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.

5.3 Fictieve taludhelling

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

Daartoe 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. Er wordt gebruikgemaakt van de waarde van d_B uit paragraaf 4.10.

- 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 $Z_{oi} > h - 1,5H_s$, dan onderstaande formules gebruiken met het onderste segment (bovenste regel)

- Als alle $Z_b < h$, dan het segment dat één regel boven de kruin zit (of de onderste regel als er geen kruin is) gebruiken

- De Y-coördinaat van het punt met $Z = h - 1,5H_s$ en het punt met $Z = h$ volgt uit een interpolatie:

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

- als segment j geen berm is:
$$Y_h = Y_{lj} + \frac{h - Z_{lj}}{Z_{rj} - Z_{lj}} (Y_{rj} - Y_{lj})$$

- Als segment j een berm is, dan moet gezocht worden naar het dichtstbijzijnde segment hieronder dat een ondertalud is (de dichtstbijzijnde regel boven de huidige regel). De taludhelling van dit segment is $\tan \alpha_o$ en de bovenste coördinaten van dit

segment zijn (Y_{bo} ; Z_{bo}). Vervolgens geldt:
$$Y_h = Y_{bo} + \frac{h - Z_{bo}}{\tan \alpha_o}$$

- De gemiddelde taludhelling is dan:
 - als er geen buitenberm is, of als de buitenberm meer dan $1,5H_s$ onder water ligt of de buitenberm ligt boven water ($d_B > 1,5H_s$ of $d_B \leq 0$) of segment j is een berm:

$$\tan \alpha_{fict} = \frac{abs(Y_{h-1,5H_s} - Y_h)}{1,5H_s}$$

- anders:
$$\tan \alpha_{fict} = \frac{abs(Y_{h-1,5H_s} - Y_h) - B_{berm}}{1,5H_s}$$

5.4 Beoordeling of de steenzetting wel belast wordt

Als de onderrand van de steenzetting hoger dan een halve golfploophoogte boven de waterstand ($h + z_{2\%}/2$) zit, is de steenzetting automatisch goed en wordt hij verder niet getoetst.

Als de steenzetting heel diep onder water zit, wordt hij niet belast en is hij ook automatisch goed. Dit criterium moet nog vastgesteld worden.

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

Normaal wordt er gerekend met de volgende parameters:

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

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

Berm

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

De breedte van de berm is gelijk aan de breedte van het segment, tenzij de naast liggende segmenten ook een berm zijn. Dan moet de breedte van die segmenten ook meegeteld worden:

$$B_{\text{berm}} = \sum B_{\text{segm}} \quad (\text{als er meerdere bermen naast elkaar liggen, dan worden de segmentbreedtes opgeteld})$$

Voor de diepte van de berm geldt:

$$Z_{\text{o,berm}} = \min(\text{alle } Z_{\text{o}} \text{ met segmenttype_t} = \text{buitenberm})$$

$$Z_{\text{b,berm}} = \max(\text{alle } Z_{\text{b}} \text{ met segmenttype_t} = \text{buitenberm})$$

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

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

- Als er sprake is van een normale berm met $B_{\text{berm}} \geq 2 \cdot H_s$:
 De bermfactor volgt uit een inter- en extrapolatieprocedure op basis van de vier figuren met de bermfactor als functie van de dimensieloze waterdiepte op de berm uit het Technisch Rapport Steenzettingen (2003), deel Toetsing, bijlage C. De vier figuren zijn beschikbaar in tabelvorm, zoals ook in Steentoets.
 Als de berm smaller is dan 5 m, dan wordt de waarde van C_{berm} aangehouden bij een bermbreedte van 5 m. Als de berm breder is dan 10 m, wordt de waarde bij 10 m aangehouden. Het extrapoleren buiten het bereik van de oorspronkelijke figuren is (met betrekking tot de bermbreedte) ongewenst, omdat er onvoldoende kennis is over de invloed van de bermbreedte.
- Als er sprake is van een smalle berm met breedte $H_s < B_{\text{berm}} < 2 \cdot H_s$:
 Bepaal de bermfactor als boven.
 - Als $C_{\text{berm}} < 1$, dan: Reken met $C_{\text{berm}} = 1$
 - Als $C_{\text{berm}} \geq 1$, dan: Reken met C_{berm}

- Als er sprake is van een zeer smalle berm met breedte $B_{\text{berm}} \leq H_s$:
Doe net alsof de betreffende toplaag op een talud ligt met helling α_{fict} . Reken met $C_{\text{berm}} = 1$.
Als de toplaag geheel en al boven de waterstand ligt ($Z_o \geq h$), geldt:
 - reken met een rekenwaarde voor de blokdikte: $C_{\text{bovenbeloop}} = 1,25$.
 - $C_{\text{onv}} = 0$.
- Als de toplaag niet boven de waterstand ligt ($Z_o < h$) geldt:
 - $C_{\text{onv}} = 1$ en $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$. Als $C_{\text{onv}} = 1$ dan kan de toplaag ook onvoldoende worden, terwijl als $C_{\text{onv}} = 0$, dan is geavanceerd het slechtste resultaat.

Onder- en bovenbeloop

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

Als het segment type 'onder/bovenbeloop' is, dan geldt:

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

Als er sprake is van een onderbeloop dan geldt:

- Als de toplaag geheel en al boven de waterstand ligt ($Z_o \geq h$), geldt: $C_{\text{berm}} = 1$, $C_{\text{bovenbeloop}} = 1,25$ 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 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: $C_{\text{bovenbeloop}} = 1,25$ en $C_{\text{onv}} = 0$. Als de toplaag niet boven de waterstand ligt ($Z_o < h$) geldt $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$ en $C_{\text{onv}} = 1$.
- 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 $H_s \leq B_{\text{berm}} < 2 \cdot H_s$:
 - Als $C_{\text{berm}} < 1$, dan wordt het bovenbeloop berekend alsof er geen berm is (dus wordt $C_{\text{berm}} = 1$). Als $Z_o \geq h$ dan $C_{\text{bovenbeloop}} = 1,25$ en $C_{\text{onv}} = 0$, anders $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$ en $C_{\text{onv}} = 1$.
 - Als $C_{\text{berm}} \geq 1$, dan 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 er sprake is van een normale berm met $B_{\text{berm}} \geq 2 \cdot H_s$:
 - Als $h \leq Z_{\text{oberm}}$ dan wordt net gedaan alsof de toplaag op de berm ligt en wordt dus de toetsing uitgevoerd met de berekende C_{berm} . Verder geldt: $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$ en $C_{\text{onv}} = 1$
 - Als $0 < (h - Z_{\text{oberm}}) < H_s$ dan geldt:
 - Als $C_{\text{berm}} > 1/1,25$ en $h < Z_o$ dan: $C_{\text{berm}} = 1$, $C_{\text{bovenbeloop}} = 1,25$ 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 overgangsconstructie op de stilwaterlijn en de onderste op $h - 3H_s$.
- 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 $C_{\text{bovenbeloop}} = 1,25$ en $C_{\text{onv}} = 0$, anders $C_{\text{bovenbeloop}} = 1$ en $C_{\text{onv}} = 1$.

5.6 Invloed van scheve golfaanval

Voor de invloed van scheve golfaanval op de stabiliteit van steenzettingen zijn door Klein Breteler (2006a) formules afgeleid voor lange rechte taluds zonder berm. Deze zijn gebaseerd op het principe dat gerekend kan worden met een schijnbare taludhelling, die gelijk is aan de helling van een lijn op het talud in de voortplantingsrichting van de golven. Gezien het feit dat ANAMOS+ bedoeld is voor veel gecompliceerdere taluds met overgangs-constructies en berm, zijn de afgeleide formules mogelijk niet algemeen geldig en wordt hier teruggegrepen op het basisprincipe van de schijnbare taludhelling voorzover het gaat om de belasting. Dit betekent dat gerekend moet worden met de volgende taludhelling voor het berekenen van het stijghoogteverloop op de toplaag en het stijghoogteverschil:

$$\tan\alpha = C_\beta \cdot \tan\alpha_{\text{fict}} \quad \text{met } C_\beta = \cos\beta \quad (\text{met } \beta \text{ in graden}).$$

Als de taludhelling hierdoor flauwer wordt dan 1:9 wordt het type segment niet veranderd in 'berm' (er wordt dus niets gedaan in het programma).

