



Vlaanderen
is wetenschap

16_094.1
WL rapporten

Sigmaplan

Vismigratie gereduceerde getijdegebieden

Bepalen debiet in- en uitwatering GOG-GGG
Bergenmeersen en Bazel

DEPARTEMENT
**MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN**

waterbouwkundiglaboratorium.be

Sigmaplan – Vismigratie gereduceerde getijdegebieden

Bepalen debiet in- en uitwatering GOG-GGG
Bergenmeersen en Bazel

Smolders, S.; Vercruysse, J.; Visser, K.P.; Henderick, A.; Coen, L.; 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/2018/3241/237

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Smolders, S.; Vercruysse, J.; Visser, K.P.; Henderick, A.; Coen, L.; Mostaert, F. (2018). Sigmaplan – Vismigratie gereduceerde getijdegebieden: Bepalen debiet in- en uitwatering GOG-GGG Bergenmeersen en Bazel. Versie 3.0. WL Rapporten, 16_094_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

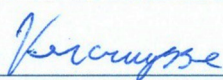
Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

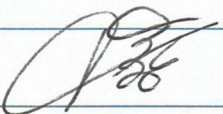
Opdrachtgever:	De Vlaamse Waterweg, afdeling Zeeschelde	Ref.:	WL2018R16_094_1
Keywords (3-5):	Outlet sluices; Tide gates; Fish migration; Sigmaplan; Telemac		
Tekst (p.):	69	Bijlagen (p.):	2
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

Auteur(s):	Smolders, S.; Vercruysse, J.
------------	------------------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Visser, K.P.; Henderick, A.; Coen, L.	  
Projectleider:	Vercruysse, J.	

Goedkeuring

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



Abstract

In het kader van het geactualiseerde Sigmaplan worden langsheen de Schelde en haar getijdezijrivieren Gecontroleerde Overstromingsgebieden (GOG's) aangelegd. Een aantal van deze gebieden zal tevens ingericht worden met Gecontroleerd Gereduceerd Getij (GGG). Omwille van de natuurdoelstelling van een GOG-GGG moet vismigratie mogelijk zijn doorheen de in- en uitwateringsconstructies. De migratie vanuit de rivier naar een GOG-GGG zal afhankelijk van de vissoort doorheen de inwateringskoker of doorheen de uitwateringskoker gebeuren. De passeerbaarheid van de uitwateringskokers voor vissen wordt bepaald door de maximale stroomsnelheden en door de doorzwemopening ter plaatse van de kleppen. Bij het GOG-GGG Bergenmeersen werden lichtgewicht HDPE terugslagkleppen toegepast. Om de effectiviteit van deze lichtgewicht terugslagkleppen te beoordelen heeft het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) in opdracht van afdeling Zeeschelde van De Vlaamse Waterweg (DVW) in 2015 en 2016 de helling van één terugslagklep opgemeten simultaan met een 13-uursmeting waarbij het debiet en de waterstanden tijdens in- en uitwatering werd opgemeten.

Daarnaast heeft het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) in opdracht van DVW tussen 1 mei 2016 en 30 april 2017 op geregelde tijdstippen vissen afgevangen in de GOG-GGG's Bergenmeersen en Bazel. Om deze resultaten te kunnen evalueren heeft het INBO aan het WL een inschatting van de debieten gevraagd op de tijdstippen dat vissen werden afgevangen.

Dit rapport beschrijft de analyse van de in 2016 uitgevoerde 13-uursmetingen in de GOG-GGG's Bergenmeersen en Bazel Noord en de voor het INBO opgestelde debieten voor periode 1 mei 2016 tot 30 april 2017.

Continue waterpeilmetingen aan polderzijde en rivierzijde werden voor beide locaties geanalyseerd voor de periode van de INBO-metingen. Voor het GOG-GGG Bergenmeersen voert WL een continue peilmeting uit aan polderzijde en rivierzijde. Voor het GOG-GGG Bazel voert WL geen continue peilmeting uit. Daarom werd voor het peil aan rivierzijde de tijpost te Hemiksem gebruikt en voor de peilmetingen aan polderzijde werden metingen van Universiteit Antwerpen (UA) gebruikt.

Op 22/09/2016 heeft het WL in het GOG-GGG Bergenmeersen een 13-uursmeting uitgevoerd. Tijdens deze meting werd het debiet opgemeten door middel van een Streampro ADCP toestel. Naast de 13-uursmeting werd voor een periode van 4 dagen het debiet in één uitwateringskoker opgemeten met een IQ ADCP toestel. De helling van de terugslagklep werd geregistreerd voor twee uitwateringsperiodes.

Uit de analyse volgt dat het debiet opgemeten met het StreamPro ADCP toestel tot ca. 20 % lager is dan het debiet opgemeten met het IQ ADCP toestel. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het IQ ADCP toestel het debiet opmeet in de centrale uitwateringskoker waarin het debiet hoger is.

Voor de 7 met de IQ ADCP geregistreerde uitwateringen varieerde het maximum uitwateringsdebiet tussen 6.5 m³/s (na een 0.11 m hoger peil dan een gemiddeld doottij) en 12.0 m³/s (na een gemiddeld springtij). Bij een hoogwater 0.11 m hoger dan een gemiddeld doottij werd een snelheid tussen 0.4 m/s en 0.8 m/s opgemeten. Bij een hoogwater gelijk aan een gemiddeld springtij werd een snelheid in de uitwateringskoker tussen 0.8 m/s en 1.4 m/s opgemeten. Tijdens uitwatering is de waterdiepte in de uitwateringskoker gedurende circa 3 uur groter als 0.30 m (richtlijn voor passeerbaarheid voor doelsoorten) onafhankelijk van het type hoogwater.

Tijdens de 13-uursmeting op 14/09/2016 werd in het GOG-GGG Bazel tegelijkertijd het debiet gemeten door de Noordelijke en Zuidelijke inwateringsconstructies en uitwateringsconstructies. Er werden op deze locatie geen klepmetingen of IQ-debiet metingen uitgevoerd. Uit de resultaten van debietsmetingen bleek een goede overeenkomst tussen de Noordelijke en Zuidelijke inwateringsconstructie voor het debiet per koker. Bij uitwatering bedraagt het maximaal opgemeten debiet 2.6 m³/s bij Bazel Noord en 3.2 m³/s bij Bazel Zuid. Tijdens de periodes tussen in- en uitwatering werd, zowel te Bazel Zuid als Bazel Noord, een lekdebet vastgesteld van circa 0.10 m³/s tot 0.35 m³/s.

Op basis van de meetresultaten van de 13-uursmetingen in zowel GOG-GGG Bergenmeersen als GOG-GGG Bazel en nauwkeurige informatie over de in- en uitlaatconstructies, hoogte van de schotbalken, hoogte van de spindelschuiven en topografie van beide gebieden konden theoretische kokerformules gekalibreerd worden om debieten door de kokers te berekenen. Met de gekalibreerde formules werden, op basis van gemeten op- en afwaartse waterpeilen, debieten doorheen de kokers van beide gebieden voor langere tijdreeksen bepaald.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Inleiding	1
2 Beschrijving in- en uitwateringsconstructies.....	2
2.1 GOG-GGG Bergenmeersen	2
2.2 GOG-GGG Bazel	4
2.3 Terugslagkleppen.....	8
3 Meetgegevens	12
3.1 Bergenmeersen.....	12
3.1.1 Continue waterpeilmeting	12
3.1.2 Meetcampagne 2016.....	15
3.2 Bazel.....	16
3.2.1 Continue waterpeilmetingen	16
3.2.2 13-uursmeting.....	17
4 Analyse metingen	18
4.1 Bergenmeersen.....	18
4.1.1 Continue waterpeilmetingen	18
4.1.2 Meetcampagne 2016.....	20
4.2 Bazel Noord	29
4.2.1 Continue waterpeilmeting	29
4.2.2 Meetcampagne 2016.....	30
5 Debietberekening	36
5.1 Achtergrond.....	36
5.2 Formules	36
5.3 Lokale verliezen	41
5.4 Kokerparameters	44
6 Kalibratie en validatie debieten.....	45
6.1 GOG-GGG Bergenmeersen	45
6.1.1 Kalibratie september 2014	45

6.1.2	Validatie september 2016.....	47
6.1.3	Pet-door-simulaties Bergenmeersen	50
6.2	GOG-GGG Bazel	53
6.2.1	Kalibratie Bazel Noord september 2016.....	53
6.2.2	Validatie Bazel Zuid september 2016	56
6.2.3	Pet-door-simulaties Bazel Noord.....	57
7	Berekenen debieten en volumes.....	59
7.1	Bergenmeersen.....	59
7.2	Bazel Noord	62
8	Besluit	65
9	Aanbevelingen	68
10	Referenties	69
	Bijlage A – Streampro	B1
	Bijlage B – Sontek IQ-Plus.....	B2

