



Vlaanderen
is wetenschap

15_062_6
WL rapporten

DENDERBELLE

VERNIEUWING STUWSLUIS DENDERBELLE

Deelrapport 6
Schaalmodelstudie breekbalken

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Denderbelle – Vernieuwing stuwsluis Denderbelle

Deelrapport 6 – Schaalmodelstudie breekbalken

Vercruysse, J.; Verelst, K.; Mostaert, F.

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 2018
D/2018/3241/031

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vercruysse, J.; Verelst, K.; Mostaert, F. (2018). Denderbelle – Vernieuwing stuwsuis Denderbelle: Deelrapport 6 – Schaalmodelstudie breekbalken. Versie 4.0. WL Rapporten, 15_062_6. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Tot en met de datum van vrijgave, kan overname uit en verwijzen naar deze publicatie enkel mits uitdrukkelijke en schriftelijke toestemming van de opdrachtgever of het Waterbouwkundig Laboratorium. Correcte bronvermelding is steeds noodzakelijk.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	De Vlaamse Waterweg afdeling BovenSchelde	Ref.:	WL2018R15_062_6
Keywords (3-5):	Lock, Filling Emptying System, Design, Breaking logs		
Tekst (p.):	20	Bijlagen (p.):	4
Vertrouwelijk:	☒ Ja	Vrijgegeven vanaf:	01/01/2020

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

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verelst, K.	
Projectleider:	Verelst, K.	

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	
-----------------	--------------	--



Abstract

Bij Afdeling Bovenschelde van De Vlaamse Waterweg nv (dVW) loopt momenteel een project voor de opwaardering van de Dender afwaarts Aalst tot (scheepvaart-)klasse IV. In kader hiervan wordt naast de huidige sluis van het stuwsuiscomplex te Denderbelle een nieuwe sluis met een lengte 130.0 m, een breedte 10.5 m en een verval van 2.38 m gerealiseerd.

Voor de nieuwe sluis te Denderbelle werd in 2010 reeds een voorontwerp gemaakt van een sluis met puntdeuren en openingen in de puntdeuren afgesloten met vlinderkleppen als nivelleersysteem. Voor het uitwerken van het finale ontwerp van de sluis doet Afdeling Bovenschelde beroep op de afdelingen Expertise Beton en Staal (EBS), Elektromechanica en Telematica (EMT) en Geotechniek. Bij de verdere uitwerking van het constructief ontwerp door EBS werd vastgesteld dat het nivelleersysteem met vlinderkleppen uit het voorontwerp niet ingebouwd kan worden in de deuren. Om die reden is door WL een nieuw hydraulisch ontwerp uitgewerkt van een nivelleersysteem waarvan de openingen afgesloten worden door middel van hefschuiven. Uit dit nieuwe ontwerp volgde een nivelleersysteem bestaande uit, per hoofd, 6 openingen met breedte 0.90 m en hoogte 0.90 m.

In dit rapport wordt nagegaan wat de invloed is van het toevoegen van breekbalken afwaarts van de nivelleeropeningen op het debiet door de nivelleeropeningen en op de uitstroming in de kolk. Hiervoor werden proeven uitgevoerd in een op het WL beschikbaar schaalmodel voor breekbalkonderzoek. De proeven werden uitgevoerd voor één opening zonder breekbalken, één opening met 2 breekbalken met sectie 0.15 m x 0.15 m (bxh) en tussenafstand 0.30 m en één opening met 1 centrale breekbalk met sectie 0.30 m x 0.15 m (bxh). Uit het hydraulisch ontwerp volgt een geleidelijke openingswet van de hefschuiven. Om die reden zijn de proeven zowel uitgevoerd voor een hefschuifhoogte 50 % als voor een hefschuifhoogte 100 %.

Uit het schaalmodelonderzoek volgt dat breekbalken een verwaarloosbare invloed hebben op het debiet doorheen de openingen. De breekbalken hebben een gunstige invloed op de spreiding van de jet en de reductie van de maximale snelheid. Zowel bij een hefhoogte 50 % als bij een hefhoogte 100 % reduceren breekbalken de maximale snelheid met ca. 50 %. Bij de geometrie met 1 breekbalk en de hefschuif 100 % geopend splitst de centrale breekbalk de stroming in twee deeljets. Bij de geometrie met 2 breekbalken en de hefschuif 50 % en 100 % geopend en de geometrie met 1 breekbalk en de hefschuif 50 % geopend wordt een opsplitsing in meerdere deeljets niet waargenomen.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Gegevens	2
3 Schaalmodel	6
4 Resultaten.....	9
4.1 Afvoercoëfficiënt	9
4.2 Snelheidspatroon.....	11
4.3 Visualisatie van het stromingspatroon.....	17
5 Conclusies en aanbevelingen	19
6 Referenties	20
Bijlage – Invloed hefschuifhoogte op stromingspatroon	B1
A.1 Geometrie 1 (geen breekbalken).....	B2
A.2 Geometrie 2 (2 breekbalken)	B3
A.3 Geometrie 3 (1 breekbalk).....	B4

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Beoordelen geometrieën breekbalken a.h.v. criteria Ontwerp van Schutsluizen.....	5
Tabel 2 – Toegepaste waterstanden	5
Tabel 3 – Afmetingen deurkamer in prototype en schaalmodel	7
Tabel 4 – Stroomsnelheid in situ en op modelschaal.....	8
Tabel 5 – Afvoercoëfficiënt in functie van relatieve hefhoogte (op basis van debietmeting)	10

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Voorontwerp nieuwe sluis Denderbelle.....	2
Figuur 2 – Deur – afwaarts aanzicht en verticale doorsnede.....	3
Figuur 3 – Detail deurkamer met opening	3
Figuur 4 – Geometrieën breekbalken.....	4
Figuur 5 – Schaalmodel breekbalken	6
Figuur 6 – Verschaling nivelleeropening sluis Denderbelle.....	7
Figuur 7 – Figuur afvoercoëfficiënt – vergelijking debietmeter en overlaat.....	10
Figuur 8 – Afvoercoëfficiënt in functie van relatieve hefhoogte (op basis van debietmeting).....	11
Figuur 9 – Assenstelsel schaalmodel	12
Figuur 10 – Snelheid in horizontaal vlak op 1.32 m afwaarts van de opening – hefschuif 100 % geopend ...	13
Figuur 11 – Snelheid in verticaal vlak op de centerlijn van de kolk– hefschuif 100 % geopend	13
Figuur 12 – Snelheid in horizontaal vlak op 1.7 m afwaarts van de opening – hefschuif 50 % geopend	15
Figuur 13 – Snelheid in verticaal vlak op de centerlijn van de kolk – hefschuif 50 % geopend	15
Figuur 14 – Histogram snelheid op $x = 1.3$ m	16
Figuur 15 – Visualisatie stromingspatroon - bovenaanzicht	17
Figuur 16 – Visualisatie stromingspatroon - zij aanzicht.....	18

1 Inleiding

Bij Afdeling Bovenschelde van De Vlaamse Waterweg nv (dVW) loopt momenteel een project voor de opwaardering van de Dender afwaarts Aalst tot (scheepvaart-)klasse IV. In kader hiervan wordt op de linkeroever naast de huidige sluis in het stuwsuiscomplex te Denderbelle een nieuwe sluis met lengte 130.0 m, breedte 10.5 m en verval 2.38 m gerealiseerd voor een ontwerpschip CEMT klasse IV. De vernieuwing en ontdebelling van de stuw wordt gerealiseerd door in de huidige sluiscolk een nieuwe stuw te bouwen en vervolgens de huidige stuw te vervangen door een nieuwe stuw.

Voor de nieuwe sluis te Denderbelle werd reeds een voorontwerp gemaakt van een sluis met puntdeuren en openingen in de puntdeuren als nivelleersysteem. Dit voorontwerp werd uitgevoerd door het studiebureau SBE (SBE, 2011). Het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) leverde hiervoor een aantal inputs. Zo werd door het WL een voorontwerp gemaakt van een nivelleersysteem met openingen in de deuren (Verelst *et al.*, 2010) en werd de dimensionering van de bodembescherming uitgevoerd (Verelst *et al.*, 2013). Uit het voorontwerp van het nivelleersysteem volgde dat een nivelleersysteem met per hoofd 8 vlinderkleppen diameter 0.90 m of een nivelleersysteem met per hoofd 12 vlinderkleppen diameter 0.70 m voldoet aan de vooropgestelde criteria. Voor het uitwerken van het finale ontwerp van de sluis doet Afdeling Bovenschelde (contactpersoon: ir. Lien Vanhoutte) nu beroep op de afdelingen Expertise Beton en Staal (EBS), Elektromechanica en Telematica (EMT) en Geotechniek. Bij de verdere uitwerking van het constructief ontwerp door EBS werd vastgesteld dat het uit het voorontwerp volgende nivelleersysteem met vlinderkleppen niet ingebouwd kan worden in de deur. Om die reden is door WL een nieuw hydraulisch ontwerp uitgewerkt van een nivelleersysteem waarvan de openingen afgesloten worden door middel van hefschuiven. Uit dit ontwerp volgt een nivelleersysteem bestaande uit, per hoofd, 6 openingen met breedte 0.90 m en hoogte 0.90 m. Het hydraulisch ontwerp van dit nivelleersysteem is beschreven in Verelst *et al.* (2018).

Op het WL loopt sinds 2014 een intern onderzoeksproject naar het toepassen van breekbalken voor nivelleersystemen met openingen in de deur (Breugem *et al.*, 2016a; b; Ramos *et al.*, 2016). Het doel van dit onderzoeksproject is om de invloed van breekbalken op het debiet doorheen de opening en op de stroming in de sluiscolk te onderzoeken en om de geometrie van de breekbalken te optimaliseren. Voor dit onderzoeksproject heeft WL een schaalmodel gebouwd waarbij voor een gegeven nivelleeropening verschillende geometrieën breekbalken beproefd kunnen worden. In dit schaalmodel worden voor de nivelleeropening van de nieuwe sluis te Denderbelle proeven uitgevoerd voor een geometrie zonder breekbalken en twee variante geometrieën met breekbalken. Een analoge studie werd ook uitgevoerd voor de nieuwe sluis te Sint-Baafs-Vijve (Vercruysse *et al.*, 2017). De resultaten van de voor Denderbelle uitgevoerde schaalmodelproeven worden gerapporteerd in onderhavig rapport.

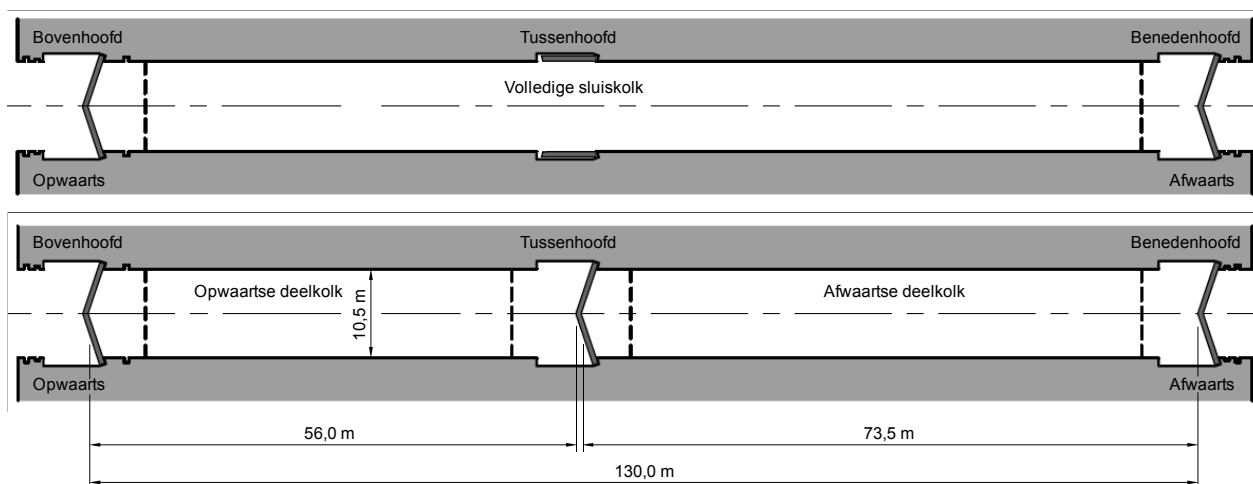
Het rapport is als volgt opgebouwd. De gegevens worden samengevat in hoofdstuk 2. Het schaalmodel wordt beschreven in hoofdstuk 3. De resultaten van het onderzoek worden gepresenteerd in hoofdstuk 4. De conclusies en aanbevelingen worden gegeven in hoofdstuk 5.

