

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM



Vlaanderen
is wetenschap

20_041.1
WL rapporten

Sigmaplan **Gereduceerde Getijdegebieden – Wal Zwijn**

Revisie gecombineerde in- en uitwateringsconstructies

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Sigmaplan – Gereduceerde Getijdegebieden – Wal Zwijn

Revisie gecombineerde in- en uitwateringsconstructies

Vercruysse, J.; Visser, K.P.; 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 2021
D/2021/3241/286

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vercruysse, J.; Visser, K.P.; Verelst, K. (2021). Sigmaplan – Gereduceerde Getijdegebieden – Wal Zwijn: Revisie gecombineerde in- en uitwateringsconstructies. Versie 3.0. WL Rapporten, 20_041_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.:	WL2021R20_041_1
Trefwoorden (3-5):	Sigmaplan, Controlled Reduced Tide (CRT), Inlet sluice, Stilling basin		
Kennisdomeinen:	Duikers > Literatuur- en desktoponderzoek		
Tekst (p.):	25	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vercruysse, J. ; Visser, K.P.
------------	-------------------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verelst, K.	Getekend door: Kristof Verelst (Signature) Getekend op: 2021-10-19 17:07:11 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed <i>Kristof Verelst</i>
Projectleider:	Vercruysse, J.	Getekend door: Jeroen Vercruysse (Signa) Getekend op: 2021-10-25 10:17:56 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed <i>Jeroen Vercruysse</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Peeters, P. Ingenieur belast met de leiding van de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium	Getekend door: Patrik Peeters (Signature) Getekend op: 2021-10-19 16:13:09 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed <i>Patrik Peeters</i>
-----------------	---	--

Abstract

In kader van het Sigmaplan worden door Vlaamse Waterweg nv - Afdeling Regio Centraal (dVW) Gereduceerde GetijdeGebieden (GGG) aangelegd langsheen de Schelde en haar getijderivieren. Voor de Gecontroleerde OverstromingsGebieden (GOG) Wal en Zwijn met GGG functie vraagt dVW hydraulisch advies voor het ontwerp van de gecombineerde in en – uitwateringsconstructie.

Het advies is gebaseerd op expertise opgedaan in schaalmodelonderzoek voor de in- en uitwateringsconstructies van de GGG-gebieden Bergenmeersen, Grote Vijver en Zennegat, Vlassenbroek, De Bunt en Doelpolder. Het constructief ontwerp wordt uitgewerkt door het studiebureau SBE op basis van de geometrie van Grote Vijver.

Voor de gebieden Wal en Zwijn wordt het inkomend debiet in functie van het rivierpeil berekend. Hierbij wordt zowel een conservatief debiet beschouwd waarbij geen rekening gehouden wordt met contractie, de aanwezigheid van een tussenkolom of vuilroosters als een gereduceerd gebied waarbij hier wel rekening mee gehouden wordt. In overleg met de opdrachtgever wordt besloten om het ontwerp verder uit te voeren op basis van het gereduceerd debiet.

Het bodempeil van de woelkom wordt zo gekozen dat de watersprong, die ten gevolge van de inwatering ontstaat, steeds optreedt in de woelkom.

Voor Zwijn werd een constructief ontwerp overgemaakt. Dit ontwerp werd getoetst aan de hand van een ontwerp voor een USBR type III -woelkom en aan de hand van de uit het schaalmodelonderzoek weerhouden geometrieën voor de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie van Grote Vijver en Vlassenbroek. Hieruit volgde dat de voorgestelde woelkomlengte van 11.0 m voldoet. De einddrempel op het einde van de woelkom zorgt voor een spreiding van de stroming in de hoogte. De voorgestelde helling van 55° is vanuit hydraulisch oogpunt steil. Aanbevolen wordt om de hoek van de einddrempel te verflauwen, minimum tot 45° en idealiter tot 26°. Op basis van een verschaling van de in schaalmodel opgemeten bodemnabije snelheid voor Grote Vijver volgt een maximale snelheid 3.0 m/s boven de erosiebescherming aan polderzijde.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Gegevens	3
2.1 GOG-GGG Wal en Zwijn.....	3
2.2 Geometrie Wal-Zwijn	6
3 Debiet	9
4 Vloerpeil woelkom.....	12
5 Geometrie.....	16
5.1 Dimensionering woelkom.....	16
5.2 Vergelijking geometrie	19
5.3 Bodemnabije snelheden aan polderzijde	20
6 Conclusies	23
7 Referenties	25

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Gebruikte modellen	5
Tabel 2 – Coëfficiënt a en b voor formule corresponderende waterhoogte	13
Tabel 3 – Bodempeil woelkom Wal en Zwijn	15
Tabel 4 – Vergelijking woelkomlengte Wal en Zwijn met Grote Vijver en Vlassenbroek	18

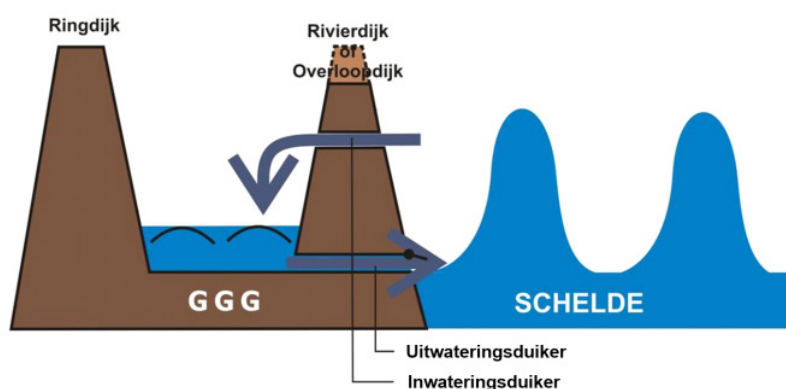
Lijst van de figuren

Figuur 1 – Principeschets van een Gereduceerd GetijdeGebied.....	1
Figuur 2 – Principeschets gecombineerde in- en uitwateringsconstructie	1
Figuur 3 – GOG-GGG Gebieden Wal en Zwijn	3
Figuur 4 – Peil GOG-GGG Wal en Zwijn in functie van Scheldepeil.....	4
Figuur 5 – Peil GOG-GGG Wal en Zwijn in functie van Scheldepeil vergelijking met Grote Vijver.....	5
Figuur 6 – Geometrie aanbestedingsplan Grote Vijver	6
Figuur 7 – Grote Vijver vergelijking geometrie weerhouden uit schaalmodelonderzoek met geometrie uit aanbestedingsplan.....	7
Figuur 8 – Doorsnede constructief ontwerp gecombineerde in- en uitwateringsconstructie GOG/GGG Zwijn	8
Figuur 9 – Doelpolder proeven met vuilrooster.....	10
Figuur 10 – Ontwerp gecombineerde in- en uitwateringsconstructie Doelpolder	10
Figuur 11 – Debiet en kritische waterhoogte in functie van Scheldepeil.....	11
Figuur 12 – Optredend stromingspatroon bij een stijgend polderpeil.....	12
Figuur 13 – Controle corresponderende waterhoogte	14
Figuur 14 – Vergelijking Geometrie Zwijn met Grote Vijver G3 en Vlassenbroek G6	19
Figuur 15 – Snelheid aan polderzijde constructie Wal en Zwijn o.b.v. verschaling Grote Vijver G3.....	21
Figuur 16 – Sectiegemiddelde snelheid bij uittrede Wal en Zwijn.....	22

1 Inleiding

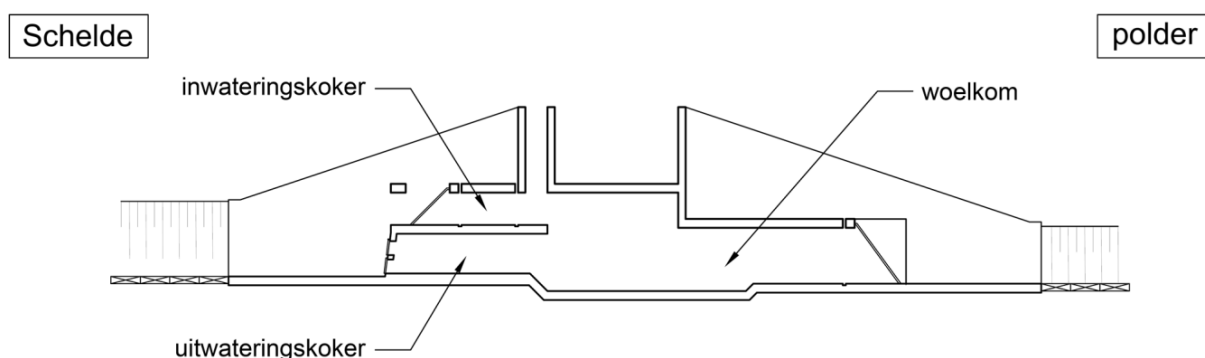
De Vlaamse Waterweg nv - Afdeling Regio Centraal (dVW; contactpersoon Sander Belmans) vraagt advies aan het Waterbouwkundig Laboratorium voor het hydraulisch ontwerp van de gecombineerde in- en uitwateringsconstructies voor de Gecontroleerde OverstromingsGebieden (GOG) met Gereduceerd GetijdeGebied (GGG) functie Wal en Zwijn.

In het kader van het geactualiseerde Sigmaplan worden in opdracht van dVW GGG's aangelegd langs de Schelde en haar getijderivieren. Het werkingsprincipe van een GGG is voorgesteld in Figuur 1. Bij hoogwater stroomt het water via een inwateringsduiker het gebied binnen, bij laagwater wordt het gebied via een uitwateringsduiker geleid. Deze GGG gebieden worden veelal gecombineerd met een GOG. Bij GOG werking gebeurt de vulling door middel van het overlopen van een overlooptdijk, i.e. een verlaagde dijk tussen de rivier en het GOG. De uitstroming bij GOG werking gebeurt door dezelfde uitwateringskokers als deze voor de GGG functie.



Figuur 1 – Principeschets van een Gereduceerd GetijdeGebied

In 2006 werd als pilootproject het GOG/GGG Lippenbroek in gebruik genomen. In 2015 werd het GOG/GGG Kruibeke in werking gesteld. De in- en uitwatering in deze twee gebieden geschiedt door middel van 2 afzonderlijke constructies (een inwateringsduiker en een uitwateringsduiker). Lippenbroek en KBR betreffen de eerste twee ontwerpen voor een GGG gebied. Hierna werd besloten om voor de volgende GGG gebieden de in- en uitwatering te centraliseren in 1 gecombineerde in- en uitwateringsconstructie. Deze constructie bestaat aan rivierzijde uit een inwateringskoker bovenop een uitwateringskoker. Aan polderzijde wordt een woelkom voorzien. Een principe schets van een gecombineerde in- en uitwateringsconstructie is voorgesteld in Figuur 2.



Figuur 2 – Principeschets gecombineerde in- en uitwateringsconstructie

Voor de gecombineerde in- en uitwateringsconstructies van Bergenmeersen, Zennegat en Grote Vijver, Vlassenbroek, De Bunt en Doelpolder heeft WL in de periode 2012 tot 2016 schaalmodelonderzoek uitgevoerd. De kennis opgedaan uit dit onderzoek werd samengevat in een overzichtsrapport (J. B. Vercruysse *et al.*, 2020). De revisie voor de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie van de GOG-GGG gebieden Wal en Zwijn zal gebeuren op basis van de uit dit onderzoek opgedane expertise met betrekking tot het hydraulisch ontwerp van gecombineerde in- en uitwateringsconstructies.