Voor het berekenen van de klemming wordt gewerkt met $C_\beta = 1$.

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. Als het type gelijk is aan 3 of 6, dan wordt eerst de belastingduur berekend en vervolgens worden de invloedsfactoren bepaald, zoals onderstaand aangegeven.

Voor het berekenen van de belastingduur wordt eerst de locatie met maximaal stijghoogteverschil geschat. Voor die locatie wordt de belastingduur berekend. Er zijn echter meerdere lokaties waar de maximale belasting op zou kunnen treden:

- aan de voet van het hoge stijghoogtefront
- aan de voet van het steile stijghoogtefront
- zeewaarts van de golfklap van het type 1
- landwaarts van de golfklap van het type 1
- zeewaarts van de golfklap van het type 2

Omdat er slechts een grove benadering beschikbaar is van het verloop van de waterstand tijdens de maatgevende storm, die door de grote variatie aan mogelijke waterstandsverlopen ook nooit exact bekend zal zijn, is het niet zinvol om de belastingduur voor al deze 5 lokaties precies te berekenen. Daarom wordt ervoor gekozen om bij een lange lek lengte te werken met de lokatie van de voet van het hoge stijghoogtefront en bij een korte lek lengte

de gemiddelde lokatie bij een golfklap (h is de waterstand uit de betreffende iteratieslag: h_{MHW_t}):

Als $\Lambda > 1,5$ m:

- $\frac{x_s}{H_s} \tan \alpha = \min \left\{ 0,25 + 0,11 \frac{\xi_{op}}{\tan \alpha} ; 2,0 \right\}$
- $Z_{belast} = h - x_s \tan \alpha$

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

- $\frac{x_{\phi_{max}} \tan \alpha}{H_s} = \min \left\{ 0,45 \xi_{op} - 0,3 ; 1,7 \right\}$
- $\frac{B_{klap50\%2\%}}{H_s} = 0,96 - 0,11 \xi_{op}$
- $Z_{belast} = h - (x_{\phi_{max}} - B_{klap50\%2\%}/2) \cdot \tan \alpha$

Met:

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

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

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

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

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

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

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

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

- Als $t > 2$ uur:

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

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

$$Z_{belast} + 0,2H_s \cdot \min(\xi_{op}; 4) \leq h \leq Z_{belast} + 0,6H_s \cdot \min(\xi_{op}; 4)$$

Om dit te kunnen berekenen wordt in een aantal tijdstapjes van 1 uur de tijd van $t = 0$ tot $t = t_{\text{storm}}/2$ doorlopen. Elk uur i wordt gecontroleerd of $h_L \leq h_i \leq h_H$, te beginnen bij $t = 0$ met:

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

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

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

a) De waterstand is nog te hoog.

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

Bereken dan de volgende interpolatie:

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

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

Als $h_i < h_L$ dan ga verder met b, anders ga verder naar c.

b) De waterstand is te laag.

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

Bereken dan de volgende interpolatie:

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

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

Als $h_i > h_H$ dan ga verder met a, anders ga verder naar c.

c) De waterstand voldoet.

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

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

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

$$t_{\text{belast},j} = \min(t_{Ej}; t_{\text{storm}}/2) - t_{Bj}$$

$$j = j+1$$

ga verder naar b.

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

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

$$t_{\text{belast},j} = \min(t_{Ej}; t_{\text{storm}}/2) - t_{Bj}$$

$$j = j+1$$

ga verder naar a.

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

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

5.8 Invloedsfactoren voor de belastingduur

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

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

$$N = 1,1 \cdot 3600 \cdot t_{\text{belast}} / T_p$$

$$h_w = h - Z_{\text{bodem}}$$

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

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

$$f_S = \max \left\{ 1 - c_1 \cdot \log \frac{N}{1000}; c_2 \right\}$$

- Basalt, Basalton en Hydroblocks: $c_1 \approx 0,2$ en $c_2 \approx 0,8$
- Blokken op hun kant: $c_1 \approx 0,35$ en $c_2 \approx 0,65$
- Overige typen: $c_1 \approx 0,3$ en $c_2 \approx 0,75$

met:

f_B = invloedsfactor m.b.t. de belasting (-)

f_S = invloedsfactor m.b.t. de sterkte (-)

α_{bodem} = bodemhelling voor de constructie ($^\circ$)

h_w = waterdiepte (m)

h = de waterstand uit de betreffende iteratieslag: h_{MHW_t}

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

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

5.9 Maatgevend stijghoogteverloop op de toplaag

Het maatgevend stijghoogteverloop op de toplaag kan alleen berekend worden voor steenzettingen van het type 3 of 6, en niet voor ingegoten steenzettingen (tweede decimaal van het type toplaag moet 0 zijn).

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

$$H_s = f_B H_s$$

Er gaat gebruikgemaakt worden van de formules van Klein Breteler e.a. (2006d).

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 (tweede decimaal van het type toplaag moet 0 zijn).

Er gaat gebruikgemaakt worden van de formules van Klein Breteler e.a. (2006d).

5.11 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 eerste fase van het reststerkteproces (ondermijning van de toplaag) kan bepaald worden met formule 5.2 van Klein Breteler e.a. (2005b). Voor de tweede fase, het instorten van de ondermijnde toplaag, is nog nader onderzoek nodig.

Voor de reststerkte van de eventuele kleilaag (derde fase) gaat gebruikgemaakt worden van de formules van Klein Breteler e.a. (2006d).

5.12 Klemming

Indien er voldoende reststerkte is moet de invloed van klemming berekend worden. De formules voor het berekenen van de consequenties van de belasting worden aangeleverd door Dirk Jan Peters.

5.13 Stabiliteit van ingegoten steenzettingen

Een steenzetting is ingegoten als de tweede decimaal van het type toplaag ongelijk aan 0 is. In de toetsmethode wordt ook rekening gehouden met de belastingduur (f_B en f_S uit paragraaf 5.8).

1. Als $D_{\text{ingieting}} > 0,5 \cdot D$ en $D_{\text{ingieting}} > 0,1$ m en de tweede decimaal van het type toplaag is gelijk aan 1 (met gietasfalt ingegoten), dan is de steenzetting goed ingegoten en geldt:

$$F_N = f_B \cdot f_S (6,4 + 0,15 \cdot (E_{VGD} - 1))$$

$$H_{s/\Delta D} = \frac{f_{\text{havendam}} H_s}{\Delta D C_{\text{bovenloop}}} \cdot C_{\text{berm}}$$

$$\xi_{op} = \frac{C_\beta \tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56 T_p^2}}}$$

$$f_{g/t} = \frac{F_N \xi_{op}^{-2/3}}{H_{s/\Delta D}}$$

met:

E_{VGD}	=	elasticiteitsmodulus van de toplaag, bepaald door middel van valgewicht-deflectiemetingen (Pa)
D	=	dikte van de toplaag (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 (-)
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:

$$\Delta = \max((\rho_s - \rho)/\rho ; 0,01)$$

$$H_{s/\Delta D} = \frac{f_{havendam} H_s}{\Delta D C_{bovenbeloop}} \cdot C_{berm}$$

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

$$- \quad \xi_{op} \leq 2: \quad f_{gt} = \frac{3,07 \cdot \xi_{op}^{-1}}{H_{s/\Delta D}}$$

$$- \quad \xi_{op} > 2: \quad f_{gt} = \frac{6,5 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,02 \cdot \xi_{op} + 1,09}{H_{s/\Delta D}}$$

Het toetsresultaat is:

- als $f_{gt} > 1$, dan goed
- anders: twijfelachtig

De overdikte wordt als volgt berekend:

$$D_{over} = D \frac{1 - \frac{1}{f_{g/t}}}{C_{bovenbeloop}} C_{berm} f_{havendam}$$

5.14 Black box voor overige type steenzettingen

Als het type steenzetting anders is dan type 3 of 6, dan kan de stabiliteit slechts bepaald worden met het Black box model. Daartoe wordt eerst het volgende berekend:

$$\Delta = \max((\rho_s - \rho)/\rho ; 0,01)$$

$$H_{s/\Delta D} = \frac{f_{havendam} H_s}{\Delta DC_{bovenbeloop}} \cdot C_{berm}$$

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

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.

