

## Rapport

---

Projectnummer: 361507

Referentienummer:

Datum: 30-01-2019

---

## Hydraulische toets VO vispassages Molenbeek Controle op het ontwerp van de vispassages



Definitief

Opdrachtgever:  
Waterschap Brabantse Delta  
Postbus 5520  
4801 DZ BREDA

## Verantwoording

---

Titel	Hydraulische toets VO vispassages Molenbeek
Subtitel	Controle op het ontwerp van de vispassages
Projectnummer	361507
Referentienummer	
Revisie	D.01
Datum revisie	30-01-2019
Auteur	Jan Willem Bronkhorst
E-mailadres	janwillem.bronkhorst@sweco.nl
Gecontroleerd door	Wouter Vierhout 
Paraaf gecontroleerd	
Goedgekeurd door	Arjan Frens
Paraaf goedgekeurd	

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>4</b>
1.1	Doel.....	4
1.2	Aanpak en leeswijzer .....	4
<b>2</b>	<b>Ontwerp van de passages</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Modelleringswijze</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Resultaten</b> .....	<b>9</b>
4.1	Afvoeren en waterstanden in de Molenbeek.....	9
4.2	Stromingscondities in de vispassages bij ontwerpafvoer (280-290 l/s, 5% MA)...	12
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b> .....	<b>14</b>
5.1	Effect van de vispassages op het regionale stelsel.....	14
5.2	Functioneren vispassages .....	14
5.3	Tot slot .....	14
	<b>Bijlagen</b> .....	<b>15</b>
	<b>Bijlage 1 Lengtedoorsneden met waterpeilen</b> .....	<b>16</b>
	<b>Bijlage 2 Beschrijving stuwen</b> .....	<b>20</b>

## 1 Inleiding

De Molenbeek is in Nederland een KRW-waterlichaam en ook een door het bestuur vastgestelde vismigratieroute (WBP 2017-2021). De vispassages worden aangelegd om de KRW doelen te halen en invulling te geven aan de vismigratieroute.

In de eerste fase van het project is onderzocht of het laten vervallen van een of meer van de drie stuwen mogelijk was. Daaruit is naar voren gekomen dat dit niet mogelijk was, omdat de impact op de grond- en oppervlaktewaterstanden te groot is. Dit is beschreven in de rapportage *Hydrologische studie vispassages Molenbeek*<sup>1</sup>.

Voor de drie stuwen zijn daarom oplossingsrichtingen uitgewerkt om deze vispasseerbaar te maken middels vispassages. Hierbij is gebruik gemaakt van een multi criteria analyse (MCA). De uitwerking van de MCA en meer informatie over de achtergrond van het project is beschreven in de rapportage *Alternatieven en MCA Molenbeek*<sup>2</sup>. Met de MCA is voor ieder van de drie stuwen een voorkeursoplossing afgeleid. Deze zijn uitgewerkt in een voorontwerp. Deze rapportage bevat de hydraulische toetsing van het voorontwerp van drie vispassages in de Roosendaalse Molenbeek.

### 1.1 Doel

Het doel van de hydraulische toetsing van de vispassages is tweeledig:

Eenzijds is het een controle op het ontwerp en de aannames die daarin zijn gemaakt. Dit geeft antwoord op de vraag of de vispassages functioneren als beoogd, dus of vissen inderdaad in staat zijn via de vispassage de stuw te passeren. Dit is een controle op de waterstanden en stroomsnelheden in de vispassages.

Anderzijds zorgen de vispassages voor een andere relatie tussen het peil en de afvoer in de Molenbeek. Dit uit zich in hogere of lagere peilen in de Molenbeek bij gelijkblijvende afvoer. Het uitgangspunt is dat de vispassages geen verandering in het stromingsregime mogen veroorzaken, maar dit is op voorhand niet uit te sluiten. De hydraulisch toetsing geeft antwoord op de vraag in hoeverre het stromingsregime wordt veranderd door de vispassages. In het bijzonder wordt ook nog ingegaan op het functioneren van Het Verdeelwerk.

### 1.2 Aanpak en leeswijzer

In hoofdstuk twee worden de ontworpen vispassages kort beschreven. In hoofdstuk drie volgt de wijze van modelleren. Hier wordt beschreven hoe de vispassages in het model zijn opgenomen en hoe het model wordt ingezet om de toetsing uit te voeren. Hoofdstuk vier geeft de resultaten van de doorgerekende scenario's. In hoofdstuk vijf volgende de conclusies.

---

<sup>1</sup> 20180531 361507 Rapport hydrologische onderzoek - D1, Sweco, 7 mei 2018

<sup>2</sup> 20180618 361507 Rapportage alternatieven en MCA Molenbeek, Sweco, 7 mei 2018

## 2 Ontwerp van de passages

Het voorontwerp heeft betrekking op drie vispassages bij drie stuwen in de Molenbeek. Het betreffen de stuwen “Verdeelwerk”, “Stuw Vondellaan” en “Stuw Oostelijke Havendijk”. Een uitgebreide beschrijving van de stuwen en hun functioneren in de huidige situatie is opgenomen in de eerder genoemde rapportages<sup>1,2</sup> en voor de volledigheid van deze rapportage ook in Bijlage 2. In de navolgende paragrafen is het ontwerp van de vispassages opgenomen.

Het ontwerp van de vispassages is gebaseerd op het gemiddelde debiet tijdens de vismigratieperiode. Dit is gesteld op 200 tot 300 l/s. Bij dit debiet moeten de vispassages voldoen aan de volgende hydraulische kenmerken, conform de *Handreiking vispassages Noord-Brabant*<sup>3</sup>:

- Richt stroomsnelheid in de bekkens/kamers: 0,30 m/s
- Maximale stroomsnelheid in de doorstroomopeningen: 1,00 m/s
- Minimale waterdiepte in de bekkens: 0,90 m
- Maximale energievernietiging in passage: 100 W/m<sup>3</sup>
- Richtpercentage lokstroom t.o.v. totale afvoer: min. 5-10%

Gedurende het project zijn meerdere ontwerpvarianten en ontwerpkeuzes gemaakt. Deze keuzes zijn met name ingegeven door mogelijkheid tot goed onderhoud en de aanwezige kabels en leidingen. De onderstaande tabel geeft een overzicht van ontwerpstappen.

Tabel 1. Ontwerpstappen.

Locatie	Huidige situatie	Ontwerp 1 Juli 2018	Ontwerp 2 September 2018	Ontwerp 3 December 2018
Verdeelwerk	Verdeelwerk	Bypass met bekkervispassage Compacte	Bypass met bekkervispassage Ruime	Bypass met bekkervispassage Compacte
Vondellaan	Stuw	bekkervispassage Compacte	bekkervispassage Compacte	bekkervispassage Parallele “De Wit”-vispassage
Oostelijke Havendijk	Stuw	bekkervispassage	bekkervispassage	

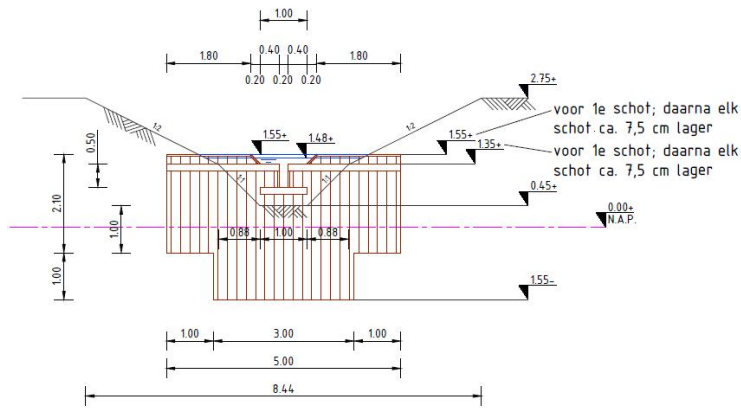
In de volgende paragrafen is het ontwerp van de drie vistrappen toegelicht. Dit betreft de uiteindelijke gemaakte keuze per locatie uit ontwerpstep 3.

