

Invloedsfactor voor ruwheid van een getrapt talud bij golfoverslag bij dijken



Verslag fysieke modeltesten en analyse

Invloedsfactor voor ruwheid van een getrapt talud bij golfoverslag bij dijken

Verslag fysieke modeltesten en analyse

ir. P. van Steeg

1206984-000

Titel

Invloedsfactor voor ruwheid van een getrappt talud bij golfoverslag bij dijken

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	1206984-000	1206984-000-HYE-0006	30

Trefwoorden

Golfoverslagdebiet, invloedsfactor voor ruwheid

Samenvatting

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) onderzoekt momenteel de mogelijkheid om de Havendijk bij Den Oever te versterken. Deze dijk is onderdeel van de primaire waterkering in Dijkkringgebied Wieringen (Dijkring 12) en is onvoldoende hoog. Een van de mogelijkheden om de golfoploop te beperken wordt gezocht in de toepassing van een trapvormige taludbekleding. Over de invloedsfactor voor ruwheid die in de berekeningen met PC-Overslag aan deze bekleding moet worden toegekend, bestaat echter nog onzekerheid (HHNK, 2012). Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier heeft Deltares gevraagd om fysiek modelonderzoek uit te voeren om deze invloedsfactor voor ruwheid vast te stellen.

Het 2D fysieke model is uitgevoerd op een geometrische schaal van 1:10 in de Wester Scheldegoot van Deltares. Er zijn zeven verschillende testseries uitgevoerd. Variaties in de testen waren (waarden in prototype maten):

- Significante golfhoogte ($0,75 \text{ m} < H_{m0} < 1,55 \text{ m}$)
- Taludhelling ($\cot\alpha = \{2; 3\}$)
- Hoogte van de traprede ($h_{\text{trede}} = \{0,23 \text{ m}; 0,46 \text{ m}\}$)
- Type talud (glad; rechthoekige traptreden; aangepaste vorm traptreden)

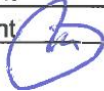
De metingen die zijn uitgevoerd zijn de golfcondities en het overslagdebiet. Op basis van de metingen is er een analyse uitgevoerd. De voorgestelde invloedsfactor voor ruwheid is:

$\gamma_f = 0,6 - 0,7$ bij een talud met een trap met een tredehoogte van 0,46 m

$\gamma_f = 0,8 - 0,9$ bij een talud met een trap met een tredehoogte van 0,23 m

De voorgestelde waarden mogen alleen worden toegepast indien de volgende condities in acht genomen te worden:

		$T_{m-1,0} \approx$	5 s
0,75 m	$\leq$	$H_{m0} \leq$	1,5 m
2	$\leq$	$\cot\alpha \leq$	3

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
v1 concept	aug 2012	ir. P. van Steeg		Dr. G. Wolters		Dr. ir. M.R.A. van Gent	
v2 definitief	aug 2012	ir. P. van Steeg		Dr. G. Wolters		Dr. ir. M.R.A. van Gent	

Referenties

Opdrachtverlening Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, registratienummer: 12.30980, onderwerp: 'Offerte schaalmodelonderzoek Den Oever', contactpersoon: E. Meisner, datum 18 juli 2012

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Opzet van het model	3
2.1 Faciliteit	3
2.2 Schaling	3
2.3 Opbouw constructie	3
2.4 Meetmethode	6
2.4.1 Golfhoogtemetingen	6
2.4.2 Golfoverslagmetingen	7
2.5 Proevenprogramma	7
3 Meetresultaten en analyse	9
3.1 Resultaten	9
3.2 Analyse model- en schaaleffecten	10
3.2.1 Schaaleffecten	10
3.2.2 Modeleffecten	11
3.3 Analyse testresultaten	12
3.3.1 Vergelijking meting van het gladde talud met de methode TAW (2002)	12
3.3.2 Bepaling invloedsfactor voor ruwheid γ_f	16
3.4 Toe te passen invloedsfactor voor ruwheid	18
3.4.1 Invloedsfactor voor ruwheid van een trap met een tredehoogte van 0,46 m	18
3.4.2 Invloedsfactor voor ruwheid van een trap met een tredehoogte van 0,23 m	20
4 Conclusies	23
5 Literatuur	25
 Bijlage(n)	
A Bepaling onzekerheidsfactor voor proefduur	A-1
A.1 Introduction	A-1
A.2 Overtopping volumes per wave	A-1
A.3 Wave overtopping discharge	A-1

1 Inleiding

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) onderzoekt momenteel de mogelijkheid om de Havendijk bij Den Oever te versterken. Deze dijk is onderdeel van de primaire waterkering in Dijkkringgebied Wieringen (Dijkkring 12) en is onvoldoende hoog. Een van de mogelijkheden om de golfoploop te beperken wordt gezocht in de toepassing van een trapvormige taludbekleding. Over de invloedsfactor voor ruwheid die in de berekeningen met PC-Overslag aan deze bekleding moet worden toegekend, bestaat echter nog onzekerheid (HHNK, 2012).

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier heeft Deltares gevraagd om fysiek modelonderzoek uit te voeren om deze invloedsfactor voor ruwheid vast te stellen. Dit rapport is een verslag van dit onderzoek.

Het onderzoek werd in juli 2012 uitgevoerd door ir. P. van Steeg van Deltares die tevens auteur is van het onderhavige rapport. De kwaliteitsborging is uitgevoerd door dr. G. Wolters. Namens de opdrachtgever heeft ir. J. Wouters van Infram verschillende fysieke proeven bijgewoond.

2 Opzet van het model

2.1 Faciliteit

Het model is in de Wester Scheldegoot van Deltares ingebouwd met een geometrische schaal van 1:10. De Wester Scheldegoot heeft een lengte van 55 m, een breedte van 1,00 m en een hoogte van 1,25 m. De goot is voorzien van een golfschot waarmee zowel regelmatige als onregelmatige golven kunnen worden opgewekt. Tevens is het golfschot voorzien van een systeem dat gereflecteerde golven compenseert zodat deze niet opnieuw in de richting van de constructie reflecteren. Tevens is gebruik gemaakt van 2^e orde sturing ter compensatie van ongewenste stoorgolven.

Alle vermelde waarden in dit rapport zijn de waarden behorende bij het prototype, tenzij anders is aangegeven.

2.2 Schaling

Over het algemeen wordt voor het schalen van waterbouwkundige constructies onder golfbelasting de zogenaamde Froude schaling toegepast. Deze schaling geldt voor processen waarin traagheid en zwaartekracht een dominante rol spelen. Dit is tevens het geval in dit model. De schaling schrijft voor dat het Froude getal hetzelfde is in het model en in de werkelijkheid. Het Froude getal wordt als volgt berekend:

$$Fr^2 = \frac{u^2}{gL} \quad (2.1)$$

Met:

Fr	=	Froude getal (-)
u	=	snelheid (m/s)
g	=	zwaartekrachtsversnelling (m/s ²)
L	=	lengte (m)

In deze paragraaf wordt de schaling verder uitgewerkt voor het geval dat de lengteschaal ($n_L = L_{\text{prototype}}/L_{\text{model}}$) in dit model gelijk is aan 10. Uit de bovenstaande schaalregel zijn dan de volgende verbanden te leggen:

- Tijdschaal: $n_t = \sqrt{n_L}$ in dit geval dus $\sqrt{10} \approx 3,2$
- Golfhoogte: $n_t = n_L$ in dit geval dus 10

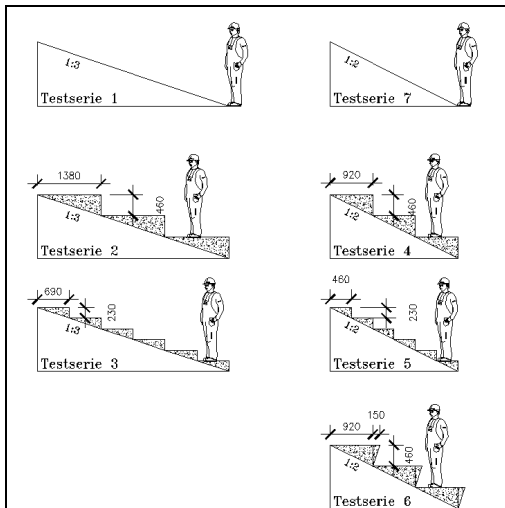
De Froude schaling is gebruikt om de hydraulische randvoorwaarden in het model te bepalen.

2.3 Opbouw constructie

Er zijn zeven verschillende constructies getest. Een overzicht is gegeven in Figuur 2.1. Bij iedere modelopstelling is gebruikt gemaakt van een scheidende wand (zie Foto 2.1). Deze scheidende wand is vanaf de teen van de constructie tot aan de kruin van de constructie geplaatst. De scheidende wand stond in het midden van de golfgoot en evenwijdig aan de as van de golfgoot zodat de goot in twee verschillende testsecties met een breedte van 0,49 m is verdeeld. Op deze manier konden verschillende proeven simultaan worden uitgevoerd. Dit kan alleen worden toegepast indien het verschil in de reflectiecoëfficiënt van beide constructies niet al te groot wordt verondersteld.

Achter iedere constructie is een opvangbak geplaatst. Het water dat over de kruin van de constructie sloeg werd in deze opvangbakken verzameld.

Het onderste gedeelte van de constructie is opgebouwd uit cement, het bovenste gedeelte is opgebouwd uit hout. Op deze manier kon de hoogte van de kruin tijdens het proeven-programma enkele malen relatief eenvoudig worden aangepast.



Figuur 2.1 Overzicht verschillende typen van geometrische variaties die zijn getest (maten in prototype en mm, slechts een gedeelte van het talud is weergegeven)

Testserie 1 bestond uit een glad 1:3 talud zoals is weergegeven in Foto 2.1. De teen van de constructie lag op 34,4 m (modelwaarde) van het golfschot. Testserie 1 bestond uit drie testen met verschillende hydraulische condities, zie Tabel 2.1. Het doel van Testserie 1 was om de situatie met traptreden (Testserie 2 en Testserie 3) te kunnen vergelijken met een glad talud (Testserie 1). Tijdens Testserie 1 is aan een zijde de golfoverslag gemeten, de andere zijde wordt gezien als een dummysectie.