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Schotbalkhoogte en hoogte onder spindelschuif zoals vastgesteld voor periode februari 2016 tot oktober 2017	3
Tabel 2 – Karakteristieke Scheldepeilen te Uitbergen	4
Tabel 3 – Schotbalkpeilen inwateringsconstructies GOG-GGG Bazel	7
Tabel 4 – Karakteristieke Scheldepeilen te Hemiksem	7
Tabel 5 – Volume, massadichtheid, massa en zwaartepunt HDPE terugslaklep GOG-GGG Bergenmeersen.	11
Tabel 6 – Volume, massadichtheid en massa ‘traditionele terugslagklep’ voorontwerpplan Vlassenbroek .	11
Tabel 7 – Massa, gewicht en neerwaartse kracht onder water voor terugslagklep Bergenmeersen en Vlassenbroek	11
Tabel 8 – Meetfout Diver metingen Bergenmeersen.....	14
Tabel 9 – Voorwaarden voor de verschillende stromingstypes volgens Bodhaine (1968)	39
Tabel 10 – Verliescoëfficiënt door aanwezigheid van een klep en in functie van de openingshoek van deze klep	43
Tabel 11 – Opsomming kokerparameters voor berekening kokerdebieten	44
Tabel 12 – Overzicht kokerparameterwaarden gebruikt voor GGG Bergenmeersen	46
Tabel 13 – Culvert parameters pet-door-simulaties	50
Tabel 14 – Overzicht resultaten debietssimulaties voor de pet-door-simulaties te Bergenmeersen	51
Tabel 15 – Parameter waarden kokers GGG Bazel Noord.....	54
Tabel 16 – Parameters pet-door koker Bazel Noord.....	57
Tabel 17 - Overzicht resultaten simulaties voor pet-door-metingen te Bazel Noord	57

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Gecombineerde in- en uitwateringsconstructie GOG-GGG Bergenmeersen.....	2
Figuur 2 – Foto's gecombineerde in- en uitwateringsconstructie Bergenmeersen	3
Figuur 3 – GOG-GGG Bazel – locatie noordelijke en zuidelijke in- en uitwateringsconstructie.....	4
Figuur 4 – Noordelijke inwateringsconstructie GOG-GGG Bazel	5
Figuur 5 – Noordelijke uitwateringsconstructie GOG-GGG Bazel	5
Figuur 6 – Foto's Noordelijke inwateringsconstructie GOG-GGG Bazel.....	6
Figuur 7 – Foto's Noordelijke uitwateringsconstructie GOG-GGG Bazel	7
Figuur 8 – Terugslagklep Bergenmeersen (voor ingebruikname dd. 9/11/2012)	8
Figuur 9 – Productietekening terugslagklep GOG-GGG Bergenmeersen (bron: KWT Waterbeheersing B.V.) .	9
Figuur 10 – Type terugslagklep gebruikt te Bazel.....	9
Figuur 11 – Terugslagklep uit houten balken met een metalen plaat bevestigd onder een hoek 84° voorontwerpplan Vlassenbroek (Afdeling Betonstructuren, 2010)	10
Figuur 12 – Locaties waterpeilmetingen te Bergenmeersen	12
Figuur 13 – Locatie WL-waterpeilmeting aan rivierzijde gecombineerde in- en-uitwateringconstructie Bergenmeersen	13
Figuur 14 – Locatie WL-waterpeilmeting aan polderzijde gecombineerde in- en-uitwateringconstructie Bergenmeersen	13
Figuur 15 – Opmeten van debiet doorheen gecombineerde in- en uitwateringsconstructie door middel van StreamPro ADCP	15
Figuur 16 – Meetsysteem helling terugslagklep bevestigd doorheen een hjoosog van de terugslagklep.....	16
Figuur 17 - Locaties waterpeilmetingen GOG-GGG Bazel	17
Figuur 18 - Bergenmeersen - continue waterpeilmeting– periode 1 mei 2016 tot 31 april 2017	19
Figuur 19 – Bergenmeersen - continue waterpeilmeting - vergelijking polderpeilmetingen UA en WL	20
Figuur 20 – Bergenmeersen meetcampagne – Scheldepeil, polderpeil, debiet en klephoek op 22/09/2016	21
Figuur 21 – Bergenmeersen – meetcampagne - Scheldepeil, polderpeil en debiet periode 19/09/2016 tot 23/09/2016.....	22
Figuur 22 – Bergenmeersen meetcampagne 2016 – Verval, polderpeil, polderpeil, IQ-debiet en klephoek	23
Figuur 23 – Illustratie sectie A1, A2 en A3 voor een klephoek 70° en een klephoek 40°	24
Figuur 24 – Bergenmeersen meetcampagne – waterhoogte in de uitwateringskoker, verval over de uitwateringskoker en stroomsnelheid in de uitwateringskoker	25
Figuur 25 – Bergenmeersen– Vergelijking klep- en debietmetingen 2015 en 2016	27
Figuur 26 – Bergenmeersen meetcampagne 2016 – waterpeil, debiet, stroomsnelheid en waterdiepte in de uitwateringskoker tijdens de pet-door-simulatie op 20/09/2016	28
Figuur 27 – Bazel Noord - continue waterpeilmeting - periode 1 mei 2016 tot 31 april 2017	29
Figuur 28 – Bazel Noord 13-uursmeting 14/09/2016 - Debiet- en waterpeil	31

Figuur 29 – Bazel Zuid 13-uursmeting 14/09/2016 - Debiet- en waterpeil.....	31
Figuur 30 – Bazel Noord 13 uursmeting 14/09/2016 – Vergelijking waterpeilmeting UA en WL.....	33
Figuur 31 – Bazel 13-uursmeting 14/09/2016 – vergelijking waterhoogte uitwateringskoker, verval, debiet en snelheid Noordelijke en Zuidelijke uitwateringsconstructie.....	34
Figuur 32 – Illustratie verstopping vuilroosters Bazel tijdens plaats bezoek op 17/10/2017	35
Figuur 33 – Stromingstypes doorheen een koker volgens Bodhaine (1968)	37
Figuur 34 – Onderverdeling in type 5 of type 6 stroming door een koker volgens Bodhaine (1968).....	40
Figuur 35 – Schematische voorstelling van een koker met de verschillende parameters	41
Figuur 36 – Lokale verlies coëfficiënt bij een plotse vernauwing, i.e. de verhouding tussen de diameter voor (D_u) en na (D_1) de vernauwing (volgens Larock <i>et al.</i> , 2000).....	42
Figuur 37 – Waterstanden en debieten berekend en gemeten voor 13-uursmeting Bergenmeersen 11 september 2014	46
Figuur 38 – Opgemeten waterstanden tijdens de 13-uursmeting te Bergenmeersen op 22/09/2016.....	47
Figuur 39 – Berekende en gemeten debieten tijdens de 13-uursmeting te Bergenmeersen op 22/09/2016	48
Figuur 40 – Berekende en gemeten debieten (IQ en StreamPro) voor 13-uursmeting 22/09/2016.....	49
Figuur 41 – Inwaterings- en uitwateringsdebieten per koker afzonderlijk voor 13-uursmeting Bergenmeersen 22/09/2016	49
Figuur 42 – Stromingstypes per koker afzonderlijk voor 13-uursmeting Bergenmeersen 22/09/2016	50
Figuur 43 - Resultaten pet-door-simulatie Bergenmeersen: debieten in het blauw en waterstanden in het oranje.....	52
Figuur 44 – Vergelijk gemeten en gemodelleerde debieten voor GGG Bazel Noord tijdens 13-uursmeting 14/09/2016.....	54
Figuur 45 – Topografie GGG Bazel met zoom van Bazel Noord constructie	55
Figuur 46 - Vergelijk gemeten en gemodelleerde debieten voor GGG Bazel Zuid tijdens 13-uursmeting 14/09/2016.....	56
Figuur 47 – Resultaten pet-door-simulatie Bazel Noord: debieten in het blauw en waterstanden in het oranje.....	58
Figuur 48 – Berekende debieten voor Bergenmeersen	59
Figuur 49 – Relatie tussen hoogwaterstand en totaal instromend volume voor het GGG Bergenmeersen ..	60
Figuur 50 – Relatie tussen instromende en uitgaande volumes voor Bergenmeersen – kleine dataset.....	61
Figuur 51 – Berekende debieten in en uit GGG Bazel Noord	62
Figuur 52 – Hoogwaters Hemiksem, berekende volumes in en uit GGG te Bazel Noord voor periode 29 juli 2016 – 24 augustus 2016.....	63
Figuur 53 – Totaal inwateringsvolume in GGG te Bazel Noord in functie van het hoogwater te Hemiksem voor periode 29/07/2016 – 24/08/2016	64
Figuur 54 – Uitwateringsvolume in functie van het inwateringsvolume voor GGG te Bazel Noord voor periode 29/07/2016 – 24/08/2016	64

1 Inleiding

In het kader van het geactualiseerde Sigmaplan worden langsheen de Schelde en haar getijdezijrivieren Gecontroleerde OverstromingsGebieden (GOG's) aangelegd. Een aantal van deze gebieden zal tevens ingericht worden met Gecontroleerd Gereduceerd Getij (GGG). Een GGG werkt als volgt: bij hoogwater stroomt water via een inwateringskoker het gebied binnen, bij laagwater wordt het gebied via een uitwateringskoker geledigd. Op deze wijze wordt in een gebied een gereduceerd getij opgelegd waardoor slikken en schorren natuur ontstaat.