### Stuw 1. Verdeelwerk

De vispassage bij het verdeelwerk wordt aangelegd als een bypass langs de huidige stuw. Hierdoor wordt de stuw inclusief gebiedsregeling behouden. De instroom van de vispassage ligt ca. 30 meter bovenstrooms van het Verdeelwerk. De afvoer kan hier flink oplopen, het is daarom gewenst om het debiet door de vispassage te kunnen regelen (limiteren). In de duiker is daarom een schuif opgenomen die kan worden dichtgezet in perioden van hoge afvoer. De vistrap bestaat uit 7 drempels met een vertical slot. Boven het slot zit een V-vorm tot de

<sup>3</sup> Handreiking vispassages Noord-Brabant, Waterschap De Dommel, Waterschap Aa en Maas en Waterschap Brabantse Delta

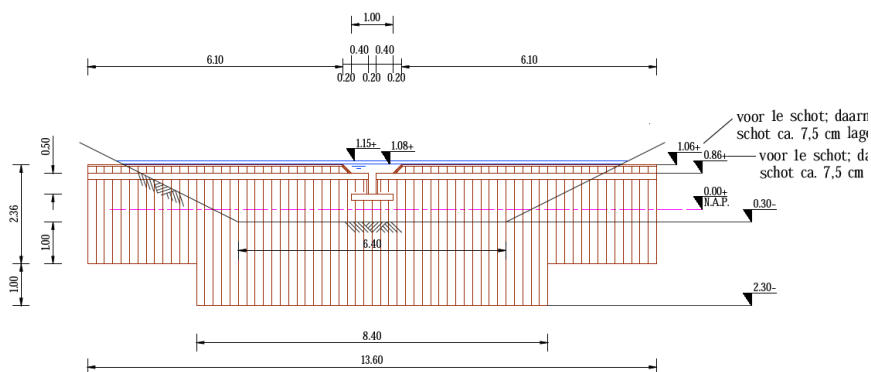
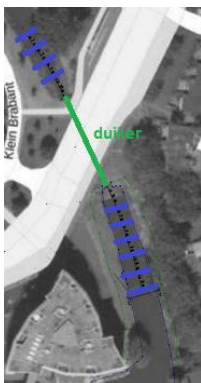
bovenzijde van de drempel. De bovenzijde van de eerste drempel ligt op NAP +1,55 m. Iedere volgende drempel wordt 7,0-7,5 cm dieper gelegd. De achterliggende kamers hebben een lengte van ca. 9,5 m.



Figuur 1. Ontwerp vispassage Verdeelwerk.

### Stuw 2. Vondellaan

De stuw bij de Vondellaan wordt vervangen door een vistrap. Hier wordt de stuwende werking van de huidige drempel vervangen door een tiental drempels met een gering verval. In deze drempels zit een verticaal slot, waar vissen doorheen kunnen zwemmen. Boven het slot zit een V-vorm tot de bovenzijde van de drempel. De bovenzijde van de eerste drempel ligt op NAP +1,06 m (afgestemd op bestaande situatie). Iedere volgende drempel wordt 7,5 cm dieper gelegd. Achter de drempels zijn bekkens van ca. 7 meter opgenomen. In de vispassage ligt een lange duiker onder de Laan van Brabant. Het is de vraag in hoeverre deze duiker nog voldoende functioneert na aanleg van de vispassages (zie paragraaf 4.1 voor verdere uitwerking).

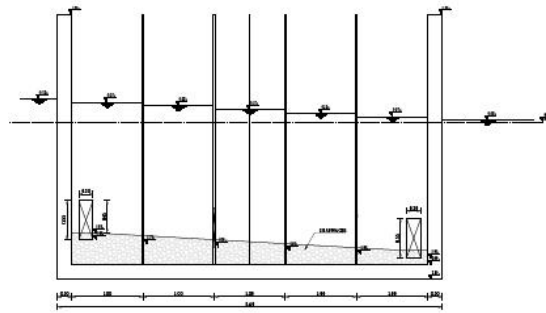
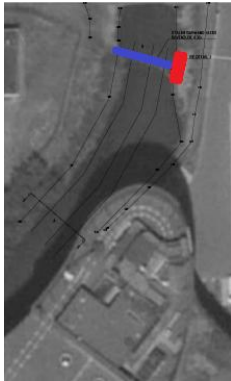


Figuur 2. Ontwerp vispassage Vondellaan.

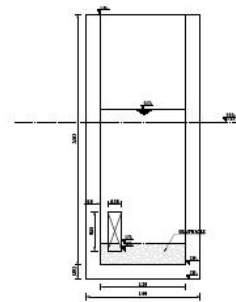
### Stuw 3. Oostelijke Havendijk

Naast de stuw bij de Oostelijke Havendijk wordt een "De Wit"-vispassage aangelegd. De passage is ontworpen op een maatgevend peilverschil van 0,30 m en doorstroomdebiet van 75 l/s. Een surplus aan afvoer zal over de stuw wegstromen.

De vispassage bestaat uit 5 kamers (6 peilovergangen). Het verval tussen de kamers komt daarmee op 5 cm. De netto doorstroomopening tussen de kamers is 0,40 meter \* 0,20 meter (H \* B).



DOORSNEDE A-A  
SCHAAL 1:20



DOORSNEDE B-B  
SCHAAL 1:20

Figuur 3. Ontwerp "De Wit" - vispassage Oostelijke Havendijk.

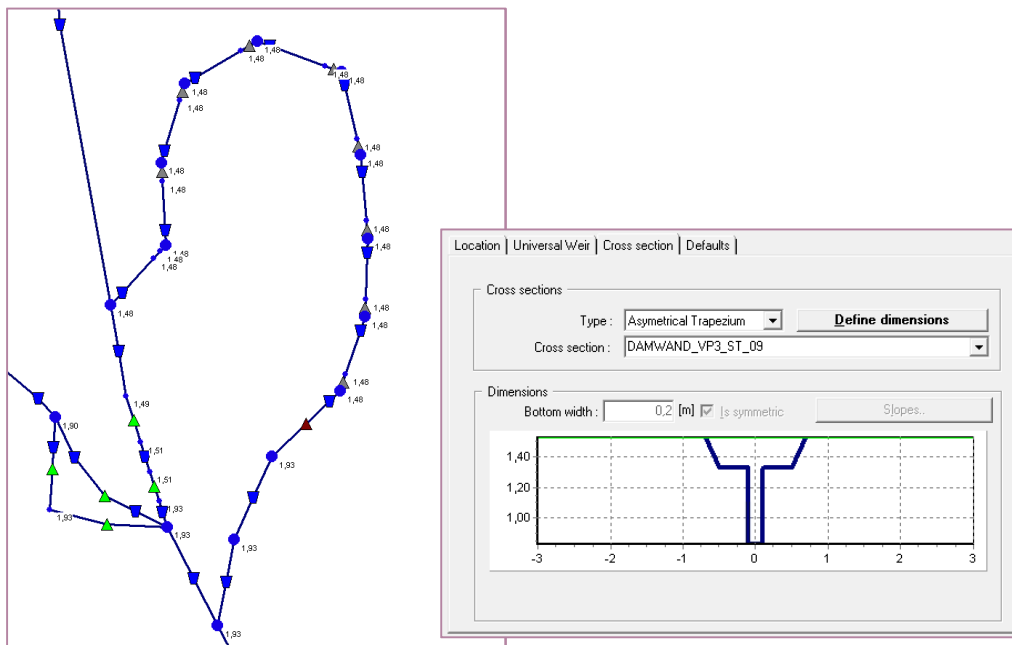
## 3 Modelling

### 3.1 Gemodelleerde situaties

De huidige situatie, ontwerpstep 1 en ontwerpstep 2 zijn gemodelleerd, de laatste ontwerpstep is niet opnieuw gemodelleerd. Voor een inschatting van de effecten van de definitieve keuze wordt gebruik gemaakt van de eerdere modelleringen.

### 3.2 Modelling vistrappen

Voor de modellering van de vispassages wordt de werkwijze uit de *Handreiking Vispassages Noord-Brabant*<sup>3</sup> gevolgd. Ieder bekken krijgt een *cross-section node*, een *universal weir* waar de stuwvorm mee is gemodelleerd en een *fixed calculation point*. De stuwvorm is gemodelleerd op basis van de technisch tekeningen. Voor de contractiecoëfficiënt is een waarde van 0,75 aangehouden, om rekening te houden met de stortsteen aan de achterzijde van de drempels.