Foto 2.1 Impressie van Testserie 1 (glad 1:3 talud)



Testserie 2 en Testserie 3 zijn simultaan getest en bestonden beiden uit een getrap 1:3 talud. De traptreden zijn aangebracht vanaf de kruin tot aan de bodem van de goot. De traptreden van Testserie 2 hadden een hoogte van 0,46 m en een breedte van 1,38 m. De traptreden bij Testserie 3 hadden een hoogte van 0,23 m en een breedte van 0,69 m, zie Figuur 2.1. Testserie 2 en Testserie 3 bestonden uit drie testen met verschillende hydraulische condities. Een indruk van Testserie 2 en Testserie 3 is weergegeven in Foto 2.2.

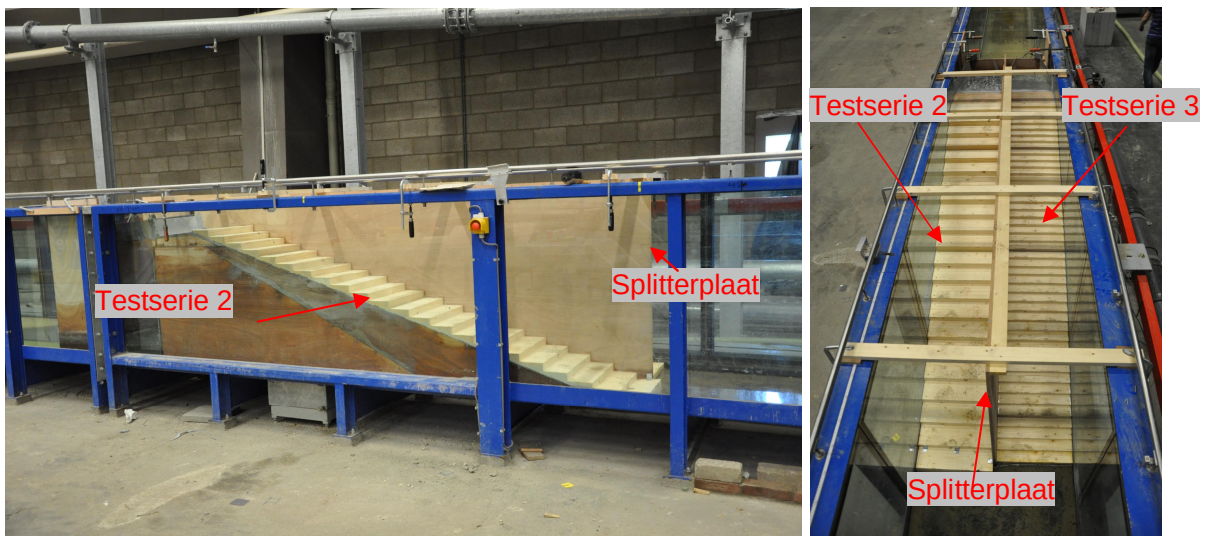


Foto 2.2 Impressie van Testserie 2 en Testserie 3 (getrapt 1:3 talud)

Testserie 4 en Testserie 5 zijn simultaan getest en bestonden beiden uit een getrapt 1:2 talud. De teen van de constructie lag op 35,5 m (modelwaarde) van het golfschot. De traptreden zijn aangebracht vanaf de kruin tot aan de bodem van de goot. De traptreden van Testserie 4 hadden een hoogte van 0,46 m en een breedte van 0,92 m. De traptreden van Testserie 5 hadden een hoogte van 0,23 m en een breedte van 0,46 m. Testserie 4 en Testserie 5 bestonden uit drie testen met verschillende hydraulische condities.



Foto 2.3 Impressie van Testserie 4 en Testserie 5 (getrapt 1:2 talud)

Testserie 6 bestond een getrapt 1:2 talud. De teen van de constructie lag op 35,5 m (modelwaarde) van het golfschot. De traptreden zijn aangebracht vanaf de kruin tot aan de bodem van de goot. De traptreden van Testserie 6 waren gelijk aan de traptreden van Testserie 4. Echter, aan de voorzijde van de traptreden is een driehoekige vorm aangebracht. De hoogte van deze driehoek was gelijk aan de hoogte van de traptreden. De basis van de driehoek was 0,15 m, zie Figuur 2.1. Testserie 6 bestond uit drie testen met verschillende hydraulische condities. De golfsturing van Testserie 6 was gelijk aan de golfsturing van Testserie 4 en Testserie 5.



Foto 2.4 Impressie van Testserie 6

Testserie 7 bestond uit een glad 1:2 talud zoals is weergegeven in Foto 2.5. De teen van de constructie lag op 35,5 m (modelwaarde) van het golfschot. Testserie 7 bestond uit drie testen met verschillende hydraulische condities. Het doel van Testserie 7 is om de situatie met traptreden (Testserie 4, Testserie 5 en Testserie 6) te kunnen vergelijken met een glad talud (Testserie 7). Tijdens Testserie 7 is aan een zijde de golfoverslag gemeten, de andere zijde wordt gezien als een dummysectie.

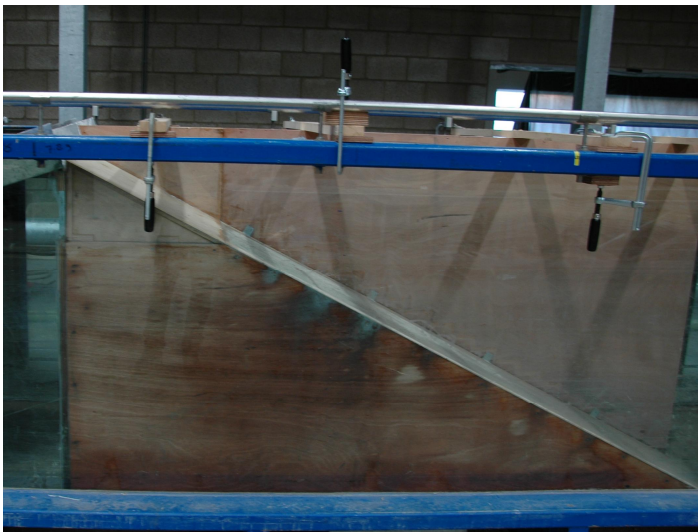


Foto 2.5 Impressie van Testserie 7

2.4 Meetmethode

2.4.1 Golfhoogtemetingen

De golven zijn gemeten met drie golfhoogtemeters. Deze golfhoogtemeters (weerstandstype) bestaan uit twee parallel aan elkaar, vertikaal gespannen staven, waarvan de onderlinge weerstand verandert met de oppervlakte uitwijking van de waterspiegel. De golfhoogtemeters hingen op 28,49 m, 29,23 m en 29,50 m van het golfschot. De meest landwaartse golfhoogtemeter hing dus op een afstand van 6,0 m (modelwaarde) van het 1:2 talud en op een afstand van 4,9 m (modelwaarde) van het 1:3 talud.

Door het toepassen van drie golfhoogtemeters op bepaalde afstanden van elkaar kan de inkomende golf worden bepaald met de methode van Mansard en Funke (1980). Dit gebeurt met het standaard Deltares software pakket: Auke- PC. Deze uitwerking geeft vervolgens aan welke golfcondities tijdens de proef zijn bereikt.

2.4.2 Golfoverslagmetingen

Het gemiddelde overslagdebiet is bepaald door de hoeveelheid water dat over de kruin heen slaat in de bak op te vangen en te meten. Het meten gebeurt met behulp van een golfhoogtemeter (beschreven in Paragraaf 2.4.1). Aangezien de golfgoot met behulp van een scheidende wand in twee delen is gesplitst (zie Paragraaf 2.3), zijn er twee opvangbakken in de goot geplaatst.

2.5 Proevenprogramma

De gewenste vrije kruinhoogte boven de stilwaterlijn is voorafgaande aan de proeven bepaald met behulp van de TAW (2002) methodiek. In eerste instantie is hierbij uitgegaan van een gewenst gemiddeld golfoverslagdebiet van $q = 1$ l/s/m en een veronderstelde invloedsfactor voor ruwheid van $\gamma_f = 1,0$ en $\gamma_f = 0,7$ voor respectievelijk een glad talud en een getrappt talud. Na uitvoer van Testserie 2 en Testserie 3, is, gezien de gemeten overslagdebieten bij deze testseries, besloten om bij Testserie 4, Testserie 5 en Testserie 6 uit te gaan van een gewenst gemiddeld overslagdebiet van $q = 1$ l/s/m en een veronderstelde invloedsfactor voor ruwheid van $\gamma_f = 0,6$. De vrije kruinhoogte in het model is per test aangepast door middel van het aanpassen van de constructie zelf of door middel van het aanpassen van de waterstand. Dit is toelaatbaar aangezien de diepte ten opzichte van de golfhoogte altijd relatief groot is (diepte / H_{m0} is altijd groter dan 4,5) zodat er geen sprake is van significante beïnvloeding van de golfkarakteristieken als gevolg van de waterdiepte.

De hydraulische belasting tijdens iedere test bestond uit een golfveld van circa 1000 inkomende golven. Het gekozen spectrum was een JONSWAP spectrum. Voor Test 1.1, Test 2.1, Test 3.1, Test 4.1, Test 5.1, Test 6.1 en Test 7.1 is dezelfde sturing gebruikt (gelijke testduur, gelijke waterdiepte, gelijke significant golfhoogte H_{m0} en gelijke piekperiode T_p) om zo goed mogelijk vergelijkbare testen te maken. Dit was voor de overige testen niet gedaan omdat dan bij iedere test de waterstand gelijk diende te blijven. Dit had als consequentie dat voor iedere test de kruin van de dijk verhoogd of verlaagd diende te worden. In de overige testen is de relatieve kruinhoogte verhoogd of verlaagd door middel van het aanpassen van de waterstand. In Tabel 2.1 en Tabel 2.2 zijn de gerealiseerde condities weergegeven:

Tabel 2.1 Uitgevoerd proevenprogramma met een 1:3 talud (prototype waarden, gerealiseerd)

Test	Constructie			Hydraulische parameters					
	talud	$\cot\alpha$ (-)	h_k (m)	H_{m0} (m)	T_p (s)	$T_{m-1,0}$ (s)	h (m)	N (-)	$\xi_{m-1,0}$ (-)
1.1	glad	3	3.80	1.55	5.5	5.2	7.20	1045	1.7
1.2	glad	3	2.86	1.18	5.6	5.1	8.14	1071	2.0
1.3	glad	3	1.73	0.75	5.6	5.1	9.27	1041	2.5
2.1	trap $h=0,46$ m	3	2.60	1.55	5.5	5.2	7.20	1044	1.7
2.2	trap $h=0,46$ m	3	2.00	1.17	5.5	5.1	7.80	1063	2.0
2.3	trap $h=0,46$ m	3	1.30	0.77	5.6	5.1	8.50	1064	2.4
3.1	trap $h=0,23$ m	3	2.60	1.55	5.5	5.2	7.20	1044	1.7
3.2	trap $h=0,23$ m	3	2.00	1.17	5.5	5.1	7.80	1063	2.0
3.3	trap $h=0,23$ m	3	1.30	0.77	5.6	5.1	8.50	1064	2.4