5.14.1 Type 1: Toetsing van steenzetting op geotextiel op zand of klei

De onder- en bovengrens van het twijfelachtige gebied wordt als volgt berekend:

Onder:

$$\xi_{op} \leq 2,2: \quad H_{s/\Delta D, onder} = 4,31 \cdot \xi_{op}^{-0,926}$$

$$\xi_{op} > 2,2: \quad H_{s/\Delta D, onder} = 11 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,09 \cdot \xi_{op} + 1,38$$

Boven:

$$\xi_{op} \leq 2,2: \quad H_{s/\Delta D, boven} = 6,78 \cdot \xi_{op}^{-0,588}$$

$$\xi_{op} > 2,2: \quad H_{s/\Delta D, boven} = 17 \cdot \xi_{op}^{-2} + 1,84 \cdot \xi_{op} - 3,25$$

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 = twijfelachtig

Voor de overdikte geldt:

$$D_{over} = D \frac{1 - \frac{1}{f_{g/t}}}{C_{bovenbeloop}} C_{berm} f_{havendam}$$

5.14.2 Type 2: Toetsing van steenzetting op goede klei

De onder- en bovengrens van het twijfelachtige gebied wordt als volgt berekend:

Onder:

$$\begin{aligned}\xi_{op} \leq 2,4: & H_{s/\Delta D, onder} = 3,75 \cdot \xi_{op}^{-1} \\ \xi_{op} > 2,4: & H_{s/\Delta D, onder} = 8 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,02 \cdot \xi_{op} + 1,25\end{aligned}$$

Boven:

$$\begin{aligned}\xi_{op} \leq 2,1: & H_{s/\Delta D, boven} = 6,1 \cdot \xi_{op}^{-0,75} \\ \xi_{op} > 2,1: & H_{s/\Delta D, boven} = 11 \cdot \xi_{op}^{-2} + 0,98 \cdot \xi_{op} - 1,0\end{aligned}$$

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 = twijfelachtig

Voor de overdikte geldt:

$$D_{over} = D \frac{1 - \frac{1}{f_{g/t}}}{C_{bovenbeloop}} C_{berm} f_{havendam}$$

5.14.3 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:

$$\begin{aligned}\xi_{op} \leq 2,3: & H_{s/\Delta D, onder} = 5,19 \cdot \xi_{op}^{-0,82} \\ \xi_{op} > 2,3: & H_{s/\Delta D, onder} = 21 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,33 \cdot \xi_{op} + 1,18\end{aligned}$$

Boven:

$$\begin{aligned}\xi_{op} \leq 1,8: & H_{s/\Delta D, boven} = 8,1 \cdot \xi_{op}^{-0,47} \\ \xi_{op} > 1,8: & H_{s/\Delta D, boven} = 26 \cdot \xi_{op}^{-0,5} + 3,8 \cdot \xi_{op} - 20,03\end{aligned}$$

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 = twijfelachtig

Voor de overdikte geldt:

$$D_{over} = D \frac{1 - \frac{1}{f_{g/t}}}{C_{bovenbeloop}} C_{berm} f_{havendam} \quad (\text{aangepast})$$

5.14.4 Type 5: Toetsing van geschakelde blokken op goede klei

De onder- en bovengrens van het twijfelachtige gebied wordt als volgt berekend:

Onder:

$$\xi_{op} \leq 2,2: H_{s/\Delta D, onder} = 4,31 \cdot \xi_{op}^{-0,93}$$

$$\xi_{op} > 2,2: H_{s/\Delta D, onder} = 11 \cdot \xi_{op}^{-4} + 0,09 \cdot \xi_{op} + 1,38$$

Boven:

$$\xi_{op} \leq 2,2: H_{s/\Delta D, boven} = 6,78 \cdot \xi_{op}^{-0,59}$$

$$\xi_{op} > 2,2: H_{s/\Delta D, boven} = 17 \cdot \xi_{op}^{-2} + 1,84 \cdot \xi_{op} - 3,25$$

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 = twijfelachtig

Voor de overdikte geldt:

$$D_{over} = D \frac{1 - \frac{1}{f_{g/t}}}{C_{bovenbeloop}} C_{berm} f_{havendam}$$

5.14.5 Type 7: Noorse steen

De stabiliteit van Noorse steen wordt beoordeeld met de methode van Wouters e.a. (2006):

- Als $\xi_{op} \leq 2,9: H_{s/\Delta D, onder} = 4 \cdot \xi_{op}^{-0,9}$
- Als $\xi_{op} > 2,9: H_{s/\Delta D, onder} = 0,8 \cdot \xi_{op}^{0,6}$

Toetsresultaat:

- $f_{g/t} = H_{s/\Delta D, onder} / H_{s/\Delta D}$
- als $f_{g/t} > 1$, dan score = goed
- overige gevallen: score = twijfelachtig

Voor de overdikte geldt:

$$D_{over} = D \frac{1 - \frac{1}{f_{g/t}}}{C_{bovenloop}} C_{berm} f_{havendam}$$

5.14.6 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'. Anders wordt bij het toetsresultaat vermeld dat een 'grastoets nodig' is.

Steeds wordt bij de overdikte $D_{over} = -1$ vermeld.

5.15 Bepaling van het toetsresultaat

Hierbij wordt onder andere rekening gehouden met de wat afwijkende stabiliteit van basalt als dit type bekleding nog nooit eerder is belast geweest (Rudolph e.a. 2005).

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. 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:

$$h_c = h_{kr} - h$$

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.

Als $B_{kruin} < 1$ m of $\cot\alpha < 2,7$ (buitentalud) of $\xi_{op} < 1,5$ of $\xi_{op} > 3$ bij toetspeil: geavanceerde toetsing nodig.

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: 'kop van havendam: geavanceerd'.

6.1 Buitentalud van een havendam

Als de bekleding zich op het buitentalud bevindt, dan wordt eerst de volgende factor bepaald:

$$\frac{h_c}{H_s} \geq -1: f_{havendam} = 1$$

$$\frac{h_c}{H_s} < -1: f_{havendam} = 0,2 + 0,8 \cdot e^{1,4(0,8 + h_c/H_s)^3}$$

Hierdoor wordt er rekening mee gehouden dat een havendam met de kruin diep onder water niet zo zwaar belast wordt als een dijk.

Verder verloopt de toetsing gelijk aan die op dijken (zie hoofdstuk 5).

6.2 Kruin en binnentalud van een havendam

Als $h_c \geq z_{2\%}$ (kruin is hoger dan golfoplooppniveau bij toetspeil), dan is de kruin en het binnentalud 'goed' en is verder rekenen niet meer nodig. Anders wordt de toetsing uitgevoerd zoals beschreven in paragraaf 6.2.1 tot en met 6.2.4.

6.2.1 Niet-ingegoten steenzettingen van het type 3 of 6

Voor de toetsing van niet ingegoten steenzettingen op de kruin of het binnentalud (of binnenberm) van een havendam wordt een iteratieproces doorlopen waarbij stap voor stap de waterstand verlaagd wordt totdat het ongunstigste toetsresultaat is verkregen. Er wordt gestart bij het toetspeil en de waterstand wordt verlaagd met stapjes van 0,2 m. De iteratie eindigt als:

- tenminste één iteratieslag is doorlopen en bovendien de waterstand lager is dan h_{kr} of
- 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_{MHW_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 $Z_b < h_c - H_s/2$

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:

- g/t-grens bij $\Lambda = 0,4$ m:

$$\frac{h_c}{H_s} \geq -1: H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=0,4} = \min \left\{ 2,8 + 3,2 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 15 \right\}$$

$$\frac{h_c}{H_s} < -1: H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=0,4} = \min \left\{ \frac{2,8}{f_{havendam}} ; 15 \right\}$$

- t/o-grens bij $\Lambda = 0,4$ m:

$$\frac{h_c}{H_s} \geq -1: H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=0,4} = \min \left\{ 5 + 6 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 20 \right\}$$

$$\frac{h_c}{H_s} < -1: H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=0,4} = \min \left\{ \frac{5}{f_{havendam}} ; 20 \right\}$$