Merk op dat, tenzij expliciet vermeld, de in dit rapport vermelde waarden steeds omgerekend zijn naar eenheden natuur.

2 Gegevens

De nieuwe sluis te Denderbelle betreft een sluis met een kolkbreedte 10.5 m en een kolk lengte 130.0 m. Het ontwerpschip voor deze sluis is een schip CEMT klasse IV. De sluis bevat een tussenhoofd waardoor het mogelijk is om de opwaartse of afwaartse deelkolk afzonderlijk te verschutten. Een bovenaanzicht van de nieuwe sluis wordt gegeven in Figuur 1.

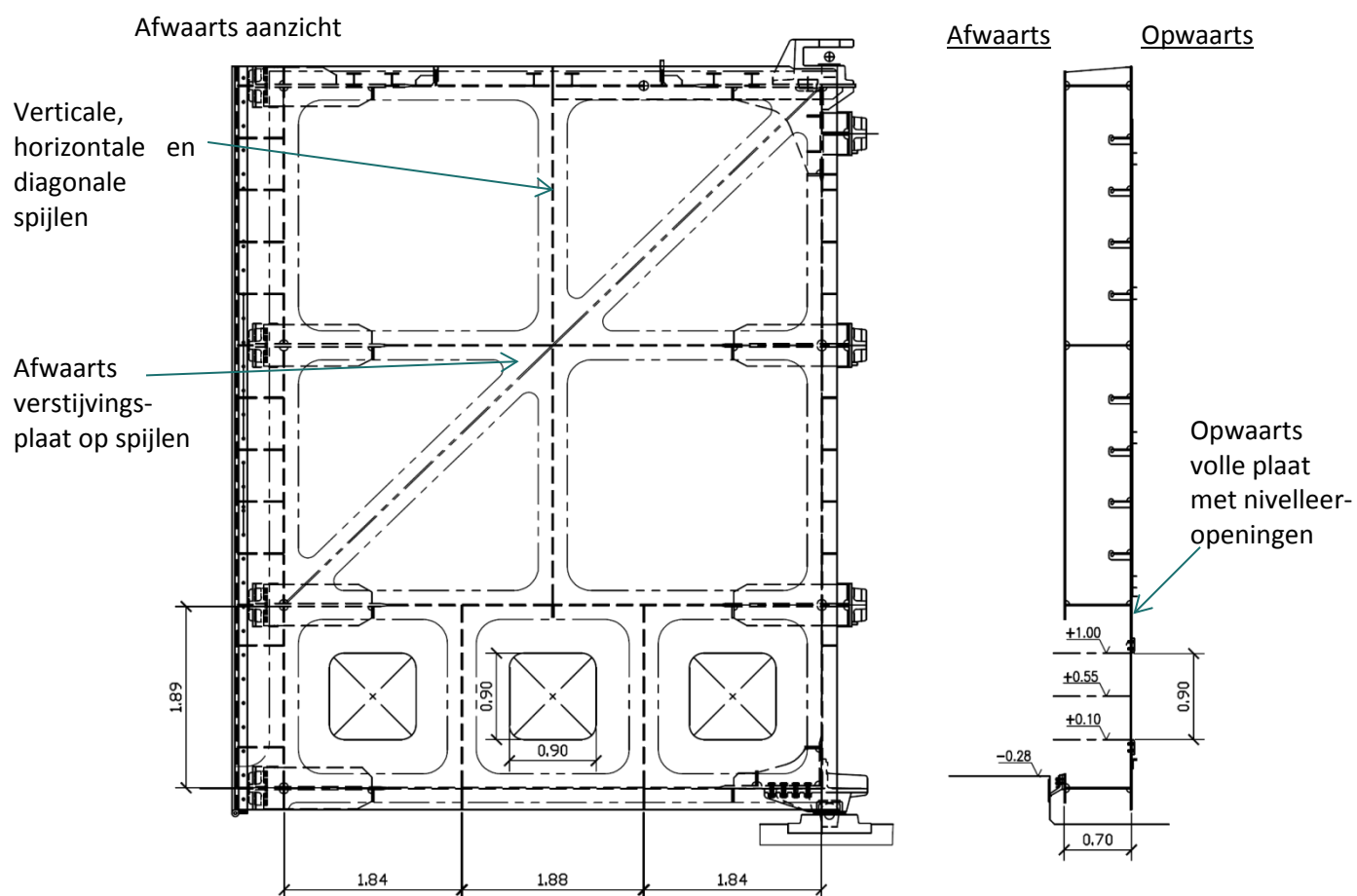
Figuur 1 – Voorontwerp nieuwe sluis Denderbelle.



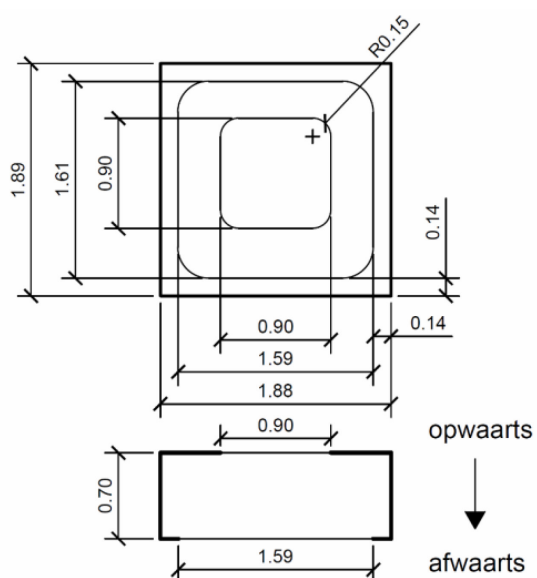
Boven: volledige sluis; beneden: opwaartse en afwaartse deelkolk

In het bovenhoofd, tussenhoofd en benedenhoofd wordt een identieke set puntdeuren toegepast. Als nivelleersysteem worden rechthoekige openingen in de puntdeuren afgesloten met hefschuiven voorzien. Per deur zijn 3 nivelleeropeningen met breedte 0.90 m en hoogte 0.90 m voorzien of 6 openingen per hoofd. Een afwaarts aanzicht en verticale doorsnede van de deur wordt gegeven in Figuur 2. Merk hierin op dat de ruimte in de deur rondom de nivelleeropeningen begrensd wordt door verticale en horizontale spijlen. De ruimte tussen deze begrenzingen wordt in dit rapport de deurkamer genoemd. De deurkamers hebben een breedte 1.84 m of 1.88 m en een hoogte 1.89 m. Aan de opwaartse zijde is er een vlakke plaat met hierin de nivelleeropening. De nivelleeropening wordt afgesloten door middel van een hefschuif aan de opwaartse zijde van de deur. Aan de afwaartse zijde is de deur open. Wel is op de spijlen in het afwaarts dagvlak een verstijvingsplaat aangebracht. In de deurkamers met de nivelleeropening heeft de afwaartse opening een breedte 1.59 m en een hoogte 1.61 m. De deur heeft een dikte 0.70 m. Een schets van de deurkamer met opening wordt gegeven in Figuur 3.

Figuur 2 – Deur – afwaarts aanzicht en verticale doorsnede

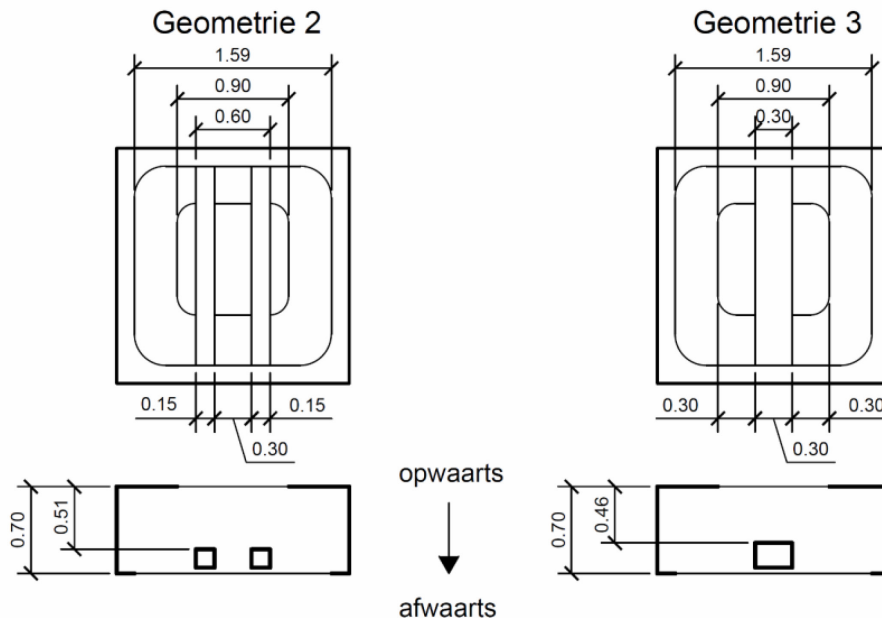


Figuur 3 – Detail deurkamer met opening



Voor de schaalmodelproeven worden twee geometrieën breekbalken beschouwd, zie Figuur 4. De geometrie met twee breekbalken met sectie 0.15 m x 0.15 m wordt Geometrie 2 genoemd, de geometrie met 1 centrale breekbalk met sectie 0.30 m x 0.20 m wordt geometrie 3 genoemd. De geometrie zonder breekbalken wordt geometrie 1 genoemd.

Figuur 4 – Geometrieën breekbalken



Ontwerp van Schutsluizen (Beem *et al.*, 2000) geeft drie ontwerpvoorwaarden voor verticale breekbalken. Deze worden in onderstaande oplijsting genummerd van criterium 1 tot en met 3. Vervolgens wordt in Tabel 1 vergeleken hoe de in het schaalmodel beproefde geometrieën breekbalken zich verhouden ten opzichte van deze criteria.

- Criterium 1: *“De blokkering door de breekbalken moet tenminste 50 % bedragen van het benedenstroomse oppervlak van de openingen zonder breekbalken.”*
- Criterium 2: *“De totale benedenstroomse opening (d.w.z.) tussen de breekbalken moet groter zijn dan de totale bovenstroomse opening.”*
- Criterium 3: *“De kleinste openingen tussen de breekbalken moeten tenminste 0.30 m bedragen. Drijvend en zwevend vuil blijft steken in te nauwe spleten.”*

Uit de vergelijking gegeven in Tabel 1 volgt dat de breekbalken niet voldoen aan de voorwaarde dat de blokkering van de afwaartse doorstroomsectie ten minste 50 % moet bedragen. Uit de eerder uitgevoerde proeven voor de nieuwe sluis te Sint-Baafs-Vijve volgde dat ook bij een kleinere blokkering van de afwaartse doorstroomsectie goede resultaten behaald kunnen worden (Vercruysse *et al.*, 2017). Aan de voorwaarden dat de opwaartse doorstroomsectie groter moet zijn dan de afwaartse doorstroomsectie en de voorwaarde dat de afstand tussen breekbalken minstens 50 % moet bedragen wordt wel voldaan.

