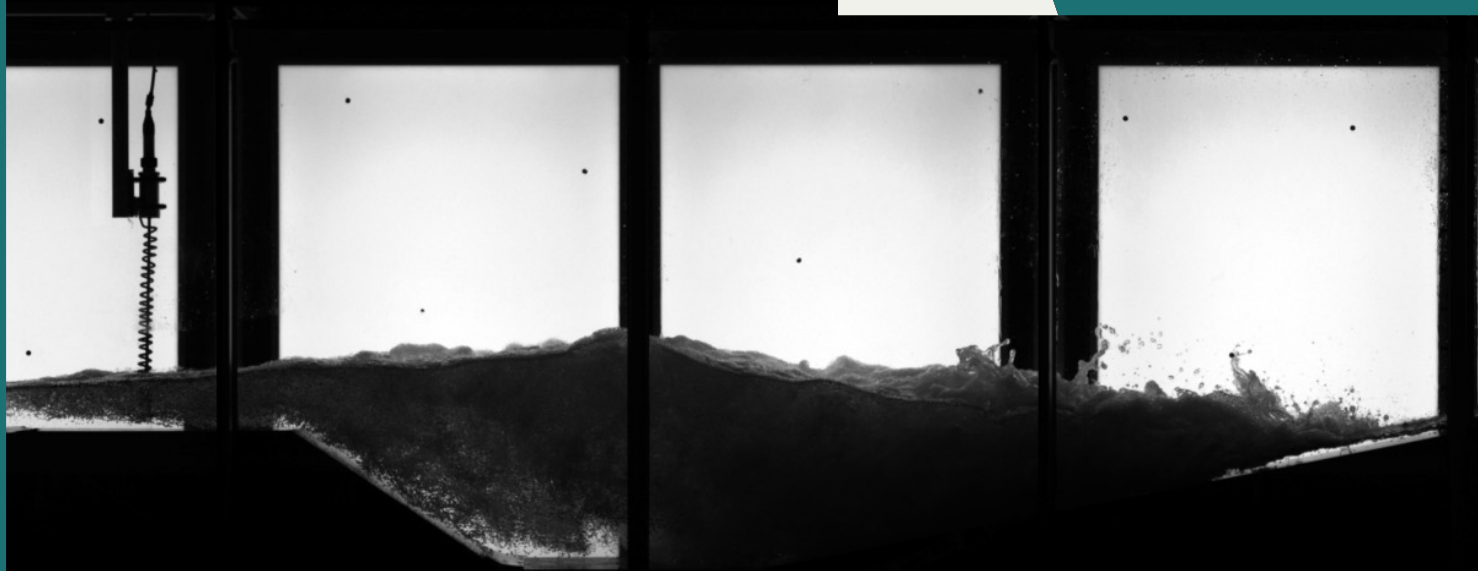




Vlaanderen
is wetenschap



21_010_1
WL rapporten

Sigmaplan **Gereduceerde Getijdegebieden – Wal Zwijn**

Ontwerp dissipatiegracht

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Sigmaplan – Gereduceerde Getijdegebieden – Wal Zwijn

Ontwerp dissipatiegracht

Vercruysse, J.; Verelst, K

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2022
D/2022/3241/077

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vercruysse, J.; Verelst, K (2022). Sigmaplan – Gereduceerde Getijdegebieden – Wal Zwijn: Ontwerp dissipatiegracht. Versie 4.0. WL Rapporten, 21_010_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	De Vlaamse Waterweg nv - Afdeling Regio Centraal	Ref.:	WL2022R21_010_1
Trefwoorden (3-5):	Sigmaplan, FCA, energy dissipation structure, overflow levee		
Kennisdomeinen:	Dijken > erosiebescherming Stuwen > Energiedissipatiestructuur > Literatuur- en desktoponderzoek Stuwen > Energiedissipatiestructuur > Schaalmodelproeven		
Tekst (p.):	17	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vercruysse, J.
------------	----------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verelst, K.	Getekend door: Kristof Verelst (Signature) Getekend op: 2022-04-21 15:51:00 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Kristof Verelst</i>
Projectleider:	Vercruysse, J.	Getekend door: Jeroen Vercruysse (Signature) Getekend op: 2022-04-21 15:02:38 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Jeroen Vercruysse</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Signature) Getekend op: 2022-04-21 13:19:40 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Abdelkarim Bellafkih</i>
-----------------	---------------	---



Abstract

In kader van het Sigmaplan worden Gecontroleerde Overstromingsgebieden aangelegd langs de Schelde en haar getijderivieren. Het vullen van deze gebieden gebeurt door middel van een overlooppdijk. Bij overloop versnelt het water op het talud naar superkritische stroming. Bij lage waterpeilen in het GOG-GGG kan hierdoor een watersprong ontstaan in de polder, bij hoge waterpeilen in het GOG-GGG ontstaat deze watersprong op het dijktaalud. Om te vermijden dat de watersprong in de polder ontstaat en zich daar overmatige erosie voordoet, wordt aan de teen van de overlooppdijk een dissipatiegracht voorzien.

Voor de overlooppdijk van de gebieden Wal en Zwijn vraagt De Vlaamse Waterweg afdeling Regio Centraal aan de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium ondersteuning bij het ontwerp van de dissipatiegracht. Op het ogenblik van het opstellen van dit advies liep op WL een studie voor de verificatie en optimalisatie van de toegepaste ontwerpmethodologie voor een dissipatiegracht. Deze studie was echter nog niet voltooid bij opstellen van dit advies. Voor het bepalen van de grachtdiepte was al een aangepaste ontwerpmethodologie beschikbaar, voor het bepalen van de grachtbreedte was er nog geen ontwerpmethodologie beschikbaar.

Uit de met MIKE11 simulaties uitgevoerde hydraulische modellering van deze gebieden werden tijdreeksen gegenereerd van het waterpeil in de Schelde en het waterpeil in het GOG. Gebruik makend van deze rivier- en polderpeilen, van de helling en de ingeschatte ruwheid van het talud van de overlooppdijk werd voor elke tijdstip van overloop bepaald of een dissipatiegracht nodig is en indien positief wat de benodigde grachtdiepte is. Omdat het maaiveldpeil bij opstellen van het advies nog niet bepaald was werd deze berekening uitgevoerd voor een range aan maaiveldpeilen.

Vervolgens werd voor de overloophoogte horende bij de maatgevende grachtdiepte en de theoretische maatgevende grachtbreedte een vergelijking uitgevoerd met de schaalmodelproeven uitgevoerd in kader van het onderzoek naar de optimalisatie van de ontwerpmethodologie van de dissipatiegracht. Uit deze vergelijking volgt dat voor de maatgevende overloophoogtes een grachtbreedte van 0.50 m volstaat.