- g/t-grens bij $\Lambda = 1,0$ m voor de kruin en bovenbeloop-binnen (het binnentalud boven de eventuele binnenberm; niet de binnenberm):

$$\frac{h_c}{H_s} \geq -1: H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=1} = \min \left\{ 1,8 + 2,7 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 15 \right\}$$

$$\frac{h_c}{H_s} < -1: H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=1} = \min \left\{ \frac{1,8}{f_{havendam}} ; 15 \right\}$$

- t/o-grens bij $\Lambda = 1,0$ m voor de kruin en bovenloop-binnen (het binnentalud boven de eventuele binnenberm; niet de binnenberm):

$$\frac{h_c}{H_s} \geq -1: H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=1} = \min \left\{ 3,8 + 7 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 20 \right\}$$

$$\frac{h_c}{H_s} < -1: H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=1} = \min \left\{ \frac{3,8}{f_{havendam}} ; 20 \right\}$$

- g/t-grens bij $\Lambda = 1,0$ m voor de binnenberm en het onderbeloop-binnen (het talud onder de binnenberm):

$$H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=1} = \min \left\{ 3 + 4 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} \right)^3 ; 15 \right\}$$

- t/o-grens bij $\Lambda = 1,0$ m voor de binnenberm en het onderbeloop-binnen:

$$H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=1} = \min \left\{ 7 + 8 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} \right)^3 ; 20 \right\}$$

Met behulp van de aanwezige lek lengte wordt dan de g/t- en t/o-grens berekend:

$$H_{s/\Delta D;g/t} = H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=0,4} + (\Lambda - 0,4) \frac{H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=1} - H_{s/\Delta D;g/t;\Lambda=0,4}}{0,6} =$$

$$H_{s/\Delta D;t/o} = H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=0,4} + (\Lambda - 0,4) \frac{H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=1} - H_{s/\Delta D;t/o;\Lambda=0,4}}{0,6} =$$

$$H_{s/\Delta D} = \frac{H_s}{\Delta D}$$

$$f_{g/t} = H_{s/\Delta D;g/t} / H_{s/\Delta D}$$

$$f_{t/o} = H_{s/\Delta D;t/o} / H_{s/\Delta D}$$

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 $h_c/H_s \geq 0$ dan worden de oneffenheden gecontroleerd (met de $z_{2\%}$ bij toetspeil):

- De golfoploophoogte wordt globaal geschat op basis van de volgende formules met B_{berm} , d_B , L_{berm} en α_{oploop} uit paragraaf 4.10:

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha_{oploop}}{\sqrt{H_s / (1,56T_p^2)}}$$

$$x = 2H_s$$

$$\gamma_b = \max\{ \min\{ 1 - B_{\text{berm}}/L_{\text{berm}} \cdot (0,5 + 0,5 \cos(\pi d_B/x)) ; 1,0 \} ; 0,6 \}$$

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

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

- Voor de **kruin** geldt (B = breedte van de blokken (m)):

- als $d_r \leq 0,2B$:

$$0,9(z_{2\%} - h_c) < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D} \text{ en } f_{g/t} > 1: \text{ 'goed'}$$

$$\text{als } 0,9(z_{2\%} - h_c) \geq \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D} \text{ dan:}$$

- als $f_{v/o} > 1$: 'onvoldoende'

- als $f_{v/o} \leq 1$: 'twijfelachtig'

- als $d_r > 0,2B$:

$$0,9(z_{2\%} - h_c) < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B \left(2 - \frac{B}{5d_r} \right) - 0,5D} \text{ en } f_{g/t} > 1: \text{ 'goed'}$$

$$\text{als } 0,9(z_{2\%} - h_c) \geq \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B \left(2 - \frac{B}{5d_r} \right) - 0,5D} \text{ dan:}$$

- als $f_{v/o} > 1$: 'onvoldoende'

- als $f_{v/o} \leq 1$: 'twijfelachtig'

- Voor het **binnentalud** (bovenbeloop-binnen en onderbeloop-binnen) geldt:

- als $d_r \leq 0,2B$:

$$0,9z_{2\%} < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D} \text{ en } f_{g/t} > 1: \text{ 'goed'}$$

$$\text{als } 0,9z_{2\%} \geq \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{4,5d_r - 0,5D} \text{ dan:}$$

- als $f_{v/o} > 1$: ‘onvoldoende’
 - als $f_{v/o} \leq 1$: ‘twijfelachtig’
- als $d_r > 0,2B$:

$$0,9z_{2\%} < \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B\left(2 - \frac{B}{5d_r}\right) - 0,5D} \text{ en } f_{g/t} > 1: \text{ ‘goed’}$$

$$\text{als } 0,9z_{2\%} \geq \frac{2\Delta DB(\cos \alpha + 0,5 \sin \alpha)}{0,9B\left(2 - \frac{B}{5d_r}\right) - 0,5D} \text{ dan:}$$

- als $f_{v/o} > 1$: ‘onvoldoende’
- als $f_{v/o} \leq 1$: ‘twijfelachtig’

Als met het bovenstaande nog geen score is bereikt ($f_{g/t} \leq 1$ en kleine oneffenheden), dan wordt de stabiliteit van het binnentalud 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, waarbij gerekend wordt met de bekleding op een talud (dus paragraaf 5.5 wordt niet doorlopen en $C_{berm} = C_{bovenbeloop} = C_{onv} = 1$) met de bovenste overgangsconstructie op de waterlijn ($Z_b = h$) en de onderste overgangsconstructie op twee golfhoogtes daaronder ($Z_o = h - 2H_s$). Dat levert uiteindelijk het eindresultaat van deze iteratie op.

Als het toetsresultaat uit deze iteratieslag slechter is dan die uit de vorige iteratieslag, dan wordt dit nieuwe toetsresultaat bewaard. Anders blijft de score gelijk aan die van de vorige iteratieslag.

Voor de overdikte geldt:

- als $h_c/H_s \geq 0$: $D_{over} = \min \left\{ D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right); D - \frac{d_r}{0,11} \right\}$
- als $h_c/H_s < 0$: $D_{over} = D \left(1 - \frac{1}{f_{g/t}} \right)$

Als de overdikte uit deze iteratieslag kleiner is dan die uit de vorige iteratieslag, dan wordt dit nieuwe resultaat bewaard. Anders blijft de overdikte gelijk aan die van de vorige iteratieslag.

Voor de volgende iteratie wordt nu de waterstand met 20 centimeter verlaagd en worden de golfcondities bepaald (op vergelijkbare wijze als in paragraaf 4.9).

6.2.2 Ingegoten steenzettingen

De stabiliteit van ingegoten steenzettingen op een havendammen is nog niet onderzocht. In het project plan is aanbevolen op basis van 'engineering judgement' criteria af te leiden.

6.2.3 Niet-ingegoten steenzettingen zonder filter

De stabiliteit van niet-ingegoten steenzettingen zonder filter op havendammen is nog niet onderzocht. In het project plan is aanbevolen op basis van 'engineering judgement' criteria af te leiden.

6.2.4 Overige type steenzettingen

Voor de overige type steenzettingen op de kruin en het binnentalud van havendammen wordt direct doorverwezen naar de geavanceerde toetsing: score = 'geavanceerd'.

7 D: Toetsing van de overige bezwijkmechanismen

Tenslotte moet de bekleding nog getoetst worden op langsstroming, materiaaltransport en afschuiving, voorzover het steenzettingen betreft die onder de maatgevende waterstand liggen (als de steenzetting geheel en al boven de maatgevende waterstand ligt, is het toetsresultaat op deze aspecten goed). Als het toetsresultaat niet goed is, dan is ook de reststerkte relevant. Dit is onderstaand nader uitgewerkt (zie bijlage D).