De voorgestelde geometrie en de hydraulische randvoorwaarden worden gegeven in hoofdstuk 2. De bepaling van het inwateringsdebiet in functie van het rivierpeil wordt gegeven in hoofdstuk 3. Bij een gegeven rivier- en polderpeil is het bodempeil van de woelkom bepalend voor het al dan niet ontstaan van een watersprong in de woelkom. In hoofdstuk 4 wordt het bodempeil van de woelkom bepaald. In hoofdstuk 5 wordt vervolgens de geometrie van de constructie verder besproken. De conclusies worden tot slot samengevat in hoofdstuk 6.

2 Gegevens

Een overzicht van de GOG/GGG gebieden Wal en Zwijn, de dimensionering van de in- en uitwateringsconstructie en de polderpeilen volgend uit numerieke modellering worden gegeven in paragraaf 2.1. De voorgestelde geometrie voor de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie van Wal en Zwijn wordt besproken in paragraaf 2.2.

2.1 GOG-GGG Wal en Zwijn

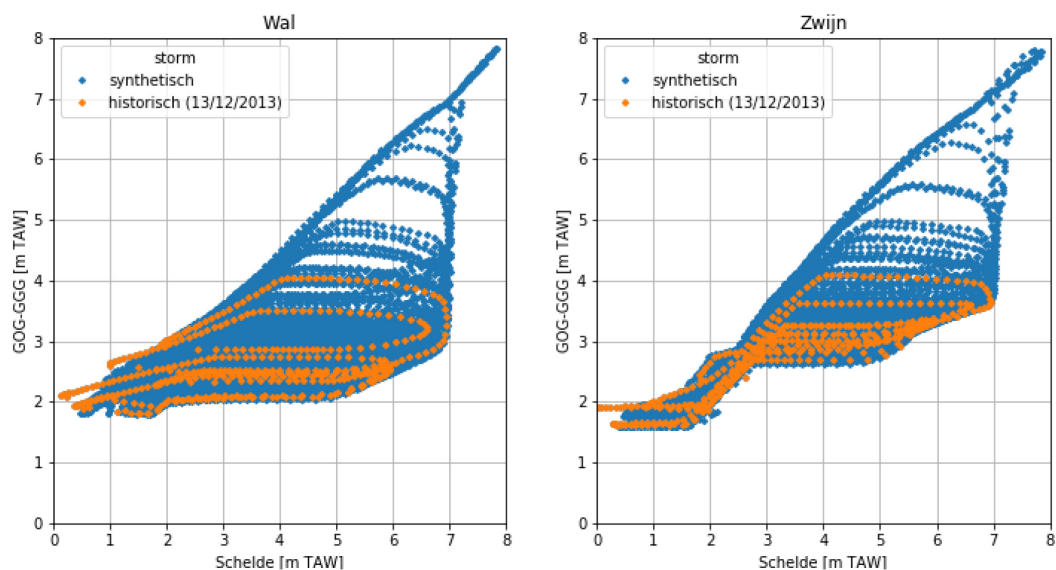
De GOG-GGG gebieden Wal en Zwijn behoren tot de cluster Vlassenbroek op de Schelde afwaarts Dendermonde. Een overzichtsfiguur uit de modellering voor het inrichtingsontwerp van beide gebieden wordt gegeven in Figuur 3.



(Coen *et al.*, 2009)

Figuur 3 – GOG-GGG Gebieden Wal en Zwijn

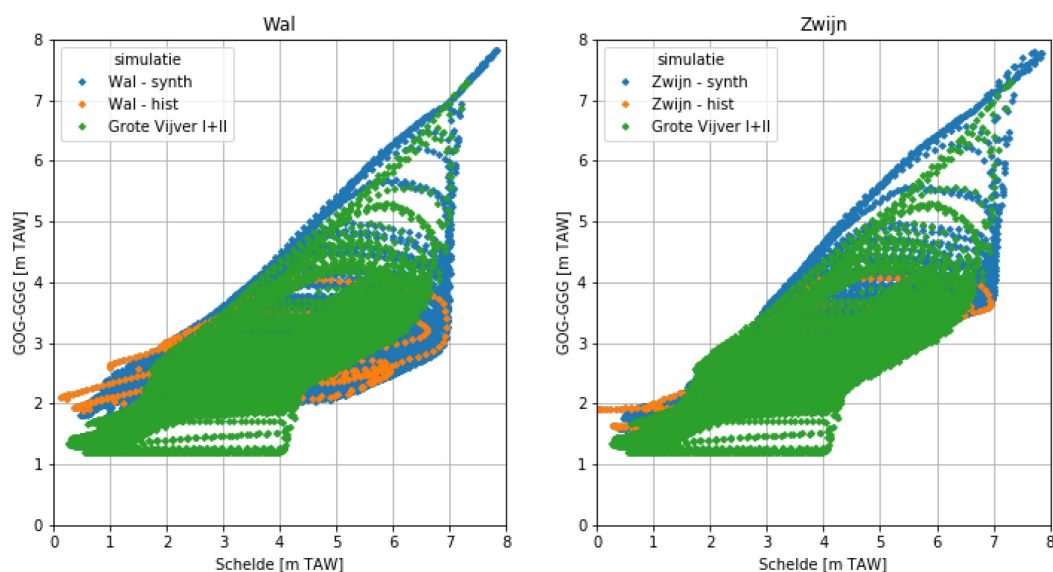
Het inrichtingsontwerp van de GOG-GGG gebieden Wal en Zwijn werd in 2009 uitgevoerd door WL (Coen *et al.*, 2009). Uit het inrichtingsontwerp volgt het benodigd aantal in- en uitwateringskokers, het benodigde bodempeil van de kokers en de vulling van het gebied in functie van het rivierpeil. Voor het ontwerp van de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie Wal en Zwijn worden de hydraulische randvoorwaarden (de relatie tussen het rivier en polderpeil) afgeleid uit deze modellering. Hiervoor worden simulaties met synthetische stormen (terugkeerperiode 1 jaar tot en met 4000 jaar) en een historische storm beschouwd. Hierbij wordt aangenomen dat de inwateringsconstructies niet afgesloten worden voorafgaand aan GOG-werking. Uit deze resultaten wordt voor beide gebieden het polderpeil in functie van het rivierpeil geplot, zie Figuur 4.



Figuur 4 – Peil GOG-GGG Wal en Zwijn in functie van Scheldepeil

Bemerk in deze figuren dat voor het ontwerp van de woelkom voor de gecombineerde in- en uitwateringsconstructies de ondergrens van de polderpeilen voor de periodes waarbij inwatering optreedt maatgevend zijn. Zowel bij Wal als bij Zwijn wordt opgemerkt dat vanaf een rivierpeil ca. +4.8 m TAW de ondergrens van het peil in de polder begint toe te nemen. De ondergrens van het polderpeil voorafgaand deze toename bedraagt ca. +2.0 m TAW voor Wal en ca. +2.6 m TAW voor Zwijn. Op het moment dat het rivierpeil +6.70 m TAW bereikt bedraagt de ondergrens van het polderpeil in Wal ca. +2.9 m TAW en deze voor het polderpeil in Zwijn ca. +3.6 m TAW. Vanaf +6.70 m TAW treden de overloopdijken in werking waardoor het peil in de polder snel toeneemt tot het peil in de Schelde bereikt wordt. Op vlak van het minimum polderpeil in functie van het Scheldepeil is er een goede overeenkomst tussen de simulaties op basis van de synthetische stormen en de simulatie op basis van de historische storm.

Omdat de in- en uitwateringsconstructies van Wal en Zwijn gebaseerd worden op de in- en uitwateringsconstructie van Grote Vijver wordt in Figuur 5 de relatie tussen de polderpeilen in functie van de rivierpeilen vergeleken met deze voor Grote Vijver. Bij aanvang inwatering is de ondergrens van het polderpeil bij Wal ca. 0.5 m lager dan bij Grote Vijver. Dit verschil neemt toe tot ca. 1.5 m bij een rivierpeil +7.00 m TAW. Voor Zwijn wordt opgemerkt dat de ondergrens van het polderpeil te Grote Vijver hoger ligt tot een rivierpeil +6.40 m TAW. Na bereiken van een rivierpeil +6.40 m TAW neemt het polderpeil in Grote Vijver sterk toe terwijl het polderpeil in Zwijn achterblijft tot een rivierpeil ca. +7.00 m TAW. Bemerk hieruit dat bij Wal voor het volledige bereik de hydraulische condities nadeliger zijn dan voor Grote Vijver, bij Zwijn zijn de hydraulische condities nadeliger bij overschrijden van een rivierpeil +6.40 m TAW.



Figuur 5 – Peil GOG-GGG Wal en Zwijn in functie van Scheldepeil vergelijking met Grote Vijver

De gebruikte modellen, condities en configuratie van in- en uitwateringskoker voor Zwijn, Wal en Grote Vijver worden, ter informatie, samengevat in Tabel 1.