Tabel 1 – Beoordelen geometrieën breekbalken a.h.v. criteria Ontwerp van Schutsluizen

	eenheid	Geometrie		
		1	2	3
Doorstroomsectie opwaarts	[m ²]	0.81	0.81	0.81
Breedte breekbalken	[m]	n.v.t.	0.15	0.3
Aantal breekbalken	[-]	n.v.t.	2	1
Sectie breekbalken	[m ²]	n.v.t.	0.48	0.48
Doorstroomsectie afwaarts	[m ²]	2.56	2.08	2.08
Blokkering doorstroomsectie afwaarts	[%]	n.v.t.	19	19
$\frac{\text{doorstroomsectie afwaarts}}{\text{doorstroomsectie opwaarts}}$	[-]	3.16	2.56	2.56
Voldaan aan criteria Ontwerp van schutsluizen?	1	n.v.t.	Nee	Nee
	2	n.v.t.	Ja	Ja
	3	n.v.t.	Ja	Ja

Tabel 2 geeft een overzicht van de waterstanden die gehanteerd werden voor het hydraulisch ontwerp van het nivelleersysteem (Verelst, K.; Vercruysse, J.; Mostaert, 2018). Met het nivelleersysteem zijn zowel simulaties uitgevoerd met het huidig afwaarts waterpeil gelijk aan +3.82 m TAW als met het verlaagd afwaarts waterpeil +3.45 m TAW. Voor het schaalmodel wordt afwaarts het verlaagd peil toegepast. Bemerk dat de snelheid dimensieloos weergegeven wordt waardoor het mogelijk is om de resultaten te verscalen naar een snelheid bij een gegeven verval.

Tabel 2 – Toegepaste waterstanden

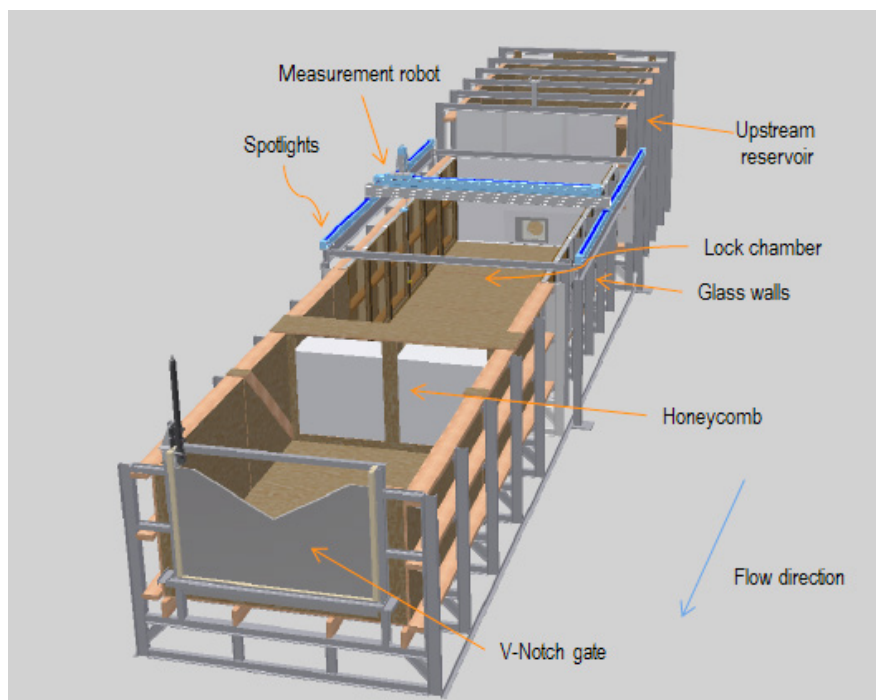
	Huidig waterpeil afwaarts	Waterpeilverlaging afwaarts
Streefpeil opwaarts	+5.83 m TAW	+5.83 m TAW
Streefpeil afwaarts	+3.82 m TAW	+3.45 m TAW
Verval	2.01 m	2.38 m

3 Schaalmodel

Recent heeft het WL onderzoek met betrekking tot breekbalken uitgevoerd. In het kader van dit onderzoeksproject is een specifiek schaalmodel gebouwd. In onderhavig hoofdstuk wordt een beknopt overzicht gegeven van dit schaalmodel en de inpassing van de geometrie van de nivelleeropening voor de nieuwe sluis te Denderbelle in dit schaalmodel. Voor een uitgebreide beschrijving van het schaalmodel wordt verwezen naar Ramos *et al.* (2016).

Een voorstelling van het schaalmodel wordt gegeven in Figuur 5. Het schaalmodel bestaat uit een opwaarts en een afwaarts pand verbonden door één enkele nivelleeropening. Deze nivelleeropening bevindt zich in een uitneembare kamer waardoor deze eenvoudig gewijzigd kan worden. De nivelleeropening kan (gedeeltelijk) afgesloten worden door middel van een opwaarts geplaatste hefschuif. De breedte van het model bedraagt 2.0 m, de lengte van het afwaartse pand bedraagt 7.8 m. De waterhoogte in het afwaarts pand is instelbaar door middel van een regelbare overlaat. Het toegevoegd debiet in het opwaarts pand wordt volledig afgevoerd via de nivelleeropening. In combinatie met de V-vormige overlaat aan het afwaarts uiteinde van het schaalmodel kan hierdoor de waterhoogte in het opwaarts pand geregeld worden door middel van een aanpassing van het toegevoegd debiet.

Figuur 5 – Schaalmodel breekbalken



Het opwaarts toegevoegd debiet wordt opgemeten door middel van een elektromagnetische debietsmeter op de toevoerleiding. Het afwaarts afgevoerd debiet wordt berekend op basis van de opgemeten overstorthoogte over de V-vormige overlaat. Daarnaast worden nog de peilen in het opwaarts en afwaarts pand opgemeten en de positie van de hefschuif. De invloed van de breekbalken op de stroming afwaarts de nivelleeropening wordt beoordeeld op basis van een rooster van puntsnelheidsmetingen en visualisaties met kleurstof. Voor de puntsnelheidsmetingen wordt een Vectrino Profiler (producent Nortek AS) gebruikt. Dit is een 3D akoestische doppler snelheidsmeter (ADV). Om een groot aantal metingen te kunnen uitvoeren met een nauwkeurige positionering werd de Vectrino Profiler gemonteerd op een meetrobot. De

uitstroming door de opening wordt zowel in een bovenaanzicht als in een zijaanzicht gevisualiseerd door middel van het injecteren van kleurstof opwaarts de nivelleeropening met behulp van een diffusor (een half cirkelvormige buis met openingen). Voor de visualisatie van het bovenaanzicht wordt een horizontaal gepositioneerde diffusor gebruikt en voor de visualisatie van het zijaanzicht wordt een verticaal gepositioneerde diffusor gebruikt. Beide diffusors worden gecentreerd ten opzichte van de centerlijn van de volledig geopende nivelleeropening. De visualisaties door middel van kleurstof worden geregistreerd door middel van 4 netwerkcamera's, 2 camera's voor het bovenaanzicht en 2 camera's voor het zijaanzicht. De 2 camera's voor het bovenaanzicht worden boven het model geplaatst en de 2 camera's voor het zijaanzicht kijken doorheen de glazen wand aan de zijkant van het model. De camerabeelden worden ten opzichte van elkaar gepositioneerd door middel van een aantal referentiepunten.

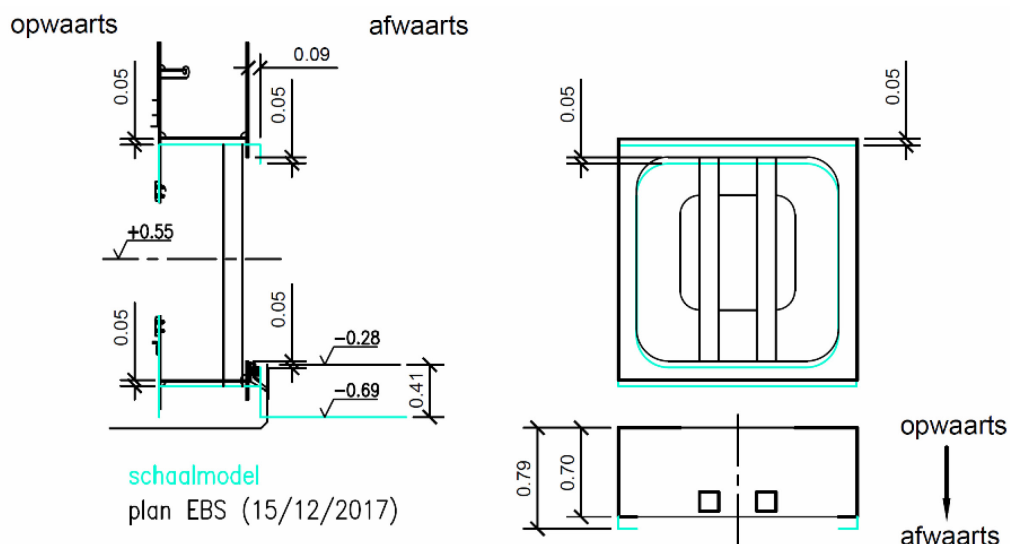
De nivelleeropening van de nieuwe sluis te Denderbelle dient zo verschaald te worden dat de nivelleeropening in de beschikbare ruimte van de uitneembare kamer past. Rekening houdend met de beschikbare hoogte, breedte en diepte van de uitneembare kamer wordt zo een schaalfactor 6.61 bekomen. De beschikbare hoogte van de uitneembare kamer is hierbij de beperkende factor. De op deze wijze verschaalde afmetingen van de nivelleeropening worden gegeven in Tabel 3 en grafisch voorgesteld in Figuur 6.

Tabel 3 – Afmetingen deurkamer in prototype en schaalmodel

	Prototype	Schaalmodel
schaal	1.0	6.61
Breedte deurkamer	1.88 m	0.285 m
Breedte opening opwaarts	0.90 m	0.137 m
Breedte opening afwaarts	1.59 m	0.241 m
Hoogte deurkamer	1.89 m	0.286 m
Hoogte opening opwaarts	0.90 m	0.137 m
Hoogte opening afwaarts	1.61 m	0.243 m
Dikte deur	0.70 m	0.120 m*

* Na verscaling met factor 6.61 m wordt een dikte van de deur van 0.106 m bekomen. De dikte van de sluisdeur in het schaalmodel bedraagt echter 0.120 m.

Figuur 6 – Verscaling nivelleeropening sluis Denderbelle



Merk in Figuur 6 op dat er een aantal afwijkingen zijn tussen de geometrie in het schaalmodel en het door EBS opgestelde plan. Doordat de dikte van de deurkamer in het model niet wijzigbaar is, bedraagt de dikte van de deur in het schaalmodel 0.79 m in plaats van 0.70 m. De breekbalken worden zo gepositioneerd dat de afstand tussen het opwaarts dagvlak van de deur en het opwaarts dagvlak van de breekbalken correct is. Merk op dat de hoogte van de vloer en plafond van de deurkamer en de hoogte van de opening in het afwaarts dagvlak 0.05 m lager ligt in model dan volgens plan. De reden hiervoor is dat na het ontwerp van het schaalmodel het plan van de deuren nog beperkt aangepast werd. De centerlijn van de opwaartse opening werd 0.05 m hoger gelegd (centerlijn +0.60 m TAW ten opzichte van +0.55 m TAW). De vloer van het schaalmodel ligt 0.41 m lager dan op plan (kolkbodembodem -0.69 m TAW in schaalmodel ten opzichte van -0.28 m TAW). Een verhoging van de bodem van het schaalmodel valt buiten de scope van dit onderzoek. De invloed van deze verschillen op de stroomsnelheid net na de opening en de stroomsnelheid in de sluis kolk wordt voor het in dit project gewenste doel, een onderlinge vergelijking tussen verschillende geometrieën breekbalken, verwaarloosbaar geacht.

De proeven worden telkens uitgevoerd bij het streefpeil in het opwaarts pand (+5.83 m TAW) en het afwaarts pand (+3.45 m TAW). Een vergelijking tussen de stroomsnelheid in prototype en deze op modelschaal wordt gegeven in Tabel 4. Een snelheid 2.66 m/s valt binnen het bereik van het ingezette snelheidsmeettoestel (een Vectrino Profiler).