7.1 Toetsing op langsstroming

Als een toetsing op langsstroming noodzakelijk is, dan wordt de toetsing als volgt uitgevoerd:

- Als de bekleding boven het toetspeil ligt, $Z_o \geq h_{\text{toets}}$: toetsresultaat = ‘nvt’
- als $u_s \leq \sqrt{(2,3 \cdot g \Delta D)}$: toetsresultaat = ‘goed’
- anders: twijfelachtig

7.2 Materiaaltransport vanuit de ondergrond

Voor het mechanisme ‘materiaaltransport vanuit de ondergrond’ wordt eerst een eenvoudige toetsing uitgevoerd, en als het resultaat dan twijfelachtig is, volgt er nog een gedetailleerde toetsing.

7.2.1 Eenvoudige toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond

Bij de beoordeling is het volgende geotextiel en het 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} .
- Als er twee geotextielen zijn, dan worden de waarden van de tweede gebruikt, anders de eerste.

Allereerst wordt er gekeken naar de ondergrens (Z_o) en de ervaring, afhankelijk van het deel van het talud:

- Als ervaring is ‘g’, dan score = ‘goed’ en als ervaring is ‘o’, dan score = ‘onvoldoende’
- Als $Z_o > h_{\text{toets}}$, dan score = ‘n.v.t.’
- Als type onderlaag is ‘as’ (zandasfalt of gebitumineerd zand), dan: score = ‘goed’
- Als type onderlaag is ‘vl’ EN ‘kl’, dan: score = ‘goed’
- Als type onderlaag ‘ge’:
 - als type onderlaag op het geotextiel is { ‘my’ of ‘gr’ of ‘pu’ of ‘sl’ of ‘st’ } EN

- { geen 'kl' } onder het geotextiel (filter op geotextiel op zand):
- als $O_{90} < D_{b90}$ dan: score = 'goed'
 - als $O_{90} > 2,5 \cdot D_{b90}$, dan: score = onvoldoende
 - anders: score = 'twijfelachtig'
- als type onderlaag op het geotextiel is { 'my' of 'gr' of 'pu' of 'sl' of 'st' } EN onder het geotextiel { 'kl' } zit (filter op geotextiel op klei):
- als $O_{90} < 10 \cdot D_{50k}$ EN $O_{90} < D_{90k}$ EN $O_{90} < 0,1$ mm dan: score = 'goed'
 - als $O_{90} > 10 \cdot D_{50k}$ OF $O_{90} > D_{90k}$ OF $O_{90} > 0,1$ mm, dan: score = 'twijfelachtig'
- als type onderlaag onder het geotextiel 'kl' is EN type onderlaag op het geotextiel is GEEN { 'my' of 'gr' of 'pu' of 'sl' of 'st' of 'kl' } (toplaag op geotextiel op klei):
- als $O_{90} < 10 \cdot D_{50k}$ EN $O_{90} < D_{90k}$ EN $O_{90} < 0,1$ mm dan: score = 'goed'
 - als $O_{90} > 10 \cdot D_{50k}$ OF $O_{90} > D_{90k}$ OF $O_{90} > 0,1$ mm, dan: score = 'onvoldoende'
- Als type onderlaag op het geotextiel is GEEN { 'my' of 'gr' of 'pu' of 'sl' of 'st' of 'kl' } EN onder het geotextiel { geen 'kl' } (toplaag op geotextiel op zand):
- als $O_{90} < D_{b50}$ (let op: Db50), dan: score = 'goed'
 - als $O_{90} > D_{b50}$ (let op: Db50), dan score = 'onvoldoende'
 - anders: score = 'geavanceerd'
- Als type onderlaag GEEN 'ge':
Als de steenzetting het type 2 heeft en de klei is niet van goede kwaliteit, dan is de score onvoldoende. Als de toplaag het steenzetting 2 heeft en de klei is van goede kwaliteit, dan 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 type onderlaag is 'my' (mijnsteen):
- als $D_{f15} < 0,038 \cdot D_{b50}^{0,333}$ dan: score = 'goed'
 - als $D_{f15} > 0,25 \cdot D_{b50}^{0,333}$ dan: score = 'onvoldoende'
 - 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'
 - als $D_{f15} > 0,13 \cdot D_{b50}^{0,333}$ dan: score = 'onvoldoende'
 - anders: score = 'twijfelachtig'
- alle andere gevallen: score = 'geavanceerd'

Als de score twijfelachtig is, wordt verdergegaan met de gedetailleerde toetsing (zie volgende paragraaf).

7.2.2 Gedetailleerde toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond

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 het golffront. Vervolgens wordt de toetsing uitgevoerd conform het Technisch Rapport Steenzettingen (blz. 93 e.v.).

7.3 Materiaaltransport vanuit de granulaire laag

Als de spleten (s) of openingen (G) in de toplaag te groot zijn, dan kan het filter door die openingen uitspoelen. Voor dit mechanisme is de bovenste filterlaag maatgevend. Verder wordt er niet gerekend met de rekenwaarde voor de toplaagdikte, maar met de ingevoerde waarde.

In onderstaande formules is s de grootste spleetbreedte ($s = \max(s_1 ; s_s)$), H_s de golfhoogte bij de waterstand die maatgevend is voor de toplaag, G de karakteristieke diameter van gaten in de toplaag tussen de stenen (m) en Ω het relatieve open oppervlak (%) (als het relatieve open oppervlak 10% is, moet hier 10 ingevuld worden).

Het wordt als volgt beoordeeld (volgorde is belangrijk):

- Als de bekleding boven het toetspeil ligt, $Z_o \geq h_{\text{toets}}$: score = 'nvt'
 - Als er geen filter is (géén: st of pu of sl of gr of my): score = 'n.v.t.'
 - Als er geen sprake is van goed gedrag: score = onvoldoende
 - Als er sprake is van goed gedrag: score = goed
 - Als $D_{50} \geq \max(s_1 ; s_s)$ of $D_{50} \geq G$: score = goed
 - Anders moet de erosiediepte berekend worden:
 - Als $G \geq 0,1$ m: $Y = 0,23 \cdot G \cdot (H_s/D_{50})^{0,33}$
 - Als $G < 0,1$ m: $Y = 0,04 \cdot G \cdot \Omega^{-0,75} \sqrt{(H_s/D_{50})}$
- Als $Y/D < 0,5$, dan score = goed
 Als $Y/D > 1,5$, dan score = onvoldoende
 Anders: geavanceerd

7.4 Toetsing op afschuiving

Hoewel er gewerkt wordt aan een nieuw black box model voor het toetsen op afschuiving, wordt voorlopig nog gewerkt met de methode uit het Technisch Rapport Steenzettingen.

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'.

Er wordt gerekend met de significante golfhoogte, H_s , bij de waterstand die maatgevend is voor de toplaag.

Als eerste wordt de waarde van de klei-overdikte, b_{kleio} , geïnitieerd: $b_{\text{kleio}} = -100$.

De toetsing op afschuiving geschiedt als volgt (volgorde is belangrijk):

- Gehele bekleding boven toetspeil? Als $Z_o > h_{\text{toets}}$, dan score = 'n.v.t.' en $b_{\text{kleio}} = 9$
- Als 'berm' of 'kleikern', dan score = goed en $b_{\text{kleio}} = 8$
- Als 'zandscheg' of '?', dan score = 'geavanceerd' en $b_{\text{kleio}} = -9$
- Als $H_s < b_{\text{klei}}$, dan score = goed
- Als: $\tan \alpha > 1/2,7$, dan score = 'geavanceerd' en $b_{\text{kleio}} = 100$
- Als $\Delta D + b_1 + b_2 + b_{\text{klei}} \geq H_s \cdot \min(1,5 ; 0,112 \cdot (1,56 T_p^2 \cdot \tan \alpha / H_s)^{0,8}) - 1334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan \alpha) \cdot D_{b15} \sqrt{T_p}$
 Dan score = goed.

- Anders: score = 'geavanceerd' en $b_{kleio} = 100$

Als $b_{kleio} < -90$ dan moet het dikte-overschot berekend worden:

$$b_{kleio} = \max(b_{klei} - H_s ; \Delta D + b_1 + b_2 + b_{klei} - (H_s \cdot \min(1,5 ; 0,112 \cdot (1,56 T_p^2 \cdot \tan \alpha / H_s)^{0,8}) - 1334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan \alpha) \cdot D_{b15} \sqrt{T_p}))$$

Als $b_{kleio} > 10$, dan wordt de cel, waarin het dikte-overschot wordt vermeld, blanco gelaten.