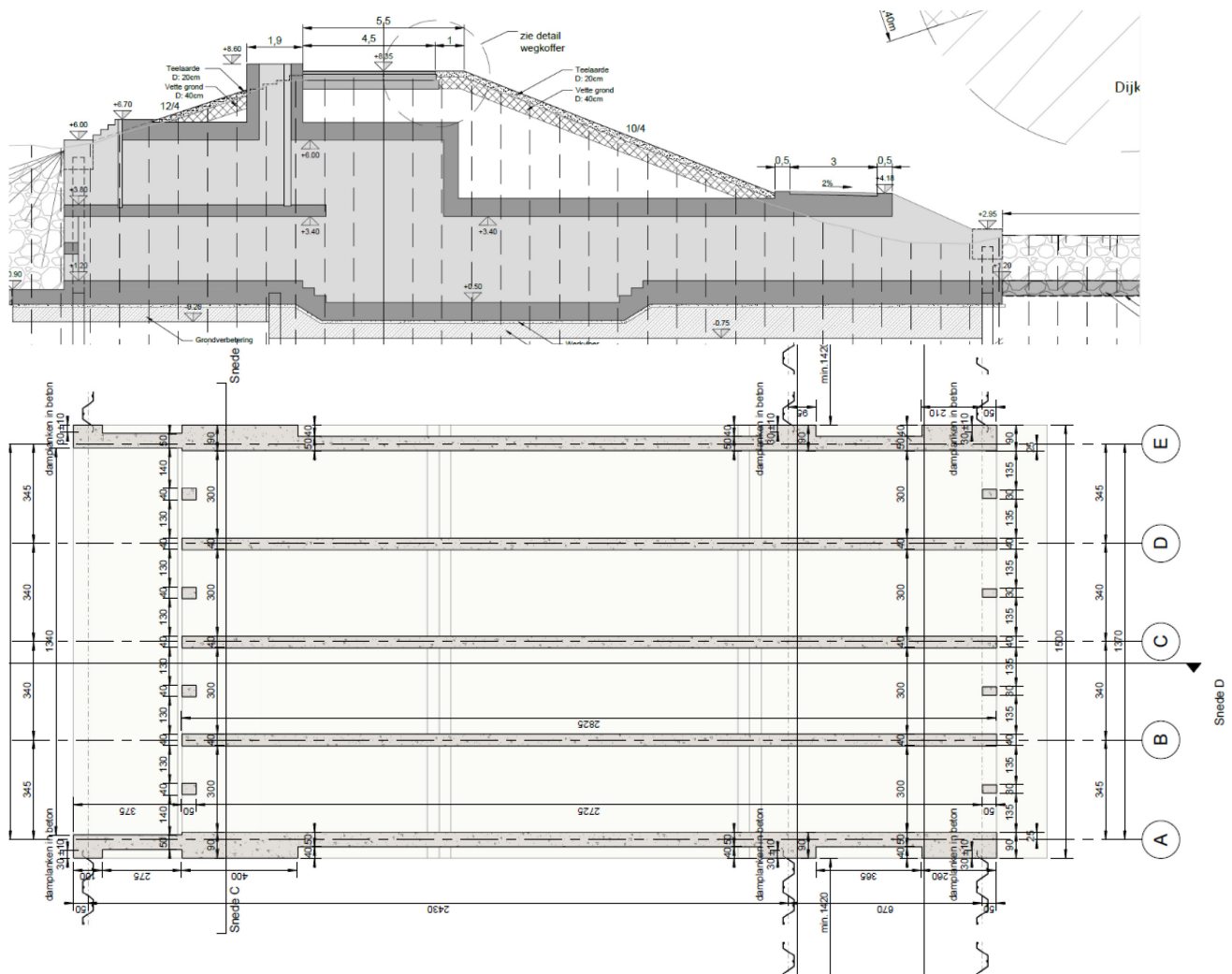
Tabel 1 – Gebruikte modellen

GOG-GGG	model	conditie	Inwateringskokers*	Uitwateringskokers*
Wal	20041_ZE ESCHELDE _MWeA2 025	T1 tem T1000 historische storm van 13/12/2013	1 koker op +4.60 m TAW + 1 koker op +4.50 m TAW + 1 koker op +4.30 m TAW	6 kokers op +1.50 m TAW + 2 kokers op +2.20 m TAW (extra zuidelijke uitwatering)
Zwijn	20041_ZE ESCHELDE _MWeA2 025	T1 tem T1000 historische storm van 13/12/2013	1 koker op +4.80 m TAW + 2 kokers op +4.60 m TAW + 1 koker op +4.30 m TAW	6 kokers op +1.50 m TAW
Grote Vijver I+II	MWeA- ZDB- 04_12GO Gs+GGGG VI+II-	februari - maart 2002 februari 2009 Krokus 1990 januari - mei 2000	6 kokers op +4.00 m TAW aantakking Grote Vijver II 6 kokers op +1.80 m TAW	6 kokers op +1.20 m TAW

* De vermelde peilen betreffen de drempelpeilen

2.2 Geometrie Wal-Zwijn

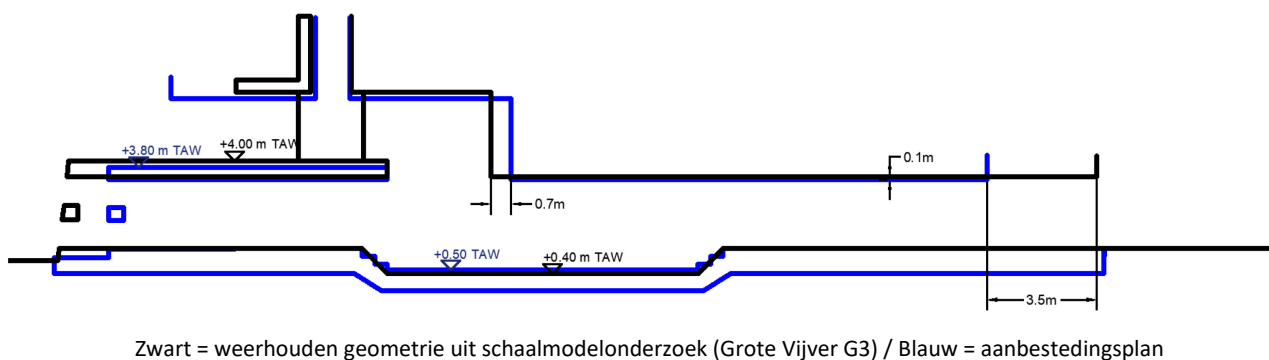
Het constructief ontwerp voor de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie wordt uitgevoerd door het studie bureau SBE. De gecombineerde in- en uitwateringsconstructie wordt gebaseerd op basis van de aanbestedingsplannen van Grote Vijver. Een bovenaanzicht en doorsnede van de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie voor Grote Vijver wordt gegeven in Figuur 6.



(Tractebel & W&Z, 2017b; a)

Figuur 6 – Geometrie aanbestedingsplan Grote Vijver

De geometrie van de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie is gebaseerd op de uit het schaalmodelonderzoek weerhouden geometrie Grote Vijver G3 (J. Vercruysse *et al.*, 2013). In Figuur 7 wordt de geometrie uit het aanbestedingsplan vergeleken met de uit het schaalmodelonderzoek weerhouden geometrie Grote Vijver G3.



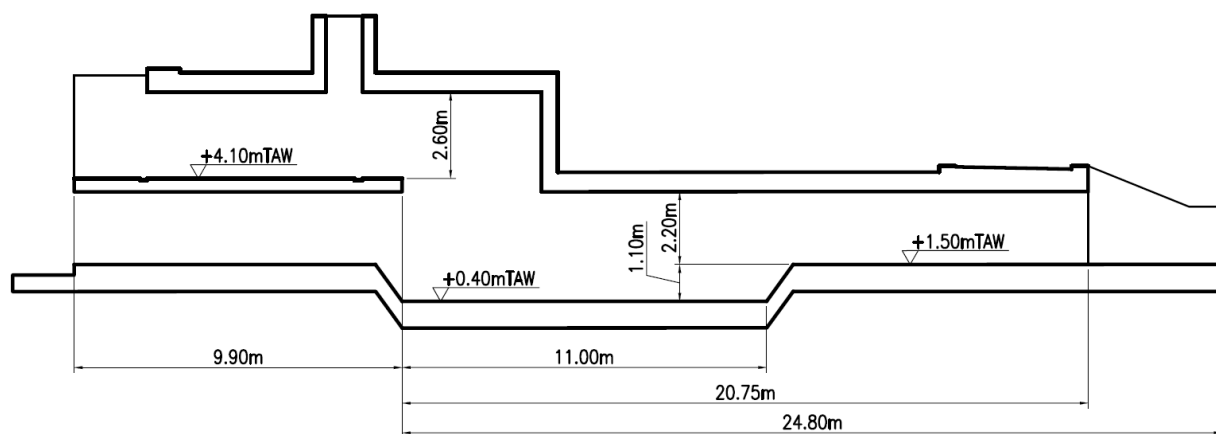
Figuur 7 – Grote Vijver vergelijking geometrie weerhouden uit schaalmodelonderzoek met geometrie uit aanbestedingsplan

Uit deze vergelijking volgt dat de in schaalmodel onderzochte geometrie en de geometrie uit het aanbestedingsplan goed overeenkomen. De hydraulisch relevante verschillen betreffen:

- het vloerpeil van de inwateringskoker is 0.20 m verlaagd in het aanbestedingsplan (+4.00 m TAW → +3.80 m TAW).
- Het vloerpeil van de woelkom is met 0.10 m verhoogd in het aanbestedingsplan (+0.40 m TAW → +0.50 m TAW). Het plafond van de koker aan polderzijde is hierbij ook met 0.10 m verhoogd.
- De afstand tussen het einde van de inwateringskoker en de hier tegenoverstaande verticale muur is met 0.66 m toegenomen (3.35 m → 4.00 m).
- Het einde van het plafond van de constructie ten opzichte van het einde van de inwateringskoker is met 3.5 m afgenomen.
- De schuine drempel is vervangen door een getrapte drempel.

De invloed van deze wijzigingen ten opzichte van het uit schaalmodelonderzoek weerhouden ontwerp worden beperkt geacht. De schuine drempel dient om de bodemnabije stroming op het einde van de woelkom te spreiden over de hoogte en om erosie onmiddellijk na de constructie te voorkomen. Dit laatste is voor de gecombineerde in- en uitwateringsconstructies geen issue omdat de betonnen vloerplaat doorloopt na de drempel. Een getrapte overgang werd niet beproefd op schaalmodel en is mogelijk iets minder efficiënt. Door de lange betonnen vloerplaat na einde woelkom wordt deze getrapte overgang niet als een mogelijk probleem beschouwd dat verder onderzocht dient te worden.

Op 29/05/2020 werden door de opdrachtgever ontwerpplannen voor Zwijn doorgegeven. Op deze ontwerpplannen zijn 4 inwateringskokers met bodempeil +4.10 m TAW en 6 uitwateringskokers met bodempeil +1.50 m TAW voorzien. Dit komt overeen met de in de numerieke modellering in kader van het inrichtingsontwerp toegepaste in- en uitwateringsconstructie, zie Tabel 1. De hogere bodempeilen in het model worden verklaard doordat het bodempeil in situ ingesteld wordt door middel van schotbalken. Een constructief ontwerp voor Wal moet bij schrijven van dit rapport nog opgemaakt worden.



o.b.v. een draft plan (mail Sander Belmans dd. 29/05/2020)

Figuur 8 – Doorsnede constructief ontwerp gecombineerde in- en uitwateringsconstructie GOG/GGG Zwijn

3 Debiet

Voor het dimensioneren van het vloerpeil van de woelkom in hoofdstuk 4 en vervolgens de geometrie van de woelkom in hoofdstuk 5, dient het inkomend debiet bepaald te worden in functie van het rivierpeil. Voor het inkomend debiet zal zowel een conservatief als een gereduceerd debiet bepaald worden. In beide gevallen wordt uitgegaan van de situatie zonder schotbalken.