Omwille van de natuurdoelstelling van een GOG-GGG moet vismigratie mogelijk zijn doorheen de in- en uitwateringsconstructies. De migratie vanuit de rivier naar een GOG-GGG zal afhankelijk van de vissoort doorheen de inwateringskoker of doorheen de uitwateringskoker gebeuren. Tijdens het inwateren zwemmen (of spoelen) vissen met de stroom mee. Migratie door de uitwateringskoker kan logischer wijze enkel plaatsvinden ten tijde van uitwatering. In dit geval drukt de relatief hogere waterstand in het gebied de terugslagkleppen aan rivierv zijde open en stroomt het water terug naar de rivier. Dit creëert een lokstroom voor bepaalde vissoorten. De passeerbaarheid van de uitwateringskokers voor vissen wordt bepaald door de maximale stroomsnelheden, waterdiepte en door de doorzwemopening ter plaatse van de kleppen. Traditioneel werden terugslagkleppen toegepast bestaande uit houten balken met een metalen beplating. Bij het GOG-GGG Bergenmeersen werden lichtgewicht HDPE terugslagkleppen toegepast.

Om de effectiviteit van lichtgewicht HDPE terugslagkleppen op de vismigreerbaarheid te beoordelen heeft het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) in opdracht van afdeling Zeeschelde van De Vlaamse Waterweg (DVW; contactpersoon Hans De Preter) in 2015 en 2016 de helling van één terugslagklep op de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie van het GOG-GGG Bergenmeersen opgemeten simultaan met een 13-uursmeting waarbij het debiet en waterstanden tijdens in- en uitwatering werd opgemeten.

Daarnaast heeft het Instituut voor Natuur en Bosonderzoek (INBO; contactpersoon Sophie Vermeersch) in opdracht van DVW tussen 1 mei 2016 en 30 april 2017 op geregelde tijdstippen vissen afgevangen in de GOG-GGG's Bergenmeersen en Bazel. Om deze resultaten te kunnen evalueren heeft het INBO aan WL een inschatting van de in- en uitwateringsdebieten gevraagd op de tijdstippen dat vissen werden afgevangen.

Dit rapport beschrijft de analyse van de in 2016 uitgevoerde 13-uursmetingen in de GOG-GGG's Bergenmeersen en Bazel Noord en de voor het INBO opgestelde debieten voor periode 1 mei 2016 tot 30 april 2017.

Het rapport is als volgt opgebouwd. Een beschrijving van de GOG-GGG's Bergenmeersen en Bazel Noord wordt gegeven in hoofdstuk 2. Zowel de continue metingen voor de periode 1 mei 2016 tot 30 april 2017 als de 13-uursmetingen worden geanalyseerd. De beschrijving van de beschikbare meetgegevens wordt gegeven in hoofdstuk 3 en de analyse daarvan in hoofdstuk 4. De gebruikte formuleringen voor het bepalen van het debiet worden beschreven in hoofdstuk 5. Vervolgens wordt een kalibratie en vervolgens een validatie uitgevoerd van de toegepaste formuleringen, zie hoofdstuk 6. Een toelichting bij de aan INBO opgeleverde tijdreeks met debieten en geschatte in- en uitwateringsvolumes wordt gegeven in hoofdstuk 7. De conclusies en aanbevelingen worden tot slot samengevat in hoofdstuk 8 en 9, respectievelijk.

Bemerkt dat, tenzij uitdrukkelijk anders vermeld, de tijd in dit rapport uitgedrukt wordt in UTC+1 (wintertijd).

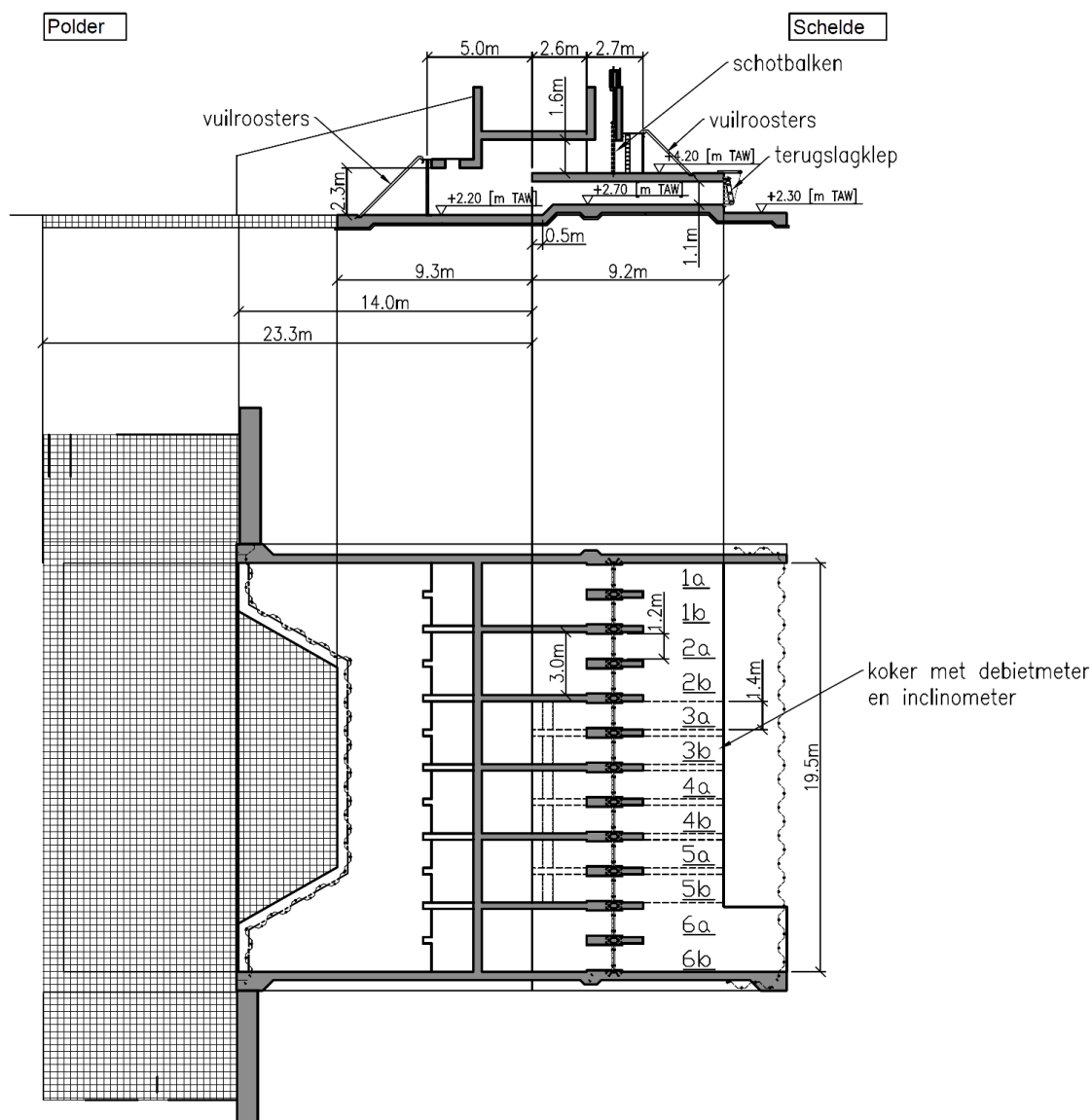
2 Beschrijving in- en uitwateringsconstructies

De gecombineerde in- en uitwateringconstructie van het GOG-GGG Bergenmeersen wordt besproken in paragraaf 2.1 en de inwaterconstructies en uitwateringsconstructies van het GOG-GGG Bazel worden besproken in paragraaf 2.2. De terugslagkleppen van deze constructies worden afzonderlijk besproken in paragraaf 2.3.

2.1 GOG-GGG Bergenmeersen

Een dwarsdoorsnede en bovenaanzicht van de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie van het GOG-GGG Bergenmeersen wordt gegeven in Figuur 1. Bemerkt hierbij dat de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie 6 inwateringskokers heeft waarvan 3 gecombineerd zijn met een uitwateringskoker.

Figuur 1 – Gecombineerde in- en uitwateringsconstructie GOG-GGG Bergenmeersen



* De kokers worden van opwaarts naar afwaarts genummerd

Figuur 2 – Foto's gecombineerde in- en uitwateringsconstructie Bergenmeersen



links: inwatering / rechts: uitwatering

Het debiet te Bergenmeersen wordt bepaald door zowel de schotbalkhoogtes als met de standen van de spindelschuiven. De hoogte van de schotbalken en de hoogte onder de spindelschuif werd door WL op 22/09/2016 opgemeten in kader van de 13-uursmeting, zie Tabel 1. Aan Dominiek Decleyre van afdeling Natuur en Bos (ANB) werd meer info gevraagd over de variatie van de gebruikte schotbalkhoogtes. Rond februari 2016 zijn op vraag van ANB de schotbalkhoogtes en hoogtes onder de spindelschuif aangepast. Hierna zouden deze tot minstens 22/09/2017 (tijdstip vraag aan ANB) niet meer gewijzigd zijn.