7.5 Reststerkte

Conform de toetsmethode van Klein Breteler (2002) mag de reststerkte van de toplaag, filter en kleilaag meegeteld worden in het toetsresultaat als de kruinhoogte, h_c , tenminste hoger is dan een halve golfhoogte boven de maatgevende waterstand ($h_c > H_s/2$). Dit is uiteraard bij dijken altijd het geval.

Als toetsmethode wordt hier gebruikgemaakt van de methode uit het Technisch Rapport Steenzettingen. Deze methode kan afwijken 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, anders wordt de volgende berekeningen uitgevoerd:

Reststerkte van het filter

De reststerkte van het filter (uitgedrukt in uren) wordt als volgt bepaald (wordt nog aangepast met de nieuwe formules van Klein Breteler, 2005b):

- $\xi_{op} = \frac{C_\beta \tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56 T_p^2}}}$
- Als $C_{berm} H_s / (\Delta DC_{bovenbeloop}) > 10 \xi_{op}^{-2/3}$ dan: $t_{rf} = 0$.
- Als $\{ \beta < 20^\circ \}$ EN $\{ b_1 + b_2 < 0,1 + 0,023 \cdot \sqrt{(1,56 T_p^2 \cdot H_s)} \}$ EN geen 'ge' dan: $t_{rf} = 0$.
- Als $\{ \beta > 20^\circ \}$ EN $\{ b_1 + b_2 < 0,1 + 0,038 \cdot \sqrt{(1,56 T_p^2 \cdot H_s)} \}$ EN geen 'ge' dan: $t_{rf} = 0$.
- Anders: $t_{rf} = 15,8 \cdot T_p \cdot \exp[-0,51 \cdot \sqrt{(1,56 T_p^2 \cdot H_s)}]$.

Reststerkte van de kleilaag

Allereerst wordt er gecontroleerd of de maatgevende golfhoogte niet te hoog is en of er een kleikern is:

- Als $H_s > 2$ m, dan $t_{rk} = 0$.
- Als $H_s \leq 2$ m EN er is een kleikern, dan $t_{rk} = 24$ uur.

		<i>beneden 1 m + GHW</i>				<i>boven 1 m + GHW</i>			
		$H_s=0,2$	$H_s=0,5$	$H_s=1,0$	$1,6 < H_s < 2$	$H_s=0,2$	$H_s=0,5$	$H_s=1,0$	$1,6 < H_s < 2$
weinig	$b_{\text{klei}} < 0,4 \text{ m}$	0	0	0	0	0	0	0	0
	$b_{\text{klei}} = 0,7 \text{ m}$	2	1,5	1,5	1	2	1,5	1,5	1
	$b_{\text{klei}} = 1,0 \text{ m}$	3,5	3	3	2	3,5	3	3	2
	$b_{\text{klei}} \geq 1,2 \text{ m}$	5	4,5	4,5	3	5	4,5	4,5	3
goed en matig	$b_{\text{klei}} < 0,4 \text{ m}$	0	0	0	0	0	0	0	0
	$b_{\text{klei}} = 0,7 \text{ m}$	4	3	2	1,5	3,5	2,5	1,5	1
	$b_{\text{klei}} = 1,0 \text{ m}$	7,5	6	4	3	6,5	5	3	2
	$b_{\text{klei}} \geq 1,2 \text{ m}$	11	9	6	4,5	9,5	7,5	4,5	3

Tabel, reststerkte van de kleilaag in uren

Als $H_s \leq 2 \text{ m}$ en er is geen kleikern, dan wordt de reststerkte bepaald uit een tabel, afhankelijk van de positie t.o.v. GHW:

- Als $Z_o > GHW + 1$, dan geldt ‘boven 1 m + GHW’.
- Anders: ‘beneden 1 m + GHW’.

Verder is de reststerkte afhankelijk van de kleikwaliteit:

- g of m (c1 of c2): goed of matig
- w of s (of c3): weinig

In de tabel wordt de reststerkte bepaald door middel van lineaire interpolatie.

Score met betrekking tot reststerkte

De score is afhankelijk van de belastingduur. Als de waarde van t_{belast} nog niet bepaald is (steenzettings van het type anders dan 3 of 6), dan moet dit alsnog gebeuren met paragraaf 5.7.

De score wordt bepaald door de belastingduur en de reststerkte:

- Als $t_{\text{belast}} \leq t_{\text{rf}} + t_{\text{rk}}$, dan is de score: ‘voldoende’.
- Als $t_{\text{rf}} + t_{\text{rk}} = 0$ of als stormduur niet is ingevuld, dan is de score: ‘onvoldoende’
- Anders: ‘geavanceerd’.

8 Referenties

Klein Breteler, M. e.a. (1991)

Taludbekledingen van gezette steen

Analytische en numerieke berekening van stijghoogte onder de toplaag

Sectie 3: Verificatie van de analytische methode voor het berekenen van het stijghoogteverschil met Deltagootmetingen

Appendix B: stijghoogte in het filter volgens analytische model

WL | Delft Hydraulics, verslag M1795/H195, deel XIX, augustus 1991

Klein Breteler, M. (2000)

Grootschalig modelonderzoek naar stabiliteit van taludbekledingen

Analyse van resultaten van Deltagootproeven, band A: tekst

WL | Delft Hydraulics, verslag H3272, mei 2000

Klein Breteler, M. (2002)

Eenvoudige toetsmethode voor havendammen

WL | Delft Hydraulics, verslag H4048, juli 2002

Klein Breteler, M. (2005a)

Documentatie Steentoets 4.05

WL | Delft Hydraulics, verslag H4423/H4134, november 2005

Klein Breteler, M., (2005b)

Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen

Reststerkte van steenzetting met zuilen naar initiële schade

WL | Delft Hydraulics, verslag H4327, november 2005

Klein Breteler, M., R. 't Hart en B. Wichman (2005c)

Rekenhart van ANAMOS

Specificaties van de software

RWS/DWW en WL | Delft Hydraulics, verslag, april 2005

Klein Breteler, M., en W. Eysink (2005d)

Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen

Langeduursterkte van steenzettingen

WL | Delft Hydraulics, verslag H4475, november 2005

Klein Breteler, M., C. Kuiper en A. Bezuijen (2006a)

Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen

Invloed scheve golfaanval op stabiliteit van steenzettingen

WL | Delft Hydraulics, verslag H4420, maart 2006

Klein Breteler, M., I. van de Werf en I. Wenneker (2006b)

Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen

Kwantificering golfbelasting en invloed lange golven

WL | Delft Hydraulics, conceptverslag H4421, juni 2006

Klein Breteler, M., en I. van de Werf (2006c)
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen
Toetscriterium voor ingegoten steenzettingen
WL | Delft Hydraulics, conceptverslag H4635, februari 2006

Klein Breteler, M., en I. van de Werf (2006d)
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen
Modellering belasting en reststerkte in ANAMOS+
WL | Delft Hydraulics, conceptverslag H4846, augustus 2006

Kuiper, C., M. Klein Breteler, L.N. Booster en W. Eysink (2006)
Stabiliteit van gezette steenbekledingen op havendammen
Afleiding van een verbeterde toetsmethode voor de toplaag
WL | Delft Hydraulics, verslag H4432, februari 2006