Op basis van bovenstaande voorgestelde grachtdiepte en grachtbreedte wordt een type geometrie voorgesteld waarbij het talud doorloopt tot in de dissipatiegracht.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Gegevens	2
2.1 Relatie rivierpeil ten opzichte van polderpeil en kruinpeil overlooptdijk	2
2.2 Talud polderzijde	2
2.3 Maaiveldpeil aan polderzijde overlooptdijk	2
2.4 Type dissipatiegracht.....	4
3 Methodologie dimensionering energiedissipatiegracht overlooptdijk	5
4 Ontwerp dissipatiegracht	10
5 Besluit	15
6 Referenties	17

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Minimum en maximum maaiveldpeil aan polderzijde overlooppdijk (ontwerp 2011)	3
Tabel 2 – Beschouwde maaiveldpeilen (m TAW)	3
Tabel 3 – GOG/GGG Wal: maatgevende grachtdiepte in functie van maaiveldpeil	10
Tabel 4 – GOG/GGG Zwijn: maatgevende grachtdiepte in functie van maaiveldpeil	10
Tabel 5 – GOG/GGG Wal maatgevende grachtbreedte in functie van maaiveldpeil	11
Tabel 6 – GOG/GGG Zwijn maatgevende grachtbreedte in functie van maaiveldpeil	12
Tabel 7 – Benodigde grachtdiepte van de overlooppdijk in functie van maaiveldpeil Wal en Zwijn	15

Lijst van de figuren

Figuur 1 – GOG-GGG Gebieden Wal en Zwijn	1
Figuur 2 – Voorbeeld dissipatiegracht volgens typeprofiel overlooppdijk.....	4
Figuur 3 – Voorbeeld dissipatiegracht waarbij talud doorloopt tot aan de bodem van de dissipatiegracht ...	4
Figuur 4 – Typeschets berekening lengte L en diepte d van de dissipatiegracht (Berlamont, 1980).	7
Figuur 5 – Vergelijking corresponderende waterhoogte formules met schaalmodelonderzoek	8
Figuur 6 – Vergelijking stromingscondities ter hoogte van een overlooppdijk bij een overloophoogte 0.35 m	13
Figuur 7 – Vergelijking met schaalmodelonderzoek – overloophoogte 0.35 m en een extreem laag polderpeil	14
Figuur 8 – Voorstel dissipatiegracht Wal en Zwijn	14
Figuur 9 – Voorgesteld ontwerp dissipatiegracht GOG/GGG Wal en GOG/GGG Zwijn	16

1 Inleiding

De Vlaamse Waterweg nv - Afdeling Regio Centraal (dVW; contactpersoon: Sander Belmans) vraagt advies aan het Waterbouwkundig Laboratorium met betrekking tot het hydraulisch ontwerp van de dissipatiegracht voor de gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG) met gereduceerd getijde (GGG) Wal en Zwijn.

De GOG-GGG gebieden Wal en Zwijn behoren tot de cluster Vlassenbroek op de Schelde afwaarts Dendermonde. Een overzichtsfiguur uit de modellering voor het inrichtingsontwerp van beide gebieden wordt gegeven in Figuur 1.



Bron: Coen *et al.* (2009)

Figuur 1 – GOG-GGG Gebieden Wal en Zwijn

De overloopgebieden capteren de top van een stormtij door middel van overloop over verlaagde overloopp dijken. Het ledigen van de overstroomgebieden gebeurt doorheen uitwateringskokers. Bij overloop is de stroming op het talud aan polderzijde superkritisch. Om erosie van het talud te voorkomen worden de overloopp dijken aan polderzijde bekleed met Open Steen Asphalt. Bij lage waterpeilen in het GOG-GGG kan hierdoor een watersprong ontstaan in de polder, bij hoge waterpeilen in het GOG-GGG ontstaat deze watersprong op het dijk talud. Om te vermijden dat de watersprong in de polder ontstaat en zich daar overmatige erosie voordoet, wordt aan de teen van de overloopp dijk een dissipatiegracht voorzien.

Onderhavig advies is als volgt opgebouwd:

- de gegevens worden beschreven in hoofdstuk 2,
- de toegepaste methodiek wordt beschreven in hoofdstuk 3,
- het ontwerp van de dissipatiegracht wordt uitgevoerd in hoofdstuk 4,
- de conclusies worden samengevat in hoofdstuk 5.

2 Gegevens

Voor het ontwerp van de dissipatiegracht zijn volgende parameters nodig:

- relatie rivierpeil ten opzichte van polderpeil voor een maatgevende stormconditie en kruinpeil overlooppdijk, zie paragraaf 2.1.
- helling en hydraulisch ruwheid van het talud aan polderzijde, zie paragraaf 2.2.
- maaiveldpeil aan polderzijde overlooppdijk, zie paragraaf 2.3.
- type dissipatiegracht, zie paragraaf 2.4.

2.1 Relatie rivierpeil ten opzichte van polderpeil en kruinpeil overlooppdijk

Het hydraulisch ontwerp van de GOG-GGG gebieden Wal en Zwijn werd door WL uitgevoerd aan de hand van MIKE11 modellering. Een eerste ontwerp werd uitgevoerd in 2009 (Coen *et al.*, 2009). Dit ontwerp bevat voor beide gebieden een overlooppdijk met twee verschillende kruinhoogtes (+6.90 m TAW en +6.70 m TAW). In 2020 werd dit ontwerp geoptimaliseerd (Coen *et al.*, 2020). De totale lengte van de overlooppdijk voor beide gebieden uit het initiële ontwerp werd hierbij gereduceerd van 4.1 km tot 1.9 km met een uniforme kruinhoogte (+6.70 m TAW). Uit deze modellering werden voor Wal en Zwijn tijdreeksen aangeleverd van het peil in de Schelde en het peil in het gebied voor het T1000 en T4000 scenario.

2.2 Talud polderzijde

De helling van het talud aan polderzijde bedraagt 20/4. Deze helling stemt overeen met het typeprofiel voor een overlooppdijk. Voor de ruwheid van OSA wordt door WL een Manning-coëfficiënt $0.017 \text{ s.m}^{-1/3}$ gehanteerd. Bemerk dat de ruwheid van een met gras bekleedde dijk hoger zal zijn maar dat aangenomen wordt dat bij maatgevende overloopcondities de grasbekleding reeds geërodeerd is.

2.3 Maaiveldpeil aan polderzijde overlooppdijk

De dissipatiegracht heeft als doel om een sprong te initiëren aan de teen van het talud op de ogenblikken dat er nog niet voldoende waterhoogte aanwezig is in het gebied. Bemerk dat bij de delen van de overlooppdijk waar het maaiveldpeil hoger ligt er minder snel voldoende waterhoogte opgebouwd wordt waardoor de zones met hogere maaiveldpeilen maatgevend zijn voor het ontwerp van de dissipatiegracht.

In 2011 werd een ontwerp opgemaakt van de gebieden Wal en Zwijn door de studiebureaus Soresma en SBE (Soresma *et al.*, 2011a; b; c; d; e; f). Dit ontwerp werd uitgevoerd op basis van het hydraulisch ontwerp van de cluster Vlassenbroek uitgevoerd in 2009 (Coen *et al.*, 2009). De Vlaamse Waterweg is dit ontwerp aan het bijwerken op basis van de optimalisatiestudie van de overlooppdijken (Coen *et al.*, 2020). Ook zal het ontwerp grondneutraal uitgevoerd worden. Bij opstellen van dit advies was het verloop van de maaiveldpeil aan polderzijde van de overlooppdijken nog niet vastgelegd. Uit de ontwerpplannen opgemaakt in 2011 worden de minima en maxima van de maaiveldpeilen aan polderzijde van de overlooppdijken van Wal en Zwijn bepaald, zie Tabel 1.