Figuur 4. Voorbeeld modelschematisatie vispassage bij de stuw Verdeelwerk.

### 3.3 Testberekening

Om een goede vergelijking te kunnen maken met de huidige situatie zijn de vispassages eerst in het model opgenomen zonder drempels (voor de locatie van de *universal weir* is een *fixed calculation point* opgenomen) en met de huidige profielen. De bypass bij het Verdeelwerk is dichtgezet. Hierdoor is de modelstructuur in termen van *nodes*, *reach segments* en hun *ID's* exact gelijk, waardoor vergelijkingen (bijvoorbeeld bij het maken van langsdorsneden) tussen deze modellen mogelijk is. Eerst is een controle op de resultaten toegepast van de huidige situatie, hierbij zijn geen onvolkomenheden gevonden. Vervolgens is een testberekening gemaakt met lage en hoge afvoeren. Het model geeft hiervoor realistische resultaten m.b.t. de berekende opstuwing. De modelstructuur voldoet aan het doel. De modellen, met alle wijzigingen worden opgeleverd.



## 4 Resultaten

De resultaten van het hydrologisch onderzoek worden in het kort toegelicht aan de hand van berekende afvoeren, waterstanden en waterdiepten. Eerst worden de berekende afvoeren toegelicht, omdat deze bepalen of waterstanden “eerlijk” vergeleken kunnen worden. Vervolgens worden de effecten op de waterstanden behandeld. Als laatste nemen we ook de waterdiepten in de scenario’s onder de loep.

### 4.1 Afvoeren en waterstanden in de Molenbeek

Het model wordt belast met een reeks stationaire afvoeren die voor de huidige situatie en het ontwerpscenario gelijk zijn. Toch kunnen er door veranderend hydraulisch functioneren door de maatregelen verschillen optreden in het functioneren van het oppervlaktewatersysteem. Dit komt vooral door het functioneren van het Verdeelwerk, dat afhankelijk van de optredende boven- en benedenpeilen de afvoer verdeeld over de Stad en Tolberg. In tabel 1 zijn de afvoeren opgenomen voor de huidige situatie en het ontwerpscenario.

Tabel 2. Afvoeren in m<sup>3</sup>/s per scenario.

Locatie Afvoer [m <sup>3</sup> /s]	Referentiescenario				Ontwerpstep 1				Ontwerpstep 2			
	100%	50%	20%	5%	100%	50%	20%	5%	100%	50%	20%	5%
Verdeelwerk totaal	9,89	4,75	1,74	0,42	9,89	4,75	1,74	0,42	9,89	4,75	1,74	0,42
Verdeelwerk west (Tolberg)	6,20	1,06	0,25	0,14	7,89	2,85	0,25	0,14	6,19	1,05	0,25	0,13
Verdeelwerk oost (Stad)	3,69	3,69	1,49	0,28	1,89	1,89	1,20	0	3,70	3,70	1,16	0
Verdeelwerk vispassage	-	-	-	-	0,01	0,00	0,29	0,28	0,01	0,00	0,33	0,29
Vondellaan	3,70	3,69	1,49	0,28	1,89	1,89	1,49	0,28	3,70	3,70	1,49	0,29
Oostelijke Havendijk	3,93	3,81	1,54	0,29	2,13	2,01	1,54	0,29	3,93	3,82	1,54	0,30

Uit de uitkomsten blijkt dat de vispassage bij het Verdeelwerk zodanig is ontworpen dat deze bij een bovenwaterstand van NAP +1,57 m tot NAP +1,60 m een debiet doorlaat van 0,28-0,29 m<sup>3</sup>/s. De rest van het debiet wordt verdeeld over de Tolberg en stuw naar de Stad.

In de berekeningen met hoge afvoeren (boven 3,00 m<sup>3</sup>/s bovenstrooms van het verdeelwerk) is de vispassage volledig dicht gezet. Dit ter bescherming van de vispassage en controle over het debiet dat naar de stad wordt geleid. Bij deze hoge afvoeren treedt vrijwel geen extra opstuwing op tussen stuw Vondellaan en het Verdeelwerk.

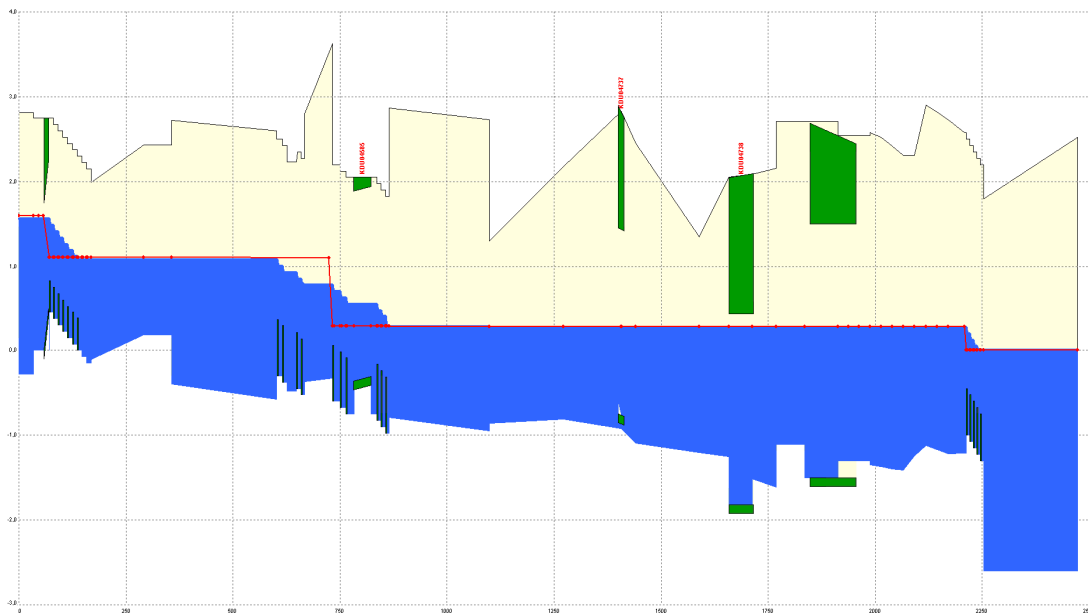
Uit de eerste doorrekening is gebleken dat wanneer de opstuwing bij stuw Vondellaan toeneemt, het Verdeelwerk ontregelt raakt (ontwerpstep 1). Dit omdat in deze ontwerpstep de bovenwaterstand bij Vondellaan te hoog werd als gevolg van een te hoge eerste drempel. Dit heeft effect op het debiet dat door de stad wordt geleid, het debiet dat naar Tolberg gaat en de bovenstroomse waterstand bij het Verdeelwerk. Mocht er toch meer opstuwing gaan optreden als gevolg van de aanleg van de vispassages (en dan met name bij de stuw Vondellaan) dan zal ook het Verdeelwerk opnieuw moeten worden ingeregeld. Het wordt dan ook zeer aanbevolen om na de aanleg van de Vispassages de Qh-relatie bovenstrooms van de Vondellaan te blijven monitoren voor met name voor de hogere afvoeren.

Tabel 3. Waterpeilen in m NAP per scenario.