Tabel 2.2 Uitgevoerd proevenprogramma met een 1:2 talud (prototype waarden, gerealiseerd)

Test	Constructie			Hydraulische parameters					
	talud	cota (-)	h_k (m)	H_{m0} (m)	T_p (s)	$T_{m-1,0}$ (s)	h (m)	N (-)	$\xi_{m-1,0}$ (-)
4.1	trap h=0,46 m	2	2.60	1.54	5.5	5.2	7.20	1050	2.6
4.2	trap h=0,46 m	2	1.89	1.17	5.5	5.1	7.91	1053	2.9
4.3	trap h=0,46 m	2	1.20	0.75	5.5	5.1	8.60	1055	3.7
5.1	trap h=0,23 m	2	2.60	1.54	5.5	5.2	7.20	1050	2.6
5.2	trap h=0,23 m	2	1.89	1.17	5.5	5.1	7.91	1053	2.9
5.3	trap h=0,23 m	2	1.20	0.75	5.5	5.1	8.60	1055	3.7
6.1	trap h=0,46 m aangepast	2	2.60	1.52	5.5	5.2	7.20	1046	2.7
6.2	trap h=0,46 m aangepast	2	1.89	1.15	5.5	5.1	7.91	1067	3.0
6.3	trap h=0,46 m aangepast	2	1.20	0.76	5.5	5.1	8.60	1054	3.7
7.1	glad	2	4.00	1.54	5.5	5.3	7.20	1057	2.7
7.2	glad	2	2.88	1.16	5.5	5.2	8.32	1057	3.0
7.3	glad	2	1.73	0.74	5.5	5.1	9.47	1056	3.7

Hierbij zijn de volgende parameters gebruikt:

h	=	diepte aan de teen van de dijk	[m]
h_k	=	vrije kruinhoogte boven de stilwaterlijn	[m]
H_{m0}	=	golfhoogte: $H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$	[m]
m_0	=	nulde moment van het spectrum	[m ²]
m_{-1}	=	eerste negatieve moment van het spectrum	[m ² s]
$S_{m-1,0}$	=	golfsteilheid: $S_{m-1,0} = \frac{2\pi H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}$	[-]
T_p	=	golf piekperiode	[s]
$T_{m-1,0}$	=	spectrale golfperiode	[s]
α	=	hoek van het talud	[-]

De golfperiode $T_{m-1,0}$ is de meest geschikte golfperiode om processen zoals golfoploop, golfoverslag, golfreflectie, de stabiliteit van stortstenen taluds en duinafslag te beschrijven (zie o.a. Van Gent, 1999, 2001). Dit is met name belangrijk voor situaties waarbij het golfspectrum afwijkt van een standaard vorm zoals een standaard JONSWAP spectrum.

3 Meetresultaten en analyse

3.1 Resultaten

De meetresultaten zijn weergegeven in Tabel 3.1 en Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Testresultaten voor 1:3 talud

Test	Constructie			Hydraulische parameters							Overslag q (l/s/m)
	talud	cota (-)	h _k (m)	H _{m0} (m)	T _p (s)	T _{m-1,0} (s)	h (m)	N (-)	ξ _{m-1,0} (-)	h _k /z _{2%} (-)	
1.1	glad	3	3.80	1.55	5.5	5.2	7.20	1045	1.7	0.90	0.85
1.2	glad	3	2.86	1.18	5.6	5.1	8.14	1071	2.0	0.86	1.68
1.3	glad	3	1.73	0.75	5.6	5.1	9.27	1041	2.5	0.76	2.86
2.1	trap h=0,46 m	3	2.60	1.55	5.5	5.2	7.20	1044	1.7	1.17	0.11
2.2	trap h=0,46 m	3	2.00	1.17	5.5	5.1	7.80	1063	2.0	1.26	0.07
2.3	trap h=0,46 m	3	1.30	0.77	5.6	5.1	8.50	1064	2.4	1.39	0.07
3.1	trap h=0,23 m	3	2.60	1.55	5.5	5.2	7.20	1044	1.7	1.05	0.25
3.2	trap h=0,23 m	3	2.00	1.17	5.5	5.1	7.80	1063	2.0	1.02	0.40
3.3	trap h=0,23 m	3	1.30	0.77	5.6	5.1	8.50	1064	2.4	1.19	0.21

Tabel 3.2 Testresultaten voor 1:2 talud

Test	Constructie			Hydraulische parameters							Overslag q (l/s/m)
	talud	cota (-)	h _k (m)	H _{m0} (m)	T _p (s)	T _{m-1,0} (s)	h (m)	N (-)	ξ _{m-1,0} (-)	h _k /z _{2%} (-)	
4.1	trap h=0,46 m	2	2.60	1.54	5.5	5.2	7.20	1050	2.6	0.88	1.25
4.2	trap h=0,46 m	2	1.89	1.17	5.5	5.1	7.91	1053	2.9	0.84	1.09
4.3	trap h=0,46 m	2	1.20	0.75	5.5	5.1	8.60	1055	3.7	0.83	0.45
5.1	trap h=0,23 m	2	2.60	1.54	5.5	5.2	7.20	1050	2.6	0.72	4.20
5.2	trap h=0,23 m	2	1.89	1.17	5.5	5.1	7.91	1053	2.9	0.71	4.34
5.3	trap h=0,23 m	2	1.20	0.75	5.5	5.1	8.60	1055	3.7	0.64	3.15
6.1	trap h=0,46 m aangepast	2	2.60	1.52	5.5	5.2	7.20	1046	2.7	0.91	0.90
6.2	trap h=0,46 m aangepast	2	1.89	1.15	5.5	5.1	7.91	1067	3.0	0.85	0.89
6.3	trap h=0,46 m aangepast	2	1.20	0.76	5.5	5.1	8.60	1054	3.7	0.89	0.28
7.1	glad	2	4.00	1.54	5.5	5.3	7.20	1057	2.7	0.87	3.52
7.2	glad	2	2.88	1.16	5.5	5.2	8.32	1057	3.0	0.82	3.92
7.3	glad	2	1.73	0.74	5.5	5.1	9.47	1056	3.7	0.72	2.28

Waarbij

g	=	versnelling als gevolg van de zwaartekracht	[m/s ²]
h	=	diepte aan de teen van de dijk	[m]
h_k	=	vrije kruinhoogte boven de stilwaterlijn	[m]
H_{m0}	=	golfhoogte: $H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$	[m]
m_0	=	nulde moment van het spectrum	[m ²]
m_{-1}	=	eerste negatieve moment van het spectrum	[m ² s]
N	=	aantal golven	[-]
q	=	gemeten gemiddeld overslagdebiet	[l/s/m]
$S_{m-1,0}$	=	golfsteilheid: $s_{m-1,0} = \frac{2\pi H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}$	[-]
T_p	=	golf piekperiode	[s]
$T_{m-1,0}$	=	spectrale golfperiode	[s]
α	=	hoek van het talud	[-]

3.2 Analyse model- en schaafeffecten

Er zijn verschillende model en schaafeffecten mogelijk. Deze zullen hieronder worden behandeld.

3.2.1 Schaafeffecten

Een mogelijk schaafeffect is de ruwheid van het gladde talud, aangezien het geschaalde model geen perfect glad talud is. Indien dit het geval zou zijn, dan zou er bij het gladde talud een lager overslagdebiet zijn gemeten dan dat bij een perfect glad talud zou optreden. Aangezien de resultaten van de testen met het gladde talud worden gebruikt als referentiemateriaal voor de testen met de getrapte taluds, zou dit leiden tot een conservatief (en dus veilig) resultaat met betrekking tot het bepalen van de invloedsfactor voor ruwheid van een getrapte talud γ_f (de bepaalde waarde van γ_f is dus een bovengrens, de werkelijke waarde is hieraan gelijk of lager). De invloed hiervan wordt echter marginaal geacht.

Een ander mogelijk schaafeffect kan optreden tijdens de testen met het getrapte talud. Bij de testen wordt voldaan aan de schaalregels met betrekking tot golven (Froude schaling zoals beschreven in Paragraaf 2.2). Er is echter niet veel bekend over een correcte schaling bij brekende golven op een talud met ruwheidselementen. Hoewel er het vermoeden bestaat dat er bij een schaal van 1:10, zoals bij dit project, weinig schaafeffecten te verwachten zijn (het is niet ongebruikelijk om fysiek modelonderzoek naar golfoverslag uit te voeren op een schaal van 1:50), kan dit niet voldoende worden onderbouwd. Om deze reden worden er twee methodieken beschouwd om te corrigeren voor de schaafeffecten. Deze worden hieronder behandeld.

Correctiefactor volgens CLASH

In EurOtop (2007) is een correctiefactor voor model- en schaafeffecten gesuggereerd. Dit is gebaseerd op onderzoek dat is uitgevoerd in het CLASH project. De methodiek om deze correctiefactor te bepalen is toegelicht in EurOtop (2007). Het is opvallend dat de schaal zelf geen invoerparameter is voor deze methodiek. Tevens wordt aangegeven dat de methodiek gebaseerd is op een beperkte dataset en dat de methode beschouwd dient te worden als een eerste aanzet. De correctiefactor voor model en schaafeffecten op basis van deze methode is voor iedere test bepaald en weergegeven in Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Correctiefactor voor model- en schaafeffecten op basis van de CLASH methode

Test	$f_{q,CLASH}$	Test	$f_{q,CLASH}$
1.1	1.0	4.1	1.0
1.2	1.0	4.2	1.0
1.3	1.0	4.3	2.4
2.1	7.6	5.1	1.0
2.2	9.6	5.2	1.0
2.3	10.4	5.3	1.0
3.1	4.1	6.1	1.1
3.2	2.7	6.2	1.2
3.3	4.7	6.3	3.7
		7.1	1.0
		7.2	1.0
		7.3	1.0

Correctiefactor gebaseerd op onderzoek Delft Hydraulics (1994)

In 1994 is een proef in een kleinschalige golfgoet herhaald in een grootschalige golfgoet. Het doel van beide proeven was het bepalen van de invloedsfactor voor ruwheid van een

dijkbekleding bestaande uit losse blokken. De herhaling was niet geheel identiek; de taludhelling was anders en de verhouding tussen de golfhoogte en de waterdiepte verschilde. Op basis van het kleinschalige modelonderzoek werd een invloedsfactor voor ruwheid van 0,64 vastgesteld. Op basis van het grootschalige modelonderzoek werd een invloedsfactor van 0,76 vastgesteld; dit is 19% groter dan het kleinschalige modelonderzoek. Op basis hiervan zou een correctiefactor van $f_{\text{schaal}} = 1,19$ kunnen worden toegepast. Deze correctiefactor kan worden toegepast op de invloedsfactor voor ruwheid γ_f (en niet op het gemeten overslagdebiet q ; de invloed op het debiet is dan groter dan 19%).