Tabel 1 – Minimum en maximum maaiveldpeil aan polderzijde overlooppdijk (ontwerp 2011)

Maaiveldpeil	Wal	Zwijn
Minimum	2.08 m TAW	2.00 m TAW
Maximum	3.69 m TAW	2.91 m TAW

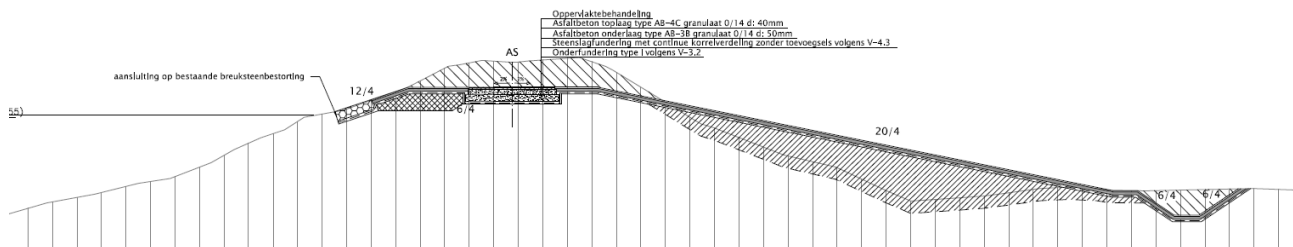
Op basis van deze minima en maxima wordt een range aan te beschouwen maaiveldpeilen opgesteld, zie Tabel 2. Een ontwerp van de dissipatiegracht zal opgemaakt worden voor deze range aan maaiveldpeilen.

Tabel 2 – Beschouwde maaiveldpeilen (m TAW)

Wal			Zwijn		
kruinhoogte	maaiveldpeil	dijkhoogte	kruinhoogte	maaiveldpeil	dijkhoogte
[m TAW]	[m TAW]	[m]	[m TAW]	[m TAW]	[m]
6.70	2.00	4.70	6.70	2.00	4.70
	2.25	4.45		2.25	4.45
	2.50	4.20		2.50	4.20
	2.75	3.95		2.75	3.95
	3.00	3.70		3.00	3.70
	3.25	3.45			
	3.50	3.20			
	3.75	2.95			

2.4 Type dissipatiegracht

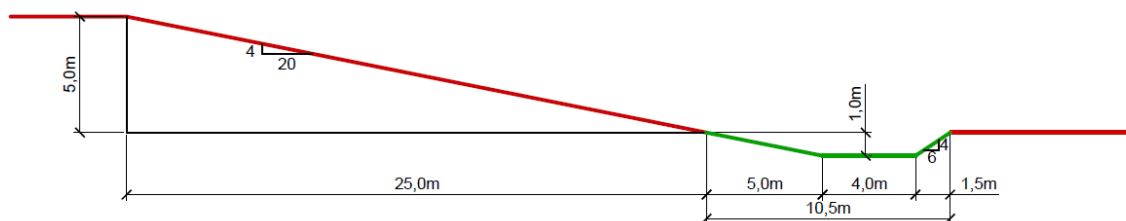
Het typeprofiel bevat een tussenplateau van 1.00 m tussen de teen en begin van de gracht. De gracht heeft een diepte 1.00 m en de taluds van de gracht hebben een helling 6/4. Dit profiel werd ook gehanteerd in het door Soresma en SBE uitgewerkte ontwerp uit 2011, zie Figuur 2.



DP29 uit Soresma *et al.* (2011b)

Figuur 2 – Voorbeeld dissipatiegracht volgens typeprofiel overlooppdijk

Voor het nieuwe ontwerp van de dissipatiegracht wordt door dVW een geometrie voorgesteld waarbij het talud doorloopt tot in de bodem van de dissipatiegracht. Een dergelijke geometrie werd ook door WL beschouwd in de studie naar de optimalisatie van de ontwerpmethodiek van een dissipatiegracht, zie Figuur 3.



Figuur 3 – Voorbeeld dissipatiegracht waarbij talud doorloopt tot aan de bodem van de dissipatiegracht

3 Methodologie dimensionering energiedissipatiegracht overlooppdijk

Het ontwerp van de dissipatiegracht wordt uitgevoerd aan de hand van de methodologie beschreven in THV Sigma Dijle (2008). De ontwerpmethodologie is gebaseerd op de verhanglijntheorie en formules voor een woelkomontwerp uit de literatuur. Bemerk dat de specifieke situatie van het typeontwerp waarbij een tussenplateau gehanteerd wordt tussen talud en gracht niet overeenkomt met de hydraulische condities uit de literatuurformules. Om die reden heeft WL op vraag van dVW een studie opgestart voor de verificatie en optimalisatie van de ontwerpmethodologie voor een dissipatiegracht aan de teen van een overlooppdijk (WL project 18_049). In kader van deze studie werden proeven uitgevoerd met verschillende types en lengtes van de dissipatiegracht in een schaalmodel. Bij opstellen van dit advies was het proevenprogramma afgerond maar diende de verificatie en optimalisatie van de ontwerpmethodologie nog verder uitgewerkt te worden. Op basis van de resultaten uit deze studie werd de bepaling van de benodigde grachtdiepte al geoptimaliseerd. Voor de benodigde breedte van de dissipatiegracht was de verificatie en optimalisatie nog niet voltooid. Hierom zal voor het bepalen van de benodigde breedte van de dissipatiegracht in hoofdstuk 4 rechtstreeks vergeleken worden met schaalmodelproeven uitgevoerd in kader van de studie naar de verificatie en optimalisatie van de ontwerpmethodologie van een dissipatiegracht aan de teen van een overlooppdijk.