Tabel 4 – Stroomsnelheid in situ en op modelschaal

			prototype	model
schaal		[-]	1	6.61
verval	ΔH	[m]	2.38	0.36
maximale stroomsnelheid ($V = \sqrt{2g\Delta H}$)	V	[m/s]	6.83	2.66

Met deze geometrieën worden volgende proeven uitgevoerd:

- De afvoercoëfficiënt wordt opgemeten in functie van de hefhoogte. Hierbij worden telkens proeven uitgevoerd waarbij de relatieve hefhoogte (tussen een relatieve hefhoogte van 20 % en 100 %) met een tussenstap van 10 % verhoogd wordt.
- Door middel van snelheidsmetingen wordt de invloed van breekbalken op de stroomsnelheid afwaarts van de sluisdeur gekwantificeerd. Deze metingen worden uitgevoerd bij een 50 % geopende en bij een 100 % geopende hefschuif. Voor deze proeven worden puntsnelheidsmetingen uitgevoerd in een raster van punten. Een eerste raster betreft een verticaal vlak dwars op de stroming op 1.32 m afwaarts van de opening (0.20 m in schaalmodelafmetingen). Het tweede raster betreft een verticaal vlak volgens de centerlijn van de opening. De positie van de snelheidsmetingen werd gekozen naar analogie met eerder uitgevoerd onderzoek op het schaalmodel (Evens, 2016; Maes, 2016; Vercruyssen *et al.*, 2017).
- De uitstroming in de kolk wordt gevisualiseerd met kleurstof. Deze visualisaties worden uitgevoerd bij een 50 % geopende en bij een 100 % geopende hefschuif.

4 Resultaten

Voor het beoordelen van de invloed van breekbalken op het debiet door de opening wordt de afvoercoëfficiënt opgemeten in functie van de hefhoogte (paragraaf 4.1). De invloed van breekbalken op het stromingspatroon in de kolk wordt beoordeeld op basis van het opgemeten snelheidspatroon (paragraaf 4.2) en de visualisaties met kleurstof (paragraaf 4.3).

4.1 Afvoercoëfficiënt

Om na te gaan wat de invloed is van de breekbalken op het debiet wordt de afvoercoëfficiënt bepaald uit de metingen. De afvoercoëfficiënt wordt als volgt berekend:

$$\mu = \frac{Q}{A \cdot \sqrt{2g\Delta H}} \quad (1)$$

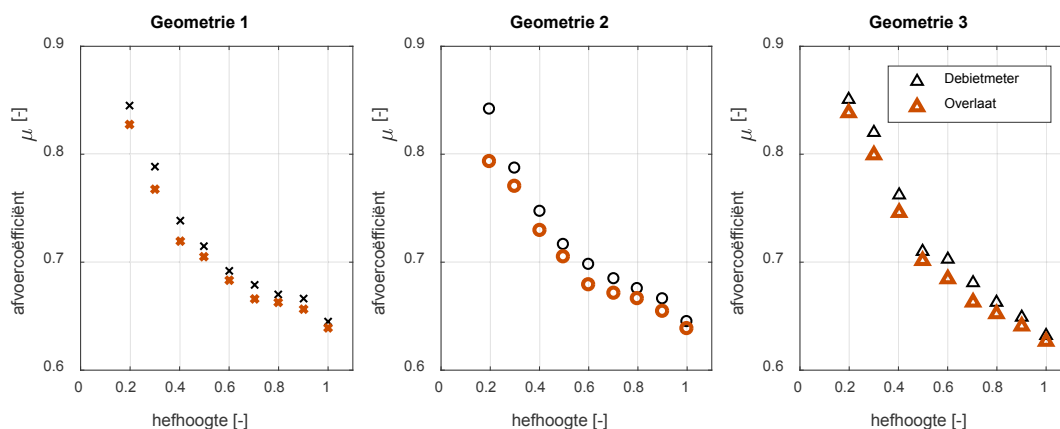
Met:

• μ	Afvoercoëfficiënt	[-]
• Q	Debiet (opgemeten met debietmeter of meetoverlaat)	[m ³ /s]
• A	Doorstroomsectie onder hefschuif = $B \times H_s$	[m ²]
• B	Breedte opening = 0.90 m	[m]
• H_s	Hoogte hefschuif (opgemeten)	[m]
• g	Zwaartekrachtversnelling = 9.81 m/s ²	[m/s ²]
• ΔH	Verval (opgemeten)	[m]

Merk op dat voor het bepalen van de doorstroomsectie de afrondingen van de opening verwaarloosd worden.

De afvoercoëfficiënt werd opgemeten in functie van de hefhoogte door de relatieve hefhoogte van de hefschuif (tussen een relatieve hefhoogte van 20 % en 100 %) te variëren met een tussenstap van 10 %. Bij de analyse van de proeven uitgevoerd voor de breekbalken voor de nieuwe sluis te Sint-Baafs-Vijve werd opgemerkt dat de afvoercoëfficiënt kon verschillen voor twee metingen van dezelfde situatie (Vercruysse *et al.*, 2017). Hierom werd voor Denderbelle de afvoercoëfficiënt ook bepaald op basis van het debiet opgemeten met de meetoverlaat. In Figuur 7 wordt voor de drie beproefde geometrieën de afvoercoëfficiënt in functie van de hefhoogte gegeven bepaald op basis van de debietmeter en bepaald op basis van de meetoverlaat. Hieruit volgt dat de afwijking tussen de afvoercoëfficiënt bepaald op basis van de debietmeter en op basis van de meetoverlaat beperkt is tot ca. 2 %. Analoog met het eerder uitgevoerde onderzoek wordt de afvoercoëfficiënt bepaald op basis van de debietmeter verder beschouwd.

Figuur 7 – Figuur afvoercoëfficiënt – vergelijking debietmeter en overlaat

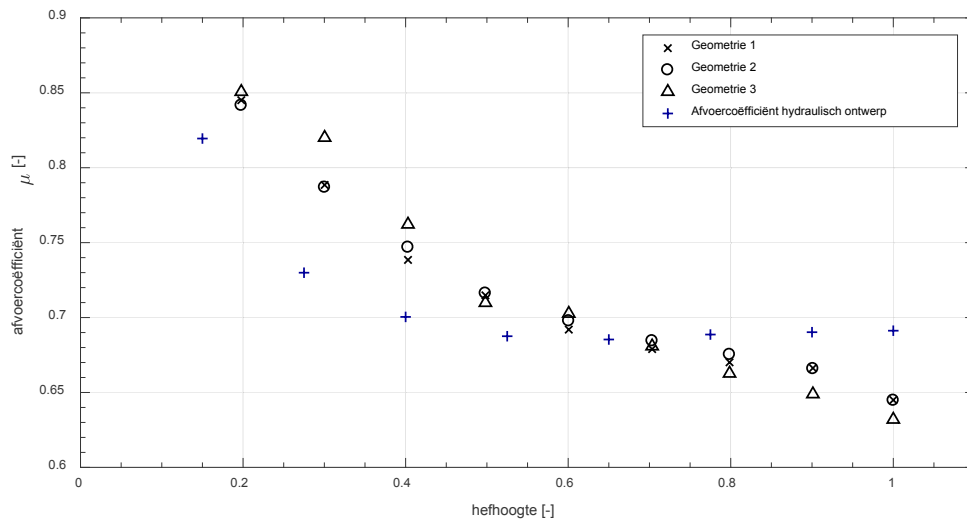


De afvoercoëfficiënt voor de drie beproefde geometrieën wordt gegeven in Tabel 5. In Figuur 8 wordt de afvoercoëfficiënt voor de drie geometrieën vergeleken met de afvoercoëfficiënt die gebruikt werd voor het hydraulisch ontwerp van het nivelleersysteem (Verelst, K.; Vercruysse, J.; Mostaert, 2018). Uit Figuur 8 en Tabel 5 volgt dat de breekbalken quasi geen invloed hebben op de afvoercoëfficiënt. De afvoercoëfficiënt in functie van de hefhoogte voor geometrie 1 (zonder breekbalken) en geometrie 2 (met breekbalken) vallen quasi samen. De afvoercoëfficiënt in functie van de hefhoogte voor geometrie 3 is beperkt lager bij een hefhoogte hoger dan 50 % en beperkt hoger bij een hefhoogte lager dan 50 %. Ten opzichte van de afvoercoëfficiënt gebruikt voor het hydraulisch ontwerp is er een verschil in het verloop van de curve. Voor het hydraulisch ontwerp wordt een quasi constante afvoercoëfficiënt gehanteerd voor hefschuifhoogtes boven 50 % terwijl uit de metingen een continu afnemende afvoercoëfficiënt bij een toename van de hefhoogte volgt. Bij een hefhoogte onder 70 % is de voor het hydraulisch ontwerp gebruikte afvoercoëfficiënt lager dan de afvoercoëfficiënt volgend uit de schaalmodelproeven en bij een hefhoogte hoger dan 70 % is de uit de schaalmodelproeven volgende afvoercoëfficiënt hoger. Het verschil tussen de afvoercoëfficiënt gebruikt voor het hydraulisch ontwerp en de afvoercoëfficiënt volgend uit de schaalmodelstudie is beperkt tot ca. +/- 7 %.

Tabel 5 – Afvoercoëfficiënt in functie van relatieve hefhoogte (op basis van debietmeting)

Hefhoogte [-]	Afvoercoëfficiënt μ [-]		
	Geometrie 1	Geometrie 2	Geometrie 3
0.20	0.845	0.842	0.851
0.30	0.788	0.787	0.820
0.40	0.738	0.747	0.762
0.50	0.715	0.716	0.710
0.60	0.692	0.698	0.703
0.70	0.679	0.684	0.681
0.80	0.670	0.675	0.663
0.90	0.666	0.666	0.649
1.00	0.645	0.645	0.632

Figuur 8 – Afvoercoëfficiënt in functie van relatieve hefhoopte (op basis van debietmeting)



4.2 Snelheidspatroon

Met een Vectrino Profiler gemonteerd op een geautomatiseerd meetsysteem worden puntsnelheidsmetingen in een raster van punten uitgevoerd. Het eerste raster betreft een verticaal vlak dwars op de stroming op 1.32 m afwaarts van de opening. Het tweede raster betreft een verticaal vlak volgens de centerlijn van de opening. De snelheden werden opgemeten met de hefschuif 100% en 50 % geopend. De snelheid in dit hoofdstuk wordt dimensieloos uitgedrukt ten opzichte van de sectiegemiddelde snelheid in de opening:

$$V = \frac{v_{\text{meting}}}{v_{\text{gem}}} = \frac{v_{\text{meting}}}{Q/A} \quad (1)$$

Omwille van contractie van de stroming kan de snelheid in het center van de jet hoger zijn dan de gemiddelde snelheid in de opening. De theoretisch maximaal voorkomende snelheid wordt als volgt berekend:

$$v_{\text{max}} = \sqrt{2g\Delta H} \quad (2)$$

Gebruik makend van de formule van de afvoercoëfficiënt (1) kan de verhouding tussen de maximaal voorkomende snelheid en de sectiegemiddelde snelheid als volgt berekend kan worden:

$$v_{\text{max}} = \frac{v_{\text{gem}}}{\mu} \quad (3)$$

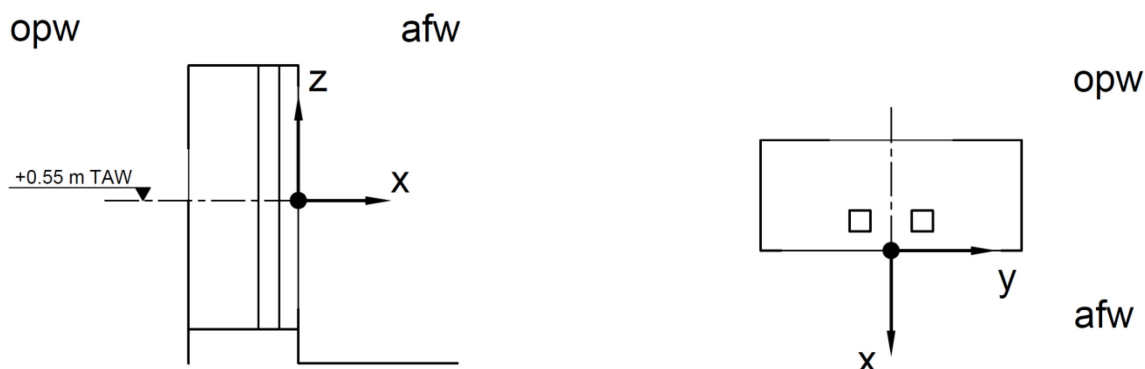
Met:

- | | | |
|-----------------------|--|---------------------|
| • V | Dimensieloze snelheid | [-] |
| • v_{meting} | Opgemeten snelheid in schaalmodel | [m/s] |
| • v_{gem} | Sectiegemiddelde snelheid onder de hefschuif | [m/s] |
| • Q | Debiet (opgemeten in schaalmodel) | [m ³ /s] |
| • A | Oppervlakte onder de hefschuif = $B \cdot H_s$ | [m ²] |
| • B | Breedte opening = 0.90 m | [m] |
| • H_s | Hoogte hefschuif (opgemeten) | [m] |
| • v_{max} | Theoretisch maximale snelheid | [m/s] |
| • ΔH | Verval (opgemeten) | [m] |
| • g | Zwaartekrachtversnelling = 9.81 m/s ² | [m/s ²] |
| • μ | Afvoercoëfficiënt | [-] |

Hieruit volgt dat bij een afvoercoëfficiënt 0.64 (zie Tabel 5) de maximale snelheid $1.56 (=0.64^{-1})$ keer de gemiddelde snelheid bedraagt.