Tabel 1 – Schotbalkhoogte en hoogte onder spindelschuif zoals vastgesteld voor periode februari 2016 tot oktober 2017

koker	schotbalken			spindelschuif	
kokernummer ^[1]	aantal schotbalken	hoogte	peil bovenrand	hoogte onder spindelschuif	peil onderrand
[-]	[-]	[m]	[m TAW]	[m]	[m TAW]
1a		0	4.20	0.37	4.57
1b	2	0.33	4.53	0.33	4.53
2a	1	0.19	4.39	0.30	4.5
2b		0	4.20	0.32	4.52
3a		0	4.20	1.22	5.42
3b		0	4.20	0.30	4.5
4a		0	4.20	0.29	4.49
4b		0	4.20	0.29	4.49
5a		0	4.20	0.29	4.49
5b	1	0.19	4.39	0.32	4.52
6a	2	0.34	4.54	0.34	4.54
6b	2	0.34	4.54	0.34	4.54

^[1] De kokers worden van opwaarts naar afwaarts genummerd

^[2] Merk op dat de hoogte van 2 schotbalken niet het dubbele bedraagt van de hoogte van 1 schotbalk. De schotbalken hebben boven en onder namelijk een profiel dat in elkaar ingrijpt.

De karakteristieke rivierpeilen te Bergenmeersen worden gegeven in Tabel 2.

Tabel 2 – Karakteristieke Scheldepeilen te Uitbergen

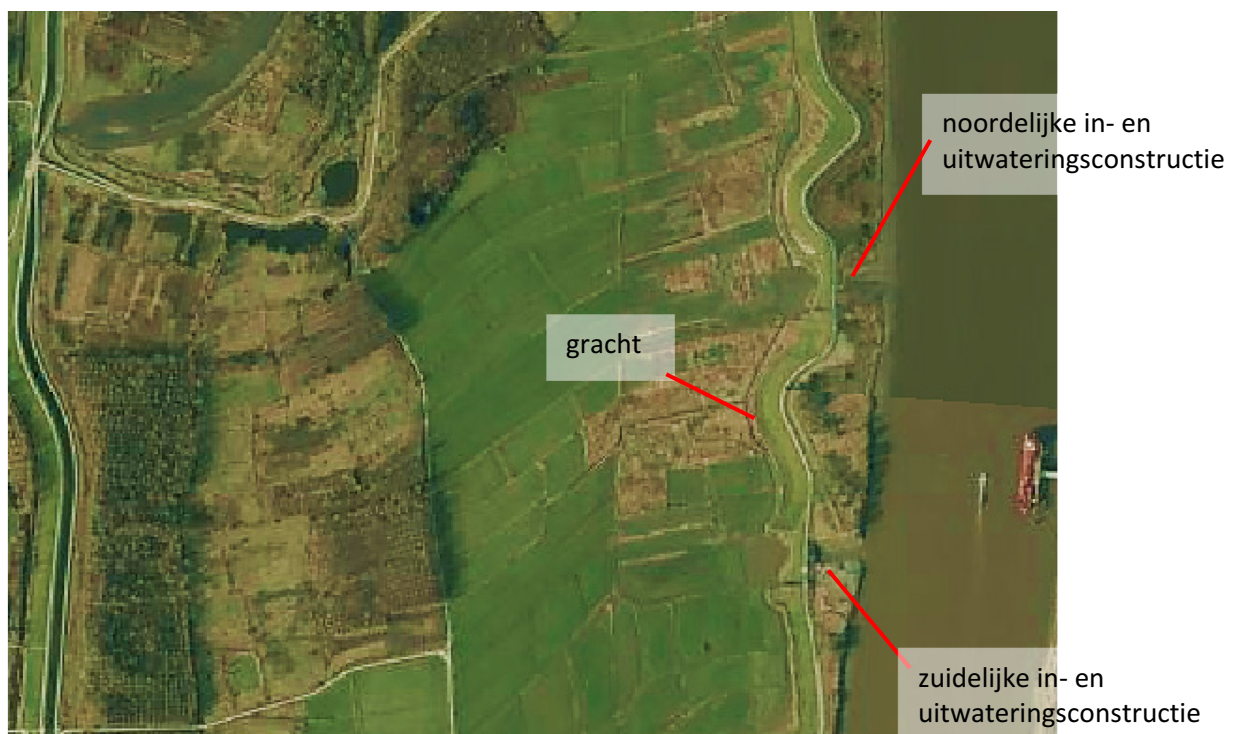
	Gemiddeld laagwater [m TAW]	Gemiddeld hoogwater [m TAW]
doodtij	1.89	4.71
gemiddeld tij	2.02	5.06
springtij	2.12	5.34

Vanlierde *et al.*, (2016)

2.2 GOG-GGG Bazel

Het GOG-GGG Bazel heeft een noordelijke en een zuidelijke in- en uitwateringsconstructie, zie Figuur 3. Aan GOG-GGG zijde van zowel de noordelijke als de zuidelijke in- en uitwateringsconstructie is er een kom. Deze beide kommen staan in verbinding door middel van een gracht.

Figuur 3 – GOG-GGG Bazel – locatie noordelijke en zuidelijke in- en uitwateringsconstructie

bron: www.geopunt.be winteropname 2017

Door het INBO werden vissen afgevangen aan de noordelijke in- en uitwateringsconstructie. Van de noordelijke en zuidelijke gelegen in- en uitwateringsconstructie werd door DVW het as-built plan overgemaakt (e-mail Ronny Brosius dd. 19/06/2017 en dd. 04/10/2017).

As-built plannen noordelijke in- en uitwateringsconstructie:

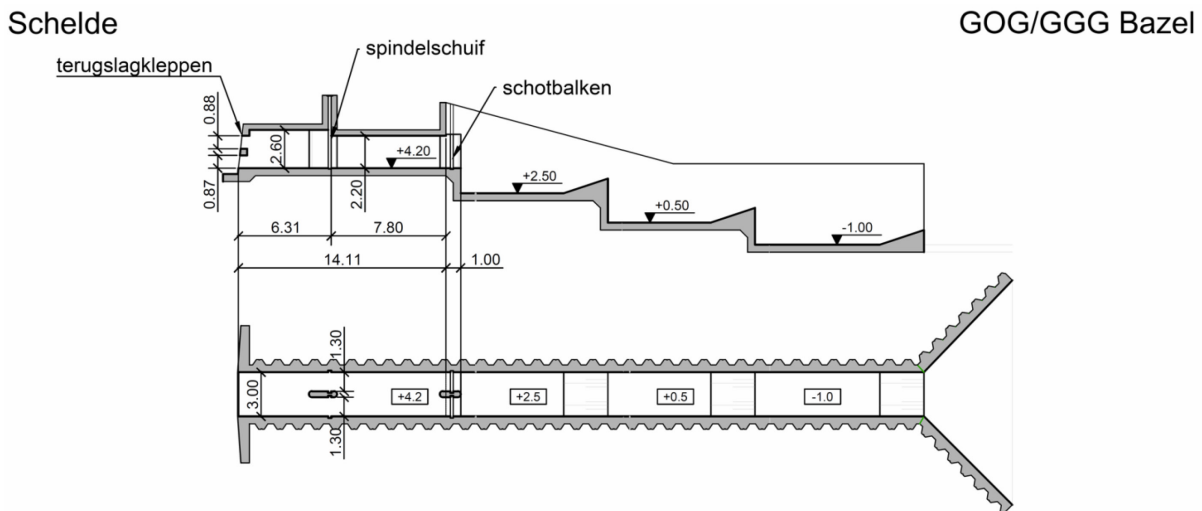
- Jan DE NUL (2010a). Gecontroleerd Overstromingsgebied Kruibeke - Brussel - Ruppelmonde Bouwen van in en uitwateringssluizen. Betonplan hooggelegen inwateringssluis nr. 2 Planzichten, sneden en details AS BUILT KZL-1-INW2-BET-001 B
- Jan DE NUL (2010c). Gecontroleerd Overstromingsgebied Kruibeke - Brussel - Ruppelmonde Bouwen van in en uitwateringssluizen. Betonplan laaggelegen uitwatering nr. 2 Planzichten, sneden en details AS BUILT KZL-1-UITW2-BET-001 D

As-built plannen zuidelijke in- en uitwateringsconstructie:

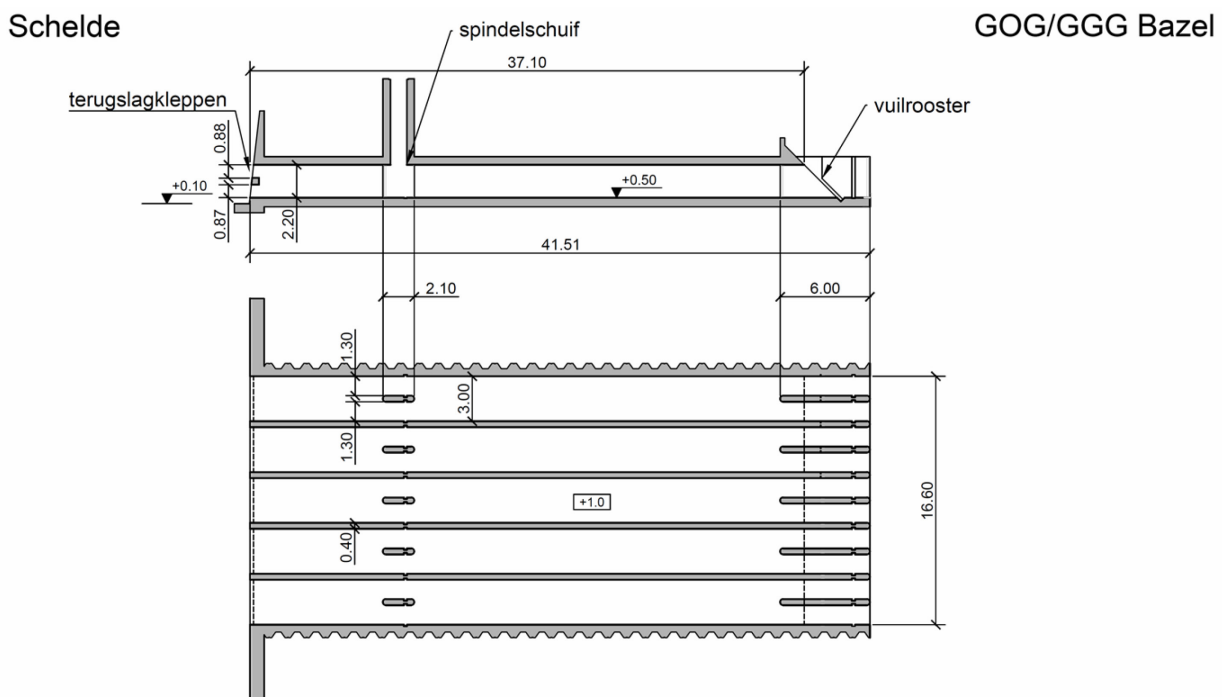
- Jan DE NUL (2010b) Gecontroleerd Overstromingsgebied Kruibeke - Brussel - Ruppelmonde Bouwen van in en uitwateringssluizen. Betonplan hooggelegen inwateringssluis nr. 3 Planzichten, sneden en details AS BUILT KZL-1-INW3-BET-001 B
- Jan DE NUL (2010d) Gecontroleerd Overstromingsgebied Kruibeke - Brussel - Ruppelmonde Bouwen van in en uitwateringssluizen. Betonplan laaggelegen uitwatering nr. 3 Planzichten, sneden en details AS BUILT KZL-1-UITW2-BET-001 D

Van de noordelijke inwateringsconstructie wordt in Figuur 4 een dwarsdoorsnede en bovenaanzicht gegeven. Van de noordelijke uitwateringsconstructie wordt in Figuur 5 een dwarsdoorsnede en bovenaanzicht gegeven. Bemerk dat er één inwateringskoker is en 5 uitwateringskokers. Bemerk dat zowel voor de inwatering als voor de uitwatering de hoogte van de kokers 2.20 m bedraagt en de breedte van de kokers 3.0 m.

Figuur 4 – Noordelijke inwateringsconstructie GOG-GGG Bazel



Figuur 5 – Noordelijke uitwateringsconstructie GOG-GGG Bazel



De noordelijke en zuidelijke uitwateringsconstructie zijn volledig identiek (geometrie, aantal kokers, peil). Ook de inwateringsconstructies zijn identiek wat betreft geometrie en peil, maar het aantal inwateringskokers is wel verschillend. Namelijk twee voor de zuidelijke inwateringsconstructie en één voor de noordelijke inwateringsconstructie. Foto's van de noordelijke inwateringsconstructie en de noordelijke uitwateringsconstructie zijn gegeven in respectievelijk Figuur 6 en Figuur 7.

De foto's van de noordelijke inwateringsconstructie (bovenaan in Figuur 6) tonen de schotbalken aan polderzijde en de stroming aan polderzijde tijdens inwatering. Op de foto's linksonder in de figuur is te zien hoe de kokers gesloten worden door het laten zakken van de terugslagkleppen. De foto rechtsonder in de figuur toont een smalle ondiepe geul die de verbinding vormt tussen de rivier en de inwateringsconstructie.

Figuur 6 – Foto's Noordelijke inwateringsconstructie GOG-GGG Bazel



boven plaats bezoek 08/09/2015 en 26/10/2015, onder plaats bezoek 17/10/2017

Figuur 7 toont de foto's van de noordelijke uitwateringsconstructie. Merk op dat net voor einde uitwatering (links in Figuur 7) zowel de onderste als bovenste rij terugslagkleppen zichtbaar zijn. Visueel werd daarbij geen afwijking (zoals bijvoorbeeld een schuin hangende klep, een klep met een afwijkende hoek) opgemerkt. Aan polderzijde werd wel opgemerkt dat de vuilroosters bedekt (verstopt) zijn met riet. Dit riet fungeert als dam en zal de uitwatering hinderen en vertragen. Deze vervuiling wordt door DVW geruimd. Merk op dat de rechterfoto in de figuur ook één uitwateringskoker toont zonder vuilroosters. Tijdens het stijgen van Scheldepeil werd vastgesteld dat er een lekdebiet optrad. Het aantal kokers met lekdebiet leek toe te nemen tijdens het toenemen van het Scheldepeil. Bij het einde van het plaatsbezoek trad dit lekdebiet op bij 4 van de 5 kokers.

Figuur 7 – Foto's Noordelijke uitwateringsconstructie GOG-GGG Bazel



Plaats bezoek WL 17/10/2017

Het inwateringspeil van de inwateringsconstructie wordt geregeld door middel van schotbalken. De schotbalkhoogtes werden door De Vlaamse Waterweg (e-mail Mieke Vander Elst dd. 2/10/2017) overgemaakt aan WL en gecontroleerd tijdens het plaatsbezoek van WL (dd. 17/10/2017). De schotbalkpeilen worden gegeven in Tabel 3. In tegenstelling tot Bergenmeersen wordt in Bazel geen gebruik gemaakt van de spindelschuiten om het inwateringsdebiet te regelen.

Tabel 3 – Schotbalkpeilen inwateringsconstructies GOG-GGG Bazel

inwateringssluis	koker	schotbalkhoogte [m]	peil schotbalk [m TAW]
Noordelijk	1a	1.00	5.00
	1b	1.00	5.00
Zuidelijk	1a	1.00	5.00
	1b	1.10	5.10
	2a	1.10	5.10
	2b	1.10	5.10

Tabel 4 – Karakteristieke Scheldepeilen te Hemiksem

	Gemiddeld laagwater [m TAW]	Gemiddeld hoogwater [m TAW]
doodtij	0.38	4.89
gemiddeld tij	0.06	5.43
springtij	-0.17	5.82

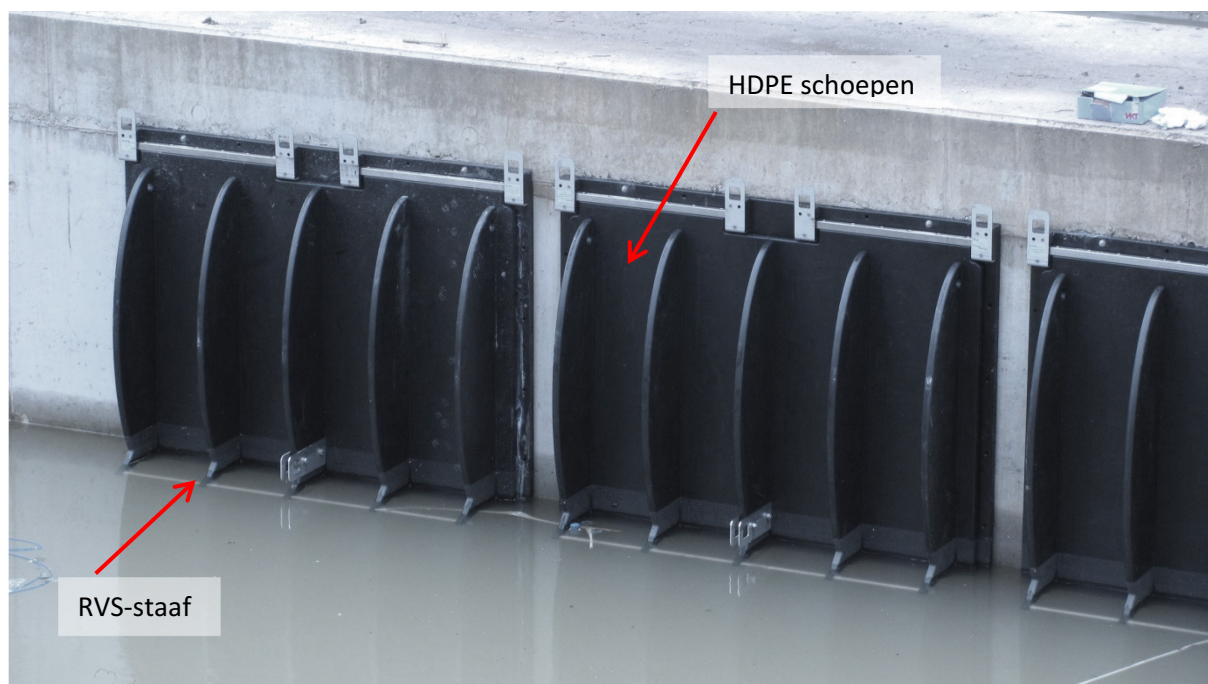
Vanlierde *et al.*, (2016)

2.3 Terugslagkleppen

De terugslagkleppen op de uitwateringskokers te Bergenmeersen, zijn verschillend van deze toegepast te Bazel. In deze paragraaf worden de twee kleptypes beschreven en vergeleken.