In het overzichtsrapport van het schaalmodelonderzoek (J. B. Vercruysse *et al.*, 2020) wordt volgende overlaatformule voorgesteld voor het bepalen van het debiet:

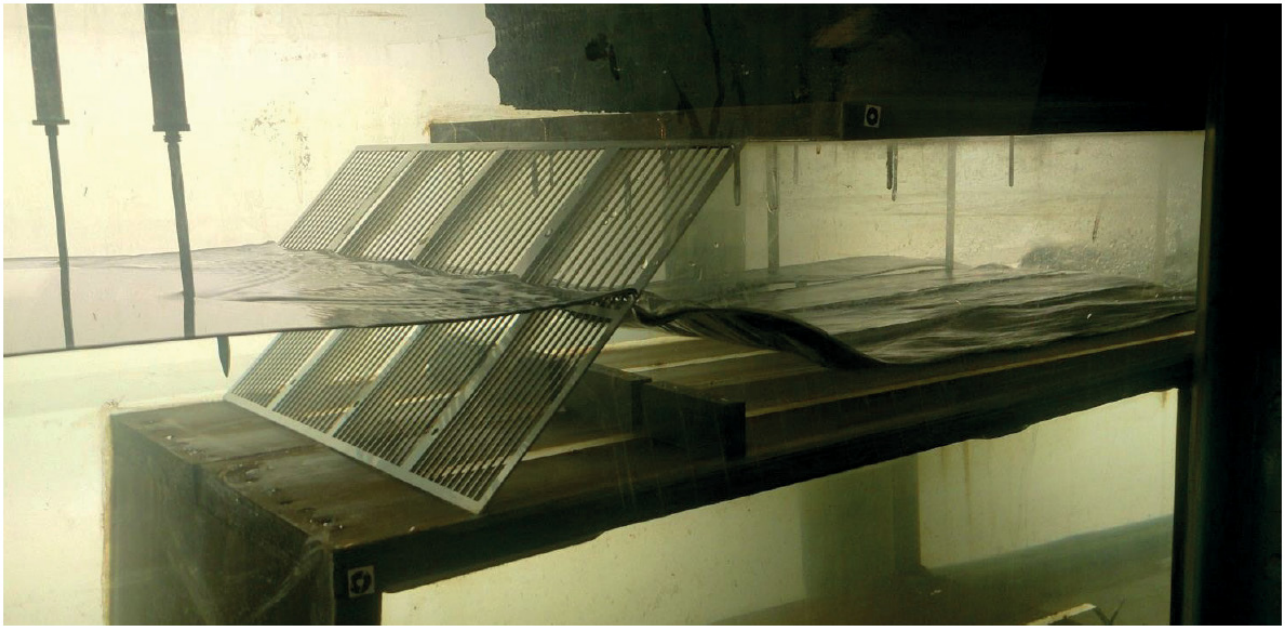
$$q = \alpha \cdot (P_{Schelde} - P_{Drempel})^{1.5}$$

Met:

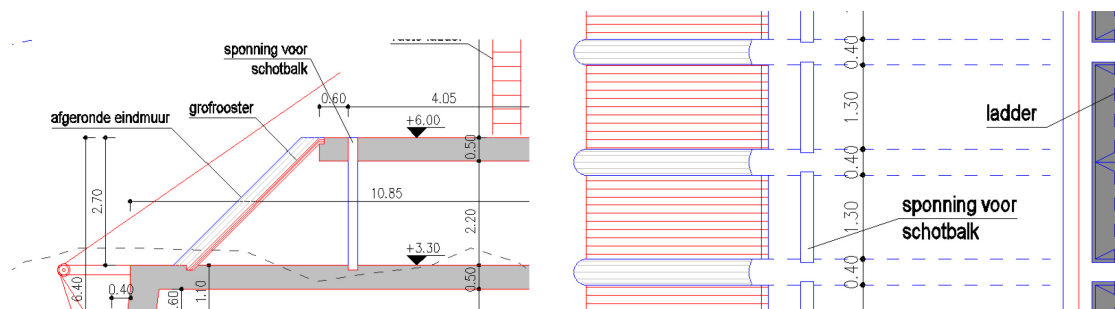
• q	Debiet per m breedte	[m ² /s]
• α	Overlaatcoëfficiënt = 1.55	[-]
• $P_{Schelde}$	Scheldepeil	[m TAW]
• $P_{Drempel}$	Drempelpeil	[m TAW]

Aangezien het ontwerp van Zwijn aansluit bij het in schaalmodel beproefde ontwerp voor Dijlemonding wordt de coëfficiënt α afgeleid uit de proeven voor Dijlemonding toegepast. Dit debiet wordt als conservatief beschouwd omdat geen rekening gehouden wordt met een reductie van het debiet ten gevolge van loslating, weerstand over het vuilrooster en de aanwezigheid van een tussenkolom.

Naast het conservatief debiet wordt ook een gereduceerd debiet voorgesteld waarbij getracht wordt om de afname van het debiet ten gevolge van de verminderde doorstroomsectie omwille van het tussenschot, loslating aan de tussenmuren en vuilroosters in rekening te brengen. Hiervoor wordt het schaalmodelonderzoek voor de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie van Doelpolder gebruikt (J. B. Vercruysse *et al.*, 2016). In dit schaalmodel werden twee kokers gemodelleerd met in elke koker een tussenmuur. Een illustratie van de inlaat van Doelpolder met vuilroosters wordt gegeven in Figuur 9. De tussenmuren werden in plexiglas uitgevoerd en zijn niet zichtbaar op de foto. Een doorsnede en bovenaanzicht van de tussenmuren met de vuilroosters wordt gegeven in Figuur 10. Bemerk dat de geometrie enigszins verschilt van Grote Vijver waar de muren tussen de kokers en de tussenmuren naar achteren zijn geplaatst. Bij Doelpolder zullen de tussenmuren hierdoor eerder voor opstuwing zorgen dan bij Grote Vijver. De proeven werden uitgevoerd zonder schotbalk en met een schotbalk met hoogte 0.30 m. Voor het bepalen van het gereduceerd debiet werden enkel de metingen zonder schotbalk beschouwd.



Figuur 9 – Doelpolder proeven met vuilrooster



Figuur 10 – Ontwerp gecombineerde in- en uitwateringsconstructie Doelpolder

De proeven voor het hydraulisch ontwerp van de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie van Doelpolder (J. B. Vercruyse *et al.*, 2016) werden zonder vuilrooster uitgevoerd. Uit deze proeven volgde dat het debiet goed overeenkomt met de overlaatformule indien de vrije doorstroombreedte (kokerbreedte exclusief breedte tussenmuur voor schotbalken) toegepast wordt. In kader van de validatie van de op WL ontwikkelde Telemac-schematisatie voor het bepalen van het debiet doorheen een koker, o.a. opgesteld voor de in- en uitwateringsconstructies van de Sigmagebieden, werden bijkomende metingen uitgevoerd op het schaalmodel (Smolders *et al.*, 2019). Hierbij werd een vuilrooster toegevoegd in de inwateringskoker. Dit vuilrooster bedekte 17 % van de beschikbare sectie. De relatief hoge blokkering van de beschikbare sectie wordt verklaard door het verbreden van de sectie ter hoogte van de tussenmuren en aan de buitenranden, zie Figuur 9. Vergelijking van de metingen met en zonder vuilrooster leert dat vuilroosters het debiet met 4 % à 10 % reduceren.

Op basis hiervan wordt voor voorgesteld het gereduceerde debiet te berekenen op basis van de minimale vrije doorstroomsectie en hierop een reductie met 4 % ten gevolge van de vuilroosters in rekening te brengen. Op deze wijze wordt een reductie van het conservatief debiet met 17 % bekomen:

$$\frac{B_{koker} - B_{tussenschot}}{B_{koker}} \times \text{reductie vuilroosters} = \frac{3.0 - 0.4}{3.0} \times (1 - 0.04) = 0.83\%$$

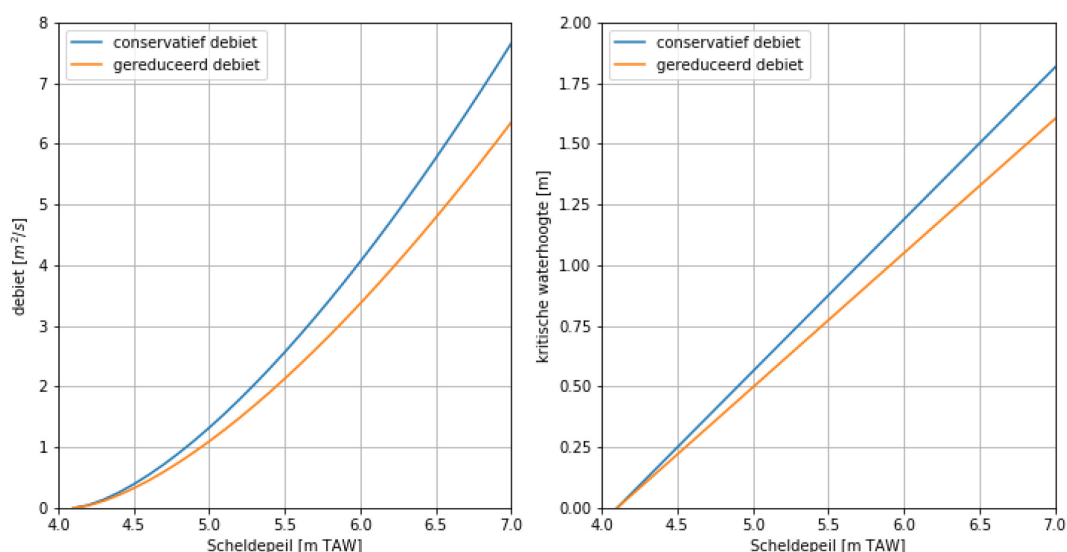
Het conservatief en gereduceerd debiet in functie van het rivierpeil wordt gegeven in Figuur 11. Bemerkt dat beide constructies een zelfde relatie debiet tot rivierpeil hebben doordat het vloerpeil voor de inwateringskoker van zowel Wal als Zwijn op +4.10 m TAW liggen. Bijkomend wordt in deze figuur ook nog de kritische waterhoogte gegeven. De kritische waterhoogte is relevant omdat de verhouding van de kritische waterhoogte tot de valhoogte een belangrijke parameter is in formuleringen voor een vallende straal. De kritische waterhoogte wordt als volgt berekend:

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

Met:

- d_c Kritische waterhoogte [m]
- q Debiet per eenheidsbreedte [m^2/s]
- g Valversnelling (= 9.81 m/s^2) [m/s^2]

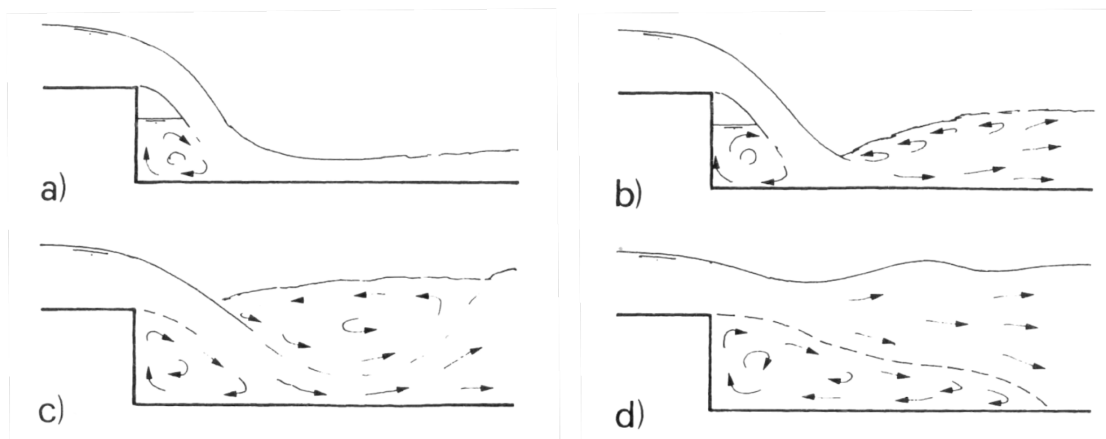
Bemerkt dat bij een reductie van het debiet met 17 % de kritische waterhoogte met 12 % wordt gereduceerd.