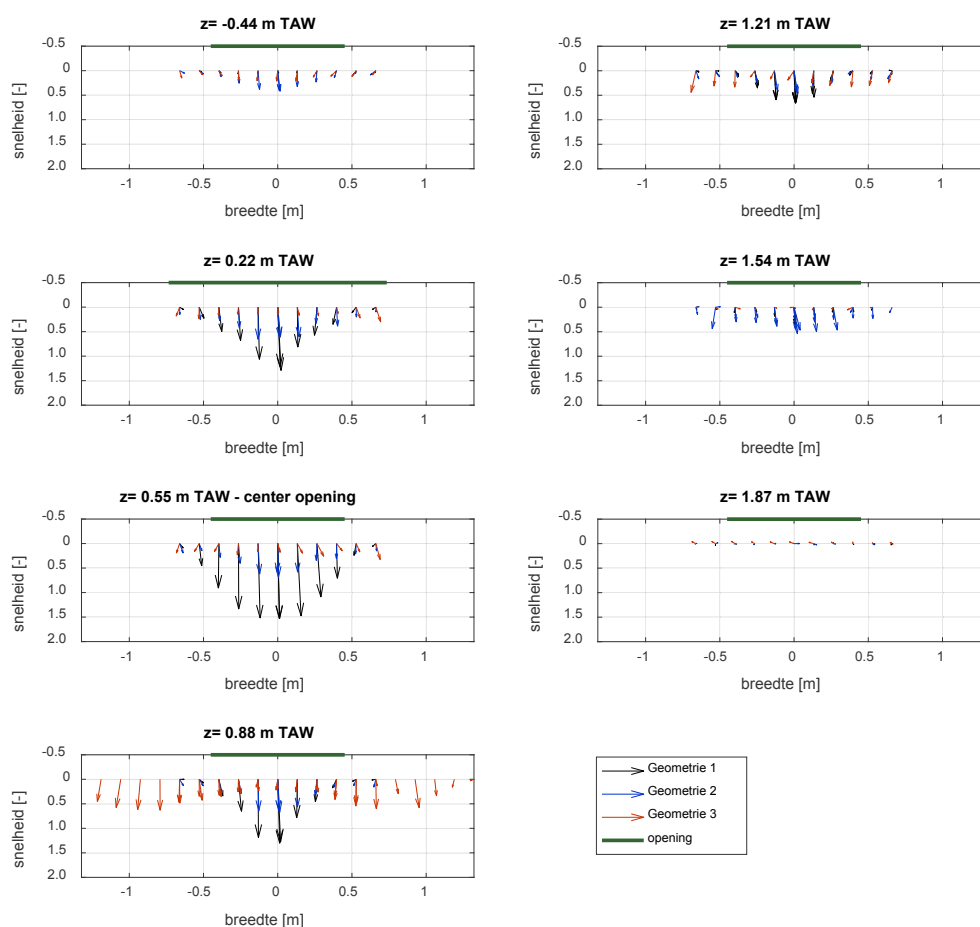
Het gehanteerde assenstelsel wordt geïllustreerd in Figuur 9. Het nulpunt van het assenstelsel ligt in het afwaarts deurvlak in het verlengde van het center van de opwaartse opening. De x-as is positief gericht naar afwaarts toe en de z-as is positief gericht naar omhoog. Doordat een rechtsdraaiend assenstelsel wordt toegepast is de y-as positief gericht naar linkeroever.

Figuur 9 – Assenstelsel schaalmodel

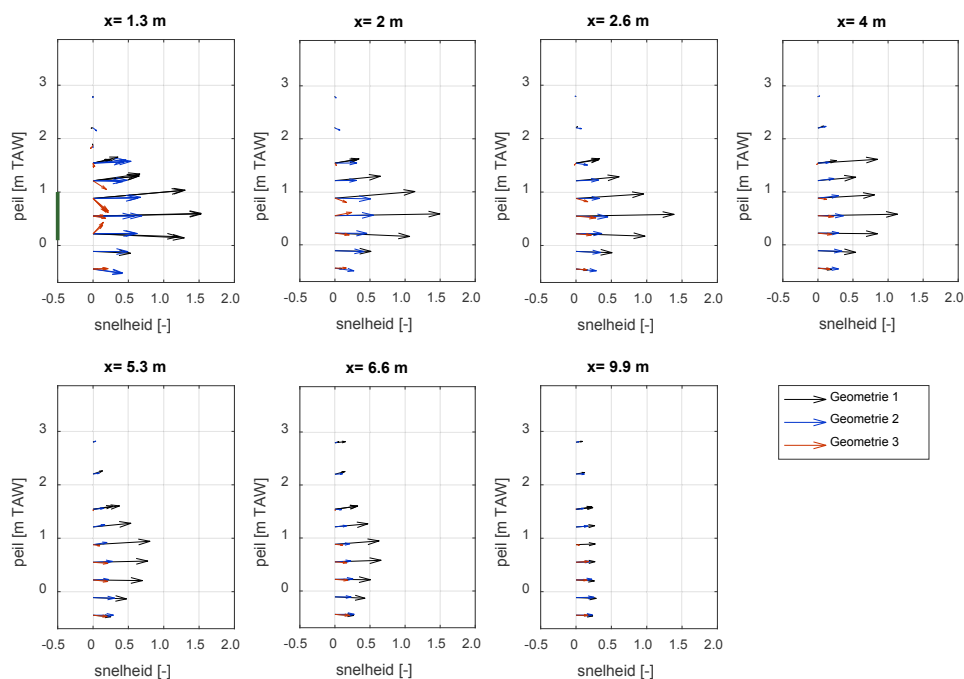


Een grafische voorstelling van de snelheid in een verticaal vlak dwars op de stroming op $x = 1.32$ m en de snelheid in een verticaal vlak volgens de centerlijn van het model (op $y = 0$ m) wordt in Figuur 10 en Figuur 11 gegeven voor de hefschuif 100 % geopend en in Figuur 12 en Figuur 13 gegeven voor de hefschuif 50 % geopend. In bijlage A worden deze figuren opgesteld per geometrie waardoor het stromingspatroon vergeleken kan worden tussen de hefschuiven 50 % en 100 % geopend.

Figuur 10 – Snelheid in horizontaal vlak op 1.32 m afwaarts van de opening – hefschuif 100 % geopend



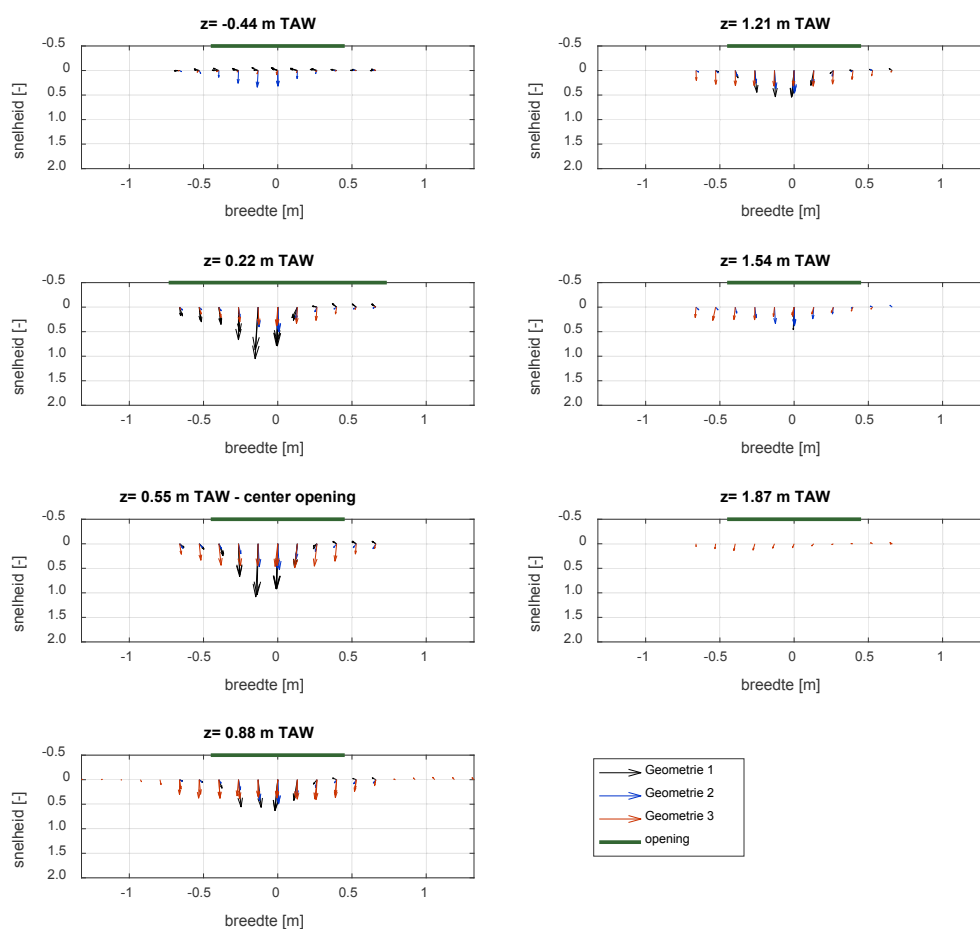
Figuur 11 – Snelheid in verticaal vlak op de centerlijn van de kolk – hefschuif 100 % geopend