Voor de dimensionering van de energiedissipatiegracht aan de teen van de overlooppdijk wordt eerst de verhanglijn op het talud van de overlooppdijk aan GOG/GGG-zijde berekend. De berekening van de verhanglijn wordt als volgt uitgevoerd:

1. Aan de hand van de tijdsreeksen van waterstand in de /Schelde wordt voor elk beschouwd dwarsprofiel van de overlooppdijk de variatie van het overloopdebiet in functie van de tijd berekend aan de hand van volgende formulering uit IMDC & WL (2010):

$$q = 1.36 (h - h_{kruin})^{1.5}$$

Met:

- q	Overloopdebiet per strekkende meter	[m ³ /s/m]
- h	Waterpeil	[m TAW]
- h _{kruin}	Kruinpeil overlooppdijk	[m TAW]

2. De verhanglijn op het talud aan GOG/GGG-zijde betreft een opwaarts bepaalde B2-verhanglijn (Berlamont, 1980). De berekening van de ogenblikkelijke verhanglijn op het landtalud wordt uitgevoerd door integratie van de vergelijking van Bresse (voor een brede rechthoekige sectie) voor elke tijdstap (om de 10 min) in de tijdsreeksen van waterstand in de Schelde en in het GOG/GGG met een constante dh = 0.001 m in de verticale richting . Hierbij wordt volgend randvoorwaardeprobleem opgelost:

$$\varphi(h) = \frac{dh}{ds} = \frac{S_0 - n^2 \frac{q^2}{h^{10/3}}}{\sqrt{1 - S_0^2 - \frac{q^2}{g h^3}}}$$

$$met: s = s_0 \text{ en } h = h_0$$

Met:

-	$\phi(h)$	Vergelijking	[-]
-	S_0	Helling overlooppdijk	[-]
-	n	Ruwheid ($n = 0.017 \text{ s/m}^{-1/3}$)	$[\text{s/m}^{-1/3}]$
-	q	Overloopdebiet per strekkende meter	$[\text{m}^2/\text{s}]$
-	h	Waterdiepte	$[\text{m}]$
-	s	Afstand op het landtalud tot de kruin van de overlooppdijk	$[\text{m}]$
-	g	Valversnelling ($= 9.81 \text{ m/s}^2$)	$[\text{m/s}^2]$
-	s_0	Initiële waarde voor de afstand tot de kruin ($s_0=0$)	$[\text{m}]$
-	h_0	Initiële waarde voor waterdiepte ter plaatse van $s=s_0$	$[\text{m}]$

Als initialisatie voor de oplossing van dit randvoorwaardeprobleem wordt de kritische waterhoogte op de kruin beschouwd. Deze wordt als volgt berekend:

$$h_0 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Met:

-	h_0	Initiële waarde voor waterdiepte ter plaatse van $s=s_0$	$[\text{m}]$
-	q	Overloopdebiet per strekkende meter	$[\text{m}^2/\text{s}]$
-	g	Valversnelling ($= 9.81 \text{ m/s}^2$)	$[\text{m/s}^2]$

3. De stroomsnelheid op het talud aan GOG/GGG-zijde wordt berekend door in elk punt van het talud het debiet over de overlooppdijk te delen door de natte sectie die volgt uit de berekende verhanglijn.

Daarna wordt de dimensionering van de energiedissipatiegracht uitgevoerd. Hiervoor wordt eerst gecontroleerd of zich een watersprong voordoet op het talud van de overlooppdijk aan GOG/GGG-zijde of dat deze zich voordoet in het GOG/GGG. Na de berekening van de verhanglijn op het landtalud van de overlooppdijk wordt voor elke punt i op het dijktaalud de bijbehorende waterhoogte na sprong berekend aan de hand van de volgende uitdrukking (Bélanger, 1828):

$$h_{HNS,i} = h_i \left[\frac{-1 + \sqrt{1 + 8 Fr_i^2}}{2} \right]$$

Met:

-	$h_{HNS,i}$	Waterhoogte na sprong in punt i van het dijktaalud	$[\text{m}]$
-	h_i	Waterhoogte in punt i van het dijktaalud	$[\text{m}]$
-	Fr_i	Waarde van het Froudegetal in punt i van het dijktaalud	[-]

Voor een brede rechthoekige sectie geldt:

$$Fr_i^2 = \frac{U_i^2}{g h_i} = \frac{q^2}{g h_i^3}$$

-	U_i	Stroomsnelheid in punt i van het dijktaalud	$[\text{m/s}]$
-	g	Valversnelling ($= 9.81 \text{ m/s}^2$)	$[\text{m/s}^2]$
-	q	Debiet in punt i op het dijktaalud	$[\text{m}^2/\text{s}]$

Op basis van het verloop van de waterhoogte na sprong op het dijktaalud en de waterhoogte in het GOG kan daarna bepaald worden of de watersprong zich voordoet op het dijktaalud zelf of in het GOG.

Wanneer de waterhoogte na sprong ter plaatse van de teen van de dijk hoger is dan de waterhoogte in het GOG/GGG, doet de watersprong zich voor in het GOG/GGG (i.e. afwaarts van de gracht). Voor deze tijdstippen wordt de dimensionering van de energiedissipatiegracht uitgevoerd. In het initieel ontwerp werd hiervoor een formule uit Berlamont (1980) toegepast. Voor het bijgewerkte ontwerp wordt een formule uit Novak *et al.* (2007) toegepast. Bemerk dat beide formules afgeleid zijn voor een geometrie zoals in Figuur 4, waarbij het talud doorloopt tot in de bodem van de gracht.

a. Berlamont (1980)

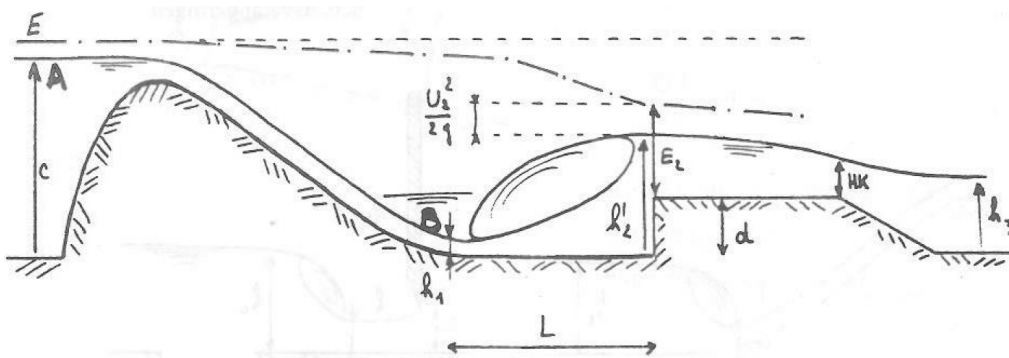
$$d = h_1 \left(-\frac{3}{2} (Fr_1)^{\frac{2}{3}} + \frac{h_2}{h_1} \left(m + \frac{1}{2m^2} \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^3 Fr_1^2 \right) \right)$$

b. Novak (2007)

$$d = h'_2 - h_{afw} = mh_2 - h_{afw}$$

Met:

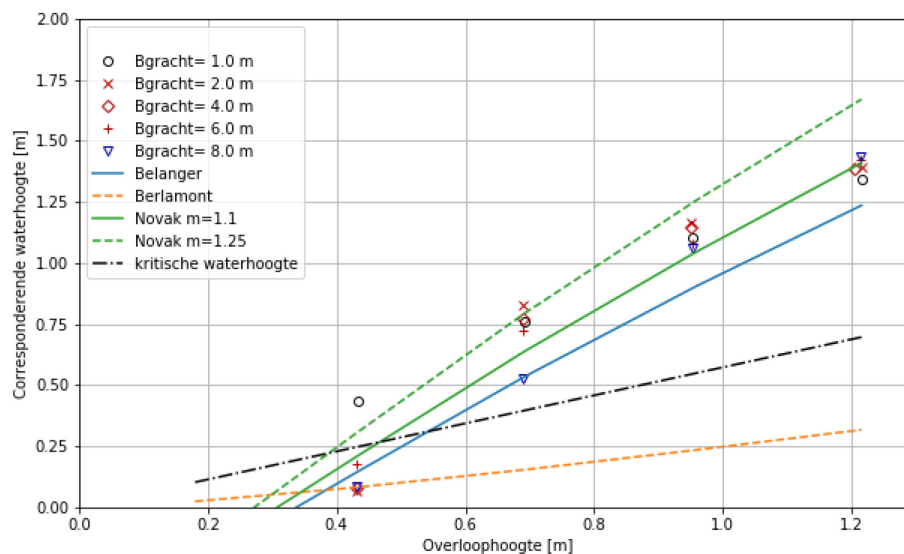
-	d	Diepte gracht / hoogte drempel	[m]
-	h_1	Waterdiepte opwaarts van watersprong	[m]
-	h_2	Waterdiepte afwaarts van de watersprong	[m]
-	Fr_1	Froudegetal opwaarts van watersprong	[-]
-	h_{afw}	Waterhoogte afwaarts ten opzichte van maaiveldpeil	[m]
-	m	Parameter; de waterhoogte na een ontaarde watersprong wordt gegeven door $h'_2 = m h_2$	
		Berlamont (1980) $m = 1.20$	
		Novak <i>et al.</i> (2007) $1.10 < m < 1.25$	[-]



Figuur 4 – Typeschets berekening lengte L en diepte d van de dissipatiegracht (Berlamont, 1980).

In het WL onderzoeksproject voor het optimaliseren van de dissipatiegracht werd door middel van schaalmodelproeven de corresponderende waterhoogte bepaald. De corresponderende waterhoogte betreft de minimum waterhoogte in de polder waarbij voor een gegeven geometrie van de overlooppdijk en gracht en een gegeven overloopdebiet de watersprong in de gracht ontstaat. Voor een grachtdiepte 0.50 m en een grachtbreedte 1.00 m, 2.00 m, 4.00 m, 6.00 m en 8.00 m wordt in Figuur 5 de opgemeten corresponderende waterhoogte uit het schaalmodelonderzoek vergeleken met de berekende corresponderende waterhoogte (Bélanger, 1828; Berlamont, 1980; Novak *et al.*, 2007). Voor een overloophoogte 0.44 m werd vastgesteld dat een watersprong ontstaat in de woelkom onafhankelijk van de waterhoogte in de polder. Vanaf een overloophoogte 0.70 m wordt vastgesteld dat de opgemeten corresponderende waterhoogte goed samenvalt met de berekende waterhoogte volgens Novak *et al.* (2007). De opgemeten corresponderende waterhoogtes liggen hierbij tussen de waarden berekend met een

coëfficiënt $m=1.10$ en deze met een coëfficiënt $m=1.25$. De corresponderende waterhoogte berekend aan de hand van de formulering volgens Belamont wijkt daarentegen merkkelijk af van zowel de experimenteel bepaalde corresponderende waterhoogte als van de corresponderende waterhoogte bepaald volgens Bélanger (1828) en Novak *et al.* (2007).



Opgesteld op basis van een voorlopige verwerking van resultaten uit WL onderzoeksproject 18_049

Figuur 5 – Vergelijking corresponderende waterhoogte formules met schaalmodelonderzoek

De breedte van de gracht wordt berekend door toepassen van de formules van Certussov en Smetana (Belamont, 1980), Bradley en Peterka (1957) en Novak (2007):

a. Certussov:

$$L = 5.4h_1(Fr_1 - 1)$$

b. Smetana:

$$L = 5(h_2 - h_1) \quad \text{als } Fr_1 > 6$$

$$L = 8(h_2 - h_1) \quad \text{als } Fr_1 \leq 6$$

c. Bradley en Peterka:

$$L = 220 h_1 \tanh\left(\frac{(Fr_1 - 1)}{22}\right)$$

d. Novak

$$L = K \cdot (h_2 - h_1)$$

$$K = 4.5 \text{ tot } 5.5$$

Met:

-	L	Breedte gracht	[m]
-	h_1	Waterdiepte opwaarts van watersprong	[m]
-	h_2	Waterdiepte afwaarts van de watersprong	[m]
-	Fr_1	Froudegetal opwaarts van watersprong	[-]

De formules van Certussov en Smetana (Berlamont, 1980), Bradley en Peterka (1957) werden ook toegepast bij het initiële ontwerp. De formule van Novak is opgesteld geweest voor de specifieke situatie waarbij het talud aansluit op de bodem van de gracht, zie Figuur 4.

Met betrekking tot de grachtbreedte volgen uit de tussentijdse resultaten van het onderzoeksproject 18_049 nog geen concrete aanbevelingen. In hoofdstuk 4 zal hierom vergeleken worden met proefresultaten bij een gelijkaardig overloopdebiet en gelijkaardige grachtdiepte.

4 Ontwerp dissipatiegracht

Gebruik makend van de in hoofdstuk 3 beschreven ontwerpmethodologie wordt voor de overlooppdijk en voor hydraulische randvoorwaarden beschreven in hoofdstuk 2 per tijdstap van de beschouwde stormcondities (T1000 en T4000) bepaald of een dissipatiegracht nodig is en indien positief wat de benodigde breedte en diepte van deze gracht is. De hieruit volgende maatgevende grachtdiepte wordt gegeven in Tabel 3 voor Wal en in Tabel 4 voor Zwijn. Bijkomend wordt ook de overloophoogte gegeven voor het tijdstip waarop de maatgevende grachtdiepte bepaald werd.

Tabel 3 – GOG/GGG Wal: maatgevende grachtdiepte in functie van maaiveldpeil

maaiveldpeil	T1000		T4000	
	overloophoogte	grachtdiepte	overloophoogte	grachtdiepte
[m TAW]	[m]	[m]	[m]	[m]
2.00	0.07	0.10	0.10	0.14
2.25	0.16	0.16	0.15	0.14
2.50	0.22	0.31	0.15	0.23
2.75	0.24	0.38	0.24	0.38
3.00	0.25	0.39	0.27	0.43
3.25	0.25	0.39	0.28	0.44
3.50	0.26	0.42	0.28	0.44
3.75	0.30	0.49	0.27	0.43

Tabel 4 – GOG/GGG Zwijn: maatgevende grachtdiepte in functie van maaiveldpeil

maaiveldpeil	T1000		T4000	
	overloophoogte	grachtdiepte	overloophoogte	grachtdiepte
[m TAW]	[m]	[m]	[m]	[m]
2.00	0.07	0.10	0.10	0.14
2.25	0.16	0.16	0.15	0.14
2.50	0.22	0.31	0.15	0.23
2.75	0.24	0.38	0.24	0.38
3.00	0.25	0.39	0.27	0.43

Uit de bepaling van de maatgevende grachtdiepte in functie van het maaiveldpeil volgt dat de benodigde grachtdiepte toeneemt met het maaiveldpeil. Voor Wal bedraagt de maximale grachtdiepte 0.49 m en bij Zwijn 0.39 m. Bij de laagste beschouwde maaiveldpeilen bedraagt de maatgevende grachtdiepte slechts 0.10 m tot 0.16 m, de hierbij horende overloophoogtes zijn beperkt tot 0.16 m. Ook voor de hogere maaiveldpeilen is de overloophoogte beperkt tot ca. 0.30 m. Dit is aanzienlijk lager dan de maximale

overloophoogte die voor Zwijn 0.64 m bedraagt en voor Wal 0.68 m bedraagt¹. De gracht is dus nodig in de eerste fase van overloop. Bij hogere overloophoogtes is het gebied al gevuld waarbij de watersprong op het talud van de overlooppdijk ontstaat.