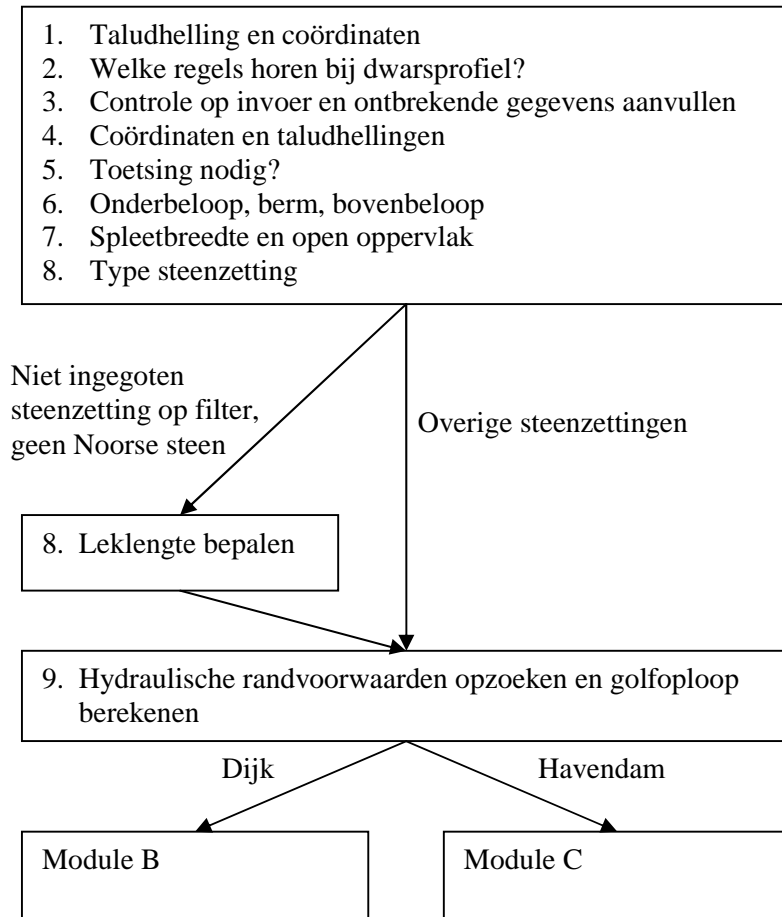
Peters, D.J. (2006)
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen
Structuurschema voor implementatie van klemming in ANAMOS
Hasko, conceptrapport, 1 mei 2006

Rudolph D. , M. Klein Breteler (2005)
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen
Analyse van de stabiliteit van basalt
WL | Delft Hydraulics, verslag H4422, februari 2005

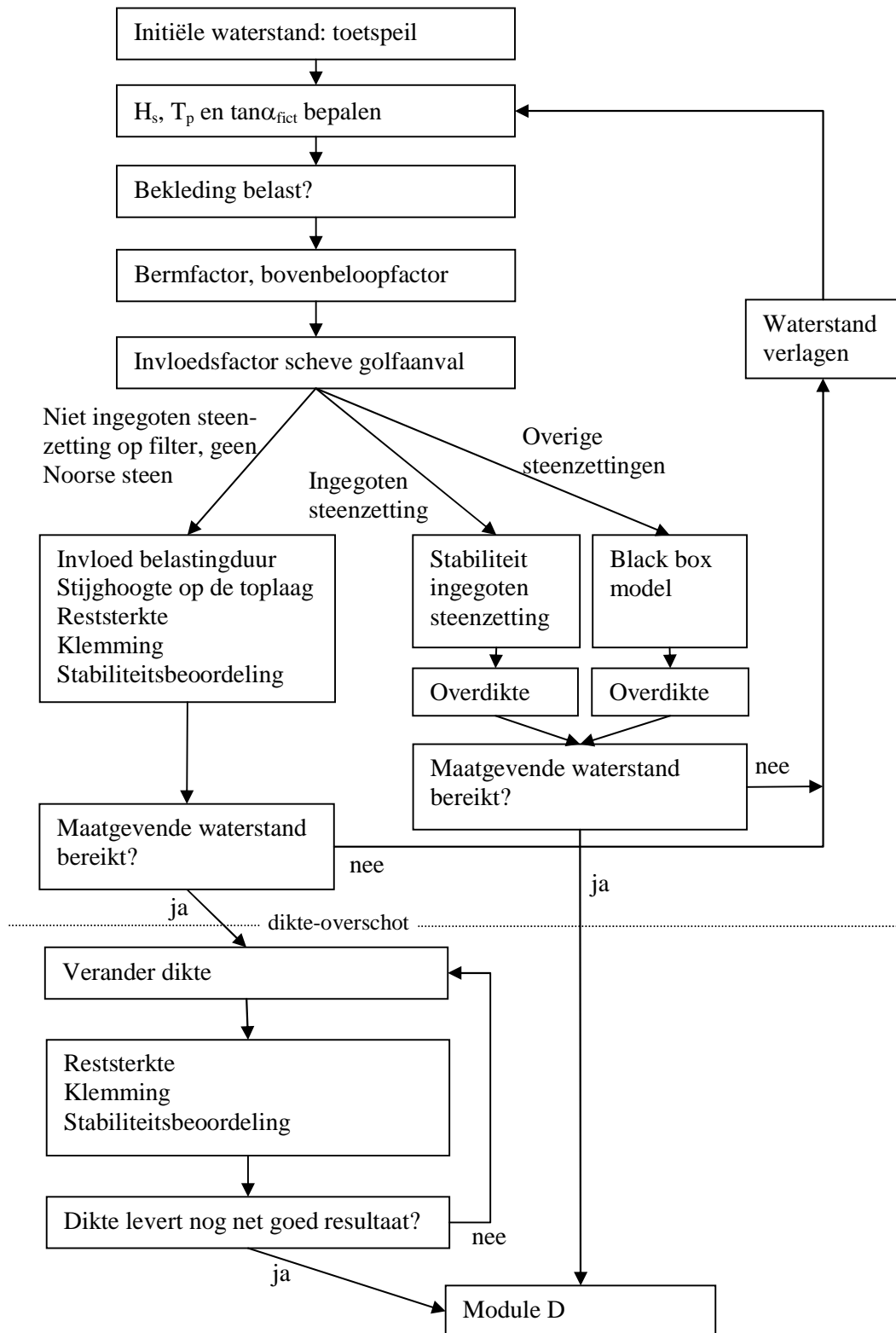
Technisch Rapport Steenzettingen
TAW, 2003

Wouters e.a. (2006)
Concept toetsmethodiek Noorse steen
Infram rapport 04i034, juni 2006

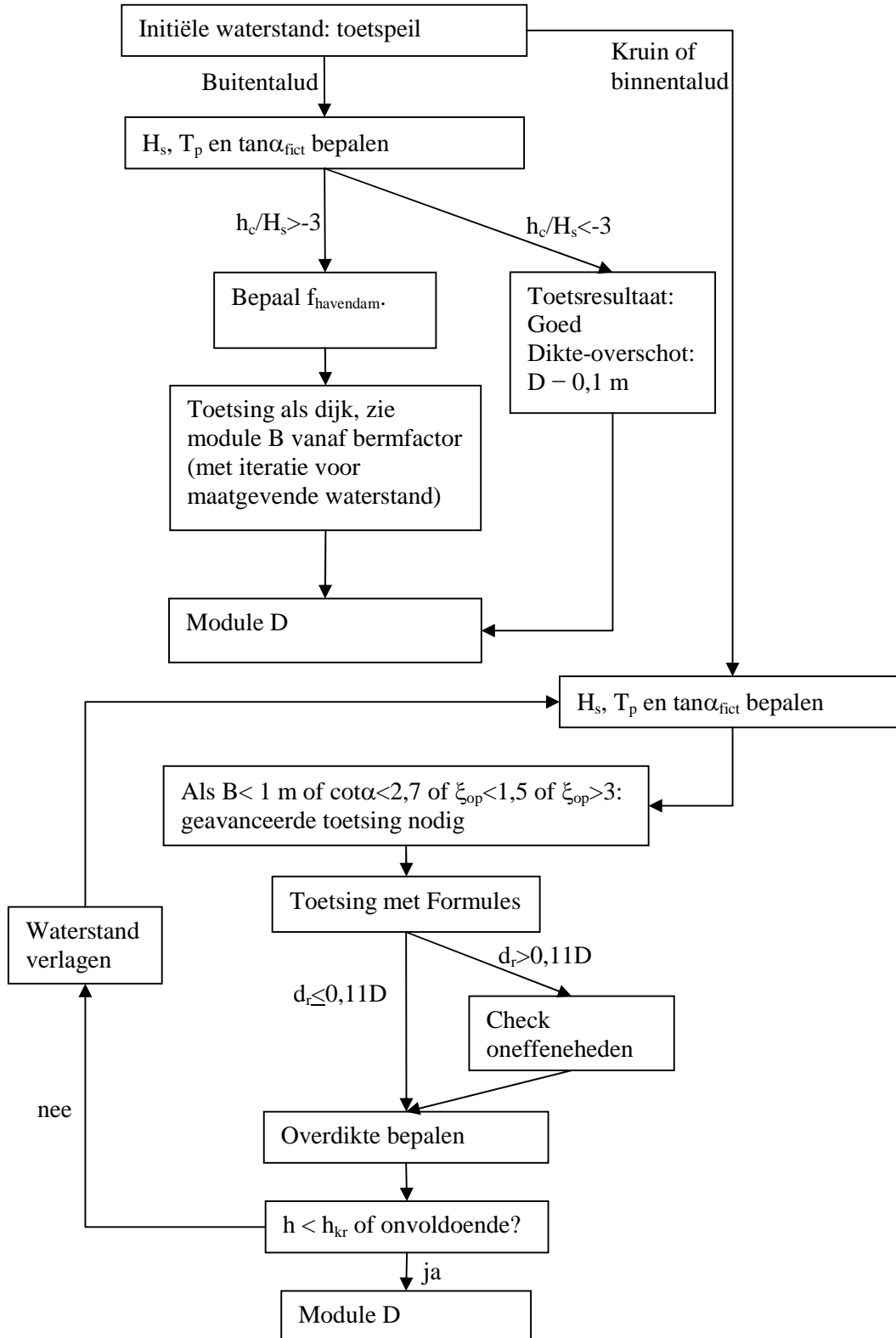
A Globaal stroomschema module A: algemeen