Figuur 11 – Debiet en kritische waterhoogte in functie van Scheldepeil

4 Vloerpeil woelkom

Ten gevolge van de val versnelt het water en ontstaat in de woelkom bodemnabije stroming met superkritische snelheid. Deze superkritische stroming dient in de woelkom omgezet te worden naar subkritische stroming door middel van een watersprong. Om deze watersprong te initiëren dient voor een gegeven debiet en valhoogte een bepaalde tegendruk, een waterhoogte, in de polder aanwezig te zijn. De minimale waterhoogte in de polder waarbij een watersprong ontstaat in de woelkom betreft de corresponderende waterhoogte. Bij een polderpeil lager dan deze corresponderende waterhoogte zal de watersprong niet in de woelkom ontstaan maar aan polderzijde van de constructie. Bij een hoger polderpeil dan het corresponderend polderpeil zal een verdrinken watersprong ontstaan. Bij een verder toename van het polderpeil gaat de stroming over naar een oppervlaktejet. De verschillende stromingspatronen na een val bij een stijgend polderpeil worden gegeven in Figuur 12.



(Vischer & Hager, 1995)

Figuur 12 – Optredend stromingspatroon bij een stijgend polderpeil

Bij een toename van het rivierpeil zal de corresponderende waterhoogte toenemen. De corresponderende waterhoogte in functie van het debiet en de valhoogte wordt berekend door middel van volgende formule:

$$\frac{Y_2}{\Delta z} = a \cdot \left(\frac{d_c}{\Delta z} \right)^b$$

Met:

- | | | |
|--------------|---|---------------------|
| • Y_2 | Waterhoogte na sprong | [m] |
| • d_c | Kritische waterhoogte ($d_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$) | [m] |
| • q | Debiet per eenheidsbreedte (zie hoofdstuk 3) | [m ² /s] |
| • g | Valversnelling (= 9.81 m/s ²) | [m/s ²] |
| • Δz | Valhoogte | [m] |
| • a | Coëfficiënt, zie Tabel 2 | [-] |
| • b | Coëfficiënt, zie Tabel 2 | [-] |

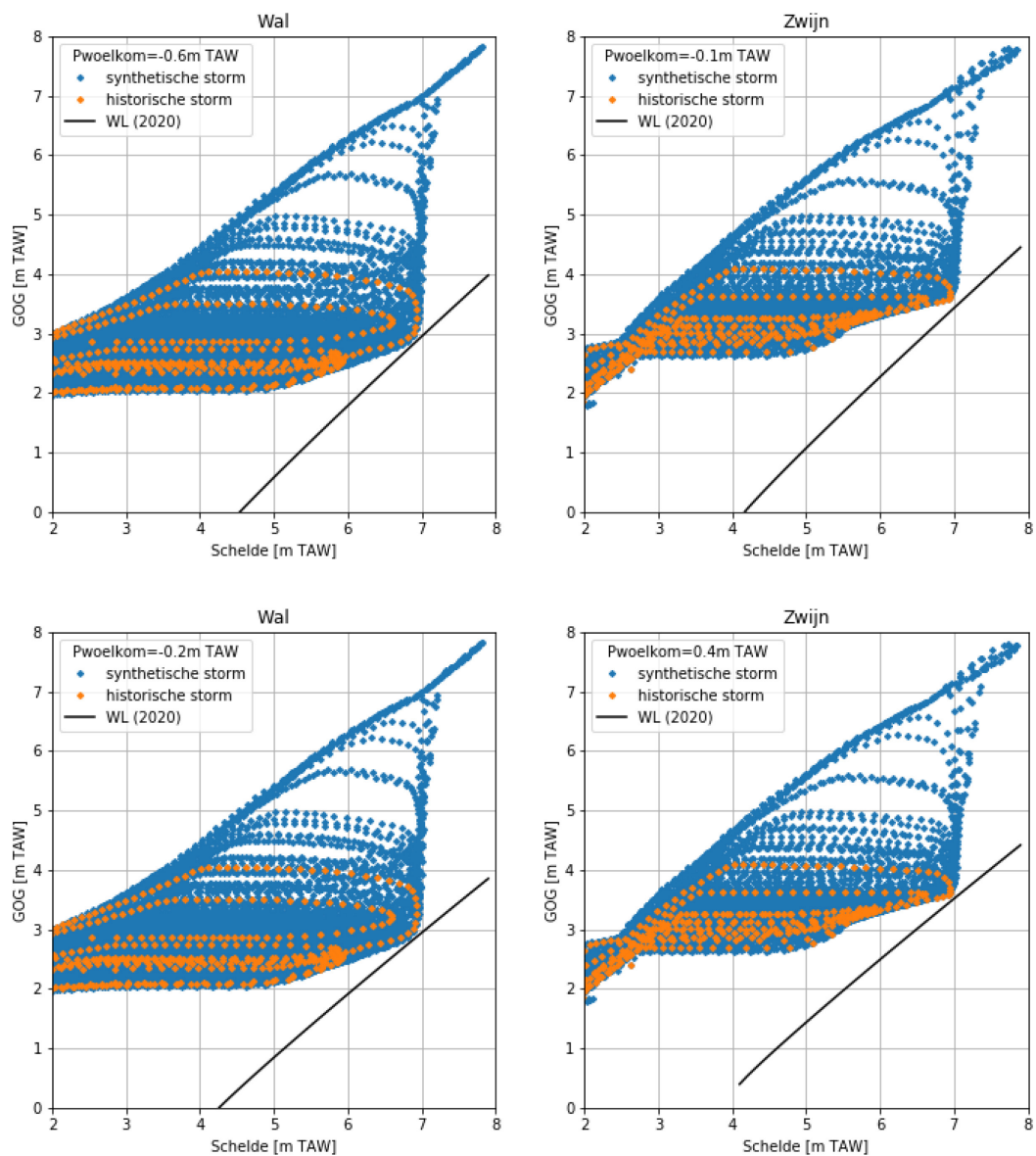
Voor de coëfficiënten a en b in deze formule zijn waarden in de literatuur terug te vinden van Rand (1955) en Chanson (2002). In het overzichtsrapport van de schaalmodelproeven (J. B. Vercruysse *et al.*, 2020) werd op basis van de schaalmodelproeven ook een waarde toegekend aan deze coëfficiënten, zowel bij een beluchte als bij een niet beluchte vallende straal. De coëfficiënten van Rand, Chanson en deze volgend uit het door WL uitgevoerd schaalmodelonderzoek worden samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 – Coëfficiënt a en b voor formule corresponderende waterhoogte

$\frac{Y_2}{\Delta z} = a \cdot \left(\frac{d_c}{\Delta z}\right)^b$	J. B. Vercruysse <i>et al.</i> (2020)		Rand (1955)	Chanson (2002)
	niet belucht	belucht		
a	1.85	1.82	1.66	1.565
b	0.94	0.92	0.81	0.809

Bemerk dat de coëfficiënten van Rand en Chanson in principe enkel geldig zijn bij een beluchte vallende straal. In de gecombineerde in- en uitwateringsconstructies wordt geen beluchting voorzien en kan aangenomen worden dat de vallende straal niet belucht is. Bij een niet beluchte vallende straal wordt deze aangezogen waardoor de vallende straal minder ver reikt. Uit het schaalmodelonderzoek volgde dat de verschillen op de corresponderende waterhoogte beperkt zijn, wat ook volgt uit het beperkte verschil tussen de coëfficiënten voor een beluchte en een niet beluchte vallende straal.

Op basis van de coëfficiënten voor een niet beluchte vallende straal volgend uit het schaalmodelonderzoek wordt in Figuur 13 de corresponderende waterhoogte uitgezet in functie van het Scheldepeil. Het vloerpeil van de woelkom is hierbij iteratief bepaald zodat over de volledige range van rivierpeilen het corresponderend polderpeil lager of gelijk is aan het minimum voorkomend polderpeil. De uit deze iteratieve bepaling volgende vloerpeilen van de woelkom worden samengevat in Tabel 3.



Boven: conservatief debiet / Onder: gereduceerd debiet

Figuur 13 – Controle corresponderende waterhoogte

Tabel 3 – Bodempeil woelkom Wal en Zwijn

GOG/GGG	o.b.v. debiet overlaatformule	o.b.v. gereduceerd debiet
Wal	-0.60 m TAW	-0.20 m TAW
Zwijn	-0.10 m TAW	0.40 m TAW

Uit deze analyse volgt bij het gereduceerd debiet een woelkom vloerpeil -0.20 m TAW voor Wal en +0.40 m TAW voor Zwijn. Bij toepassen van het conservatief debiet dient het bodempeil van de woelkom verlaagd te worden met 0.40 à 0.50 m. In overleg met de opdrachtgever wordt besloten om de woelkomdiepte volgend uit de berekening met het gereduceerd debiet te gebruiken voor het constructief ontwerp. Bemerk hierbij dat bij de hoogste rivierpeilen, voorafgaand GOG werking, de marge op de corresponderende waterhoogte minimaal is. Indien het peil aan polderzijde niet voldoende is om een sprong te laten ontstaan in de woelkom zal door de einddrempel van de woelkom al dissipatie optreden waarbij een sprong kan ontstaan in de koker na de drempel. Indien het polderpeil ook hiervoor te laag is zal de sprong vermoedelijk optreden net afwaarts de constructie na uitstroming uit de vuilroosters en verwijding van de sectie door het wegvallen van de tussenmuren. De betonnen vloerplaat loopt hierbij nog 4 m door. Hierop volgend wordt een zone met erosiebescherming voorzien. Aanbevolen wordt om na de eerste overloopevents te controleren of zich schade heeft voorgedaan aan de erosiebescherming aan polderzijde van de constructie.

5 Geometrie

De voorgesteld geometrie van de woelkom voor Zwijn wordt in paragraaf 5.1 vergeleken met een ontwerp op basis van een USBR type III woelkom. Ter vergelijking wordt deze dimensionering ook uitgevoerd voor de uit het schaalmodelonderzoek weerhouden geometrie voor Grote Vijver en Vlassenbroek. In paragraaf 5.2 wordt de uit het schaalmodelonderzoek weerhouden ontwerp voor Grote Vijver en Vlassenbroek verschaald naar een ontwerp voor Zwijn en vervolgens vergeleken met het ontwerp uit paragraaf 2.2. In paragraaf 5.3 wordt een inschatting gemaakt van de stroomsnelheid aan de bodem aan polderzijde van de constructie voor Wal en Zwijn op basis van een verscaling van schaalmodelresultaten voor Grote Vijver.

Bemerkt dat in dit hoofdstuk ook vergeleken wordt met Vlassenbroek G6. Voor Vlassenbroek werd een uitgebreide optimalisatie uitgevoerd waarbij 6 verschillende geometrieën van de woelkom beproefd werden. Voor Grote Vijver werd in het schaalmodelonderzoek enkel het plafond boven de woelkom geoptimaliseerd maar niet de woelkom zelf.

5.1 Dimensionering woelkom

De benodigde woelkomlengte is afhankelijk van het inwateringsdebiet en de valhoogte. Bij een te korte woelkomlengte zal niet voldoende energie gedissipeerd worden waardoor de stroming die uit de woelkom treedt alsnog superkritisch is en waarop na de woelkom een tweede watersprong ontstaat. Een te lange woelkomlengte heeft geen hydraulische meerwaarde. In Tabel 4 wordt een dimensionering van de woelkom uitgevoerd op basis van formules voor een USBR type III woelkom. Uit J. B. Vercruysse *et al.* (2020) volgt dat een woelkomontwerp voor een USBR type III woelkom zonder het toepassen van stootblokken goede resultaten geeft. Deze dimensionering wordt uitgevoerd voor Zwijn en de uit het schaalmodel onderzoek weerhouden geometrie voor Grote Vijver (G3) en Vlassenbroek (G6). Bij opstellen van dit rapport werd nog geen constructief ontwerp voor Wal overgemaakt. De dimensionering werd wel uitgevoerd uitgaand van een inwateringspeil op +4.10 m TAW en een bodempeil woelkom op -0.20 m TAW (zie Tabel 3).