Locatie	Referentiescenario				Ontwerpstep 1 vispassages				Ontwerpstep 2 vispassages			
	100%	50%	20%	5%	100%	50%	20%	5%	100%	50%	20%	5%
Waterpeil [m NAP]	3,69	3,69	1,49	0,28	1,89	1,89	1,49	0,28	3,70	3,70	1,49	0,29
VDW bovenstrooms	2,18	1,63	1,60	1,60	2,53	1,66	1,60	1,57	2,19	1,63	1,60	1,56
VDW benedenstrooms west (Tolberg)	2,13	1,45	1,40	1,40	2,50	1,65	1,40	1,40	2,14	1,45	1,40	1,40
VDW benedenstrooms oost (Stad)	1,45	1,45	1,26	1,10	1,45	1,45	1,39	1,15	1,45	1,45	1,24	1,08
Vondellaan bovenstrooms	1,41	1,41	1,25	1,10	1,44	1,44	1,38	1,15	1,42	1,42	1,23	1,08
Vondellaan dkr LvB bovenstrooms	0,90	0,89	0,51	0,28	1,31	1,31	1,25	0,73	1,02	1,01	0,71	0,56
Vondellaan dkr LvB benedenstrooms	0,87	0,86	0,50	0,28	1,30	1,30	1,25	0,73	1,00	0,99	0,70	0,56
Vondellaan benedenstrooms	0,86	0,85	0,50	0,28	0,70	0,69	0,60	0,33	0,91	0,90	0,52	0,28
Oostelijke Havendijk bovenstrooms	0,49	0,48	0,38	0,28	0,58	0,57	0,52	0,33	0,59	0,58	0,41	0,27
Oostelijke Havendijk benedenstrooms	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00

In tabel 2 is te zien dat het hydraulisch functioneren van het regionale systeem en het Verdeelwerk nagenoeg gelijk blijft na aanleg van de vispassages zoals in ontwerpstep 2. De eerste drempel van de vispassage Vondellaan is hierbij op de juiste hoogte gelegd (NAP +1,06 m. Uitgedrukt in waterstanden vanaf het Verdeelwerk tot het Roosendaals Kanaal zijn de verschillen niet erg groot. De uiteindelijk gekozen oplossing bij Vondellaan houdt het midden tussen ontwerpstep 1 en 2: een compacte bekkervispassage (zoals in ontwerpstep 1) met de aangepaste kruinhoogten (zoals in ontwerpstep 2). Het hydraulisch functioneren zal daarmee nagenoeg hetzelfde zijn als de berekening van ontwerpstep 2.

De vispassage langs het Verdeelwerk functioneert bij lagere afvoeren naar behoren, het debiet richting de stad wordt netjes verdeeld tussen de vispassage en de stuw, waardoor de waterstanden boven- en benedenstrooms van het Verdeelwerk nauwelijks veranderen. Een vergelijking met de huidige situatie voor het hele traject van het Verdeelwerk tot aan stuw Oostelijke Havendijk is in onderstaande figuur weergegeven. Te zien is dat er nauwelijks verschillen optreden in de waterstanden wanneer de vispassages worden aangelegd. De langsdorsneden voor hogere afvoeren zijn in bijlage 1 opgenomen.



Figuur 5. Vergelijking 5% afvoer (0,28 m<sup>3</sup>/s) - huidig: waterlijn in rood - vispassages: waterlijn in blauw.

Vispassage Vondellaan levert bij lage afvoeren iets minder opstuwing dan de huidige stuw, bij hogere afvoeren iets meer. Dit is in de orde van enkele centimeters. Wel is er een verschil bij de Oostelijke Havendijk merkbaar. Als hier wordt gekozen voor een bekkervispassages neemt de opstuwing bij hogere afvoeren wél significant toe. Dit is vooral te wijten aan de smallere kruin die daar nu (modelmatig) gerealiseerd wordt<sup>4</sup>. De definitieve keuze voor een “de Wit”-vispassage zal hier nagenoeg geen wijziging t.o.v. de huidige situatie betekenen. Wel moet men erop bedacht zijn dat bij extreem lage afvoeren het peil in de stad onderuit kan zakken wanneer de vispassage niet wordt dichtgezet. Het is dan ook zeer aan te raden om een (geautomatiseerde) laagpeil beveiliging op te nemen.

De duiker onder de Laan van Brabant ligt midden in de tweede vispassage. Hierdoor nemen de peilen in de duiker toe. De nieuwe peilen blijven echter bij alle afvoersituaties nog ruim onder de bovenzijde van de duiker. Ter vergelijking: de bovenzijde van de opening van de duiker ligt op ca. NAP +1,95 m en de hoogste peilen op ca. NAP +1,02 m. De opstuwing in de duiker is door de grote afmeting van de duiker ook gering.

Omdat de waterdiepten na aanleg van de vispassages gelijk blijven of iets toenemen heeft dit geen gevolgen heeft voor het varend onderhoud. Wel zal het onderhoud bij de vispassage Vondellaan over een grotere lengte handmatig moeten worden uitgevoerd.

<sup>4</sup> In het aangeleverde Sobek-model is een kruin van 20 meter opgenomen voor de stuw Oostelijke Havendijk. Mogelijk wordt de golvende damwand vorm hiermee benaderd. Voor lage afvoeren is dit een correcte opname, voor een verdrongen situatie levert dit een overschatting van de afvoercapaciteit en dus de opstuwing op. Er zijn geen meetgegevens om dit na te gaan.

#### 4.2 Stromingscondities in de vispassages bij ontwerpafvoer

Het ontwerp van de vispassages is doorgerekend bij een afvoer van 5% van de maatgevende afvoer. Dit is een afvoer van ca. 280-290 l/s door de Molenbeek. De vistrap bij de Oostelijke Havendijk is ontworpen op een debiet van 75 l/s. De rest zal van het debiet zal over de stuw worden afgevoerd. De toetsing aan de ontwerpcriteria is samengevat in onderstaande tabel. De condities bij Vondellaan en het Verdeelwerk zijn berekend met Sobek, de condities in de “de Wit”-vispassage bij de Oostelijke Havendijk zijn handmatig teruggerekend op basis van het ontwerp.

Tabel 4. Hydraulische toetsing vispassages aan de ontwerpcriteria

Ontwerp criterium	Oostelijke Havendijk* min – max	Vondellaan min - max	Verdeelwerk min - max
Verval per drempel (ca. 7,5 cm)	5 – 7,5	7,5 – 12,1	4,3 – 7,5
Waterdiepte in de kamers (> 0,90 m)	ca. 1,90	1,25 – 1,41	1,04 – 1,12
Stroomsnelheid in de kamers (ca. 0,30 m/s)	ca. 0,13	0,02 – 0,03	0,07 – 0,09
Stroomsnelheid in de drempels (< 1,00 m/s)	ca. 0,83	0,65 – 0,74	0,61 – 0,75
Energiedemping (< 75 W/m)	25,2	6,3	12,8

\* Bij een debiet van 75 l/s

#### Verval per drempel

Het verval bij de drempels ligt grotendeels op het ontwerpcriterium van 7,5 centimeter. Alleen de twee laatste drempels bij de Vondellaan kennen een groter verval. Het totale verval bij deze stuw is 0,82 m en het aantal drempels is 10. Gemiddeld moet hier dus een verval van 8,2 cm worden gerealiseerd. De drempels genereren een verval van 7,5 cm. Dit betekent dus dat hier een drempel mist om het verval te overbruggen, of de opstuwing per drempel moet worden vergroot door meer weerstand over de stuw te creëren.

Het tegenovergesteld is het geval bij het Verdeelwerk, Hier is het verval ca 42 cm, waarvoor ongeveer zes drempels voldoende is, het ontwerp kent er zeven.

#### Waterdiepte in de kamers

De waterdiepte is in alle kamers van de drie vispassages ruim meer dan de beoogde 90 cm. In de modellering van de kamers is het profiel onder hetzelfde verhang gelegd als de drempels: iedere kamer 7,5 cm lager. Alleen bij vispassage Vondellaan leidt dit tot een dieper profiel benedenstrooms, mogelijk dat hier het profiel met een kleinere gradiënt wordt aangelegd om beter aan te sluiten bij de duikerhoogte en benedenstroomse aansluiting op het bestaande profiel. Er is genoeg ruimte in het systeem om dit op te vangen.

### Stroomsnelheid in de kamers

De stroomsnelheid in de kamers is aan de lage kant. De profielen en drempels zijn relatief breed, waardoor er een groot dwarsprofiel beschikbaar is. Omdat Sobek eendimensionaal rekent wordt alleen een gemiddelde stroomsnelheid berekend over dit grote dwarsprofiel. In werkelijkheid zal de stroomsnelheid in de stroomlijn tussen de vertical slots een stuk groter zijn. Aan de zijkanten van de kamers zal de stroomsnelheid laag zijn. Dit biedt de passerende vissen de benodigde rustplaatsen.

### Stroomsnelheid over de drempels

De stroomsnelheid over de drempels ligt bij alle drempels onder het criterium van maximaal één meter per seconde. In de "De Wit"-vispassage zijn ze het hoogste, door de relatief kleine opening tussen de kamers (0,2 \* 0,4 meter).