Aan de hand van de formules in hoofdstuk 3 is ook de lengte van de dissipatiegracht berekend. De resultaten hiervan zijn voor het T1000 en het T4000 scenario gegeven in Tabel 5 voor GOG/GGG Wal en in Tabel 6 voor GOG/GGG Zwijn. Bemerk dat naast de overloophoogte horende bij de maatgevende grachtbreedte ook de overloophoogte bij de maatgevende grachtdiepte gegeven wordt.

Tabel 5 – GOG/GGG Wal maatgevende grachtbreedte in functie van maaiveldpeil

scenario	Maaiveld-peil	overloophoogte		grachtbreedte				
		bij maatgevende grachtbreedte	Bij maatgevende grachtdiepte	Certussov	Smetana	Bradley en Peterka	Novak K=4.5	Novak K=5.5
	[m TAW]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
T1000	2.00	0.05	0.07	0.17	0.34	0.31	0.19	0.24
	2.25	0.16	0.16	0.66	1.37	1.21	0.77	0.94
	2.50	0.24	0.22	1.03	2.14	1.89	1.20	1.47
	2.75	0.25	0.24	1.04	2.16	1.91	1.21	1.48
	3.00	0.25	0.25	1.04	2.16	1.91	1.21	1.48
	3.25	0.28	0.25	1.21	2.50	2.21	1.41	1.72
	3.50	0.30	0.26	1.29	2.67	2.36	1.50	1.84
	3.75	0.34	0.30	1.48	3.06	2.70	1.72	2.10
T4000	2.00	0.10	0.10	0.38	0.78	0.69	0.44	0.54
	2.25	0.15	0.15	0.62	1.28	1.13	0.72	0.88
	2.50	0.24	0.15	1.02	2.12	1.87	1.19	1.45
	2.75	0.28	0.24	1.18	2.44	2.16	1.37	1.68
	3.00	0.28	0.27	1.18	2.44	2.16	1.37	1.68
	3.25	0.28	0.28	1.18	2.44	2.16	1.37	1.68
	3.50	0.28	0.28	1.18	2.44	2.16	1.37	1.68
	3.75	0.31	0.27	1.36	2.81	2.48	1.58	1.93

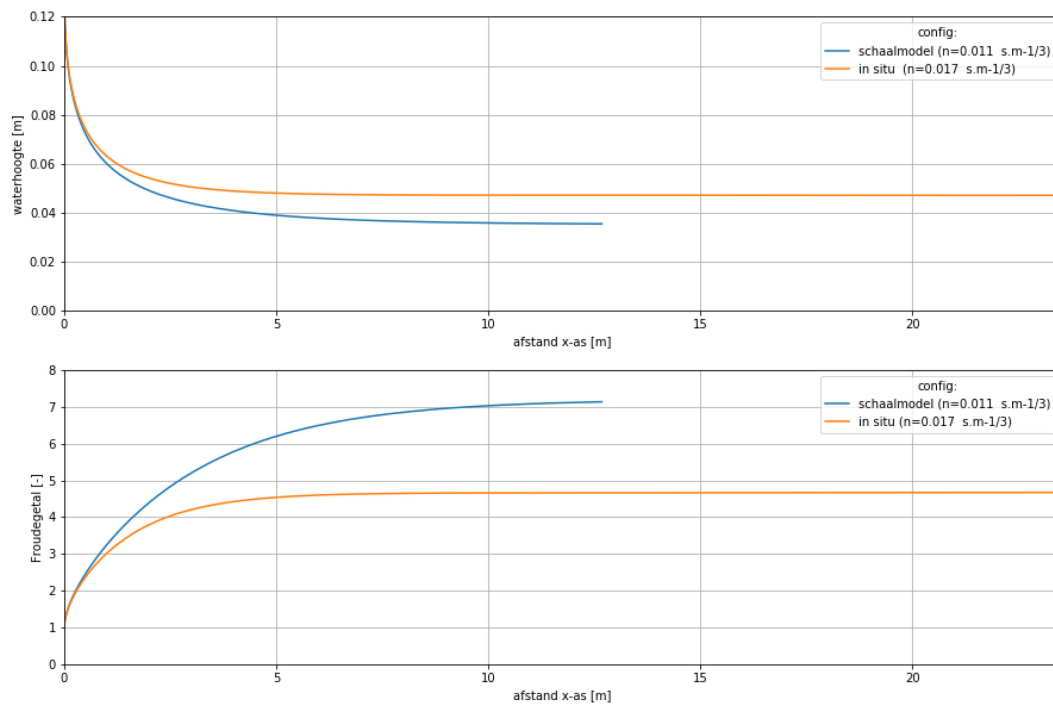
¹ Afgeleid uit de resultaten van het T4000 scenario als het maximum verschil tussen rivierpeil en kruinpeil overlooppdijk over de periode waarbij het peil in het GOG lager is dan het kruinpeil van de overlooppdijk.

Tabel 6 – GOG/GGG Zwijn maatgevende grachtbreedte in functie van maaiveldpeil

scenario	Maai veld peil [m TAW]	overloophoogte		grachtbreedte				
		bij maatgevende grachtbreedte [m]	bij maatgevende grachtdiepte [m]	Certussov [m]	Smetana [m]	Bradley en Peterka [m]	Novak K=4.5 [m]	Novak K=5.5 [m]
T1000	2.00	0.05	0.07	0.17	0.34	0.31	0.19	0.24
	2.25	0.16	0.16	0.66	1.37	1.21	0.77	0.94
	2.50	0.24	0.22	1.03	2.14	1.89	1.20	1.47
	2.75	0.25	0.24	1.04	2.16	1.91	1.21	1.48
	3.00	0.25	0.25	1.04	2.16	1.91	1.21	1.48
T4000	2.00	0.10	0.10	0.38	0.78	0.69	0.44	0.54
	2.25	0.15	0.15	0.62	1.28	1.13	0.72	0.88
	2.50	0.24	0.15	1.02	2.12	1.87	1.19	1.45
	2.75	0.28	0.24	1.18	2.44	2.16	1.37	1.68
	3.00	0.28	0.27	1.18	2.44	2.16	1.37	1.68

Uit Tabel 5 voor GOG/GGG Wal en Tabel 6 voor GOG/GGG Zwijn volgt dat vanaf een maaiveldpeil +2.50 m TAW een grachtbreedte 1.00 m tot 3.10 m bepaald wordt en dat de spreiding tussen de formuleringen groter is dan de spreiding bij een gegeven formulering in functie van het maaiveldpeil. Het is eveneens niet duidelijk of hier de grachtbreedte aan de bodem van de dissipatiegracht of de grachtbreedte bovenaan de dissipatiegracht beschouwd dient te worden. Om die reden wordt vergeleken met de resultaten van de schaalmodelproeven. Een geometrie met een talud doorlopend tot in de bodem van de dissipatiegracht met een grachtdiepte 1.00 m werd beproefd in het schaalmodel. Door verscalen van de proeven met een schaalfactor 1.5 in plaats van 3.0 zijn deze proeven ook van toepassing voor een grachtdiepte 0.50 m.