3.2.2 Modeleffecten

Een mogelijk effect is de statistische onzekerheid met betrekking tot het golfoverslagdebiet. Dit komt door het onregelmatige karakter van de golfbelasting. Deze onzekerheid wordt kleiner naarmate het overslagdebiet wordt gevormd door meer overslaande golven. Om de statistische onzekerheid met betrekking tot het gemiddelde overslagdebiet tot nul te reduceren is er in theorie een test nodig met een oneindig aantal golven. Uiteraard is dit in de praktijk niet haalbaar en is er gekozen om te testen met circa 1000 inkomende golven. Alle testen met een golfhoogte van $H_{m0} = 1,5$ m zijn uitgevoerd met dezelfde stuurfile (vanwege de variatie in de waterstand was dit bij de andere testen niet mogelijk, zie sectie 2.5). Dit wil zeggen dat de hydraulische belasting in deze testen dezelfde is geweest. De bepaling van de invloedsfactor voor ruwheid γ_f is voor deze testen dus gebaseerd op dezelfde hydraulische belasting zodat er geen sprake is van een statistische onzekerheid. Immers, indien er 'toevallig' relatief lage golfoplopen plaatsvonden op het gladde talud dan is dit ook het geval bij de getrapte taluds zodat er een goede vergelijking is.

Voor de overige testen met een significante golfhoogte van $H_{m0} = 0,75$ m en $H_{m0} = 1,13$ m zijn er verschillende stuurfiles gebruikt. Het is dus mogelijk dat bij de test met het gladde talud er relatief veel overslaande golven waren terwijl er bij de getrapte taluds toevallig relatief weinig overslaande golven waren. De statistische onzekerheid hieromtrent is geanalyseerd en beschreven in Bijlage A. Uit de analyse beschreven in Bijlage A blijkt dat de statistische onzekerheid kan worden beschreven als functie van de relatieve kruinhoogte $h_k/Z_{2\%}$ en het aantal golven N . Vervolgens kan een correctiefactor worden toegepast die afhankelijk is van de keuze van de onzekerheidsband. Met behulp van deze analyse is het mogelijk om voor iedere test de 5% ondergrens en de 95 % bovengrens van het gemiddelde golfoverslagdebiet te bepalen. Om de meest conservatieve waarde voor de invloedsfactor voor ruwheid γ_f te bepalen is de 5% ondergrens van het gladde talud vergeleken met de 95% bovengrens van het getrapte talud. De toegepaste correctiefactoren ten behoeve van deze analyse zijn weergegeven in Tabel 3.4 en Tabel 3.5.

De correctiefactor voor het aantal golven (proefduur) wordt als volgt toegepast:

$$q_{\text{corr}} = f_{so} \cdot q_{\text{meting}}$$

Waarbij q_{corr} = gecorrigeerde waarde van golfoverslagdebiet, f_{so} = correctiefactor voor statistische onzekerheid als gevolg van de eindige duur van de proef en q_{meting} = gemeten waarde van golfoverslagdebiet. f_{so} is gelijk aan de parameter $q_{95\%}/\mu_q$ (getrapt talud) of $q_{5\%}/\mu_q$ (glad talud) zoals beschreven in Bijlage A.

In Tabel 3.4 valt te zien dat voor bijvoorbeeld Test 2.3 de factor f_{so} relatief hoog is. Dit komt doordat er relatief weinig golven over de kruin zijn geslagen.

Tabel 3.4 Dimensieloze kruinhoogte $h_k/z_{2\%}$, gemeten overslagdebiet q , correctiefactor f_{so} , gecorrigeerde waarde voor overslagdebiet q_{corr} (1:3 talud)

Test	Constructie talud	$h_k/z_{2\%}$ (-)	Overslag		
			q (l/s/m)	f_{so} (-)	q_{corr} (l/s/m)
1.1	glad	0.90	0.85	1.00	0.85
1.2	glad	0.86	1.68	0.71	1.20
1.3	glad	0.76	2.86	0.79	2.25
2.1	trap h=0,46 m	1.17	0.11	1.00	0.11
2.2	trap h=0,46 m	1.26	0.07	2.52	0.19
2.3	trap h=0,46 m	1.39	0.07	3.97	0.26
3.1	trap h=0,23 m	1.05	0.25	1.00	0.25
3.2	trap h=0,23 m	1.02	0.40	1.52	0.61
3.3	trap h=0,23 m	1.19	0.21	2.08	0.45

* Voor de testen 1.1, 2.1 en 3.1 zijn dezelfde stuurfiles gebruikt zodat er geen sprake is van een statistische onzekerheid; $f_{so} = 1,00$

Tabel 3.5 Dimensieloze kruinhoogte $h_k/z_{2\%}$, gemeten overslagdebiet q , correctiefactor f_{so} , gecorrigeerde waarde voor overslagdebiet q_{corr} (1:2 talud)

Test	Constructie talud	$h_k/z_{2\%}$ (-)	Overslag		
			q (l/s/m)	f_{so} (-)	q_{corr} (l/s/m)
4.1	trap h=0,46 m	0.88	1.25	1.00	1.25
4.2	trap h=0,46 m	0.84	1.09	1.27	1.38
4.3	trap h=0,46 m	0.83	0.45	1.26	0.57
5.1	trap h=0,23 m	0.72	4.20	1.00	4.20
5.2	trap h=0,23 m	0.71	4.34	1.18	5.12
5.3	trap h=0,23 m	0.64	3.15	1.15	3.63
6.1	trap h=0,46 m aangepast	0.91	0.90	1.00	0.90
6.2	trap h=0,46 m aangepast	0.85	0.89	1.28	1.14
6.3	trap h=0,46 m aangepast	0.89	0.28	1.32	0.38
7.1	glad	0.87	3.52	1.00	3.52
7.2	glad	0.82	3.92	0.74	2.90
7.3	glad	0.72	2.28	0.81	1.85

* Voor de testen 4.1, 5.1, 6.1, en 7.1 zijn dezelfde stuurfiles gebruikt zodat er geen sprake is van een statistische onzekerheid; $f_{so} = 1,00$

3.3 Analyse testresultaten

3.3.1 Vergelijking meting van het gladde talud met de methode TAW (2002)

Het uitgangspunt voor de analyse is de methodiek die is beschreven in het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken (TAW, 2002).

De TAW hanteert de volgende vergelijking voor het bepalen van het gemiddelde overslagdebiet:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \xi_{m-1,0} \exp \left(-a \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_{m-1,0} \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v} \right) \quad (3.1)$$

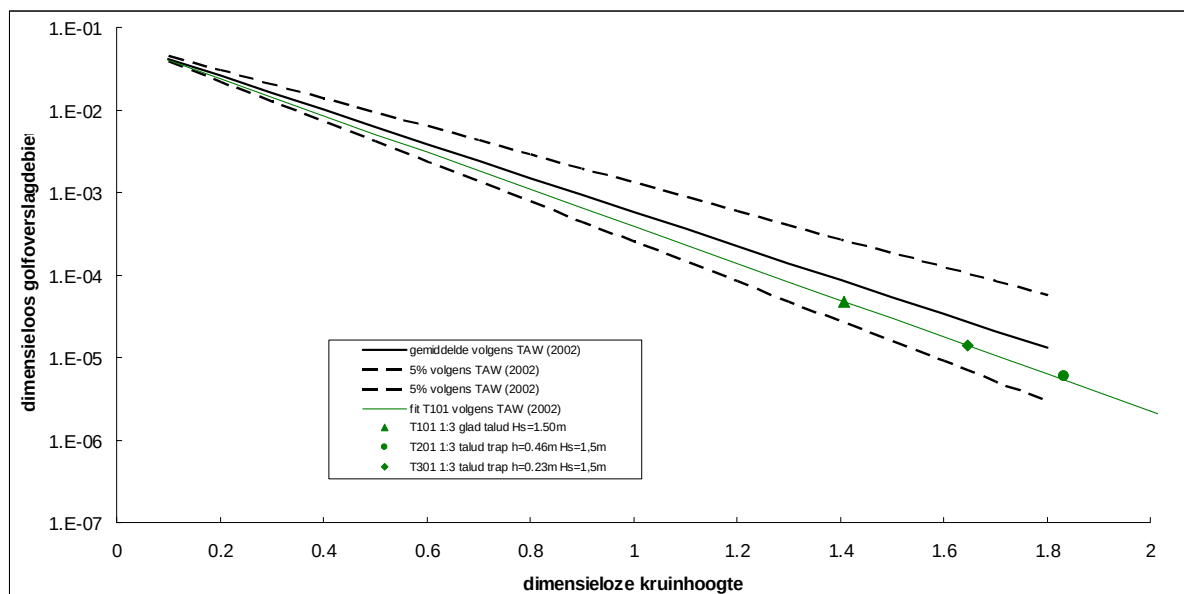
Met als maximum

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0,2 \cdot \exp\left(-b \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta}\right) \quad (3.2)$$