### Energiedemping in het ontwerp

De energiedemping in de kamers wordt berekend met de formule van Larinier<sup>3</sup>:

$$\varepsilon = \frac{P}{V} = \frac{\rho g Q \Delta h}{L B y_0}$$

De energiedemping is berekend met de afmetingen van het ontwerp en de berekende waarden uit het model. De in de tabel opgenomen waarden zijn berekend door de combinatie van de meest ongunstige waarden van bandbreedte te gebruiken. Dat wil zeggen het grootste vermogen P en het kleinste volume V. Het vermogen wordt overschat door de grootste peilsprong te gebruiken. Het volume wordt onderschat door een conservatieve breedte mee te nemen (taluds worden verwaarloosd) en de kleinst berekende waterdiepte aan te houden. Worden deze waarden ingevuld in de formule dan is de berekende energiedemping ca. 12 W/m<sup>3</sup>. Voor de "De Wit"-vispassage is de energiedemping circa 25 W/m<sup>3</sup>. Dat is ruim onder de maximaal toelaatbare energiedemping van 75 W/m<sup>3</sup>.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Effect van de vispassages op het regionale stelsel

De ontworpen vistrappen functioneren zodanig dat er geen veranderingen optreden in het hydraulisch functioneren van het regionale watersysteem. Zowel bij lagere als bij hogere afvoeren zijn de waterstandsverschillen gering.

Bij extreem lage afvoeren (tot 0,080 m<sup>3</sup>/s) bestaat het gevaar dat de waterstand uitzakt tot 20 cm beneden streefpeil, omdat het water via de “De Wit”-vispassage wegloopt tot onder de drempelhoogten. Dit houdt dan enkele dagen tot maximaal een week aan. Een oordeel van de waterbeheer moet uitwijzen of dit toelaatbaar is, of dat aanvullende maatregelen bij de drempels noodzakelijk zijn. Geadviseerd wordt om een geautomatiseerde laagpeil beveiliging op te nemen in de “De Wit”-vispassage bij de Oostelijke Havendijk. Bij de Vondellaan kan de bovenste drempel worden voorzien van een afsluiter op het vertical slot.

De vispassage bij het Verdeelwerk is afsluitbaar gemaakt. Dit is met name bij (zeer) hoge afvoeren van belang. Een testberekening zonder schuif in de vispassage wijst uit dat er bij een 100% van afvoer een “lekdebiet” door de vispassage stroomt van 2,4 m<sup>3</sup>/s. Dit levert problemen op in de stad.

### 5.2 Functioneren vispassages

De vispassages functioneren onder ontwerpomstandigheden zoals beoogd. De hydraulische condities bij de drempels en in de kamers vallen op een uitzondering na binnen de daarvoor gestelde marges. Alleen de laatste drempels van de vispassage Vondellaan kennen een groter verval dan gewenst. Dit heeft geen negatief effect op de vispasseerbaarheid. Om dit toch op te lossen zijn twee opties:

1. Met een “stoorsteen” inregelen van de drempels zodat deze allemaal 8,2 cm opstuwung geven. Dit is goed mogelijk, er zit voldoende ruimte in het ontwerp (energiedemping) om het verval iets groter te maken.
2. Toevoegen van een elfde drempel bij stuw Vondellaan

### 5.3 Tot slot

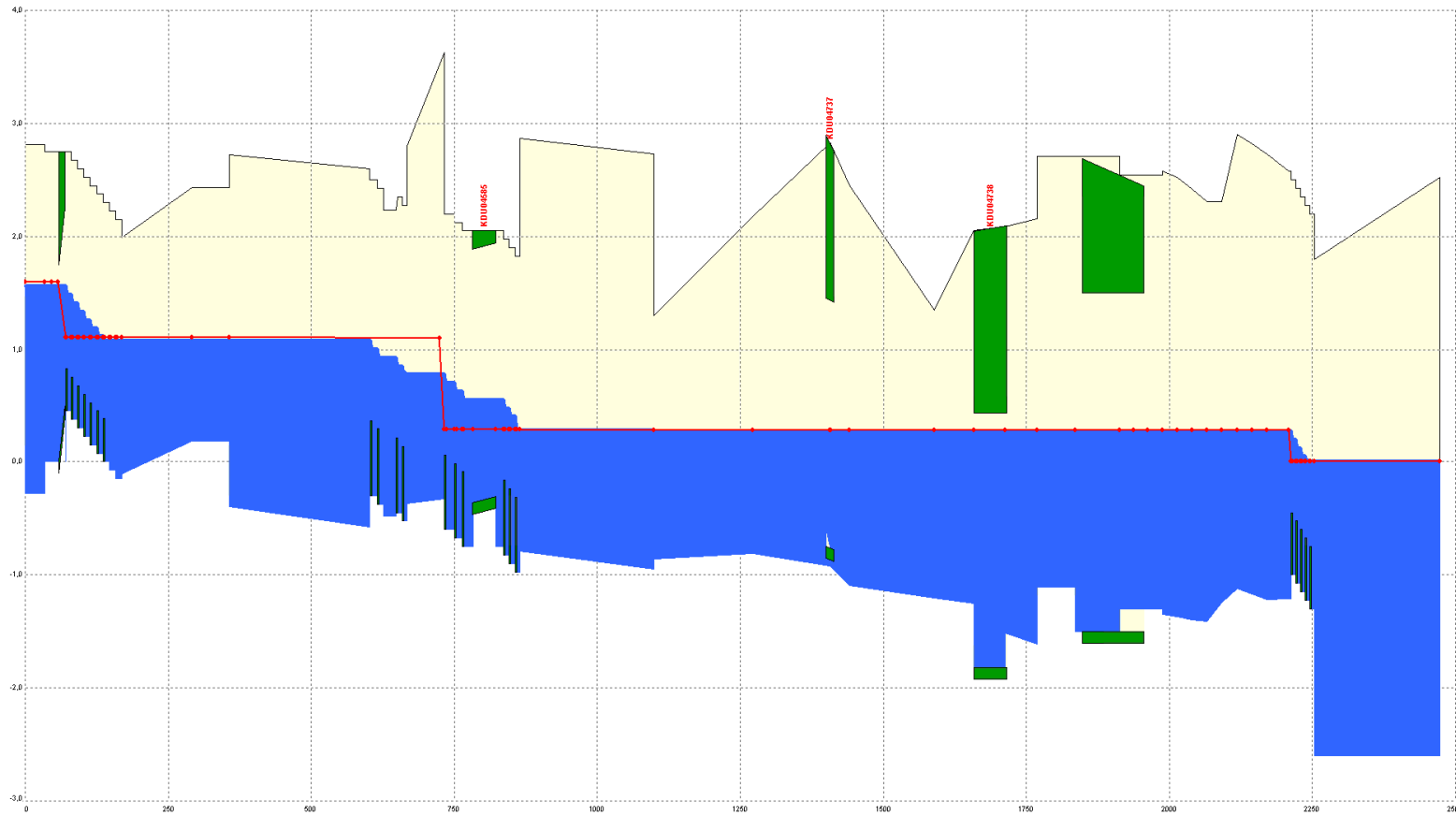
De energiedemping blijft ruim binnen het gestelde criterium, ook bij de worst-case aangehouden stromingscondities. Het ontwerp voldoet dus aan het criterium voor de energiedemping en is dus geschikt om vispasseerbaarheid van de stuwen tijdens de migratieperiode te waarborgen. Mogelijke aanpassingen aan het profiel van de kamers is dus nog mogelijk. Indien de landschappelijke inpassing of aanpassingen aan het profiel in het kader van de inrichting van de EVZ een kleiner dwarsprofiel vereisen, dan is dit binnen het huidige ontwerp mogelijk.