De maximale overloophoogte maatgevend voor de diepte en breedte van de gracht, zie Tabel 5 en Tabel 6 bedraagt 0.34 m voor Wal en 0.28 m voor Zwijn. Bij toepassen van de schaalfactor 1.5 komt dit overeen met een overloophoogte 0.227 m voor Wal en 0.187 m voor Zwijn in schaalmodelafmetingen. De eerstvolgende overloophoogte die in het schaalmodel beproefd is bedraagt 0.23 m model of 0.35 m in situ. Deze overloophoogte wordt gebruikt voor de vergelijking. Bij toepassen van een schaalfactor 1.5 wordt de dijkhoogte in schaalmodel gereduceerd tot 2.50 m, ten opzichte van 5.00 m bij een schaalfactor 3.0. Doordat de proeven zijn uitgevoerd met een gladde bodem is de ruwheid in model (Manning-coëfficiënt $0.017 \text{ s.m}^{-1/3}$), ook na verscaling, lager dan in situ (Manning-coëfficiënt $0.017 \text{ s.m}^{-1/3}$). Een vergelijking van de condities ter hoogte van de teen van de overloophoogte wordt gegeven in Figuur 6. Bemerk dat de waterhoogte aan de teen in schaalmodel (na verscaling met schaalfactor 1.5) lager is dan in situ en dat de schaalmodelresultaten hierom conservatief zijn.



Figuur 6 – Vergelijking stromingscondities ter hoogte van teen overloophoogte bij een overloophoogte 0.35 m

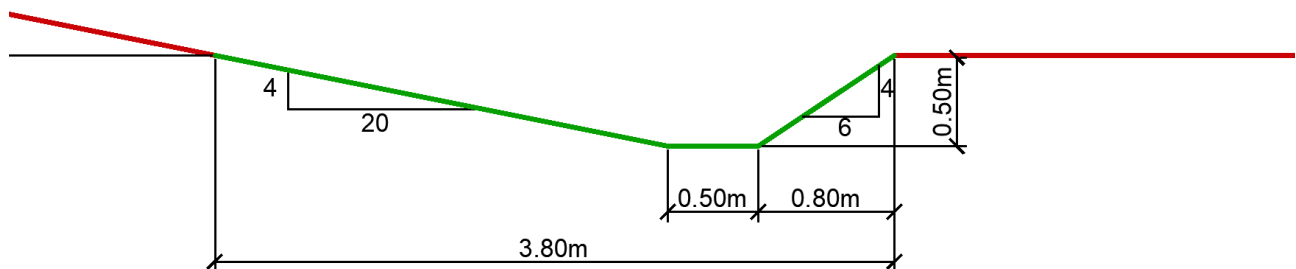
Voor een overloophoogte 0.35 m en een extreem laag polderpeil wordt in Figuur 7 een opname gegeven van het stromingspatroon in de dissipatiegracht gegeven voor een grachtbreedte 0.50 m, 1.00 m en 2.00 m (gemeten op de bodem van de dissipatiegracht). Bemerk uit deze opnames dat voor de drie grachtbreedtes steeds een sprong ontstaat in de gracht onafhankelijk van het polderpeil. Een methodiek voor de bepaling van de benodigde grachtbreedte op basis van het uitgevoerde schaalmodelonderzoek is nog niet opgesteld. Uit een visuele interpretatie van deze opnames volgt dat voor de beschouwde overloophoogte bij een grachtbreedte 2.00 m de lengte van de gracht groter is dan de lengte van de watersprong. Een grachtbreedte 0.50 m en 1.00 m volstaan bijgevolg. Bemerk hierbij dat onderstaande opnames dienen geïnterpreteerd te worden als conservatief enerzijds doordat de overloophoogte enigszins hoger is dan de overloophoogte uit de numerieke modellering (0.35 m ten opzichte van 0.30 m) en anderzijds doordat de proeven uitgevoerd zijn met een glad talud.



Grachtdiepte 0.50 m; Breedte dissipatiegracht: 0.50 m (boven)/ 1.0 m (midden)/ 2.0 m (onder)

Figuur 7 – Vergelijking met schaalmodelonderzoek – overloophoogte 0.35 m en een extreem laag polderpeil

Een voorstel voor een dissipatiegracht met breedte 0.50 m aan de bodem wordt gegeven in Figuur 8. Door het laten doorlopen van het talud met helling 20/4 bedraagt de grachtbreedte op het niveau van het maaiveld 3.80 m. Bemerkt dat voor GOG/GGG Wal bij het meest conservatieve maaiveldpeil (i.e. het hoogst beschouwde maaiveldpeil van 3.75 m TAW) op basis van de spronglengte een grachtbreedte 1.50 m tot 3.10 m bepaald, zie Tabel 5. Voor het GOG/GGG Zwijn werd bij het meest conservatieve maaiveldpeil (i.e. het hoogst beschouwde maaiveldpeil van 3.00 m TAW) op basis van de spronglengte een grachtbreedte 1.20 m tot 2.40 m bepaald, zie Tabel 6.



Figuur 8 – Voorstel dissipatiegracht Wal en Zwijn

5 Besluit

In kader van het Sigmaplan worden Gecontroleerde Overstromingsgebieden aangelegd langs de Schelde en haar getijderivieren. Het vullen van deze gebieden gebeurt door middel van een overlooppdijk. Bij overloop versnelt het water op het talud naar superkritische stroming. Bij lage waterpeilen in het GOG-GGG kan hierdoor een watersprong ontstaan in de polder, bij hoge waterpeilen in het GOG-GGG ontstaat deze watersprong op het dijktaalud. Om te vermijden dat de watersprong in de polder ontstaat en zich daar overmatige erosie voordoet, wordt aan de teen van de overlooppdijk een dissipatiegracht voorzien..

Voor de overlooppdijk van de GOG/GGG-gebieden Wal en Zwijn vraagt dVW afdeling Centraal (dVW; contactpersoon Sander Belmans) aan afdeling Waterbouwkundig Laboratorium (WL) ondersteuning bij het ontwerp van de dissipatiegracht. Op het ogenblik van opstellen van dit advies liep op WL een onderzoek voor de verificatie en optimalisatie van de toegepaste ontwerpmethodologie voor een dissipatiegracht. Dit onderzoek op basis van schaalmodelonderzoek was echter nog niet voltooid bij opstellen van dit advies. Voor het bepalen van de grachtdiepte was vanuit dit onderzoek al een aangepaste ontwerpmethodologie beschikbaar, voor het bepalen van de grachtbreedte was er nog geen ontwerpmethodologie beschikbaar.