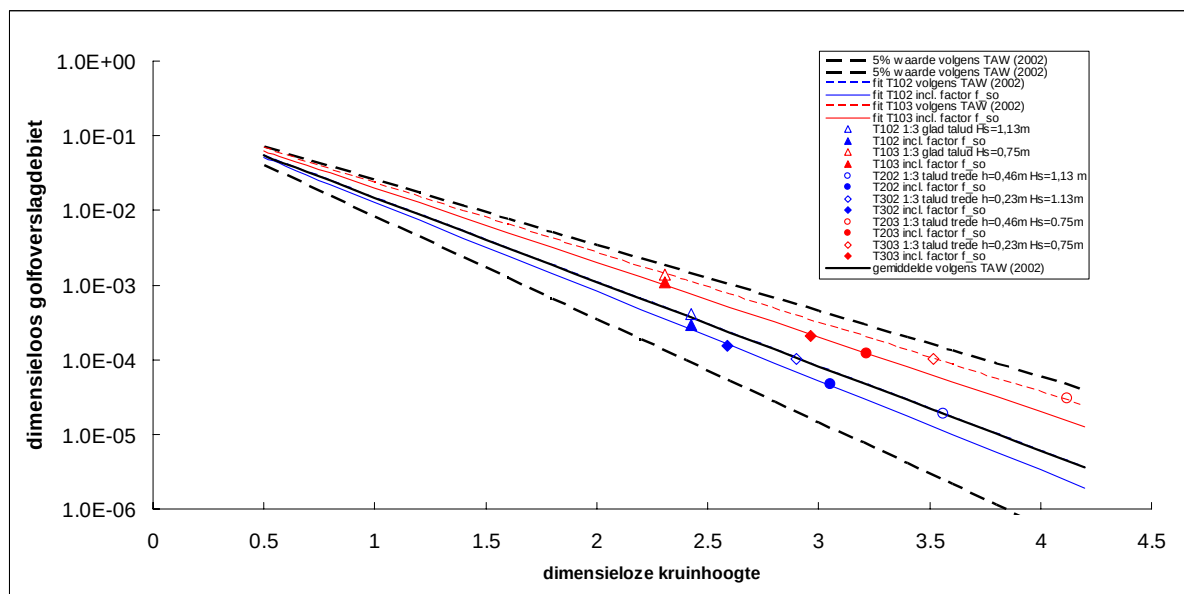
Waarbij

a	=	coëfficiënt (zie hieronder en Tabel 3.7)	[-]
b	=	coëfficiënt (zie hieronder en Tabel 3.7)	[-]
g	=	versnelling als gevolg van de zwaartekracht	[m/s ²]
h_k	=	vrije kruinhoogte boven de stilwaterlijn	[m]
H_{m0}	=	significante golfhoogte	[m]
q	=	gemiddeld overslagdebiet per strekkende meter	[m ³ /s/m]
α	=	hoek van het talud	[°]
$\xi_{m-1,0}$	=	brekerparameter gebaseerd op $T_{m-1,0}$	[-]
γ_b	=	invloedsfactor voor invloed van de berm	[-]
γ_f	=	invloedsfactor voor invloed van de ruwheid	[-]
γ_v	=	invloedsfactor voor invloed van een verticale wand	[-]
γ_β	=	invloedsfactor voor invloed van de golfinvalshoek	[-]

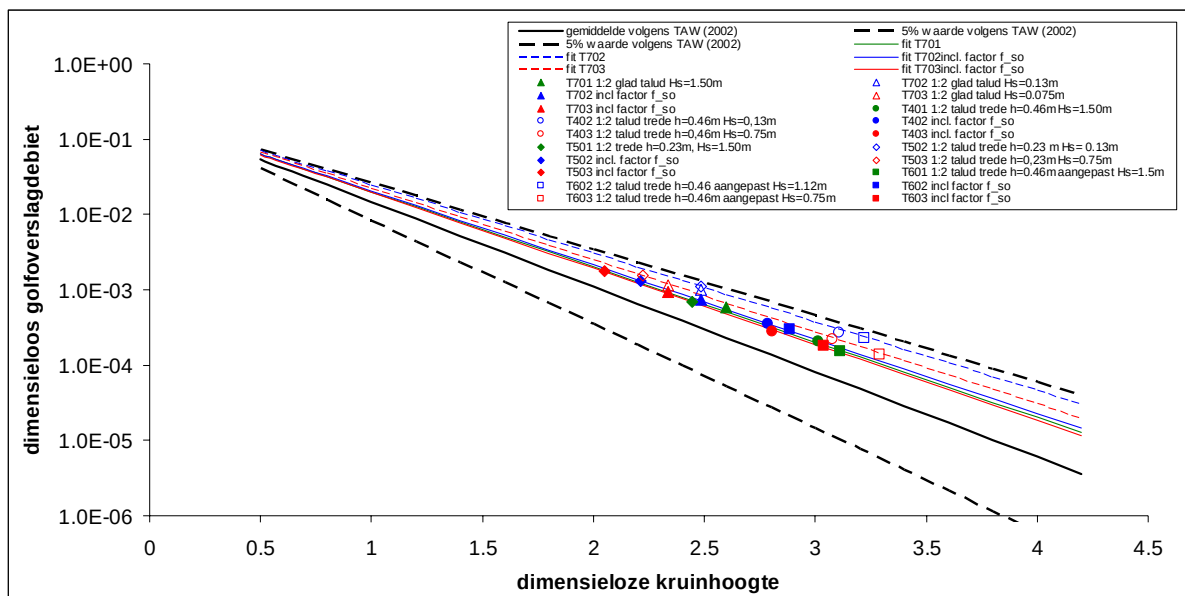
De betrouwbaarheid van Vergelijking (3.1) wordt gegeven door de coëfficiënt a als een normaal verdeelde stochast op te vatten met een gemiddelde van $\mu_a = 4,75$ en een standaardafwijking van $\sigma_a = 0,5$. De betrouwbaarheid van Vergelijking (3.2) wordt gegeven door de coëfficiënt b als een normaal verdeelde stochast op te vatten met een gemiddelde van $\mu_b = 2,6$ en een standaardafwijking van $\sigma_b = 0,35$. Vergelijking (3.1) en Vergelijking (3.2) zijn grafisch weergegeven in Figuur 3.1 (brekende golven), Figuur 3.2 en Figuur 3.3 (niet brekende golven).



Figuur 3.1 Golfoverslag conform TAW (2002) voor brekende golven (1:3 talud) en gemeten waarden



Figuur 3.2 Golfoverslag conform TAW (2002) voor niet-brekende golven (1:3 talud) en gemeten waarden



Figuur 3.3 Golfoverslag conform TAW (2002) voor niet-brekende golven (1:2 talud) en gemeten waarden

De dimensieloze kruinhoogte en het dimensieloze overslagdebiet zoals weergegeven in de astitels van Figuur 3.1, Figuur 3.2 en Figuur 3.3 zijn weergegeven in Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Definitie dimensieloze kruinhoogte en dimensielooos overslagdebiet

figuur	dimensieloze kruinhoogte	dimensielooos overslagdebiet
Figuur 3.1 (brekende golven)	$\frac{h_k}{H_{m0}} \frac{\sqrt{s_0}}{\tan \alpha} \frac{1}{\gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v}$	$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} \sqrt{\frac{s_0}{\tan \alpha}} \frac{1}{\gamma_b}$
Figuur 3.2 en Figuur 3.3 (niet brekende golven)	$\frac{h_k}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta}$	$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}}$

In Figuur 3.1, Figuur 3.2 en Figuur 3.3 is te zien dat er een grote spreiding is met betrekking tot de hoeveelheid golfoverslag (de verticale assen in alle figuren zijn logaritmisch) indien de TAW methode wordt gevolgd. Om deze reden is er daarom ook voor gekozen om referentietesten met een glad talud uit te voeren, en de parameters a en b voor de geteste constructies opnieuw te bepalen.

Alle gemeten waarden van de referentietesten (glad talud) T101, T102, T103, T701, T702 en T703 liggen tussen de 5% onder- en overschrijdingslijnen die zijn beschreven in TAW (2002). Hierbij is aangenomen dat de ruwheid van het gladde talud gelijk is aan $\gamma_{f, \text{glad}} = 1,0$. Mogelijkerwijs is er echter toch sprake van enige ruwheid (modeffect) waardoor de werkelijke waarde van $\gamma_{f, \text{glad}}$ iets kleiner is dan 1,0 (zie Paragraaf 3.2).

Vervolgens zijn Vergelijking (3.1) en Vergelijking (3.2) geijkt op de proefresultaten van het gladde talud. Dit wil zeggen dat de coëfficiënten a en b zodanig zijn gekozen dat de proefresultaten beter overeenkomen met Vergelijking (3.1) en Vergelijking (3.2). De uiteindelijk berekende waarden voor a en b zijn weergegeven in Tabel 3.7. Er wordt opgemerkt dat voor iedere test geldt dat deze wordt bepaald met Vergelijking (3.1), wat leidt tot een coëfficiënt a , of met Vergelijking (3.2), wat leidt tot een coëfficiënt b .

Tabel 3.7 Bepaling coëfficiënten a en b op basis van testen met glad 1:3 en glad 1:2 talud

Test	Vergelijking	Coëfficiënt
T101	(3.1)	$a = 5,15$
T102	(3.2)	$b = 2,60$
T102 (incl. factor f_{s0})	(3.2)	$b = 2,75$
T103	(3.2)	$b = 2,15$
T103 (incl. factor f_{s0})	(3.2)	$b = 2,30$
T701	(3.2)	$b = 2,30$
T702	(3.2)	$b = 2,10$
T702 (incl. factor f_{s0})	(3.2)	$b = 2,27$
T703	(3.2)	$b = 2,20$
T703 (incl. factor f_{s0})	(3.2)	$b = 2,32$

Vergelijking (3.1) en Vergelijking (3.2) met de ijkfactoren zoals weergegeven in Tabel 3.7 zijn voor alle testen grafisch weergegeven in Figuur 3.1, Figuur 3.2 en Figuur 3.3.

3.3.2 Bepaling invloedsfactor voor ruwheid γ_f

Met de nieuwe waarden voor a en b zijn vervolgens de waarden voor de invloedsfactor voor de ruwheid γ_f en $\gamma_{f,corr}$ bepaald. γ_f is de invloedsfactor voor ruwheid gebaseerd op het gemeten overslagdebiet q , $\gamma_{f,corr}$ is de invloedsfactor voor ruwheid gebaseerd op het gecorrigeerde overslagdebiet q_{corr} ; dit betreft dus $q_{95\%}$ van de getrapte taluds en $q_{5\%}$ van de gladde taluds (referentietesten), hierbij alleen gecorrigeerd voor het effect als gevolg van de eindige duur van de proef en niet voor andere eventuele model- en schaaffecten. Hierbij is gebruik gemaakt van Vergelijking (3.1) en Vergelijking (3.2). Het resultaat is grafisch weergegeven in Figuur 3.1, Figuur 3.2 en Figuur 3.3. De gevonden invloedsfactoren voor ruwheid γ_f en $\gamma_{f,corr}$ zijn weergegeven in Tabel 3.8 en Tabel 3.9.