## Bijlagen

Bijlage 1: Lengteprofielen met waterpeilen

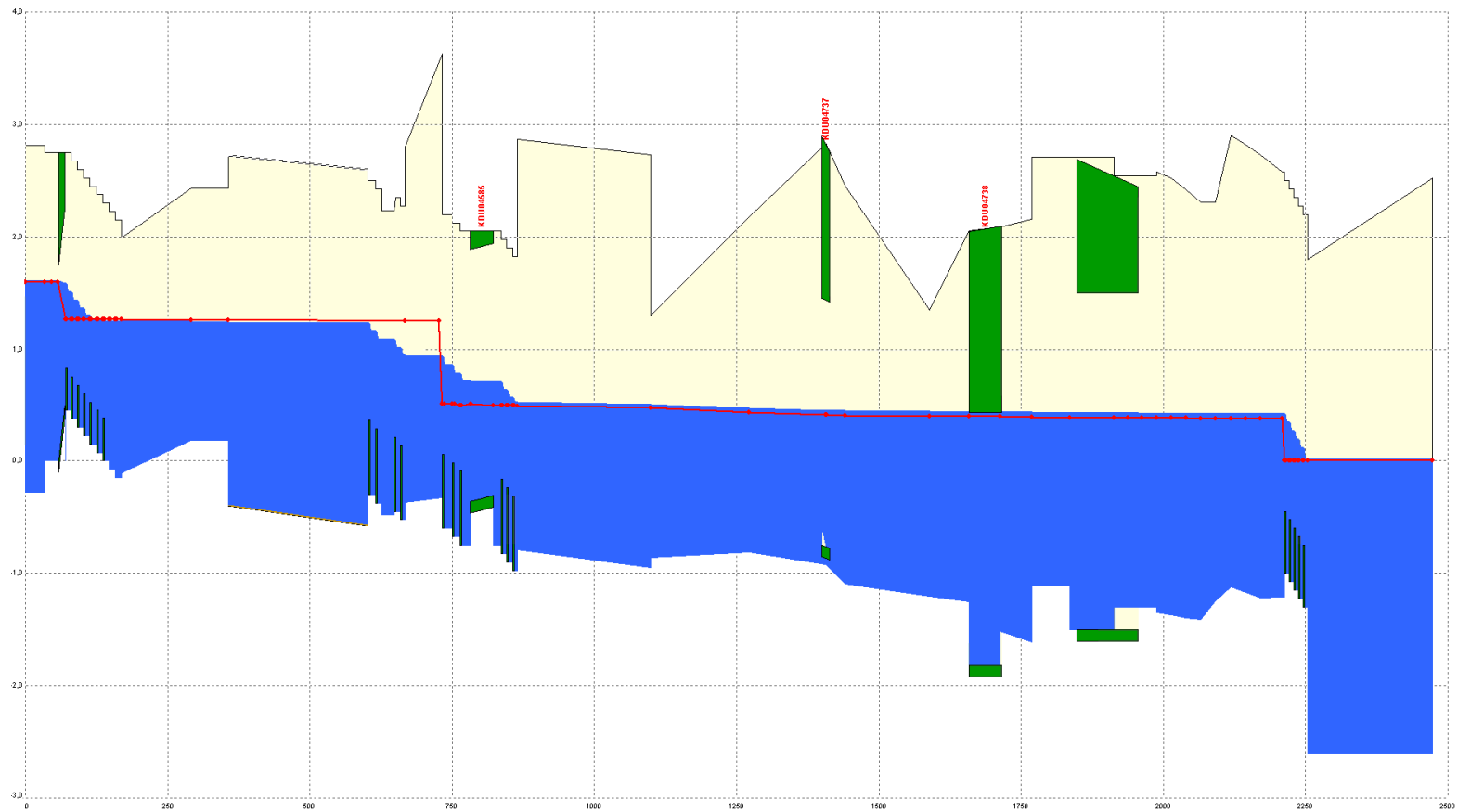
Bijlage 2: Beschrijving stuwen

## Bijlage 1 Lengtedoorsneden met waterpeilen

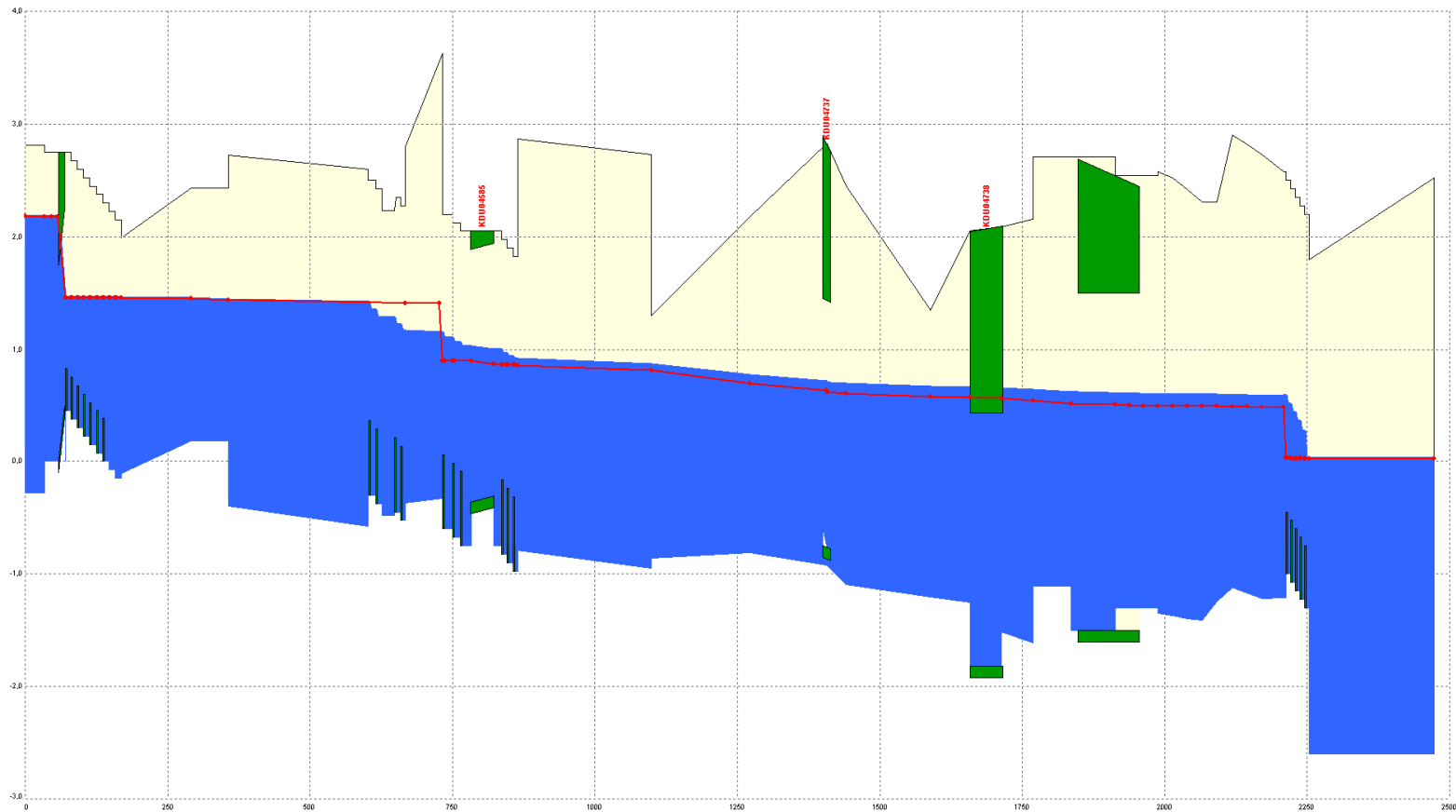


Figuur 6. Vergelijking 5% afvoer (0,29 m<sup>3</sup>/s) - huidig: waterlijn in rood - vispassages: waterlijn in blauw.