De dimensionering wordt als volgt uitgevoerd:

- Door de relatief beperkte toename van de ondergrens van het polderpeil in de gebieden Wal en Zwijn voorafgaand overloop, zie Figuur 4, wordt een rivierpeil +7.00 m TAW beschouwd. Voor Dijlemonding en Vlassenbroek wordt een 0.50 m lager rivierpeil, + 6.50 m TAW, beschouwd. Dit omdat de ondergrens van het polderpeil hier sneller toeneemt bij een toenemend rivierpeil, zie Figuur 5 voor Dijlemonding en J. B. Vercruysse *et al.* (2014) voor Vlassenbroek.
- Het debiet wordt berekend uit de inwateringshoogte door middel van de in hoofdstuk 3 gegeven formulering. Voor Zwijn en Wal wordt de dimensionering uitgevoerd met het gereduceerd debiet, zie hoofdstuk 3. Grote Vijver en Vlassenbroek G6 zijn beproefd op schaalmodel zonder insnoering of vuilrooster waardoor hier geen reductie toegepast wordt.
- Uit het debiet wordt de kritische waterhoogte -dc- bepaald, zie hoofdstuk 3. De verhouding van de kritische waterhoogte tot de valhoogte - Δz - wordt verder toegepast voor de berekening van de hoogte na sprong en de vallengte.
- De hoogte na sprong betreft de minimum benodigde waterhoogte ten opzichte van het vloerpeil van de woelkom om een sprong te laten ontstaan. Voor de dimensionering wordt de hoogte na sprong bepaald aan de hand van de coëfficiënten volgend uit het door WL uitgevoerde schaalmodelonderzoek voor de gecombineerde in- en uitwateringsconstructies voor een niet beluchte vallende straal, zie hoofdstuk 4.

- De lengte tussen het einde van de inwateringskoker en waar de vallende straal de bodem raakt wordt berekend door middel van volgende formule van Chanson:

$$\frac{L_D}{\Delta z} = 2.171 \left(\frac{dc}{\Delta z} \right)^{0.525} \quad (\text{Chanson, 2002})$$

- Uit de proeven voor Vlassenbroek volgt dat een goed resultaat bekomen wordt bij een ontwerp van de woelkom op basis van de formules voor een USBR type III woelkom. Bemerk dat dit een formule voor een woelkom met stootblokken betreft die toegepast wordt voor een woelkom zonder stootblokken.

$$L_{wUSBRIII} = 2.2 \cdot Y_2 \quad (\text{Peterka, 1984})$$

- De totale woelkomlengte wordt bekomen door de vallengte en de berekende lengte voor een USBR type III woelkom samen te voegen:

$$L_w = L_D + L_{wUSBRIII}$$

- De hoogte van de einddrempel voor een USBR type III woelkom wordt als volgt bepaald:

$$h_4 = Y_1 \cdot (0.0536 \cdot Fr_1 + 1.04) \quad (\text{Peterka, 1984})$$

Verklaring van de in bovenstaande vergelijkingen toegepaste symbolen:

- | | | |
|--------------|--|---------------------|
| • L_D | Lengte vallende straal gemeten vanaf het begin van de val tot het punt afwaarts waar de vallende straal omgezet is naar een horizontale stroming. | [m] |
| • dc | Kritische waterhoogte, zie hoofdstuk 3 | [m] |
| • Δz | Valhoogte | [m] |
| • L_b | Lengte woelkom USBR type III | [m] |
| • Y_2 | Hoogte na sprong | [m] |
| • L_w | Lengte woelkom | [m] |
| • h_4 | Hoogte einddrempel | [m] |
| • Y_1 | Hoogte vòòr sprong bepaald met de formule van Chanson (2002)
$\left(\frac{Y_1}{\Delta z} = 0.625 \cdot \left(\frac{dc}{\Delta z} \right)^{1.326} \right)$ | [m] |
| • Fr_1 | Froudegetal voor sprong $\left(Fr_1 = \frac{q/Y_1}{\sqrt{g \cdot Y_1}} \right)$ | [-] |
| • q | Debiet per eenheidsbreedte, zie hoofdstuk 3 | [m ² /s] |

Tabel 4 – Vergelijking woelkomlengte Wal en Zwijn met Grote Vijver en Vlassenbroek

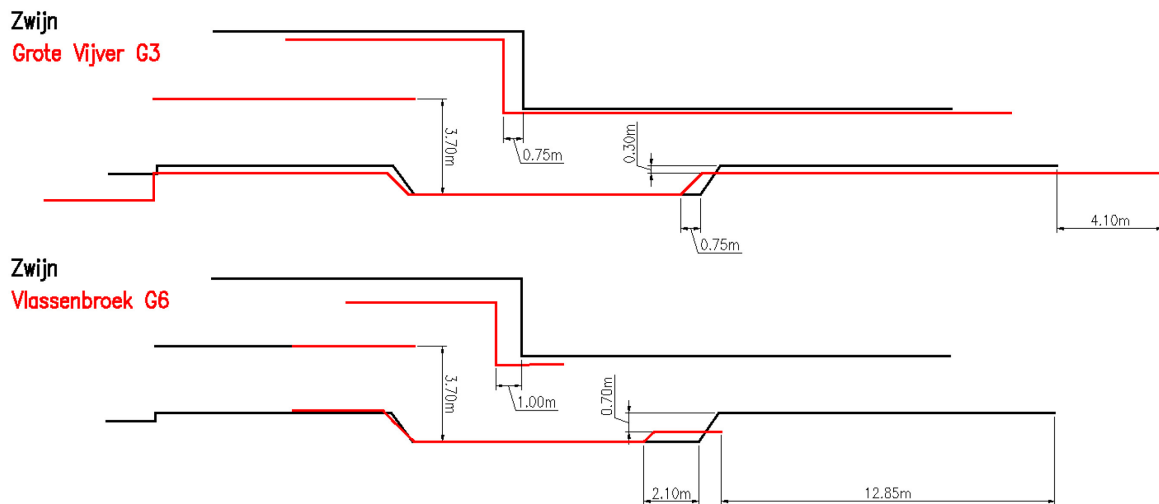
		Grote Vijver G3	Vlassenbroek G6	Wal	Zwijn
rivierpeil	[m TAW]	6.50	6.50	7.00	7.00
vloerpeil inwateringskoker	[m TAW]	4.00	4.00	4.10	4.10
inwateringshoogte	[m]	2.50	2.50	2.90	2.90
vloerpeil woelkom	[m TAW]	0.40	-0.60	-0.20	0.40
valhoogte dz	[m]	3.60	4.60	4.30	3.70
debiet per eenheidsbreedte q	[m ² /s]	6.13	6.13	6.35	6.35
kritische waterhoogte dc	[m]	1.56	1.56	1.60	1.60
<u>kritische waterhoogte dc</u> valhoogte dz	[-]	0.43	0.34	0.37	0.43
Froude getal voor sprong Fr_1	[-]	3.04	3.43	3.28	3.05
hoogte voor sprong Y_1	[m]	0.74	0.69	0.73	0.76
hoogte na sprong Y_1	[m]	3.04	3.09	3.15	3.12
lengte vallende straal L_D	[m]	5.05	5.67	5.56	5.18
woelkomlengte USBR type III $L_{WUSBRIII}$	[m]	6.69	6.79	6.92	6.86
berekende woelkomlengte L_w	[m]	11.7	12.5	12.5	12.0
lengte woelkom uit schaalmodel of ontwerp	[m]	10.0	11.0	/	11.0
hoogte einddrempel USBR type III	[m]	0.90	0.84	0.88	0.92
hoogte einddrempel uit schaalmodel of ontwerp	[m]	0.80	0.50	/	1.10
hoek einddrempel USBR type III	[°]	26.6			
hoek einddrempel uit schaalmodel of ontwerp	[°]	45	45	/	55

Uit Tabel 3 volgt dat de woelkomlengte voor Grote Vijver G3 en Vlassenbroek G6 ca. 10 % korter is dan de berekende woelkomlengte voor een USBR type III woelkom. Dit ligt in lijn met Zwijn waar een woelkomlengte 11.0 m op plan aangegeven wordt ten opzichte van een berekende lengte 12 m. De berekende hoogte van de einddrempel horende bij een USBR type III woelkom ligt voor de 4 constructies tussen 0.84 m en 0.92 m. Deze hoogte komt overeen met ca. de hoogte voor Dijlemondig. Voor Vlassenbroek G6 is de hoogte van de einddrempel 0.34 m lager dan de hoogte volgend uit de ontwerpformules voor een USBR type III woelkom. Voor Zwijn bedraagt de hoogte van de drempel op plan 1.10 m ten opzichte van 0.92 m bepaald voor een USBR type III woelkom. Voor een USBR type III woelkom wordt een hoek 26.6° opgelegd voor de einddrempel. Tijdens het schaalmodelonderzoek werden de proeven uitgevoerd met een einddrempel 45°. Het voorgestelde ontwerp voor Wal en Zwijn heeft een einddrempel onder een hoek 55°. Bemerkt dat de hoek van de einddrempel bij een USBR type III woelkom geoptimaliseerd werd voor het spreiden van de bodem nabije snelheid van de woelkom over de hoogte van de waterkolom. Tijdens schaalmodelproeven voor een woelkomontwerp voor een stuw op de Dender werd zowel een einddrempel 26° als 63° beproefd (Verelst *et al.*, 2019). Uit deze resultaten volgt dat een einddrempel 26° zorgt voor een aanzienlijke betere spreiding van de stroming over de hoogte.

Op basis van bovenstaande wordt voor Wal en Zwijn aanbevolen om de hoek van de einddrempel te verflauwen, minimum tot 45° en idealiter tot 26°.

5.2 Vergelijking geometrie

Een vergelijking van het voorliggend ontwerp van Zwijn met Grote Vijver G3 en Vlassenbroek G6 wordt gegeven in Figuur 14. De geometrie van beide ontwerpen werd zo verschaald dat de valhoogte overeenkomt met de valhoogte te Zwijn.



Figuur 14 – Vergelijking Geometrie Zwijn met Grote Vijver G3 en Vlassenbroek G6

Uit de vergelijking volgt dat er een goede overeenkomst is tussen de verschaalde geometrie voor Grote Vijver G3 en Zwijn. Bij Grote Vijver loopt het plafond van de constructie door tot ca. 12 m na de woelkom. Voor Vlassenbroek G6 eindigt het plafond halverwege de woelkom. Bij Grote Vijver diende de constructie minimaal zichtbaar te zijn en werd de constructie ingewerkt in de dijk. Bij Zwijn wordt gekozen om de koker te verlengen zodat hierop een onderhoudsweg aangelegd kan worden. Vanuit hydraulisch oogpunt heeft de geometrie van Vlassenbroek G6 de voorkeur omdat de stroming over de einddrempel hier kan uitspreiden over de volledige hoogte.