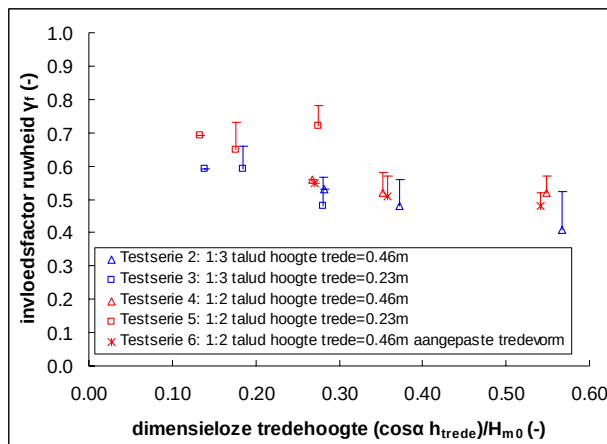
Tabel 3.8 Invloedsfactor voor ruwheid γ_f en $\gamma_{f,corr}$ (1:3 talud)

Test	Constructie talud	reductiefactor	
		γ_f (-)	$\gamma_{f,corr}$ (-)
1.1	glad	1.00	1.00
1.2	glad	1.00	1.00
1.3	glad	1.00	1.00
2.1	trap $h=0,46$ m	0.53	0.53
2.2	trap $h=0,46$ m	0.48	0.56
2.3	trap $h=0,46$ m	0.41	0.53
3.1	trap $h=0,23$ m	0.59	0.59
3.2	trap $h=0,23$ m	0.59	0.66
3.3	trap $h=0,23$ m	0.48	0.57

Tabel 3.9 Invloedsfactor voor ruwheid γ_f en $\gamma_{f,corr}$ (1:2 talud)

Test	Constructie talud	reductiefactor	
		γ_f (-)	$\gamma_{f,corr}$ (-)
4.1	trap h=0,46 m	0.56	0.56
4.2	trap h=0,46 m	0.52	0.56
4.3	trap h=0,46 m	0.52	0.57
5.1	trap h=0,23 m	0.69	0.69
5.2	trap h=0,23 m	0.65	0.71
5.3	trap h=0,23 m	0.72	0.78
6.1	trap h=0,46 m aangepast	0.55	0.55
6.2	trap h=0,46 m aangepast	0.51	0.55
6.3	trap h=0,46 m aangepast	0.48	0.52
7.1	glad	1.00	1.00
7.2	glad	1.00	1.00
7.3	glad	1.00	1.00

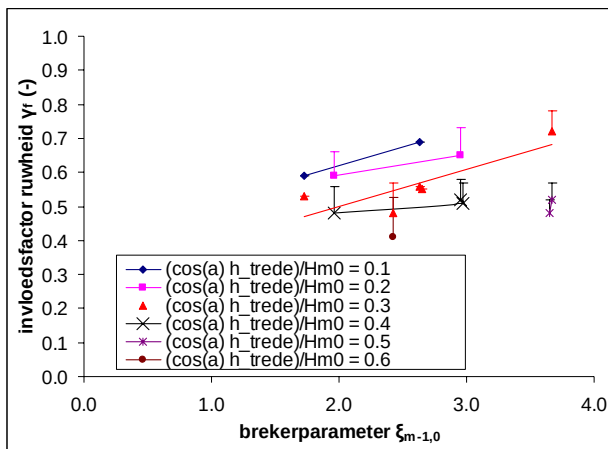
In Figuur 3.4 zijn de gevonden invloedsfactoren voor ruwheid weergegeven als functie van de tredehoogte, welke dimensieloos is gemaakt met de significante golfhoogte H_{m0} . Hierbij is de tredehoogte gedefinieerd als de hoogte gemeten loodrecht op het talud (correctie met $\cos(\alpha)$). Hiervoor is gekozen zodat de hoogte van de trede loodrecht op de stroomsnelheid van de golfoploop ligt.



Figuur 3.4 Invloedsfactor voor ruwheid γ_f als functie van de dimensieloze tredehoogte $(\cos\alpha \cdot h_{trede})/H_{m0}$. Met behulp van de (bovengrens) onzekerheidsband is de aangepaste invloedsfactor voor ruwheid $\gamma_{f,corr}$ weergegeven.

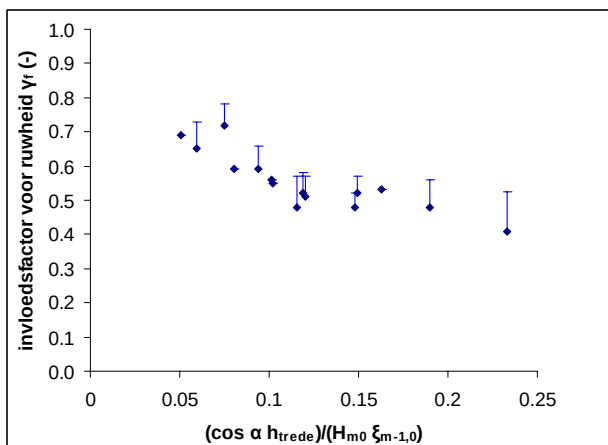
In Figuur 3.4 is een duidelijke correlatie te zien tussen de gekozen dimensieloze parameter en de invloedsfactor voor ruwheid γ_f . Tevens kan de aangepaste tredevorm (Testserie 6) worden vergeleken met de rechthoekige tredevorm (Testserie 4), zie Figuur 3.4. Hier blijkt geen noemenswaardige invloed te zijn op de invloedsfactor voor ruwheid.

Er is echter een afwijkend punt te zien. Dit betreft Test 5.3. Vermoedelijk wijkt dit punt af door de relatief hoge waarde van de brekerparameter $\xi_{m-1,0}$ in deze test. Om dit inzichtelijk te maken is de invloedsfactor voor ruwheid in Figuur 3.5 weergegeven als functie van de brekerparameter $\xi_{m-1,0}$.



Figuur 3.5 Invloedsfactor voor ruwheid γ_f als functie van de brekerparameter $\xi_{m-1,0}$. Met behulp van de (bovengrens) onzekerheidsband is de aangepaste invloedsfactor voor ruwheid $\gamma_{f,corr}$ weergegeven

In Figuur 3.5 is te zien dat bij een toenemende brekerparameter $\xi_{m-1,0}$, tevens de invloedsfactor voor ruwheid γ_f toeneemt. Om deze reden is de dimensieloze tredehoogte gecorrigeerd met de brekerparameter. Dit is weergegeven in Figuur 3.6.



Figuur 3.6 Invloedsfactor ruwheid γ_f als functie van de dimensieloze tredehoogte $(\cos\alpha \cdot h_{trede}) / (H_{m0} \cdot \xi_{m-1,0})$

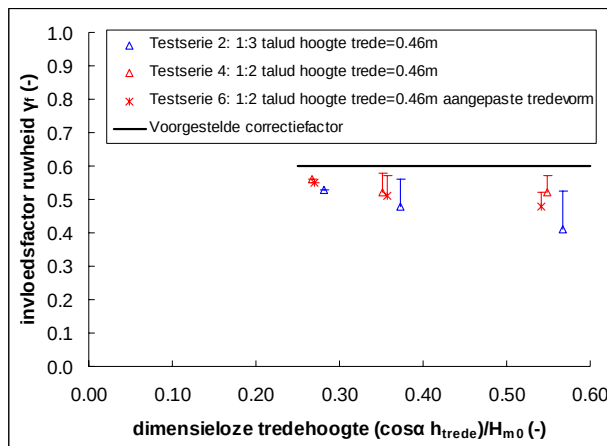
Alhoewel Figuur 3.6 aantoont dat de ingewonnen data consistent is, is het onverstandig om op basis hiervan een generieke formule op te stellen. Hiervoor is er niet afdoende data ingewonnen. Indien dit wel gewenst is zullen er meerdere datapunten met stelselmatige variatie in tredehoogte, golfhoogte, golfperiode, taludhelling etc. ingewonnen dienen te worden.

Voor de situatie in Den Oever is de ingewonnen dataset echter toereikend en kunnen er invloedsfactoren voor ruwheid worden bepaald. Dit zal worden gedaan in de volgende paragraaf.

3.4 Toe te passen invloedsfactor voor ruwheid

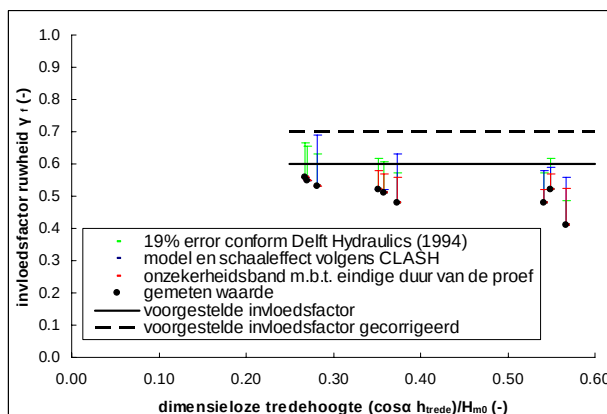
3.4.1 Invloedsfactor voor ruwheid van een trap met een tredehoogte van 0,46 m

De ingewonnen data waarbij een constructie met een tredehoogte van 0,46 m is toegepast is weergegeven in Figuur 3.7.



Figuur 3.7 Invloedsfactor voor ruwheid γ_f bij een tredehoogte van 0,46 m. Met behulp van de (bovengrens) onzekerheidsband is de aangepaste invloedsfactor voor ruwheid $\gamma_{f,corr}$ weergegeven

Figuur 3.7 is echter nog niet gecorrigeerd voor eventuele schaal- en modeffecten. Indien dit wel wordt gedaan op basis van de twee methodieken die zijn beschreven in Paragraaf 3.2.1, verkrijgt men een invloedsfactor voor ruwheid die is gecorrigeerd voor mogelijke schaal- en modeffecten. Deze is weergegeven in Figuur 3.8.