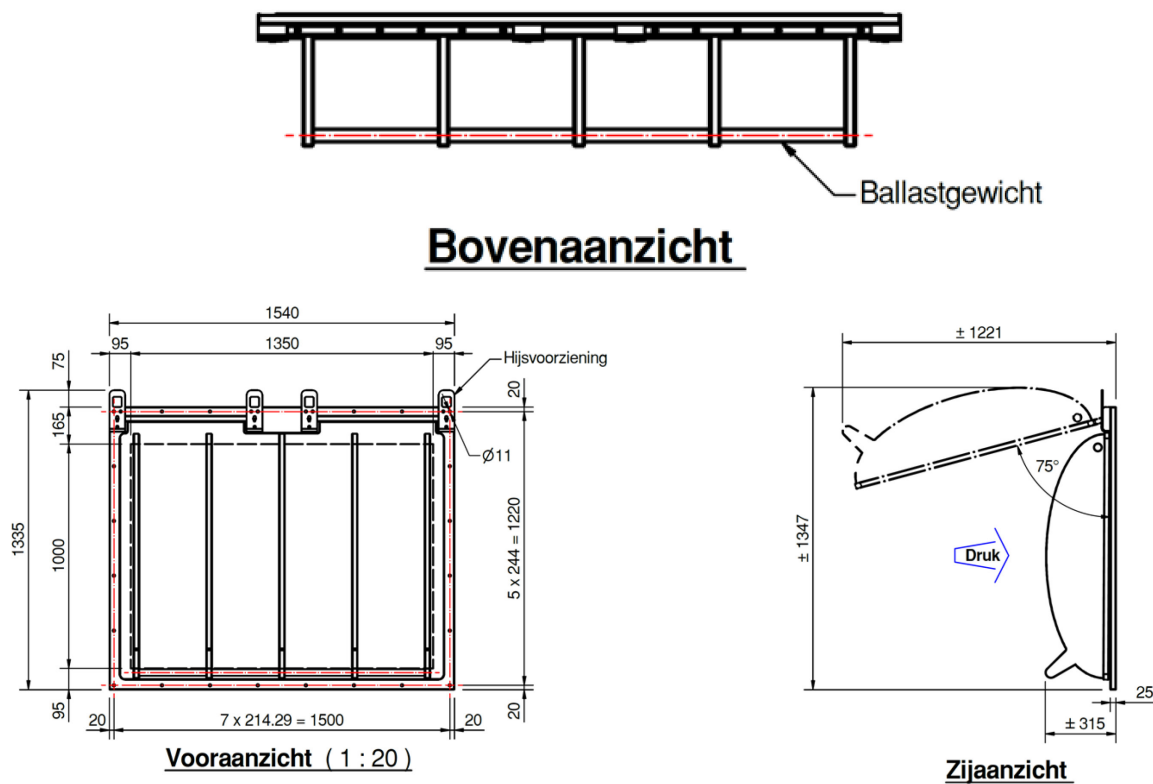
De toegepaste terugslagklep te Bergenmeersen, zie Figuur 8, wordt geproduceerd door de firma KWT. Dit betreft een boven scharnierende terugslagklep die een opening met hoogte 1.10 m en breedte 1.40 m afdekt. De breedte van de opening die de terugslagklep afdekt komt overeen met de standaardbreedte voor de uitwateringskoker van de gecombineerde in- en uitwateringsconstructies. De hoogte van de opening die de terugslagklep afdekt is ca. 0.20 m hoger dan voor de uitwateringsconstructies te Bazel waar twee terugslagkleppen boven elkaar geplaatst zijn. De terugslagklep is uitgevoerd in HDPE (High Density PolyEthyleen) en bevestigd op een verticale wand. De ophanging van de terugslagklep is enkel scharnierend. Door middel van aan de buitenzijde bevestigde schoepen en een excentrisch opgehangen RVS staaf, zie Figuur 8, wordt een moment gecreëerd dat de klep tegen de verticale wand aandrukt. Bemerkt dat deze schoepen ook dienen om de stijfheid van de klep te verhogen.

Figuur 8 – Terugslagklep Bergenmeersen (voor ingebruikname dd. 9/11/2012)



Van de terugslagklep te Bergenmeersen heeft KWT Waterbeheersing B.V., een plan overgemaakt aan WL (e-mail Ivan Goossens dd. 21/06/2014). Dit is overgenomen in Figuur 9.

Figuur 9 – Productietekening terugslagklep GOG-GGG Bergenmeersen (bron: KWT Waterbeheersing B.V.)



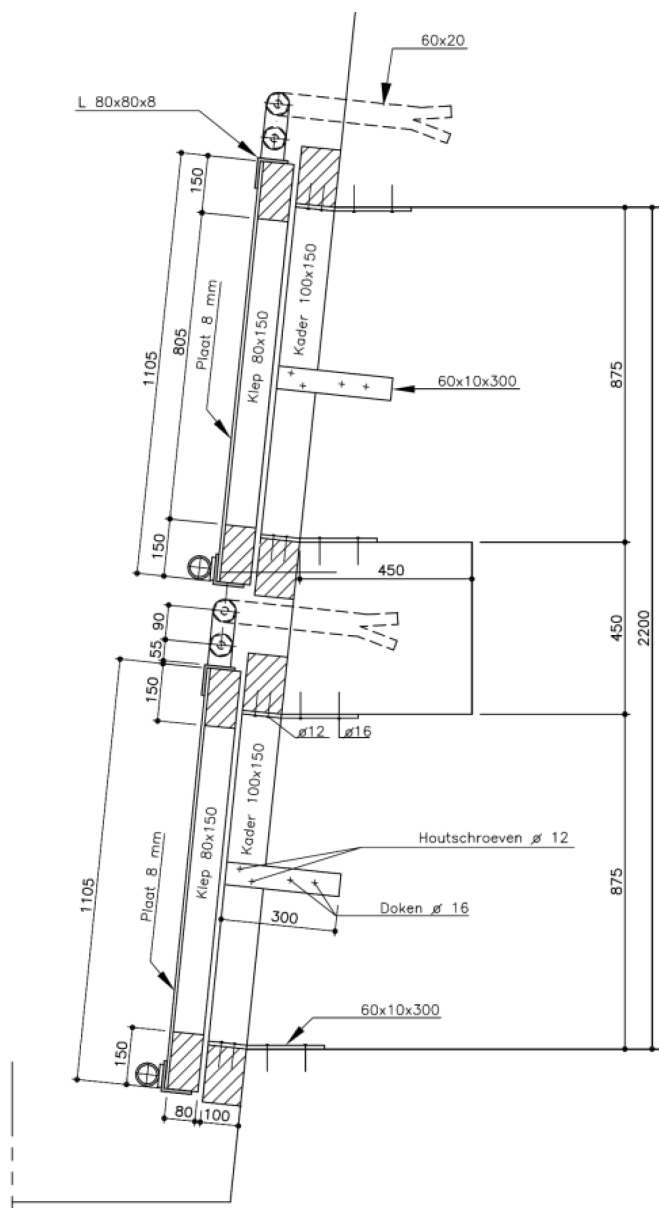
De traditioneel toegepaste terugslagklep, zoals ook toegepast te Bazel, bestaat uit houten balken met een metalen plaat bevestigd onder een hoek van ca. 85°. De ophanging van de traditionele terugslagkleppen is dubbel scharnierend. Voor het GOG-GGG Bazel wordt dit type terugslagklep toegepast. Een voorbeeld van een analoge terugslagklep wordt gegeven in Figuur 10. De opbouw van een dergelijk type terugslagklep wordt verduidelijkt in Figuur 11.

Figuur 10 – Type terugslagklep gebruikt te Bazel



Uitwateringsconstructie GOG-GGG Kruibeke

Figuur 11 – Terugslagklep uit houten balken met een metalen plaat bevestigd onder een hoek 84° voorontwerpplan Vlassenbroek (Afdeling Betonstructuren, 2010)



Op basis van het plan van de terugslagklep van Bergenmeersen is het volume, gewicht, zwaartepunt (ten opzichte van de scharnier-as) en gemiddelde massadichtheid van de klep bepaald, zie Tabel 5. Op basis van Figuur 11 wordt het volume, de massadichtheid en de massa berekend voor een traditionele terugslagklep, zie Tabel 6. Het gewicht boven en onder water van de twee terugslagkleppen wordt vergeleken in Tabel 7.