Bij toename van het polderpeil zal de helling van de vallende straal afnemen waardoor de vallende straal de bodem raakt verder naar het einde van de woelkom en in extreme situaties zelfs uit de woelkom schiet. Het plafond boven de woelkom dient dit te voorkomen doordat bij een afnemende helling de straal de verticale muur raakt en zo herricht wordt naar de bodem van de woelkom. Het voorliggend ontwerp voor Zwijn wordt hierbij als beperkt nadeliger beschouwd dan Grote Vijver en Vlassenbroek omdat de afstand tussen einde inwateringskoker en verticale overgang van het plafond 0.75 m, respectievelijk 1.0 m verder ligt. Deze toename wordt niet als een probleem beschouwd.

Voor Wal werd een bodempeil woelkom -0.20 m TAW bepaald. Dit betreft een verlaging met 0.60 m ten opzichte van Zwijn. Indien voor Wal het constructief ontwerp gebaseerd wordt op Zwijn en enkel het bodempeil van de woelkom verlaagd wordt resulteert dit in een einddrempel met hoogte 1.7 m. Dit is merkbaar hoger dan wat beproefd werd in het schaalmodelonderzoek (max. drempelhoogte 1.0 m) en wat volgt uit de dimensionering voor een USBR type III woelkom (drempelhoogte 0.92 m). Aanbevolen wordt om voor Wal de hoogte van de einddrempel van Zwijn te behouden en het bodempeil van de koker aan polderzijde met 0.60 m te verlagen tot 0.90 m TAW. Het plafondpeil van de koker kan hierbij behouden blijven.

5.3 Bodemnabije snelheden aan polderzijde

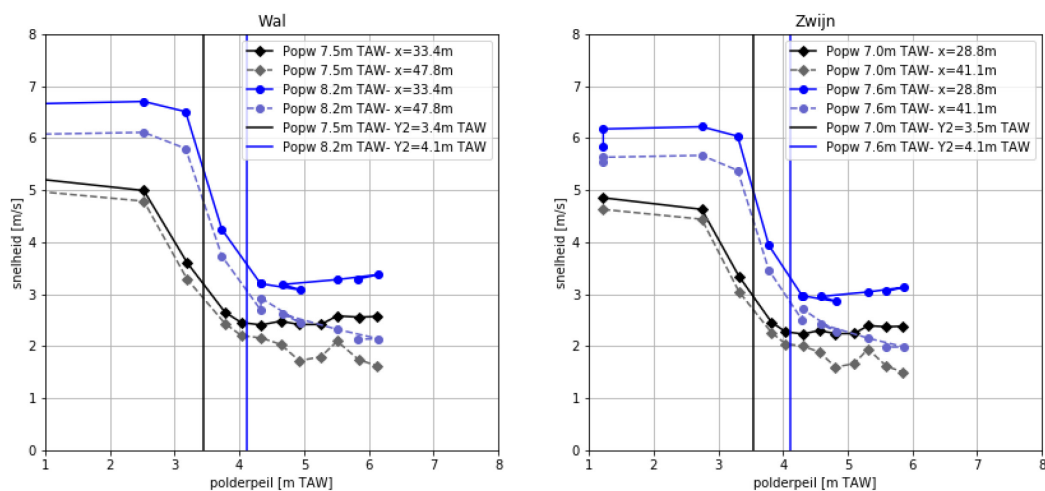
Het doorgestuurde voorontwerp is gebaseerd op de door middel van schaalmodelproeven beproefde geometrie Grote Vijver G3 (J. Vercruysse *et al.*, 2013). In deze paragraaf worden de in de schaalmodelproeven opgemeten bodemnabije snelheden voor Grote Vijver G3 verschaald naar de geometrie voor Zwijn en naar de geometrie voor Wal. De verschaling gebeurt volgens de methodologie gegeven in J. B. Vercruysse *et al.* (2020). Hierbij wordt de opgemeten bodemnabije snelheid eerst dimensieloos weergegeven door deze te delen door de theoretische stroomsnelheid na de val. Vervolgens wordt de snelheid terug opgeschaald op basis van de theoretische stroomsnelheid na de val voor Wal en Zwijn. De theoretische stroomsnelheid na val wordt hierbij als volgt berekend:

$$v_{Y1} = \frac{q}{Y_1} = \frac{d_c^{3/2} \cdot \sqrt{g}}{0.54 \cdot \left(\frac{d_c}{\Delta_z}\right)^{1.275} \cdot \Delta_z} = \frac{d_c^{0.225} \cdot \Delta_z^{0.275} \cdot \sqrt{g}}{0.54}$$

Met:

- v_{Y1} Hoogtegemiddelde snelheid na val [m/s]
- q Debiet per eenheidsbreedte [m²/s]
- Y_1 Waterhoogte vòòr sprong bepaald aan de hand van Rand (1955):
 $\frac{Y_1}{\Delta_z} = 0.54 \cdot \left(\frac{d_c}{\Delta_z}\right)^{1.275}$ [m]
- d_c Kritische waterhoogte ($d_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$) [m]
- g Valversnelling (= 9.81 m/s²) [m/s²]
- Δ_z Valhoogte [m]

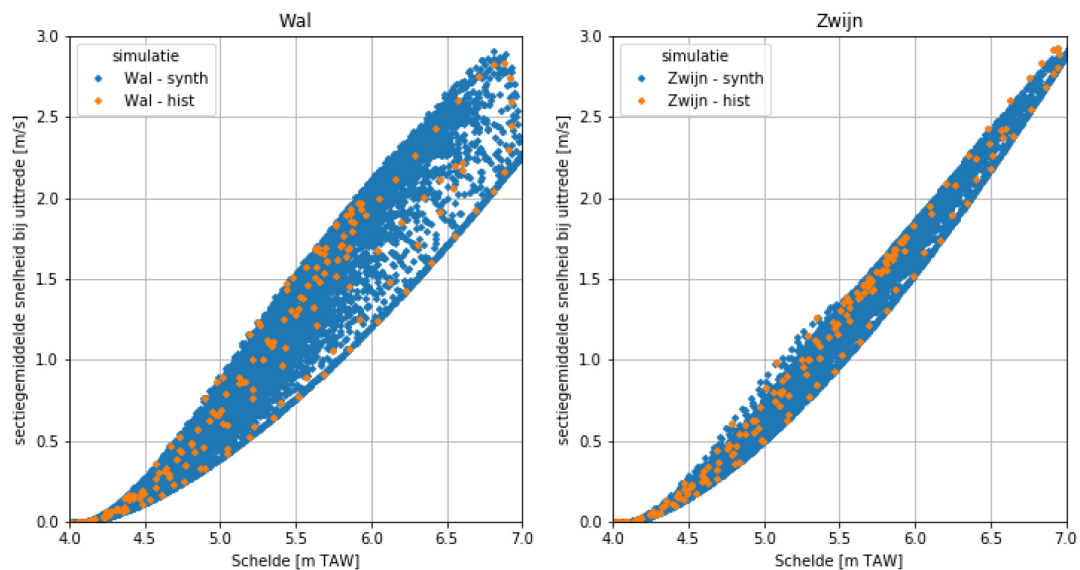
De bodemnabije snelheid in functie van het polderpeil wordt gegeven in Figuur 15. De locatie, 'x', wordt uitgedrukt ten opzichte van het einde van de inwateringskoker. Voor Zwijn eindigt de vloerplaat van de constructie op ca. 24.1 m na de val. De meest opwaartse snelheidsmeting bij de schaalmodelproeven van Grote Vijver bevindt zich op 4 m na einde inwateringskoker en de meest afwaartse op 16 m na einde inwateringskoker. De snelheidsmetingen voor Grote Vijver werden uitgevoerd bij een rivierpeil +6.50 m TAW en +7.00 m TAW. Door het diepere vloerpeil van de woelkom voor Wal en Zwijn neemt de relatieve inwateringshoogte toe. Dit wordt evenwel gedeeltelijk gecompenseerd door de reductie van het debiet. Op deze figuren wordt ook de berekende corresponderende hoogte gegeven, zie hoofdstuk 4. In de metingen valt ook op dat de snelheid op ca. 30 m na einde val bij polderpeilen hoger dan de corresponderende waterhoogte bij een toenemend polderpeil constant blijft tot beperkt toeneemt. Dit is te wijten aan het plafond van de uitwateringsconstructie, plafondpeil +3.70 m TAW voor Zwijn. Door dit plafond wordt de stroming uit de woelkom samengehouden waardoor deze als een jet uit de constructie treedt. Bij polderpeilen hoger dan het corresponderend polderpeil is de stroomsnelheid aan de bodem op ca. 30 m na de val beperkt tot ca 2.5 m/s bij een rivierpeil gelijk aan peil overlooppijk.



Y2 = corresponderende waterhoogte bepaald zoals beschreven in hoofdstuk 4.

Figuur 15 – Snelheid aan polderzijde constructie Wal en Zwijn o.b.v. verschaling Grote Vijver G3

In Figuur 16 wordt de sectiegemiddelde snelheid bij uittrede gegeven. Deze wordt bepaald op basis van de rivier- en polderpeilen uit de MIKE11 modellering van de gebieden Wal en Zwijn, zie paragraaf 2.1. Voor de rivierpeilen waarbij zich inwatering voordoet wordt het debiet berekend zoals beschreven in hoofdstuk 3. Vervolgens wordt het debiet per eenheidsbreedte gedeeld door de waterhoogte in de koker net voor uittrede. Bij een polderpeil lager dan het plafondpeil van de koker wordt hiervoor het polderpeil uit de MIKE11 modellering toegepast. Bij een polderpeil hoger dan het plafondpeil wordt het peil van het plafond aan polderzijde gebruikt. Voor Zwijn wordt hiervoor het vloer en bodempeil uit het constructief ontwerp gebruikt, zie Figuur 8. Voor Wal is er nog geen constructief ontwerp beschikbaar. Uit hoofdstuk 4 volgt dat het bodempeil van de woelkom bij Wal 0.60 m lager dient te zijn dan bij Zwijn. Uit paragraaf 5.2 volgde de aanbeveling om de einddrempel voor Wal niet te verhogen ten opzicht van Zwijn. Het bodempeil van de koker aan polderzijde dient in dit geval met 0.60 m verlaagd te worden tot +0.90 m TAW. Voor het plafond aan polderzijde wordt aangenomen dat het peil behouden blijft op +3.70 m TAW. Bemerkt dat in deze vereenvoudigde analyse geen rekening wordt gehouden met de verlaging van het peil in de uitwateringskoker ten gevolge van de snelheidshoogte.



Wal bodempeil koker polderzijde 0.90 m TAW, plafondpeil koker polderzijde 3.70 m TAW
 Zwijn bodempeil koker polderzijde 1.50 m TAW, plafondpeil koker polderzijde 3.70 m TAW

Figuur 16 – Sectiegemiddelde snelheid bij uittrede Wal en Zwijn

Uit Figuur 16 volgt een maximale sectiegemiddelde snelheid bij uittrede van 3.0 m/s bij een rivierpeil + 7.00 m TAW, zowel voor Wal als voor Zwijn. Bij Wal dient opgemerkt te worden dat de snelheid berekend is op basis van een met 0.60 m verlaagd bodempeil van de koker aan polderzijde ten opzichte van het constructief ontwerp van Zwijn.