Figuur 3.8 Invloedsfactor voor ruwheid γ_f bij een tredehoogte van 0,46 m. Hierbij zijn mogelijke invloeden van schaal- en modeffecten toegevoegd

In alle gevallen zijn de gemeten invloedsfactor voor ruwheid γ_f kleiner dan 0,6. Dit geldt ook voor de gecorrigeerde waarden van de invloedsfactor voor ruwheid $\gamma_{f,corr}$ (modeffect met betrekking tot eindige duur van de proef). De volgende waarde voor de invloedsfactor voor ruwheid wordt voorgesteld:

$\gamma_f = 0,6$ (inclusief correctie voor effect m.b.t. eindige duur van de proef)

$\gamma_f = 0,7$ (idem, inclusief de correctie voor mogelijke model- en schaaffecten)

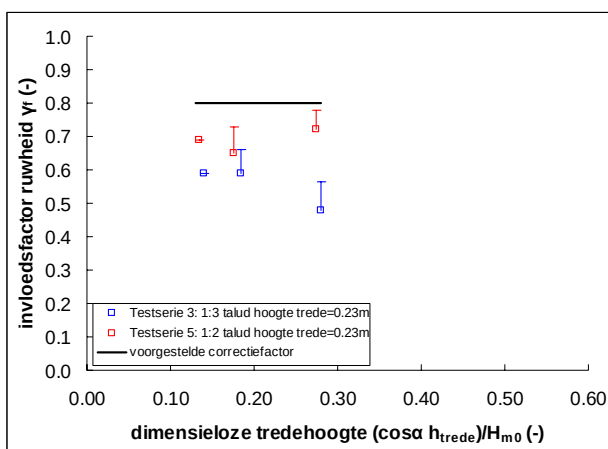
Hierbij dient de waarde van $\gamma_f = 0,6$ als een ondergrens te worden beschouwd indien uit wordt gegaan van de meting gecorrigeerd voor het effect met betrekking tot de eindige duur van de proef. De waarde van $\gamma_f = 0,7$ kan als een bovengrens worden beschouwd indien wordt uitgegaan van de aanpak zoals is beschreven in Paragraaf 3.2.1 (incl. mogelijke schaaffecten).

Deze waarde kan, naast de overige condities die in TAW (2002) worden gesteld, worden toegepast onder de volgende condities:

$$\begin{array}{rclcl} & h_{\text{trede}} & = & 0,46 \text{ m} \\ & T_{m-1,0} & \approx & 5 \text{ s} \\ 0,75 \text{ m} & \leq & H_{m0} & \leq & 1,5 \text{ m} \\ 2 & \leq & \text{cota} & \leq & 3 \end{array}$$

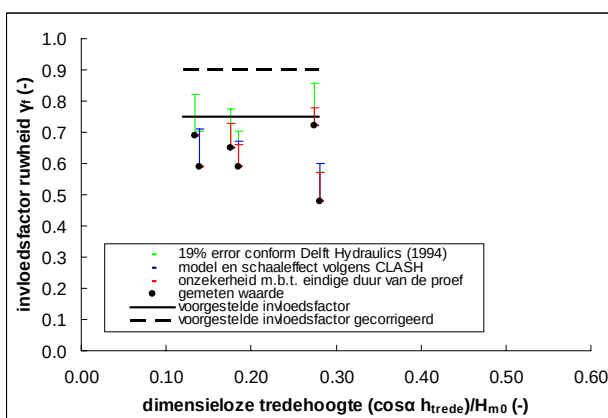
3.4.2 Invloedsfactor voor ruwheid van een trap met een tredehoogte van 0,23 m

De ingewonnen data, waarbij een constructie met een tredehoogte van 0,23 m is toegepast, is weergegeven in Figuur 3.9.



Figuur 3.9 Invloedsfactor voor ruwheid γ_f bij een tredehoogte van 0,23 m. Met behulp van de (bovengrens) onzekerheidsband is de aangepaste invloedsfactor voor ruwheid $\gamma_{f,corr}$ weergegeven

Figuur 3.9 is echter nog niet gecorrigeerd voor eventuele schaal- en modeffecten. Indien dit wel wordt gedaan op basis van de twee methodieken die zijn beschreven in Paragraaf 3.2.1, verkrijgt men een invloedsfactor voor ruwheid die is gecorrigeerd voor mogelijke schaafeffecten. Deze is weergegeven in Figuur 3.10.



Figuur 3.10 Invloedsfactor voor ruwheid γ_f bij een tredehoogte van 0,23 m. Hierbij zijn mogelijke invloeden van schaal en modeffecten toegevoegd

In alle gevallen zijn de gemeten invloedsfactor voor ruwheid γ_f kleiner dan 0,8. Dit geldt ook voor de gecorrigeerde waarden van de invloedsfactor voor ruwheid $\gamma_{f,corr}$ (modeffect met

betrekking tot eindige duur van de proef). De volgende waarde voor de invloedsfactor voor ruwheid wordt voorgesteld:

$\gamma_f = 0,8$ (inclusief correctie voor effect m.b.t. de eindige duur van de proef)

$\gamma_f = 0,9$ (idem, inclusief de correctie voor mogelijke model- en schaaffecten)

Hierbij dient de waarde van $\gamma_f = 0,8$ als een ondergrens te worden beschouwd indien uit wordt gegaan van de meting gecorrigeerd voor het effect met betrekking tot de eindige duur van de proef. De waarde van $\gamma_f = 0,9$ kan als een bovengrens worden beschouwd indien wordt uitgegaan van de aanpak zoals is beschreven in Paragraaf 3.2.1.

Deze waarde kan, naast de overige condities die in TAW (2002) worden gesteld, worden toegepast onder de volgende condities:

		h_{trede}	=	0,23 m
		$T_{m-1,0}$	$\approx$	5 s
0,75 m	$\leq$	H_{m0}	$\leq$	1,5 m
2	$\leq$	$\cot \alpha$	$\leq$	3

4 Conclusies

Op basis van fysiek modelonderzoek is de invloedsfactor voor ruwheid van een getrapt talud voorgesteld. Deze invloedsfactor voor ruwheid is gebaseerd op de theorie voor het bepalen van het gemiddelde golfoverslagdebiet zoals is beschreven in het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken (TAW, 2002).

De voorgestelde invloedsfactor voor ruwheid van een getrapt talud is weergegeven in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Voorstel toe te passen invloedsfactor voor ruwheid van een getrapt talud

Hoogte van de trede	Invloedsfactor voor ruwheid γ_f
0,23 m	0,8 - 0,9
0,46 m	0,6 - 0,7

De bandbreedte wordt veroorzaakt door onzekerheid in de mogelijke schaaleffecten. De verwachting is dat de schaaleffecten een kleinere invloed hebben dan schattingen op basis van de beschikbare literatuur. Dit is echter zonder aanvullend grootschalig modelonderzoek niet goed te onderbouwen.

Hierbij dienen de volgende voorwaarden, naast de in de TAW (2002) gestelde voorwaarden, in acht genomen te worden:

$$\begin{array}{rclcl}
 & & T_{m-1,0} & \approx & 5 \text{ s} \\
 0,75 \text{ m} & \leq & H_{m0} & \leq & 1,5 \text{ m} \\
 2 & \leq & \cot \alpha & \leq & 3
 \end{array}$$

Er is tevens een trap met een aangepaste vorm getest. Deze aangepaste vorm bleek bij de huidige testcondities geen noemenswaardige invloed te hebben op de invloedsfactor voor ruwheid.

De gemeten invloedsfactor voor ruwheid bleek in vele gevallen lager dan de in dit rapport voorgestelde waarden. Er bestaat daarom een mogelijkheid dat de voorgestelde waarde van de invloedsfactor voor ruwheid groter is dan de werkelijke waarde van de invloedsfactor voor ruwheid met betrekking tot het ontwerp van de Havendam in Den Oever wat kan leiden tot een suboptimaal ontwerp. Immers, een lagere waarde van de invloedsfactor voor ruwheid leidt tot een lagere kruinhoogte.

Om tot een mogelijk scherper ontwerp te komen zou daarom aangetoond kunnen worden dat de invloedsfactor voor ruwheid een kleinere waarde heeft dan de voorgestelde waarden in dit rapport. Dit kan worden gedaan door (een alternatief van) het ontwerp fysiek te modelleren in een golfgoot (2D) of golfbassin (3D) of door meer generieke fysieke testen uit te voeren waarbij meerdere parameters stelselmatig worden gevarieerd en het mogelijk is om een generieke formule op te stellen. Hierbij kan onder andere worden gedacht aan het stelselmatig variëren van de brekerparameter $\xi_{m-1,0}$ door te variëren met de golfperiode $T_{m-1,0}$. Om de onzekerheid rondom de schaaleffecten terug te brengen wordt aanbevolen om eventueel aanvullend modelonderzoek uit te voeren in een grootschalige golfgoot als de onzekerheid in de schaaleffecten belangrijke consequenties heeft voor het ontwerp van de dijk.

De invloed van scheve golfaanval en het effect van een berm op de invloedsfactor voor ruwheid is in dit project niet onderzocht. Er wordt aanbevolen om dit in een 3D model te onderzoeken, als dit aspect belangrijke consequenties heeft voor het ontwerp van de dijk.

5 Literatuur

- EurOtop, 2007 *'Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual'*, August 2007
- Delft Hydraulics, 1994, 'Open taludbekledingen, Ruwheidselementen op dijkbekledingen', Rapport H1770_3
- HHNK, 2012, Opdrachtverlening Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, registratienummer: 12.30980, onderwerp: '*Offerte schaalmodelonderzoek Den Oever*', contactpersoon: E. Meisner, datum 18 juli 2012
- Mansard, E.P.D. and Funke, E.R., 1980, '*The measurement of incident waves and reflected spectra using a least squares method*', 17th Int. Conf. of Coastal Engineering, Sydney
- TAW, 2002, '*Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken*', Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, mei 2002. 2)
- Van Gent, M.R.A., 1999, '*Physical model investigations on coastal structures with shallow foreshores; 2D model tests with single and double-peaked wave energy spectra*', Delft Hydraulics Report H3608, December 1999, Delft.
- Van Gent, M.R.A., 2001, '*Wave run-up on dikes with shallow foreshores*', ASCE, Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol.127, No 5, pp.254-262, September/October 2001 issue.

A Bepaling onzekerheidsfactor voor proefduur

De bepaling van de factor f_{so} , zoals beschreven in Paragraaf 3.2, is gebaseerd op de onderstaande theorie. (Hierbij is de parameter voor de vrije kruinhoogte en 2% golfoploophoogte weergegeven met respectievelijk R_c en $R_{u,2\%}$, dit zijn dezelfde parameters als h_k en $z_{2\%}$ in dit rapport).