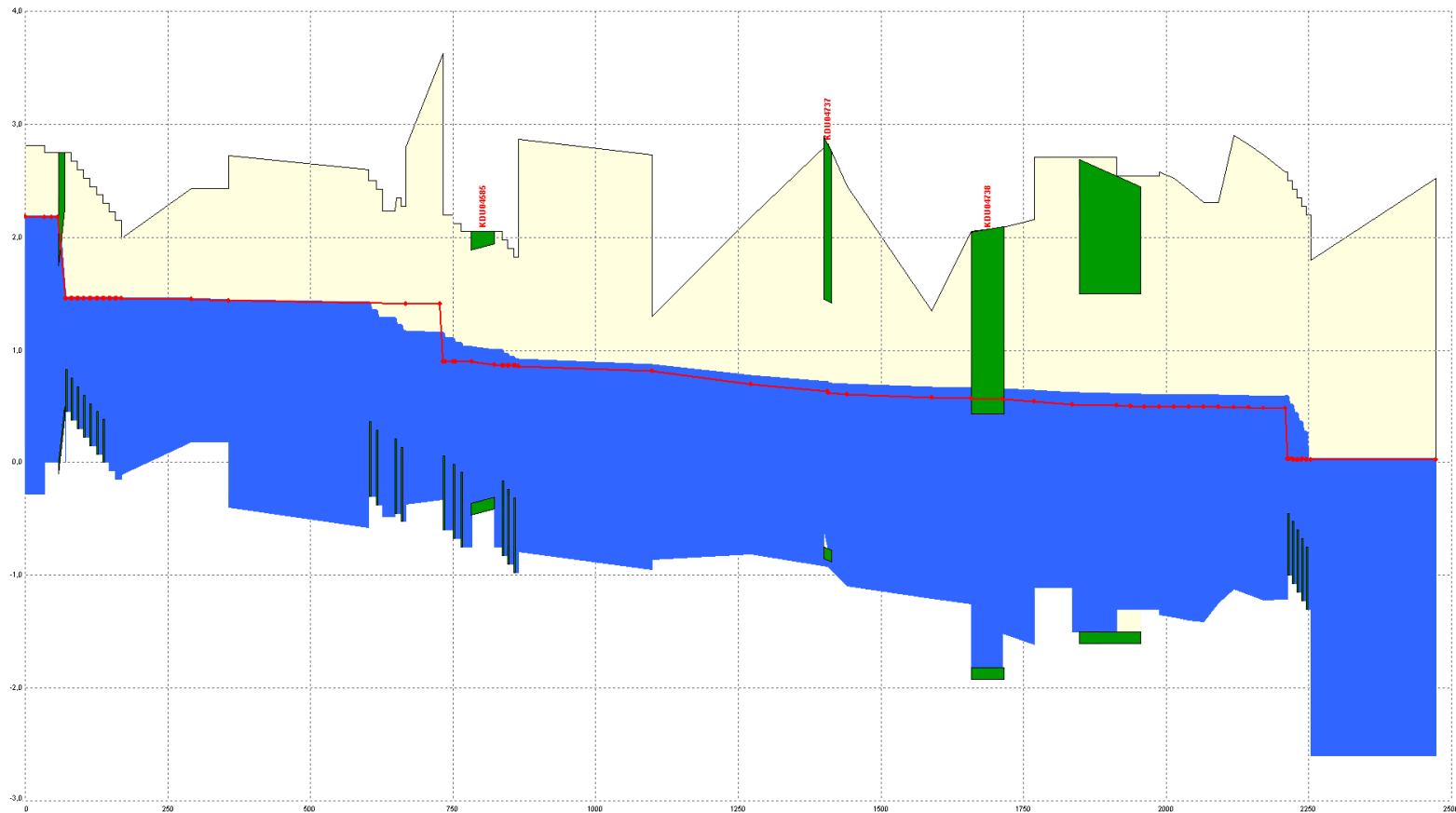




Figuur 7. Vergelijking 20% afvoer (1,49 m<sup>3</sup>/s) - huidig: waterlijn in rood - vispassages: waterlijn in blauw.



Figuur 8. Vergelijking 50% afvoer (3,69 m<sup>3</sup>/s) – huidig: waterlijn in rood, vispassages: waterlijn in blauw.



Figuur 9. Vergelijking 100% afvoer ( $3,69 \text{ m}^3/\text{s}$ )– huidig: waterlijn in rood, vispassages: waterlijn in blauw.

## Bijlage 2 Beschrijving stuwen

De drie stuwen worden beschreven aan de hand van hun constructieve afmetingen en de afvoercharacteristieken, te weten debiet, bovenpeil en benedenpeil. Niet alle parameters worden gemeten. De niet gemeten parameters zijn met de kennis uit het model benaderd. Het wordt sterk geadviseerd bij de stuwen te meten of peilschalen op te nemen, zodat de berekende waarden kunnen worden gecontroleerd. Afmetingen van de stuwen zijn op basis van de in het model opgenomen waarden.

### Stuw 1. Verdeelwerk

Het verdeelwerk regelt de afvoerhoeveelheden door en om de stad en kan, gelet op deze belangrijke functie niet vervallen. De afvoer door en om Roosendaal is geautomatiseerd in de zogenaamde gebiedsregeling Molenbeek. De complexe sturing zorgt ervoor dat onder normale omstandigheden ca. 2/3 van de afvoer door de Stad wordt afgevoerd en 1/3 via "Tolberg". Bij hogere afvoeren "klapt de regeling om" en vindt de grootste afvoer plaats via het Omleidingskanaal en gaat een beperkt gedeelte door de stad. In combinatie met de nog te ontwerpen vispassage kan het zo zijn dat de gebiedsregeling van de Molenbeek aangepast moet worden, waarbij ook het bovenstroomse peil van het verdeelwerk moet worden beschouwd.

	Naam:	Verdeelwerk
	Automatisch:	Ja
	Afvoer (m <sup>3</sup> /s):	0,3 – 3
	Tolberg	0,16 – 1,50
	Stad	0,14 – 1,80
	Gemiddelde Bovenpeil:	NAP +1,60 m
	Benedenpeil:	NAP +1,15 m
Kruinhoogte:	variabel	
Kruinbreedte:	3x ca. 3 m	
Peilverschil:	0,35 – 0,55 m	

Figuur 10. Stuw Verdeelwerk

De afvoercharacteristieken van de stuw zijn bepaald op basis van de meetgegevens.

### Stuw 2. Vondellaan

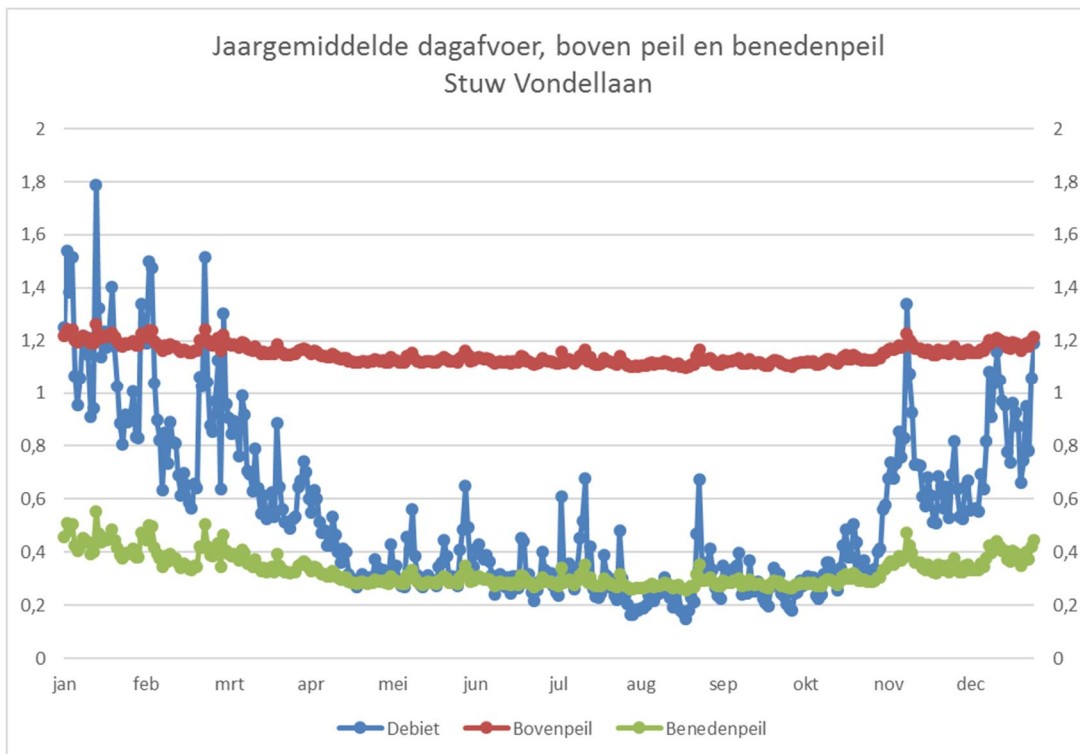
Deze stuw is een vaste niet regelbare overlaat. Het verval over de overlaat is gemiddeld te noemen. In combinatie met stroomsnelheidseisen voor het KRW-waterlichaam ligt het voor de hand om te onderzoeken of het opheffen van de barrière zonder de aanleg van een vispassage kan.