Het totale gewicht van de HDPE terugslagklep toegepast te Bergenmeersen bedraagt 73.8 kg. De gemiddelde massadichtheid bedraagt slechts 1041 kg/m³. Het zwaartepunt van de klep ligt 0.07 m uit het scharnier. Van een traditionele terugslagklep zoals toegepast te Bazel wordt een totale massa van 222 kg en een massadichtheid van 2616 kg/m³ bepaald. Bij een volledige onderdompeling van de klep zal de neerwaartse kracht ten gevolge van de eigenmassa slechts 29 N voor de HDPE klep gebruikt te Bergenmeersen ten opzichte van 1341 N voor de traditionele terugslagklep gebruikt te Bazel.

Tabel 5 – Volume, massadichtheid, massa en zwaartepunt HDPE terugslagklep GOG-GGG Bergenmeersen

	volume [m ³]	massadichtheid [kg/m ³]	massa [kg]	zwaartepunt	
				x [m]	y [m]
Plaat	0.0411	950	39.1	0.00	-0.60
Vinnen	0.0288	950	27.4	-0.13	-0.63
Ballast staaf	0.0009	7850	7.4	-0.25	-1.11
Totale klep	0.0709	1041	73.8	-0.07	-0.66

Tabel 6 – Volume, massadichtheid en massa ‘traditionele terugslagklep’ voorontwerpplan Vlassenbroek

	volume [m ³]	massadichtheid [kg/m ³]	massa [kg]
Plaat	0.0139	7850	109.0
Hoekprofielen	0.0066	7850	51.5
Houten kader*	0.0642	950	61.0
Totaal	0.0846	2616	221.5

* Door WL wordt aangenomen dat het houten kader bestaat uit hardhout met een dichtheid 950 kg/m³

Tabel 7 – Massa, gewicht en neerwaartse kracht onder water voor terugslagklep Bergenmeersen en Vlassenbroek

	Eenheid	HDPE klep Bergenmeersen	Traditionele terugslagklep Vlassenbroek
Volume	[m ³]	0.0709	0.0846
Eigengewicht	[kg/m ³]	1041	2616
Massa	[kg]	74	222
Gewicht	[N]	724	2178
Neerwaartse kracht onder water	[N]	29	1341

3 Meetgegevens

In deze paragraaf worden achtereenvolgens de beschikbare meetgegevens voor het GOG-GGG Bergenmeersen (paragraaf 3.1) en het GOG-GGG Bazel (paragraaf 3.2) besproken.

3.1 Bergenmeersen

3.1.1 Continue waterpeilmeting

Zowel door WL als door UA worden continue peilmetingen uitgevoerd in het GOG-GGG Bergenmeersen. Figuur 12 geeft een overzicht van alle meetlocaties voor waterpeilen te Bergenmeersen. Door WL wordt een continue waterpeilmeting uitgevoerd aan rivier- en polderzijde van de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie en aan polderzijde van de afwaarts gelegen oude uitwateringsconstructie. Door UA worden peilmetingen uitgevoerd aan de houten loopbrug in het gebied nabij de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie en op 4 locaties verder in het gebied. Merk ook op in Figuur 12 dat er nog twee oude op- en afwaarts gelegen uitwateringskokers aanwezig zijn. Foto's van de door het WL uitgevoerde metingen ter hoogte van de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie worden gegeven in Figuur 13 en Figuur 14.

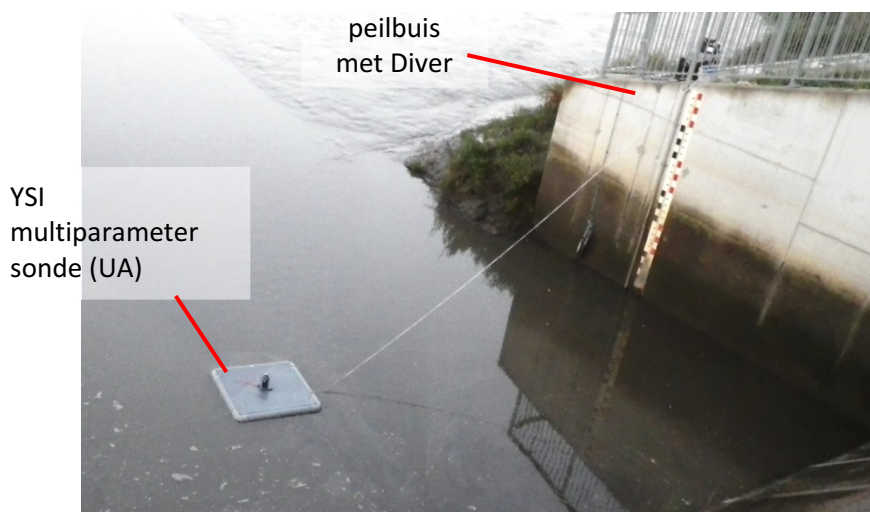
Figuur 12 – Locaties waterpeilmetingen te Bergenmeersen



Figuur 13 – Locatie WL-waterpeilmeting aan rivierzijde gecombineerde in- en uitwateringconstructie Bergenmeersen



Figuur 14 – Locatie WL-waterpeilmeting aan polderzijde gecombineerde in- en uitwateringconstructie Bergenmeersen



Zowel WL als UA gebruiken Divers (producent Schlumberger) voor de peilmetingen in het gebied en aan Scheldezijde. De ingestelde tijdstap van de Divers bedraagt 5 min (zowel Divers WL als Divers UA). Een dergelijke Diver meet autonoom de totale druk (lucht- + waterdruk). Deze druk wordt vervolgens met behulp van de barometrische druk en de interne meting van de watertemperatuur omgezet naar een waterhoogte.

De Diver wordt in een buis opgehangen door middel van een koord met een haak. Voor het omzetten van de Diver meting naar het referentiestelsel (m TAW) wordt de lengte vanaf de haak tot het referentiepunt voor de hoogte van de Diver opgemeten en de positie van de haak ten opzichte van de bovenzijde van de buis. Vervolgens wordt de hoogte van de bovenzijde van de buis ten opzichte van TAW opgemeten door middel van een met het FLEPOS netwerk gecorrigeerde GPS meting. Een schatting van de meetnauwkeurigheid van de Diver metingen wordt gegeven in Tabel 8.

Voor het bepalen van het uitwateringsdebiet is de relatieve fout tussen twee metingen sterk bepalend, zie hoofdstuk 6. Daarom wordt in Tabel 8 het onderscheid gemaakt tussen de relatieve fout bij een Diver metingen van WL en een Diver meting van UA en de relatieve fout bij twee Diver metingen van WL.

Voor de Diver metingen van WL te Bergenmeersen wordt gebruikt gemaakt van één luchtdrukmeting door middel van een BaroDiver. De meetfout van deze BaroDiver heeft geen invloed op de relatieve fout tussen twee Divers. De Diver metingen van UA worden vermoedelijk gecorrigeerd met een eigen BaroDiver. Hierdoor moet de meetfout van de BaroDiver wel meegenomen worden wanneer een verschil berekend wordt tussen een peilmeting van UA en een peilmeting van WL.

De met het FLEPOS netwerk gecorrigeerde GPS meting heeft een meetfout ± 0.03 m. De ervaring van WL met het inmeten van meetpunten van het Nationaal Geografisch Instituut door middel van de GPS meting leert dat de nauwkeurigheid veelal ± 0.005 m tot ± 0.010 m bedraagt en dat de opgegeven meetfout van ± 0.030 m vermoedelijk conservatief is. Ook dient opgemerkt te worden dat de twee GPS metingen achtereenvolgens uitgevoerd worden wat normaal gezien een lagere relatieve fout geeft. De vermoedelijke fout van de positiemeting wordt geschat op ± 0.015 m.

Op basis van de onderliggende nauwkeurigheden wordt in Tabel 8 de fout tussen een Diver meting van UA en WL begroot op ± 0.10 m en tussen twee Diver metingen van WL begroot op ± 0.060 m.

Tabel 8 – Meetfout Diver metingen Bergenmeersen

	Diver meting WL en Diver meting UA	Twee Diver metingen WL
Positiemeting in TAW	± 0.030 m	± 0.015 m*
Diver meting (Van Essen Instruments BV, 2007)	± 0.005 m	± 0.005 m
Meting afstand bovenzijde buis tot Diver	± 0.010 m	± 0.010 m
Baro meting (Van Essen Instruments BV, 2007)	± 0.005 m	n.v.t.
Relatieve meetfout tussen twee meetpunten	± 0.100 m	± 0.060 m

* Vermoedelijke waarde.