A.1 Introduction

To measure the average wave overtopping discharge q in a hydraulic laboratory it is common practice to have a test duration of 500 – 3000 waves. However, due to irregularity of the incident waves, only a part of the wave runups actually produces overtopping. The volumes of the overtopping waves are also irregular. Assuming a test duration of infinite length and assuming no model effects the ‘true’ wave overtopping discharge can be determined. In this memo, it is assumed that the model is ideal (unaffected by model and scale effects) but has a finite length of N waves. A test with a finite length will give a statistical uncertainty to the measurement. This memo quantifies this statistical uncertainty.

A.2 Overtopping volumes per wave

The overtopping volume per wave can be described by a Weibull distribution with a shape factor $k = 0.75$ and a scale factor λ (TAW, 2002).

The mean and variance of the overtopping volume per wave can be expressed as (based on the Weibull distribution):

$$\mu_V = E(V) = \lambda \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (1.1)$$

$$\sigma_V^2 = Var(V) = \lambda^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right] \quad (1.2)$$

where V is the volume for each overtopping wave, Γ is the gamma function, λ is the scale factor and k is the shape factor.

Since k is given as a fixed value, Eq. (1.1) and Eq. (1.2) can be rewritten as:

$$\mu_V = 1.19 \cdot \lambda \quad (1.3)$$

$$\sigma_V = \sqrt{2.596 \cdot \lambda^2} = 1.61 \cdot \lambda \quad (1.4)$$

A.3 Wave overtopping discharge

The mean and variance of the mean wave overtopping discharge q can be determined as follows:

$$\mu_q = \frac{N_{ow} \cdot \mu_V}{N_w \cdot T_m} \quad (1.5)$$

$$\sigma_q = \frac{\sqrt{N_{ow}} \cdot \sigma_V}{N_w \cdot T_m} \quad (1.6)$$

where q is the mean overtopping discharge, N_{ow} is the number of overtopping waves, N_w is the number of waves and T_m is the mean wave period. Combining Eq. (1.5) and Eq. (1.6) gives the coefficient of variation (CoV):

$$CoV = \frac{\sigma_q}{\mu_q} = \frac{1}{\sqrt{N_{ow}}} \cdot \frac{\sigma_V}{\mu_V} = \frac{1}{\sqrt{N_{ow}}} \cdot \frac{1.61 \cdot \lambda}{1.19 \cdot \lambda} = \frac{1.35}{\sqrt{N_{ow}}} \quad (1.7)$$

The number of overtopping waves N_{ow} can be described as follows (TAW, 2002):

$$N_{ow} = P_{ov} N_w \quad (1.8)$$

where

$$P_{ov} = e^{-\left(\sqrt{-\ln 0.02} \frac{R_c}{R_{u2\%}}\right)^2} \quad (1.9)$$

and where N_w is the number of incident waves, P_{ov} is the probability of overtopping per wave, R_c is the crest freeboard of the structure, and $R_{u2\%}$ is the run up level exceeded by 2% of incident waves. The run up level exceeded by 2% of incident waves can be calculated by:

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{m0}} = 1.65 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_{m-1.0} \quad (1.10)$$

With maximum for larger $\xi_{m-1.0}$ of:

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{m0}} = \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \left(4.0 - \frac{1.5}{\sqrt{\xi_{m-1.0}}}\right) \quad (1.11)$$

It can be concluded that the coefficient of variation (CoV) is a function of the number of incident waves, the crest height and the run up level, exceeded by 2% of the waves:

$$CoV = f(N_w, R_c, R_{u,2\%}) \quad (1.12)$$

$$CoV = \frac{1.35}{\sqrt{N_w} \cdot e^{-\left(\sqrt{-\ln 0.02} \frac{R_c}{R_{u2\%}}\right)^2}} \quad (1.13)$$

Eq. (1.13) is visualized in Figure 5.1.

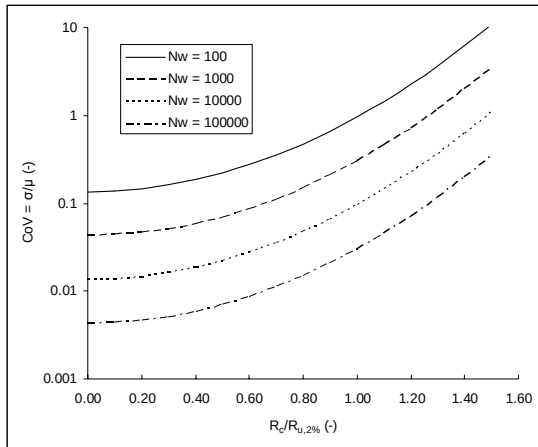


Figure 5.1 Coefficient of Variation (CoV) of measured mean wave overtopping discharge as function of number of waves N_w , relative wave run up height $R_{u2\%}$ and crest height R_c .

Now it is possible to calculate the values corresponding to a certain confidence bound. Using the normal distribution, it can be derived that:

$$q_{95\%} = \mu_q + 1.645 \cdot \sigma_q \text{ for one-sided 95\% confidence bound.} \quad (1.14)$$

Which is rewritten as:

$$q_{95\%} = (1 + 1.645 \cdot CoV) \mu_q \quad (1.15)$$

or

$$\frac{q_{95\%}}{\mu_q} = 1 + 1.645 \cdot CoV \quad (1.16)$$

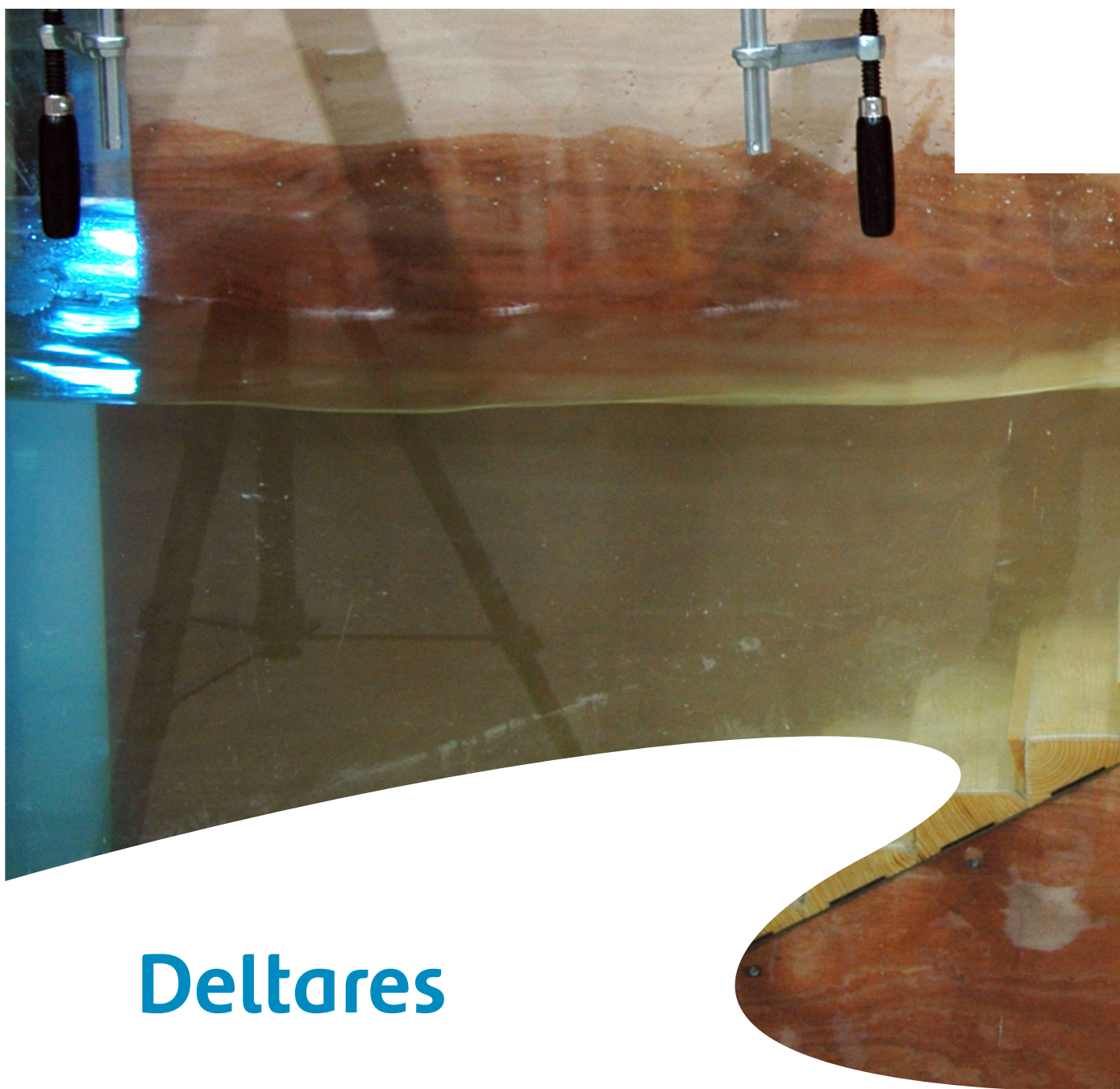
Numerical results are given in Table 5.1. This can be done in an identical way for the 5% confidence bound resulting in:

$$\frac{q_{5\%}}{\mu_q} = 1 - 1.645 \cdot CoV \quad (1.17)$$

Table 5.1: Overview of $q_{95\%}/\mu_q$

$R_c/R_{u2\%}$	$N_w = 100$	$N_w = 1.000$	$N_w = 10.000$	$N_w = 100.000$
0.00	1.22	1.07	1.02	1.01
0.10	1.23	1.07	1.02	1.01
0.20	1.24	1.08	1.02	1.01
0.30	1.26	1.08	1.03	1.01
0.40	1.30	1.10	1.03	1.01
0.50	1.36	1.11	1.04	1.01
0.60	1.45	1.14	1.04	1.01
0.70	1.58	1.18	1.06	1.02
0.80	1.77	1.24	1.08	1.02
0.90	2.08	1.34	1.11	1.03
1.00	2.57	1.50	1.16	1.05
1.10	3.36	1.75	1.24	1.07
1.20	4.70	2.17	1.37	1.12
1.30	7.04	2.91	1.60	1.19
1.40	11.24	4.24	2.02	1.32
1.50	19.05	6.71	2.81	1.57

Example: suppose the relative crest height is equal to $R_c/R_{u2\%} = 1$. When testing with 1000 waves, the coefficient of variation is equal to $CoV = 0.30$. The 95% upper limit $q_{95\%}$ has a value that is 1.5 times the expected value (error of 50%). Raising the test duration to 10.000 waves, the 95% upper limit has a value, which is 1.16 times the expected value (error of 16%).



Deltares