	Naam:	Vondellaan
	Materiaal:	Beton
	Automatisch:	Nee
	Afvoer:	0,14 – 1,80 (m <sup>3</sup> /s)
	Gemiddelde Bovenpeil:	NAP +1,15 m*
	Benedenpeil:	NAP +0,40 m**
	Kruinhoogte:	NAP +1,06 m
Kruinbreedte:	10,50 m	
Peilverschil:	0,70 – 0,85 m	

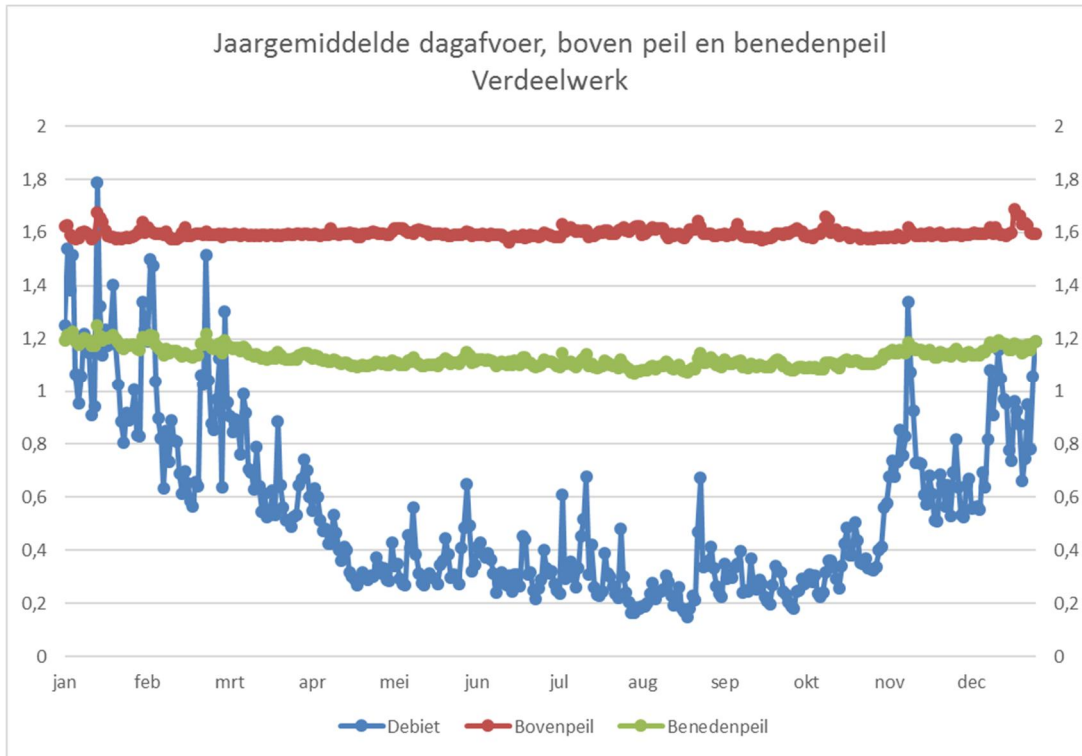
Figuur 11. Stuw Vondellaan

\* Het bovenpeil is berekend met een stuwformule voor korte overlaten en de daggemiddelde afvoer (debiet Verdeelwerk). Afmetingen van de stuw op basis van het model.

\*\* Het benedenpeil is bepaald door de afvoer om te rekenen naar het benedenpeil met een Qh-relatie afgeleid uit de modelberekeningen. Vermoedelijk wordt het benedenpeil onderschat in het model, waardoor het peilverschil relatief groot is.



Figuur 12. Afvoercharacteristiek stuw Vondellaan, debiet in m<sup>3</sup>/s en peilen in m t.o.v. NAP.



Figuur 13. Afvoercharacteristieken "Verdeelwerk", debiet (Stad) in m<sup>3</sup>/s en peilen in m t.o.v. NAP.

### Stuw 3. Oostelijke Havendijk

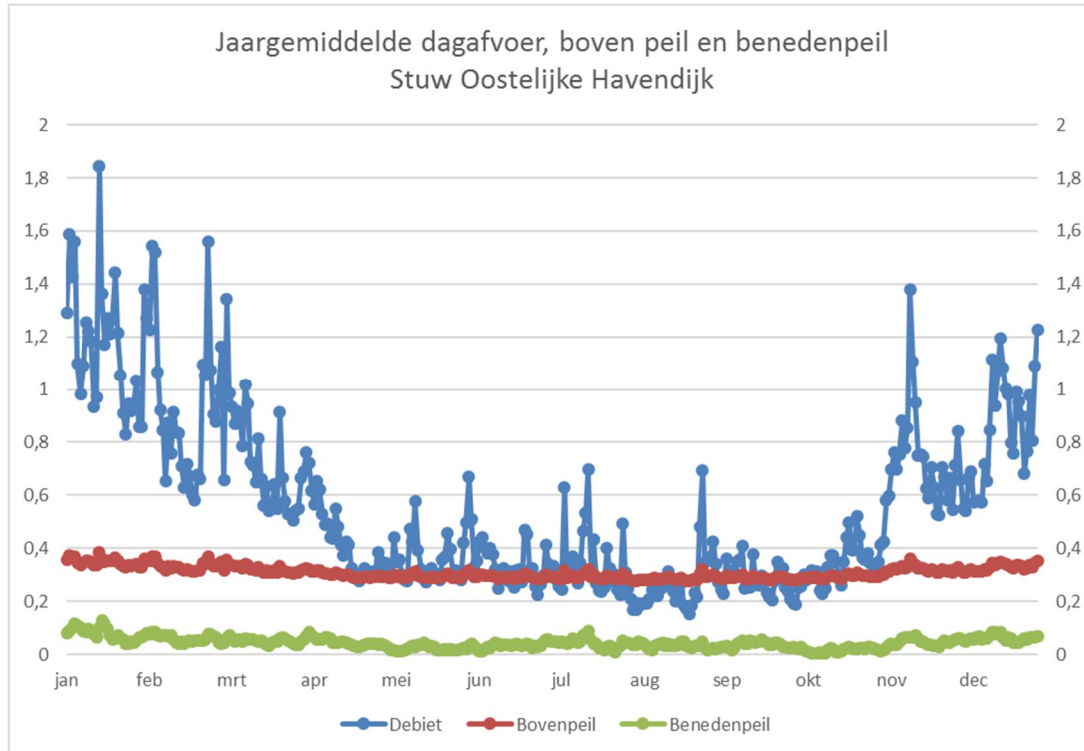
Deze stuw is een vaste niet regelbare overlaat. Het verval over de overlaat is klein te noemen. In combinatie met stroomsnelheidseisen voor het KRW-waterlichaam ligt het voor de hand om te onderzoeken of het opheffen van de barrière zonder de aanleg van een vispassage kan.

	Naam:	Oostelijke Havendijk
	Materiaal:	Stalen damwand
	Automatisch:	Nee
	Afvoer:	0,15 – 1,85 (m <sup>3</sup> /s)*
	Gemiddelde Bovenpeil:	NAP +0,32 m**
	Benedenpeil:	NAP +0,08 m
	Kruinhoogte:	NAP +0,25 m
Kruinbreedte:	20,00 m	
Peilverschil:	0,23 – 0,30 m	

*Figuur 14. Stuw Oostelijke Havendijk*

\* De afvoer is gesteld op het debiet van het Verdeelwerk vergroot met 3%. Deze relatie is uit het model afgeleid.

\*\* Het bovenpeil is berekend met een stuwformule voor korte overlaten en de daggemiddelde afvoer.



*Figuur 15. Afvoercharacteristiek stuw Oostelijke Havendijk, debiet in m<sup>3</sup>/s en peilen in m t.o.v. NAP.*