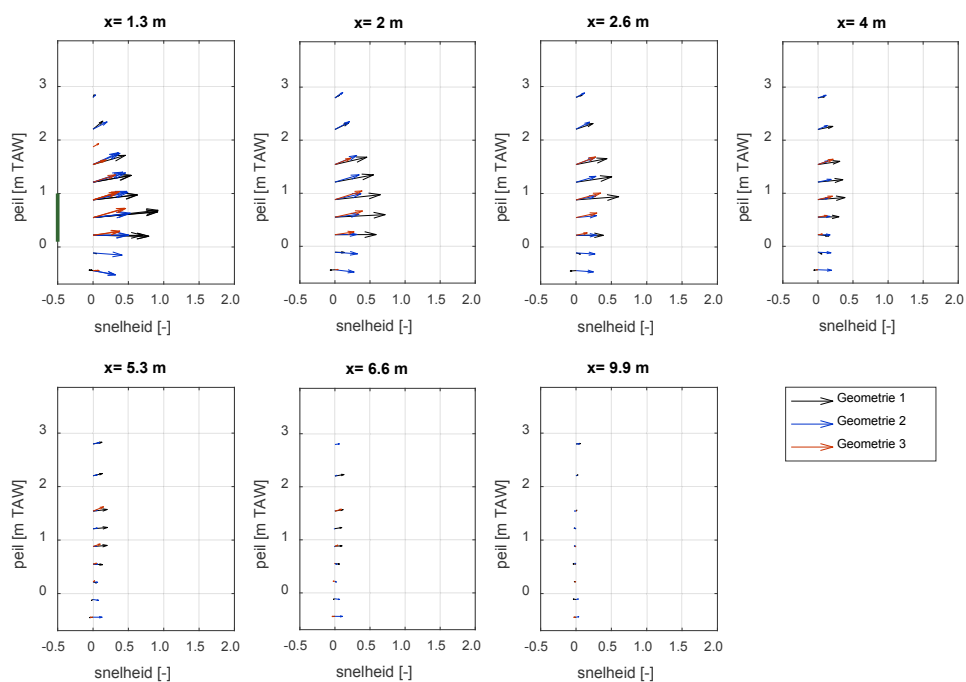
Uit de grafische voorstelling van de stroomsnelheid in de kolk bij een 100 % geopende hefschuif (Figuur 10 en Figuur 11) wordt opgemerkt dat het plaatsen van breekbalken (Geometrie 2 en 3) zorgt voor een spreiding van de jet. Dit leidt bijgevolg tot een reductie van de snelheid in het center van de jet. Tot en met een afstand 6.6 m van de deur wordt een sterke reductie van de opgemeten snelheid opgemerkt bij het toepassen van breekbalken. Zonder breekbalken bedraagt de maximale snelheid op 1.3 m van de opening 1.5 m/s. Met breekbalken wordt de maximale snelheid gereduceerd met 50 % tot ca. 0.7 m/s. Merk op dat voor de geometrie zonder breekbalken de opgemeten maximale snelheid (1.5 m/s) goed overeenkomt met de theoretisch bepaalde maximaal voorkomende snelheid (1.56 m/s). Bij de geometrie met 2 breekbalken (G2) volgt uit de opgemeten snelheidsvectoren geen lokale verstoring ten gevolge van de breekbalken. De hoogste snelheden doen zich voor op de centerlijn van het model ($y=0$). Ten opzichte van de geometrie zonder breekbalken spreidt de uitstroming voornamelijk uit in de hoogte, de uitspreiding van de stroming in de breedte blijft ongeveer dezelfde. Bij de geometrie met 1 centrale breekbalk (G3) wordt op 1.3 m afwaarts van de opening wel een lokale verstoring opgemerkt ten gevolge van deze breekbalken. Op +0.88 m TAW werden bijkomende metingen op een grotere afstand ten opzichte van de centerlijn uitgevoerd. Hieruit volgt dat op een hoogte +0.88 m TAW de snelheid verdeelt is in 2 kernen die op +/- 0.9 m uit het center liggen. De breedte van de deurkamers komt overeen met 1.85 m/1.89 m waardoor het mogelijk is dat de jets uit twee naastliggende openingen samengevoegd kunnen worden. Ook valt bij de geometrie met één breekbalk op dat de snelheid bij de metingen achter de breekbalk een verticale component heeft. Deze verticale component kan verklaard worden door het zog van de stroming achter de breekbalk. Om meer inzicht te krijgen in de stroming bij 1 centrale breekbalk is het aanbevolen om bijkomende snelheidsmetingen uit te voeren.

De opgemeten snelheid voor een 50 % geopende hefschuif wordt gegeven in Figuur 12 en Figuur 13.

Figuur 12 – Snelheid in horizontaal vlak op 1.7 m afwaarts van de opening – hefschuif 50 % geopend



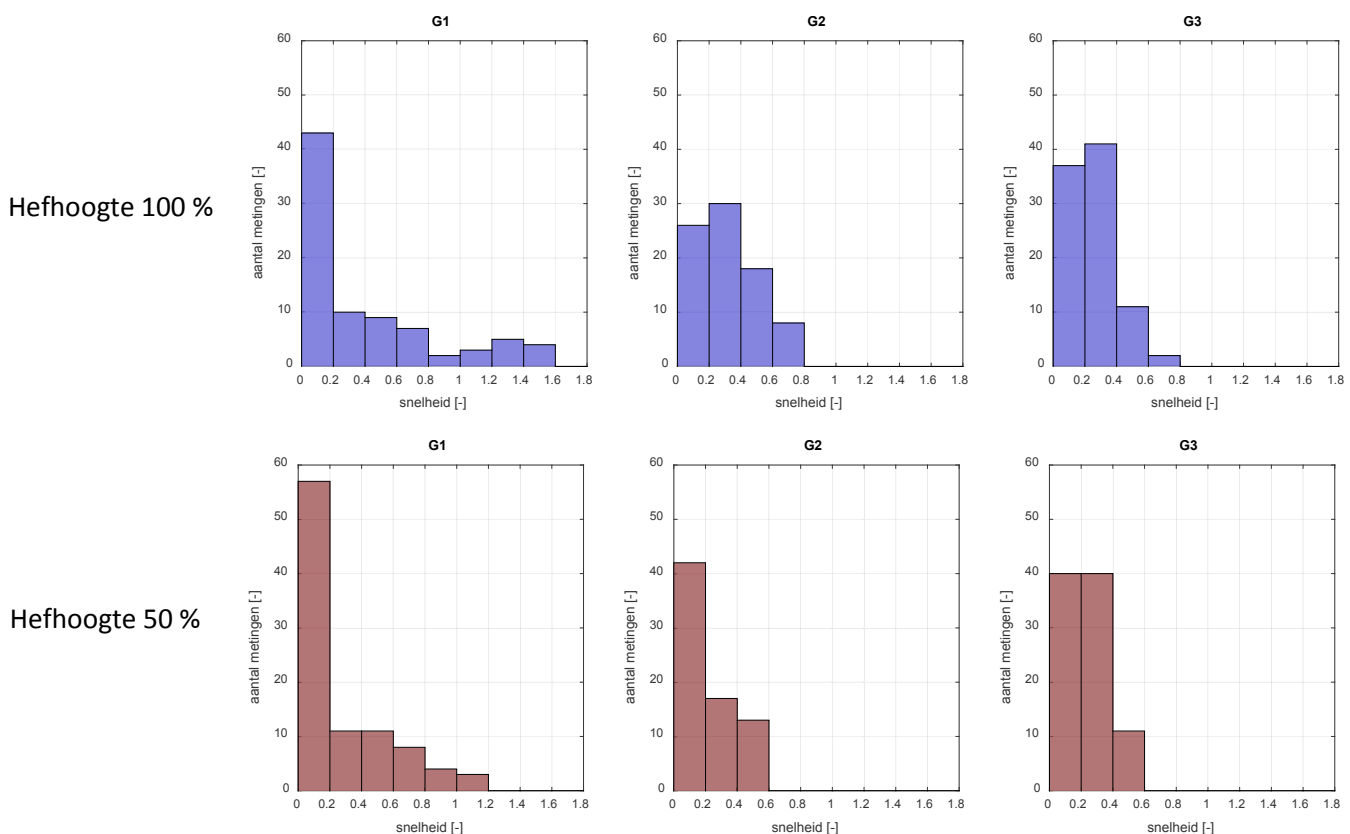
Figuur 13 – Snelheid in verticaal vlak op de centerlijn van de kolk – hefschuif 50 % geopend



In vergelijking met de 100 % geopende hefschuif neemt de opgemeten stroomsnelheid in het center van de jet bij de geometrie zonder breekbalken (Geometrie 1) af van 1.5 m/s naar 1.0 m/s en neemt de spreiding in de hoogte toe. Door het toepassen van breekbalken (Geometrie 2 en Geometrie 3) halveert de maximale snelheid (1.0 m/s naar 0.5 m/s). Zowel bij de geometrie met 2 breekbalken (Geometrie 2) als bij de geometrie met 1 breekbalk (Geometrie 3) neemt de snelheid geleidelijk toe naar een maximale snelheid op de centerlijn van het model. Bij de geometrie met 1 centrale breekbalk en een hefschuifhoogte 50 % treedt dus geen splitsing van de jet op in twee deeljets zoals bij een hefschuifhoogte 100 %. Bij de geometrie met 2 breekbalken is de spreiding naar de bodem van het model toe groter terwijl bij de geometrie met 1 centrale breekbalk de spreiding in de breedte groter is.

In Figuur 14 wordt per geometrie en per hefschuifhoogte (50 % en 100 %) een histogram gegeven van de snelheid opgemeten in het verticaal vlak op 1.3 m van de opening. De grootte van dit vlak werd in horizontale richting begrensd tussen $y = \pm 1.5$ m en in verticale richting tussen de bodem van het model en +1.80 m TAW.

Figuur 14 – Histogram snelheid op $x = 1.3$ m

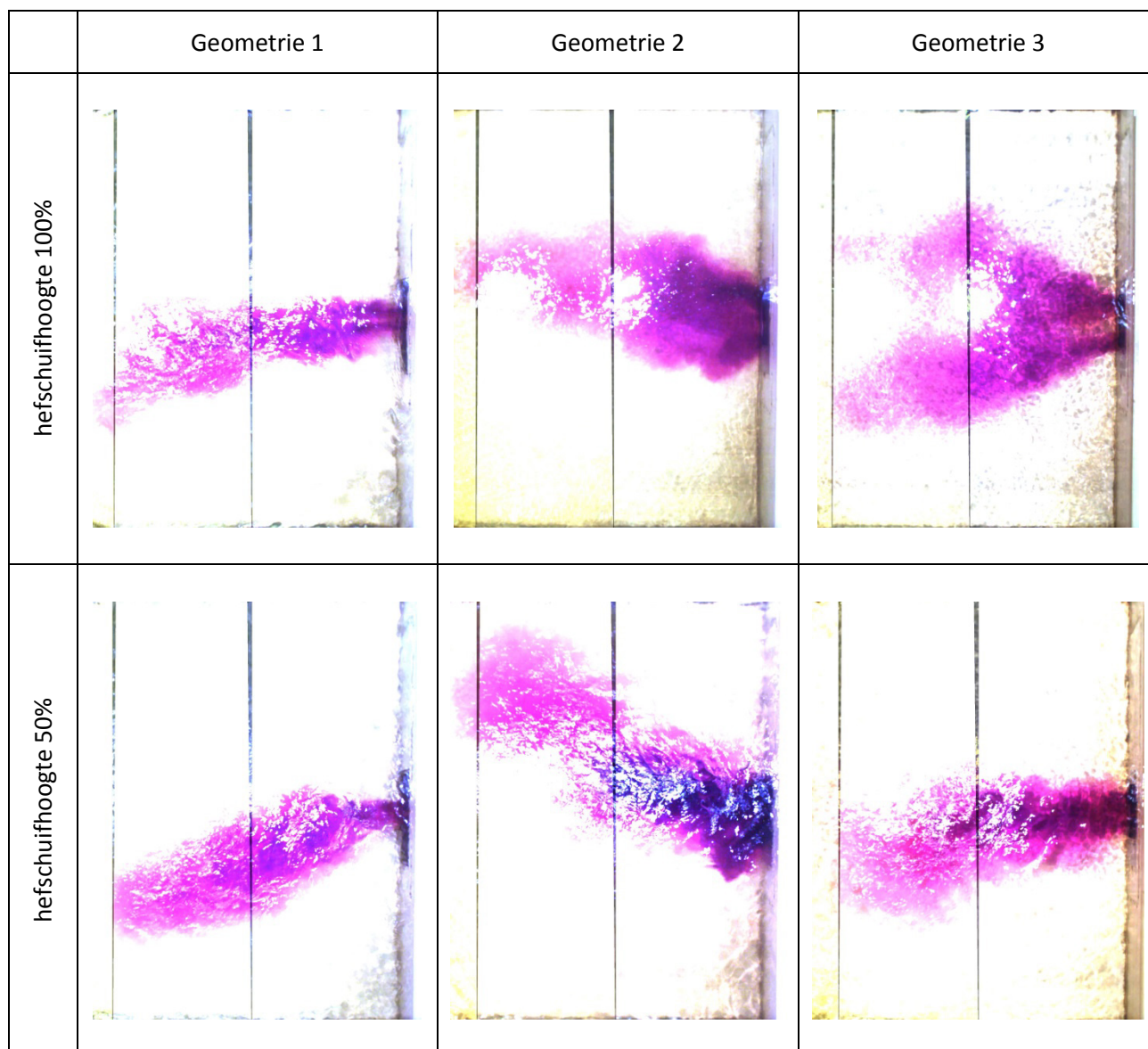


Uit Figuur 14 volgt dat bij een 100 % geopende hefschuif zonder breekbalken (G1) de grootste snelheden zich tussen 1.4 m/s en 1.6 m/s bevinden. Het minimum aantal punten wordt teruggevonden tussen 0.8 m/s en 1.0 m/s en een groot aantal punten heeft een snelheid tussen 0 m/s en 0.2 m/s. Bij de metingen met breekbalken (G2 en G3) en een 100 % geopende hefschuif bevinden de maximale snelheden zich tussen 0.6 m/s en 0.8 m/s. Bij de metingen met een 50 % geopende hefschuif is er een afname van de maximale snelheid en een verschuiving naar de lagere snelheden. Dit valt het sterkste op voor de geometrie zonder breekbalken (G1) en de geometrie met twee breekbalken (G2), voor de geometrie met 1 centrale breekbalk (G3) is deze verschuiving minder aanwezig.