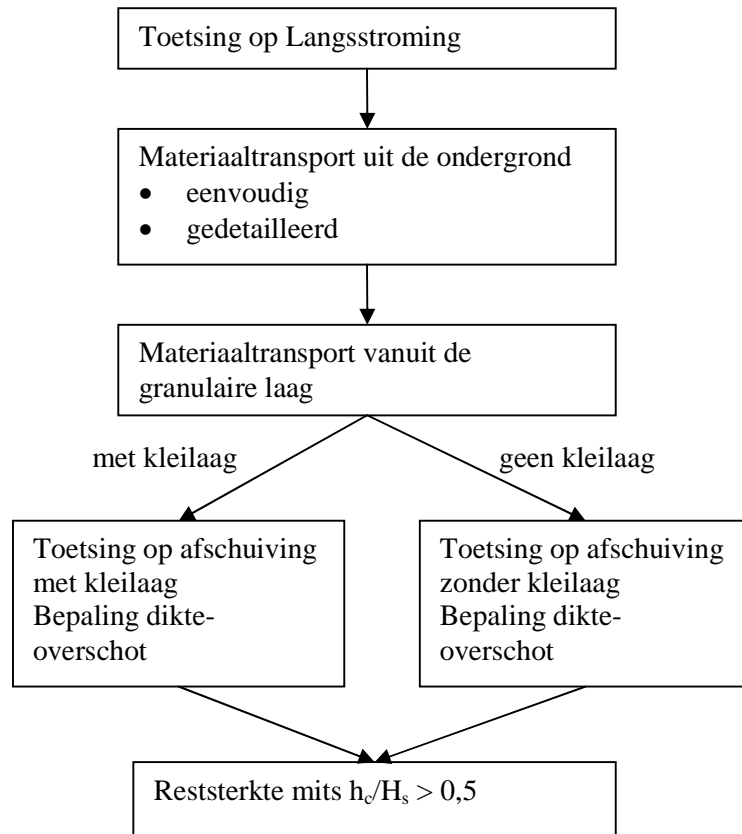
B Globaal stroomschema module B: dijken



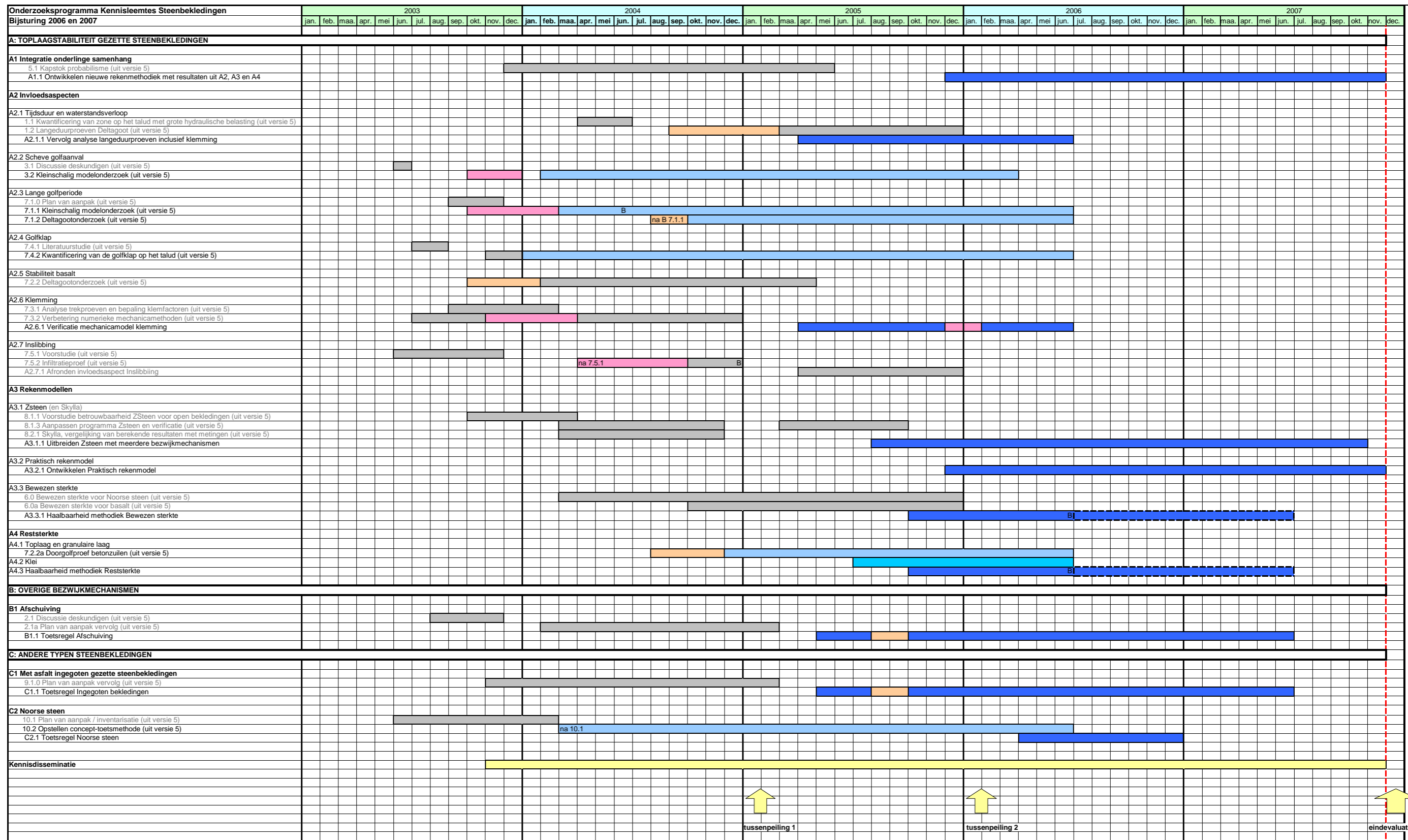
C Globaal stroomschema module C: havendammen



D Globaal stroomschema module D: overige bezwijkmechanismen



E Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen



Planningschema
Versie 7 - 5 januari 2006

DIT PLANNINGSCHEMA IS EEN MOMENTOPNAME
VERMELDE TERMIJNEN ZIJN INDICATIEF EN KUNNEN IN DE LOOP VAN
HET ONDERZOEK VERANDEREN OP BASIS VAN NIEUWE INZICHTEN EN
ONTWIKKELINGEN.

- LEGENDA:**
- █ = Vervolgacties conform bijsturing 2005
 - █ = Bureaustudie
 - █ = Informatie reststerkte Wieringermeerdijk
 - █ = Deltagootonderzoek
 - █ = Overige proeven
 - █ = Algemeen
 - █ = Afgerond
 - = Afhankelijk van B
 - B** = Beslismoment go / no go