6 Conclusies

Voor de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie van de GOG/GGG gebieden Wal en Zwijn vraagt De Vlaamse Waterweg – regio centraal (dVW; contactpersoon Sander Belmans) advies aan afdeling Waterbouwkundig Laboratorium (WL). WL heeft in het verleden door middel van schaalmodelonderzoek de gecombineerde in- en uitwateringsconstructies van Bergenmeersen, Grote Vijver, Vlassenbroek, De Bunt en Doelpolder geoptimaliseerd. Het voorliggend ontwerp voor Wal en Zwijn werd opgemaakt op basis van het aanbestedingsplan van Grote Vijver.

Voor het inrichtingsontwerp van de gebieden en de dimensionering van de in- en uitwateringsconstructies werd door WL een MIKE11 model opgezet van beide gebieden. Uit de modellen werd het peil aan rivier- en polderzijde van de constructie opgevraagd zowel voor een aantal synthetische stormen als voor een historische storm bij het niet sluiten van de inwateringsconstructie. Uit de peilen werd het minimum voorkomend polderpeil in functie van het rivierpeil afgeleid. Dit minimum voorkomend polderpeil in functie van het rivierpeil is een belangrijke parameter voor het ontwerp van de woelkom. Bijkomend werd ook een vergelijking uitgevoerd met soortgelijke simulaties van het GOG/GGG Grote Vijver. Algeheel kan gesteld worden dat bij de hoogste rivierpeilen het polderpeil in Wal en Zwijn lager is dan bij Grote Vijver. Dit polderpeil is nodig voor het voorzien van de nodige tegendruk om een watersprong te laten ontstaan in de woelkom.

Voor de dimensionering van de woelkom werd het inkomend debiet bepaald. Uit het door WL uitgevoerde schaalmodelonderzoek volgt dat een overlaatformule hiervoor geschikt is. De overlaatcoëfficiënt werd overgenomen uit de proeven voor de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie van Dijlemonding. Tijdens deze proeven werd geen rekening gehouden met de aanwezigheid van een tussenkolom of vuilroosters. Uit het onderzoek voor de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie van Doelpolder volgt dat het debiet berekend kan worden op basis van de minimale doorstroombreedte en dat vuilroosters voor een reductie van het debiet met 4 % tot 10 % zorgen. Hierom wordt het debiet op basis van de overlaatformule gereduceerd met 17 %, waarvan 13 % voor het gebruiken van de minimale doorstroomsectie in plaats van de kokersectie en 4 % reductie ten gevolge van de vuilroosters.

Ten gevolge van de val versnelt het water en ontstaat in de woelkom bodem nabije stroming met superkritische snelheid. Deze superkritische stroming dient in de woelkom omgezet te worden naar subkritische stroming door middel van een watersprong. Om deze watersprong te initiëren dient voor een gegeven debiet en valhoogte een bepaald tegendruk, een waterhoogte, in de polder aanwezig te zijn. De minimale waterhoogte in de polder waarbij een watersprong ontstaat in de woelkom betreft de corresponderende waterhoogte. Het corresponderend polderpeil werd bepaald op basis van een formulering uit de literatuur waarvan de coëfficiënten gekalibreerd werden op basis van het door WL uitgevoerd schaalmodelonderzoek. Vervolgens werd iteratief het vloerpeil van de woelkom bepaald zodat het corresponderend polderpeil steeds gelijk of lager is dan het minimum polderpeil volgend uit de modellering van de gebieden. Hieruit volgt een vloerpeil -0.20 m TAW voor de woelkom van Wal en 0.40 m TAW voor de woelkom van Zwijn.

Aan de hand van het inkomend debiet en de valhoogte werd vervolgens de dimensionering van de woelkom verder onderzocht. Hierbij wordt ook vergeleken met de uit het schaalmodel onderzoek weerhouden geometrie voor Grote Vijver en Vlassenbroek. Vooreerst werd een dimensionering van de woelkom op basis van de ontwerprichtlijnen voor een USBR type III woelkom uitgevoerd. Bemerk dat dit een woelkomontwerp met stootblokken betreft wat hier toegepast wordt zonder stootblokken. Voor Vlassenbroek werden hier goede resultaten mee bekomen. Uit de vergelijking van Grote Vijver, Vlassenbroek en Zwijn en het ontwerp op basis van een USBR type III woelkom volgt:

- de woelkomlengte op plan is voor de 4 beschouwde constructies ca. 10 % korter dan volgt uit de dimensionering voor een USBR type III woelkom. Gelet op de ervaring uit de schaalmodelproeven wordt dit niet als een potentieel risico beschouwd.
- de hoogte van de einddrempel van de woelkom voor Zwijn bedraagt 1.1 m en is hiermee ca. 0.20 m hoger dan bij Grote Vijver en dan volgt uit de dimensionering voor een USBR type III woelkom. Dit wordt niet als een probleem beschouwd.
- de hoek van de einddrempel bedraagt 55°. Uit de USBR aanbevelingen en uit ervaring met schaalmodelproeven waarbij een einddrempelhoek 26° en 66° werd vergeleken, wordt aanbevolen om deze hoek te verflauwen. Minimum tot 45° zoals beproefd geweest in het schaalmodelonderzoek voor de gecombineerde in – en uitwateringsconstructies en idealiter nog flauwer tot 26°.
- Het plafond aan polderzijde loopt door tot ca. 9 m na einde woelkom. Dit komt overeen met het ontwerp voor Grote Vijver. Het doorlopen van het plafond tot na de woelkom laat toe om een onderhoudsweg aan te leggen aan polderzijde boven de constructie. Een nadeel hiervan is dat de stroming die door de einddrempel in hoogte gespreid wordt samengehouden wordt.
- Voor de bodemnabije snelheid boven de erosiebescherming wordt zowel een verscaling van de proeven van Grote Vijver als een bepaling van de sectiegemiddelde snelheid in functie van het rivier- en polderpeil volgende uit de MIKE11 modellering uitgevoerd. Hieruit volgt een maximale bodemnabije snelheid 3.0 m/s. Deze snelheid is van toepassing voor het constructief ontwerp voor Zwijn en voor een ontwerp voor Wal waarbij het bodempeil van de koker aan polderzijde met 0.60 m verlaagd wordt ten opzichte van het constructief ontwerp voor Zwijn.

Voor het overgemaakte constructief ontwerp voor Zwijn wordt aanbevolen om de helling van de einddrempel te verflauwen, minimum tot 45° en bij voorkeur tot 26°.

Voor Wal werd een bodempeil woelkom -0.20 m TAW bepaald. Dit betreft een verlaging met 0.60 m ten opzichte van Zwijn. Indien voor Wal het constructief ontwerp gebaseerd wordt op Zwijn en enkel het bodempeil verlaagd wordt, resulteert dit in een einddrempel met hoogte 1.7 m. Dit is merkkelijk hoger dan wat beproefd werd in het schaalmodelonderzoek (max. drempelhoogte 1.0 m) en wat volgt uit de dimensionering voor een USBR type III woelkom (drempelhoogte 0.92 m). Aanbevolen wordt om voor Wal de hoogte van de einddrempel van Zwijn te behouden en het bodempeil van de koker aan polderzijde met 0.60 m te verlagen tot 0.90 m TAW. Het plafondpeil van de koker kan hierbij behouden blijven.

Bemerk dat voorliggend ontwerp uitgevoerd werd op basis van een gereduceerd debiet en zonder marge op het corresponderend polderpeil. Bij de hogere rivierpeilen is er hierdoor zo goed als geen marge op het ontstaan van een watersprong in de woelkom. Bij het niet ontstaan van de sprong in de woelkom zal de einddrempel nog voor dissipatie zorgen waardoor een sprong kan ontstaan na de woelkom in de koker. Indien het polderpeil ook hiervoor te laag is zal de sprong ontstaan bij uittrede uit de constructie ten gevolge van het verbreden van de sectie. De eerste 4 m is hier een betonnen vloerplaat voorzien die overgaat in een zone met erosiebescherming. Alhoewel dit vanuit hydraulisch oogpunt niet ideaal is, wordt aangenomen dat dit niet tot problemen leidt. Wel wordt aanbevolen om na in dienst nemen van de constructie een inspectie uit te voeren na elk event waar GOG werking is opgetreden en de kokers niet afgesloten werden.

7 Referenties

Chanson, H. (2002). The hydraulics of stepped chutes and spillways. Swets & Zeitlinger: Lisse. ISBN 90-5809-352-2

Coen, L.; D'Haeseleer, E.; Verelst, K.; Pereira, F.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2009). Studie ten behoeve van aanleg van overstromingsgebieden en natuurgebieden in het kader van het Sigmaplan - Ondersteunende studies: cluster Vlassenbroek. *WL Rapporten*, 713_15. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. 83 pp.

Peterka, A.J. (1984). Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators. *Engineering monograph (Washington)*, 25. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation: Washington

Rand, W. (1955). Flow geometry at straight drop spillways. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.* 81: 1–13

Smolders, S.; Vercruysse, J.B.; Spiesschaert, T.; Geerts, S.; Mostaert, F. (2019). Modelling culverts in TELEMAT: code validation with scale flume model of Doelpolder. Version 3.. *FHR reports*, 18_145_1. Flanders Hydraulics Research: Antwerp. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=305288>

Tractebel; W&Z, A.Z. (2017a). Beneden Nete L.O. Te Mechelen Bouw van het gecontroleerd overstromingsgebied 'Grote Vijver' Fase 7: In- en uitwateringssluis grondplannen PLAN VOOR AANBESTEDING C4 - 4427 - 7 - A02. pp.1

Tractebel; W&Z, A.Z. (2017b). Beneden Nete L.O. Te Mechelen Bouw van het gecontroleerd overstromingsgebied 'Grote Vijver' Fase 7: In- en uitwateringssluis Omgevingsplan PLAN VOOR AANBESTEDING C4 - 4427 - 7 - A01. pp.1

Vercruysse, J.; Verelst, K.; Taverniers, E.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2013). Sigmaplan – Gereduceerde Getijdegebieden – schaalmodelproeven gecombineerde in- en uitwateringsconstructies: deelrapport 2. Dijlemonding. *WL Rapporten*, 00_075. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Mostaert, F. (2020). Sigmaplan – Gereduceerde Getijdegebieden – Schaalmodelproeven gecombineerde in- en uitwateringsconstructies: deelrapport 7. Inzichten uit schaalmodelproeven. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 00_075_7. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=323485>

Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Taverniers, E.; Peeters, P.; Mostaert, F.; Taverniers, E.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2014). Sigmaplan – Gereduceerde Getijdegebieden – Schaalmodelproeven gecombineerde in- en uitwateringsconstructies: deelrapport 3. Vlassenbroek. *WL Rapporten*, 00_075. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Vercruysse, J.B.; Visser, K.P.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2016). Gereduceerd getijdegebied Doelpolder: schaalmodelproeven gecombineerde in- en uitwateringsconstructie. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 15_073_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. IX, 37 + 19 p. bijlagen pp.

Verelst, K.; Visser, K.P.; Mostaert, F. (2019). Dender – stuwsluiscomplex Denderleeuw: bodembescherming nieuwe stuwen. Versie 5.0. *WL Rapporten*, 17_091_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=311977>

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