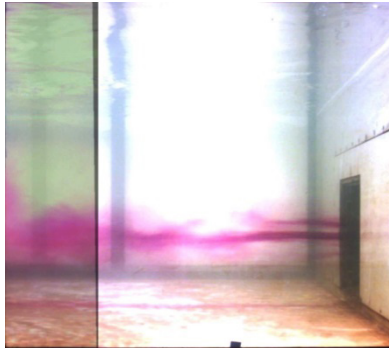
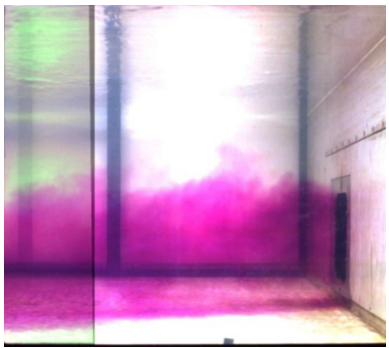
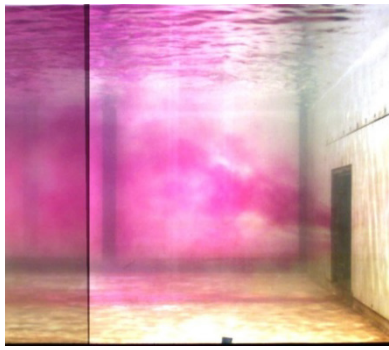
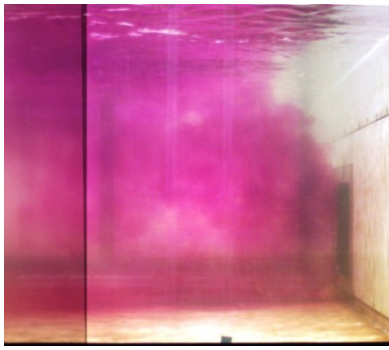
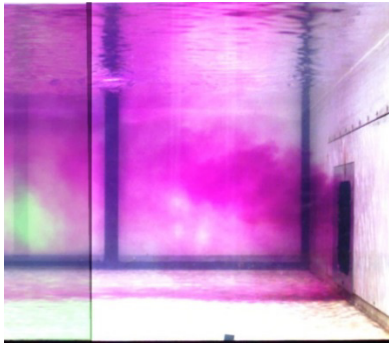
4.3 Visualisatie van het stromingspatroon

Naast metingen van de stroomsnelheid in de sluiskolk werd het stromingspatroon ook gevisualiseerd door het toevoegen van kleurstof opwaarts van de nivelleeropening. Hiervan werden opnames gemaakt, zowel in het bovenaanzicht als in het zijaanzicht. Het gevisualiseerde stromingspatroon in het bovenaanzicht wordt gegeven in Figuur 15 en het gevisualiseerde stromingspatroon in het zijaanzicht wordt gegeven in Figuur 16.

Figuur 15 – Visualisatie stromingspatroon - bovenaanzicht



Figuur 16 – Visualisatie stromingspatroon - zij aanzicht

	Geometrie 1	Geometrie 2	Geometrie 3
hefschuihoogte 100%			
hefschuihoogte 50%			

Uit de figuren valt op dat bij de aanwezigheid van breekbalken de jet sterker uitspreidt in de breedte en de hoogte. Voor de geometrieën met breekbalk(en) komt de hoogte van de jet bij uitstroming overeen met de hoogte van de afwaartse opening. Bij de geometrie zonder breekbalken is de hoogte van de jet kleiner dan de hoogte van de afwaartse opening. Bij de geometrie met 1 breekbalk splitst de jet in twee kernen bij een 100 % geopende hefschuif en blijft samen bij een 50 % geopende hefschuif, dit is analoog met wat volgt uit de snelheidsmetingen. Zowel voor de geometrie zonder breekbalken (Geometrie 1) als voor beide geometrieën met breekbalken (Geometrie 2 en Geometrie 3) valt op dat de uitstroming verder uitspreidt in de hoogte bij een 50 % geopende hefschuif dan bij een 100 % geopende hefschuif. Dit volgde ook uit het opgemeten snelheidspatroon en werd ook vastgesteld bij de uitgevoerde schaalmodelproeven voor de nieuwe sluis te Sint-Baafs-Vijve.

5 Conclusies en aanbevelingen

Voor de nieuwe sluis te Denderbelle voeren de afdeling Expertise Beton Staal (EBS) en de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium (WL) het constructief en hydraulisch ontwerp uit in opdracht van de Vlaamse Waterweg (dVW). De nieuwe sluis betreft een sluis met een lengte 130.0 m, een breedte 10.5 m en een verval 2.38 m. Het ontwerpschip betreft een schip CEMT klasse IV. Als nivelleersysteem worden per hoofd 6 openingen met breedte 0.90 m en hoogte 0.90 m voorzien. Deze openingen worden afgesloten door middel van een hefschuif. Het hydraulisch ontwerp werd uitgevoerd door WL. In dit rapport wordt nagegaan wat de invloed is van het toevoegen van breekbalken in de nivelleeropeningen op het debiet en de uitstroming in de kolk.

Hiervoor werden in een op het WL beschikbaar schaalmodel proeven uitgevoerd met de nivelleeropening voor de nieuwe sluis te Denderbelle. In het schaalmodel werd een geometrie zonder breekbalken, een geometrie met 2 breekbalken met sectie 0.15 m x 0.15 m (bxh) en tussenafstand 0.30 m en een geometrie met 1 centrale breekbalk met sectie 0.30 m x 0.15 m (bxh) beschouwd. De twee geometrieën met breekbalken voldoen aan de in de Nederlandse literatuur aanbevolen criteria voor de minimale tussenafstand en de vrije oppervlakte tussen de breekbalken ten opzichte van de oppervlakte onder de hefschuif. Aan de criteria voor de blokkering van de afwaartse opening wordt niet voldaan.

Uit het schaalmodelonderzoek volgt dat breekbalken een verwaarloosbare invloed hebben op de afvoercoëfficiënt en dus ook op het debiet. Ten opzichte van de afvoercoëfficiënt gebruikt voor het hydraulisch ontwerp is er een verschil in het verloop van de curve. Bij een hefhoogte onder 70 % is de voor het hydraulisch ontwerp gebruikte afvoercoëfficiënt lager dan de afvoercoëfficiënt volgend uit de schaalmodelproeven en bij een hefhoogte hoger dan 70 % is de uit de schaalmodelproeven volgende afvoercoëfficiënt hoger. Het verschil tussen de afvoercoëfficiënt gebruikt voor het hydraulisch ontwerp en de afvoercoëfficiënt volgend uit de schaalmodelproeven is beperkt tot ca. +/- 7%.

Uit de snelheidsmetingen en visualisaties van de jet met kleurstof volgt dat breekbalken een gunstige invloed hebben op de spreiding van de jet en de reductie van de maximale snelheid. Zowel bij een hefhoogte 50 % als bij een hefhoogte 100 % reduceren breekbalken de maximale snelheid met ca. 50 %. Uit de visualisaties volgt dat breekbalken ervoor zorgen dat de jet uitspreidt over de volledige hoogte van de uitstroomopening, zowel bij een hefhoogte 50 % als bij een hefhoogte 100 %. Bij de geometrie met 1 centrale breekbalk en de hefschuif 100 % geopend splitst de centrale breekbalk de stroming in twee deeljets. Bij de geometrie met 2 breekbalken en de hefschuif 50 % en 100 % geopend en de geometrie met 1 breekbalk en de hefschuif 50 % wordt een opsplitsing in meerdere deeljets niet waargenomen. De geometrie met 2 breekbalken wordt hydraulisch voordeliger geacht omdat het stromingspatroon achter de breekbalken hetzelfde blijft voor de twee beproefde hefschuifhoogtes.

Het is aanbevolen om de simulaties uit het hydraulisch voorontwerp te herhalen met de afvoercoëfficiënten volgend uit de schaalmodelproeven. Mogelijk volgt hieruit een optimalisatie van de openingswet.

Eén centrale breekbalk heeft mogelijks constructieve en economische voordelen en is mogelijks minder gevoelig voor opstopping door vuil. Indien gekozen zou worden voor een geometrie met één centrale breekbalk verdient het de aanbeveling om bijkomende proeven uit te voeren met een minder brede breekbalk, bijvoorbeeld 0.15 m in plaats van 0.30 m.