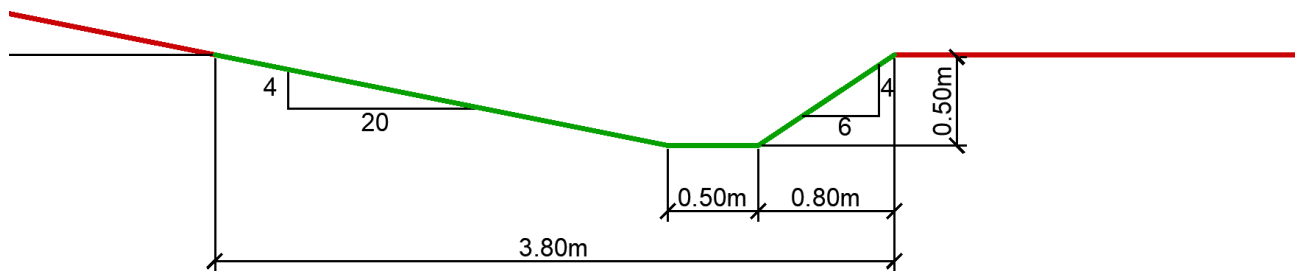
Met behulp van MIKE11 simulaties uitgevoerde hydraulische modellering van deze gebieden werden tijdreeksen gegenereerd van waterpeil in de Schelde en het waterpeil in het GOG/GGG. Aan de hand van deze rivier- en polderpeilen, de taludhelling en de ingeschatte ruwheid van het talud werd voor elke tijdstip van overloop bepaald of een dissipatiegracht nodig is en indien positief wat de benodigde grachtdiepte is. Omdat het maaiveldpeil bij opstellen van het advies nog niet bepaald was werd deze berekening uitgevoerd voor een range aan maaiveldpeilen. De benodigde grachtdiepte in functie van het maaiveldpeil wordt gegeven in Tabel 7 voor de overlooppdijken van GOG/GGG Wal en GOG/GGG Zwijn.

Tabel 7 – Benodigde grachtdiepte van de overlooppdijk in functie van maaiveldpeil Wal en Zwijn

Wal		Zwijn	
maaiveldpeil	grachtdiepte	maaiveldpeil	grachtdiepte
[m TAW]	[m]	[m TAW]	[m]
2.00	0.14	2.00	0.14
2.25	0.16	2.25	0.16
2.50	0.31	2.50	0.23
2.75	0.38	2.75	0.38
3.00	0.43	3.00	0.43
3.25	0.44		
3.50	0.44		
3.75	0.49		

Vervolgens werd voor de overloophoogte horende bij de maatgevende grachtdiepte en theoretische maatgevende grachtbreedte een vergelijking uitgevoerd met de schaalmodelproeven uitgevoerd in kader van het onderzoek naar de optimalisatie van de ontwerpmethodologie. Uit deze vergelijking volgt dat voor de maatgevende overloophoogtes een grachtbreedte 0.50 m volstaat.

Op basis van bovenstaande voorgestelde grachtdiepte en grachtbreedte wordt de geometrie uit Figuur 9 aanbevolen voor de dissipatiegracht aan de teen van de overlooppdijk van GOG/GGG Wal en GOG/GGG Zwijn.



Figuur 9 – Voorgesteld ontwerp dissipatiegracht GOG/GGG Wal en GOG/GGG Zwijn

6 Referenties

Bélanger, J.B. (1828). Essai sur la Solution Numérique de quelques Problèmes Relatifs au Mouvement Permanent des Eaux Courantes.

Berlamont, J. (1980). Theorie van de verhanglijnen: de permanente, turbulente stroming in open kanalen met vaste bodem [CURSUS], 2de uitgav. Katholieke Universiteit Leuven. Afdeling Bouwkunde: Leuven. 224 pp.

Bradley; Peterka. (1957). The hydraulic design of stilling basins: hydraulic jumps on an horizontal apron (Basin I). *Asce J. Hydraul. Div.* (83)

Coen, L.; Pereira, F.; Taverniers, E.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2009). Studie ten behoeve van aanleg van overstromingsgebieden en natuurgebieden in het kader van het Sigmaplan - Ondersteunende studies: bijkomende informatie t.b.v. MER's van de 2010-Sigma gebieden. *WL Rapporten*, 713_15. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Coen, L.; Vanderkimpen, P.; Mostaert, F. (2020). Optimalisatie overlooppdijk Wal-Zwijn: scenarioberekeningen. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 20_039_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=331706>

International Marine and Dredging Consultants; Waterbouwkundig Laboratorium. (2010). Onderzoek naar de bresgevoeligheid van de Vlaamse winterdijken: deelopdracht 2. Literatuuronderzoek van de grondmechanische faalmechanismen met beschrijving van de relevante parameters. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Novak, P.; Moffat, A.I.B.; Nalluri, C.; Narayanan, R. (2007). Hydraulic structures. E & FN Spon: London. ISBN 978-0-415-38626-5

Soresma; SBE; W&Z, A.Z. (2011a). Zeeschelde L.O. te Hamme GOG Wal-Zwijn & Groot Schoor Dwarsprofielen 1/12 Overlooppdijk (as1) DP1-DP15 rev3 c4 9369-A12

Soresma; SBE; W&Z, A.Z. (2011b). Zeeschelde L.O. te Hamme GOG Wal-Zwijn & Groot Schoor Dwarsprofielen 2/12 Overlooppdijk (as1) DP16-DP30 rev3 c4 9369-A13

Soresma; SBE; W&Z, A.Z. (2011c). Zeeschelde L.O. te Hamme GOG Wal-Zwijn & Groot Schoor Dwarsprofielen 3/12 Overlooppdijk (as1) DP31-DP45 rev3 c4 9369-A14

Soresma; SBE; W&Z, A.Z. (2011d). Zeeschelde L.O. te Hamme GOG Wal-Zwijn & Groot Schoor Dwarsprofielen 4/12 Overlooppdijk (as1) DP46-DP60 rev3 c4 9369-A15

Soresma; SBE; W&Z, A.Z. (2011e). Zeeschelde L.O. te Hamme GOG Wal-Zwijn & Groot Schoor Dwarsprofielen 5/12 Overlooppdijk (as1) DP61-DP75 rev3 c4 9369-A16

Soresma; SBE; W&Z, A.Z. (2011f). Zeeschelde L.O. te Hamme GOG Wal-Zwijn & Groot Schoor Dwarsprofielen 6/12 Overlooppdijk (as1) DP76-DP90 rev3 c4 9369-A17

THV Sigma Dijle. (2008). Sigmaplan. Studie t.b.v. aanleg van overstromings- en natuurgebieden i.h.k.v. het Geactualiseerde Sigmaplan. Bestek nr. 16/EI/06/16: Deelopdracht 11 Onderzoek naar bekledingen van waterkeringen.

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be