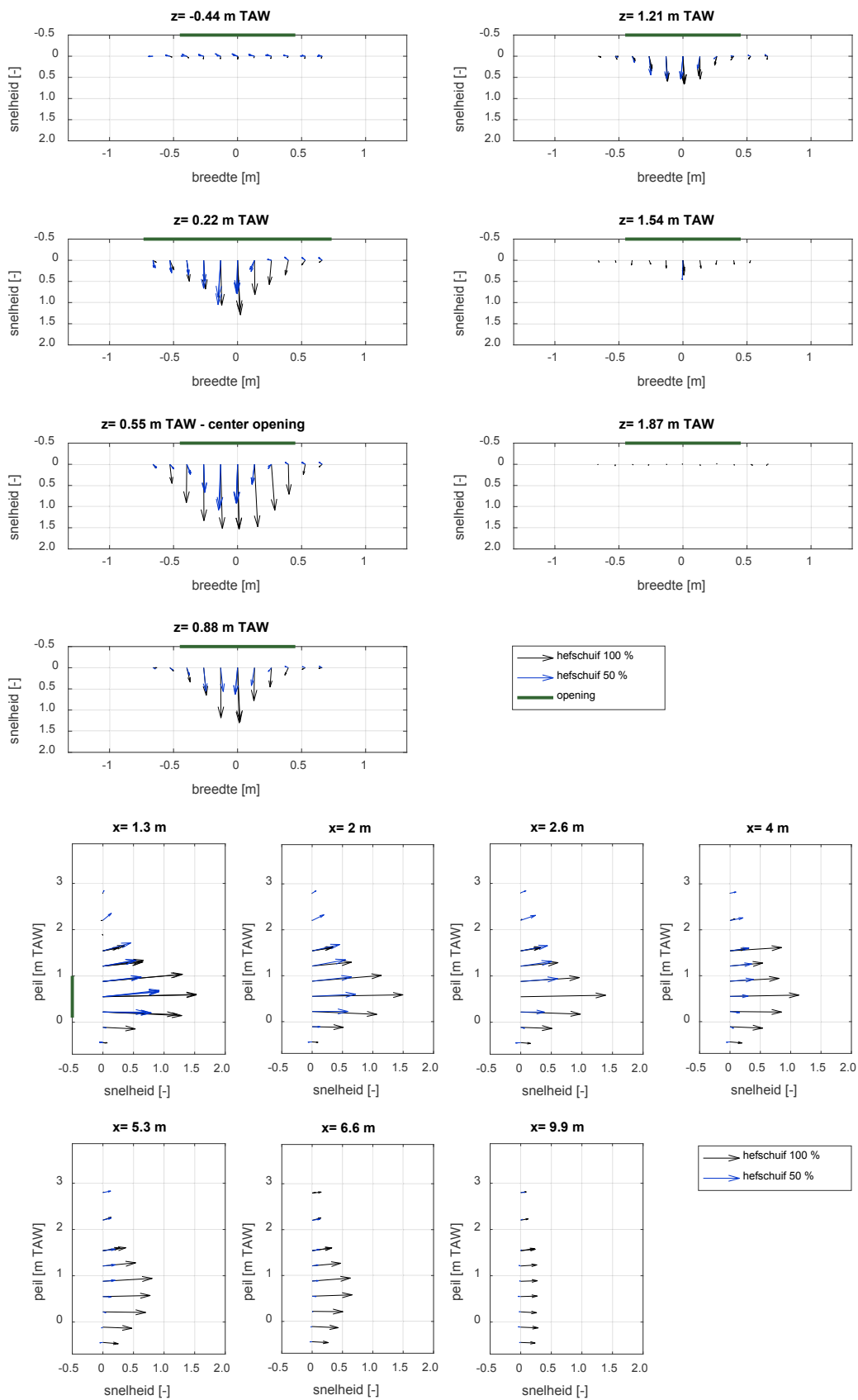
6 Referenties

- Beem, R.C.A.; Boogaard, A.; Glerum, A.; de Graaf, M.A.; Henneberque, S.D.; Hiddinga, P.H.; Kranenburg, D.; van der Meer, M.T.J.; Nagtegaal, G.; Van der Paverd, M.; Smink, L.M.C.; Vrijburcht, A.; Weijers, J.** (2000). Ontwerp van schutsluizen: deel 1. Bouwdienst Rijkswaterstaat: Utrecht. ISBN 90-369-3305-6
- Breugem, W.A.; Decrop, B.; Rauwoens, P.; Van Hoydonck, W.; Verelst, K.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016a). Hydraulic study of breaking logs in lock filling with gate openings: Sub report 2. CFD modeling of scale model experiments. *WL Rapporten*, 14_050. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerp
- Breugem, W.A.; Decrop, B.; Rauwoens, P.; Van Hoydonck, W.; Verelst, K.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016b). Hydraulic study of breaking logs in lock filling with gate openings: subreport 3 – CFD modelling of lock chamber filling. *WL Rapporten*, 14_050. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerp
- Evens, K.** (2016). Influence of breaking logs on flow patterns, flow rate and impulse for lock filling with gate openings. MSc Thesis.
- Maes, D.** (2016). Internship at Flanders Hydraulics Research: Comparison of different configurations of breaking logs for navigation lock filling through gate openings
- Ramos, P.X.; De Mulder, T.; Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016). Hydraulic study of breaking logs in lock filling with gate openings: report on scale model research. *WL Rapporten*, 14_050. Flanders Hydraulics Research: Antwerp
- SBE.** (2011). Dender. Opwaardering tot klasse IV van Dendermonde tot Aalst. Omgevingsanalyse, opmaak concept en voorontwerp. Ontwerp bedieningsgebouw en omgevingsaanleg. Opmaak project-mer. Deelopdracht 1 : Omgevingsanalyse, opmaak concept en voorontwerp. Hydraulische
- Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Peeters, P.; Mostaert, F..** (2017). Klasse Vb-sluist te Sint-Baafs-Vijve: Optimalisatie ontwerp breekbalken.. *WL Rapporten*, 16_065_1: Antwerpen, België
- Verelst, K.; Vercruysse, J.; Mostaert, F.** (2018). Denderbelle – Vernieuwing stuwsuis Denderbelle: Deelrapport 4 – Simulaties ontwerp nivelleersysteem sluis. Versie 1.0. *WL Rapporten*, 15_062_4: Antwerpen
- Verelst, K.; De Mulder, T.; Mostaert, F.** (2010). Dender - Vernieuwing sluis Denderbelle: toetsing kolkafmetingen en voorontwerp nivelleersysteem van de sluis. *WL Rapporten*, 760_11. Flanders Hydraulics Research: Antwerpen
- Verelst, K.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2013). Dender - vernieuwing stuwsuis Denderbelle: dimensionering erosiebescherming. *WL Rapporten*, 00_149. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

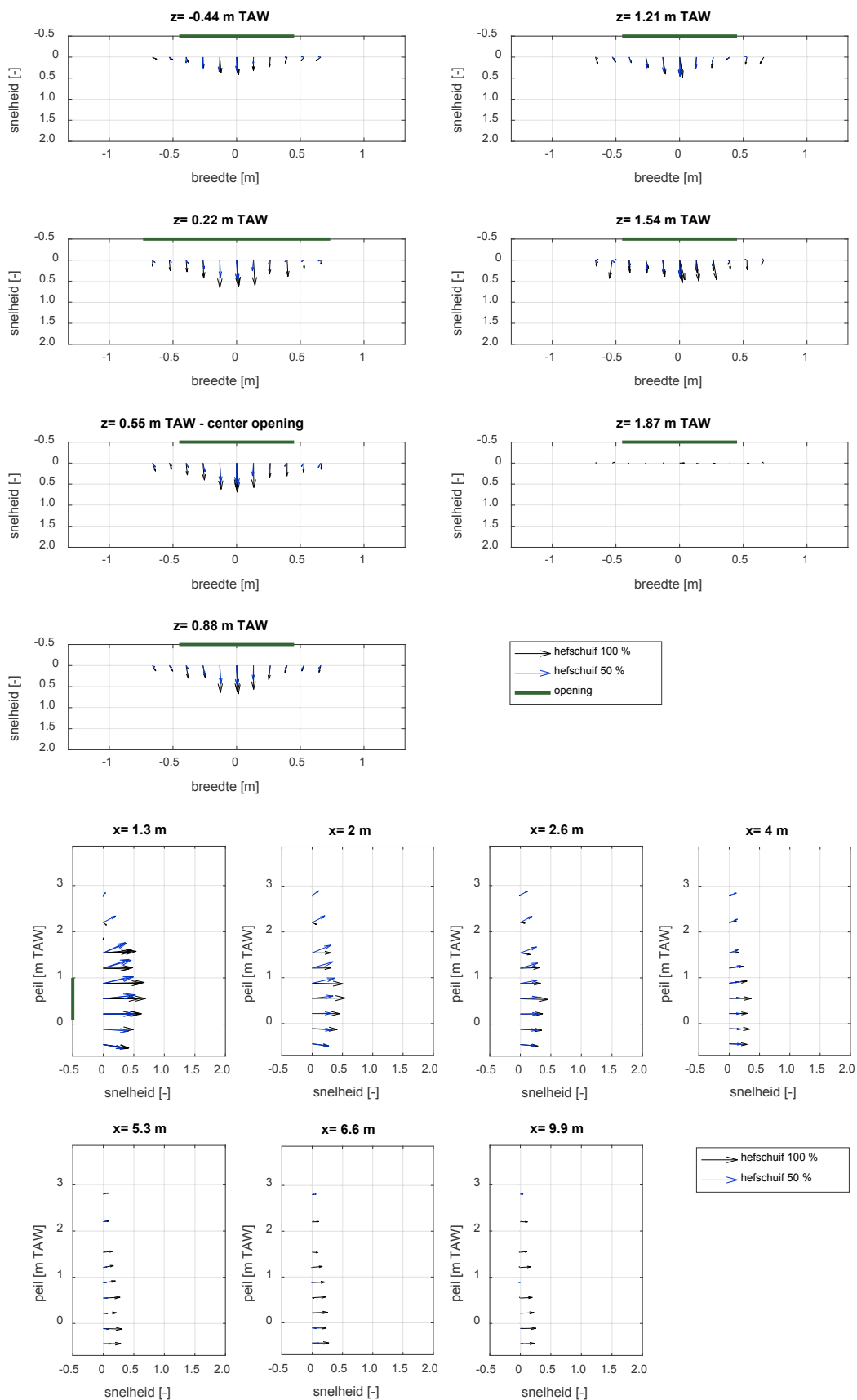
Bijlage – Invloed hefschuifhoogte op stromingspatroon

Uit paragraaf 4.2 volgde dat het openingspercentage van de hefschuif (50 % of 100 %) een invloed heeft op het stromingspatroon. In deze bijlage wordt voor de drie beproefde geometrieën een vergelijking gegeven tussen het stromingspatroon bij een 50 % geopende hefschuif en bij een 100 % geopende hefschuif. Voor Geometrie 1 wordt de vergelijking gegeven in paragraaf A.1, voor Geometrie 2 wordt de vergelijking gegeven in paragraaf A.2 en voor Geometrie 3 wordt de vergelijking gegeven in paragraaf A.3. Analoog met paragraaf 4.2 wordt een grafische voorstelling van de snelheid in een verticaal vlak dwars op de stroming op $x = 1.32$ m en de snelheid in een verticaal vlak volgens de centerlijn van het model (op $y = 0$ m) gegeven.

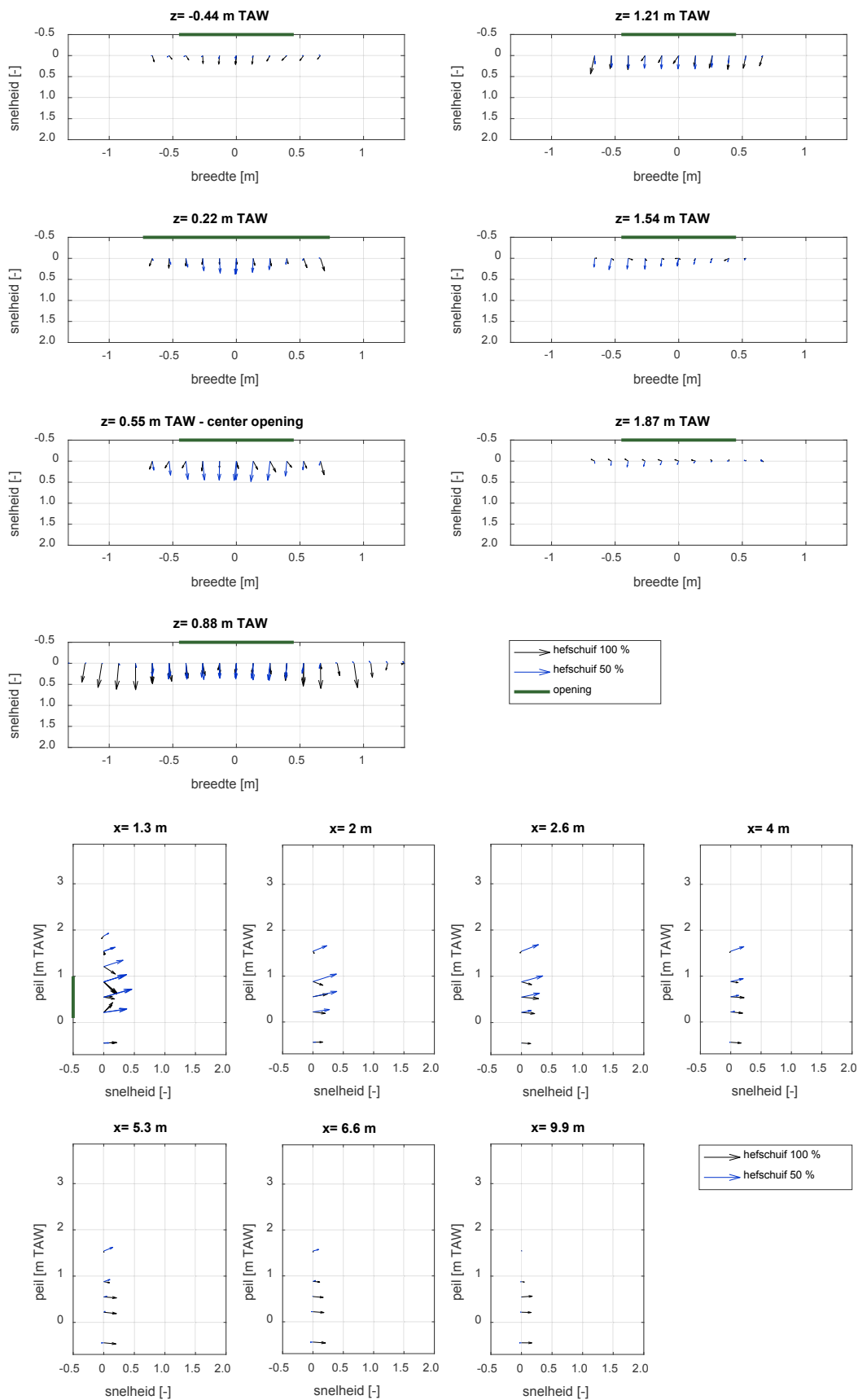
A.1 Geometrie 1 (geen breekbalken)



A.2 Geometrie 2 (2 breekbalken)



A.3 Geometrie 3 (1 breekbalk)



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