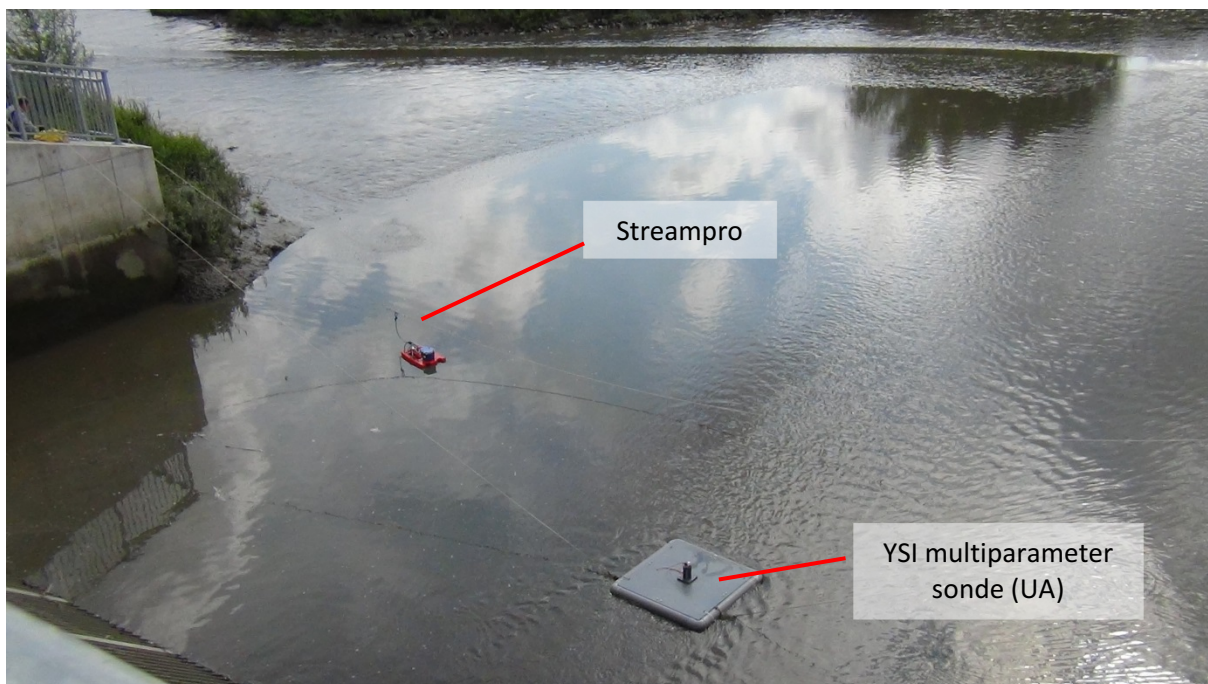
De Divers loggen de druk autonoom waardoor naast een meetfout van het waterpeil ook rekening gehouden moet worden met een mogelijke tijdsverschuiving. De handleiding (Van Essen Instruments BV, 2007) van de Divers vermeld het volgende met betrekking tot de kloknauwkeurigheid: "Beter dan ± 1 minuut per jaar bij 25 °C. Beter dan ± 5 minuut per jaar binnen het gekalibreerde temperatuurbereik." Merk op dat bij een tijdstap van 5 min de druksensoren bijna een half jaar meten. De tijdnaauwkeurigheid van een Diver meting bedraagt dus ± 2.5 min en de tijdnaauwkeurigheid tussen twee Diver metingen bedraagt dus ± 5.0 min.

De resultaten van de continue peilmetingen worden besproken in paragraaf 4.1.1.

3.1.2 Meetcampagne 2016

Op 22/09/2016 werd door WL een 13-uursmeting uitgevoerd in het GOG-GGG Bergenmeersen. Tijdens deze 13-uurs meting werd het debiet opgemeten door middel van een StreamPro ADCP, technische fiche zie bijlage A. De StreamPro ADCP wordt overgetrokken aan de stroomopwaartse zijde van de constructie: tijdens inwatering betreft dit de Scheldezijde en tijdens uitwatering betreft dit de GOG-GGG zijde (zie Figuur 15). Deze meting is analoog met de in 2014 en 2015 uitgevoerde 13-uursmetingen. (Vereecken *et al.*, 2014).

Figuur 15 – Opmeten van debiet doorheen gecombineerde in- en uitwateringsconstructie door middel van StreamPro ADCP



Daarnaast werd bij wijze van test in één uitwateringskoker (zie koker 3B in Figuur 1) een Sontek IQ-Plus ADCP toestel op de bodem van de koker geplaatst om het debiet doorheen deze koker continu te registreren. Het betrof hier de koker waarachter ook de netten van INBO werden geplaatst. De technische fiche van dit toestel wordt gegeven in bijlage B. Dit toestel registreerde van 19/09/2016 tot 23/09/2016 met een tijdstap van 10 s de gemiddelde stroomsnelheid en het peil in deze uitwateringskoker. Op basis van de snelheid, de waterhoogte en de breedte van de uitwateringskoker wordt het debiet berekend. Voor de bepaling van het totale debiet wordt vervolgens aangenomen dat het debiet door de uitwateringskokers gelijk is voor alle kokers.

Hiernaast heeft WL ook de helling van een terugslagklep opgemeten tijdens de 13-uursmeting. Het betrof hier de terugslagklep van de koker waarin zich de IQ ADCP bevond en waarachter ook de netten van INBO werden geplaatst. Het meetsysteem om de helling van de terugslagklep op te meten werd door de technische dienst van WL samengesteld. Dit systeem, een kastje van 12 cm x 12 cm x 8 cm, bestaat uit een inclinometer (hoekmeting), datalogger en batterij geplaatst in een waterdichte behuizing, zie Figuur 16. De waterdichte behuizing werd bevestigd doorheen een hijsoog van de terugslagklep van de koker waarin zich ook de IQ ADCP en de meetnetten van het INBO bevonden. De gebruikte datalogger kon 14.880 meetpunten registreren. Er werd gekozen voor een tijdstap van 6 s. Het meetsysteem startte met loggen om 21/09/2016 19:00 en stopte om 22/09/2016 19:48. Tijdens de volledige meetperiode was de inclinometer bevestigd op de terugslagklep. Deze meting is analoog met de in 2015 uitgevoerde 13-uursmeting (Vercruysse *et al.*, 2016).

Figuur 16 – Meetsysteem helling terugslagklep bevestigd doorheen een hijsoog van de terugslagklep



De resultaten van de in 2016 uitgevoerde 13-uursmeting in het GOG-GGG Bergenmeersen worden besproken in paragraaf 4.1.2.

Tijdens de 13-uursmeting werden door WL nog volgende metingen uitgevoerd:

- continue turbiditeitsmetingen uitgevoerd met een YSI6920V2 multiparametersonde.
- waterstalen genomen ter bepaling van het aantal mg/l sediment in suspensie door middel van een ISCO staalname-apparaat.

3.2 Bazel

3.2.1 Continue waterpeilmetingen

In tegenstelling tot in Bergenmeersen voert WL in Bazel geen continue peilmeting uit. Enkel de continue waterpeilmetingen in het gebied uitgevoerd door UA werden gebruikt. Deze werden overgemaakt door Tim Van Den Broeck (e-mail dd. 20/07/2017). De metingen zijn uitgevoerd door middel van Divers met een tijdstap van 5.0 min. Voor het peil in de Schelde wordt de continue peilmeting van het HIC te Hemiksem gebruikt. De nauwkeurigheid van deze peilmeter bedraagt +/- 0.1% van het meetbereik. De data van deze meting heeft een tijdstap van 5 minuten. Merk op dat de continue peilmeting te Hemiksem op ca. 1100 m opwaarts van Bazel Noord ligt en op ca. 650 m opwaarts van Bazel Zuid. De locatie van de gebruikte waterpeilmetingen wordt gegeven in Figuur 17.

De resultaten van de continue peilmetingen worden besproken in paragraaf 4.2.1.

Figuur 17 - Locaties waterpeilmetingen GOG-GGG Bazel



3.2.2 13-uursmeting

Door WL werd op 14/09/2014 een 13-uursmeting uitgevoerd in het GOG-GGG Bazel. Hierbij werd op hetzelfde moment het debiet opgemeten aan de noordelijke en zuidelijke in- en uitwateringsconstructies. Voor de debietmetingen werden StreamPro ADCP toestellen gebruikt. Deze toestellen werden overgetrokken aan de stroomopwaartse zijde van de constructie: voor de inwateringsconstructie betreft dit de Scheldezijde en voor de uitwateringsconstructie betreft dit de GOG-GGG zijde. Bijkomend werd ter hoogte van de noordelijke en zuidelijke inwateringsconstructie aan polderzijde het peil opgemeten door middel van een Diver.

De resultaten van de in 2016 uitgevoerde 13-uursmeting in het GOG-GGG Bazel worden besproken in paragraaf 4.2.2.

4 Analyse metingen

In dit hoofdstuk wordt een analyse uitgevoerd van de meetgegevens van de continue waterpeilmetingen en de meetgegevens tijdens de 13-uursmetingen. Aangezien het INBO aan WL de debieten heeft opgevraagd voor de periode tussen 1 mei 2016 en 30 april 2017, wordt de verwerking van de continue metingen uitgevoerd voor die periode. De bespreking van de continue meting en de 13-uursmeting wordt achtereenvolgens gedaan voor Bergenmeersen (paragraaf 4.1) en Bazel (paragraaf 4.2).

4.1 Bergenmeersen

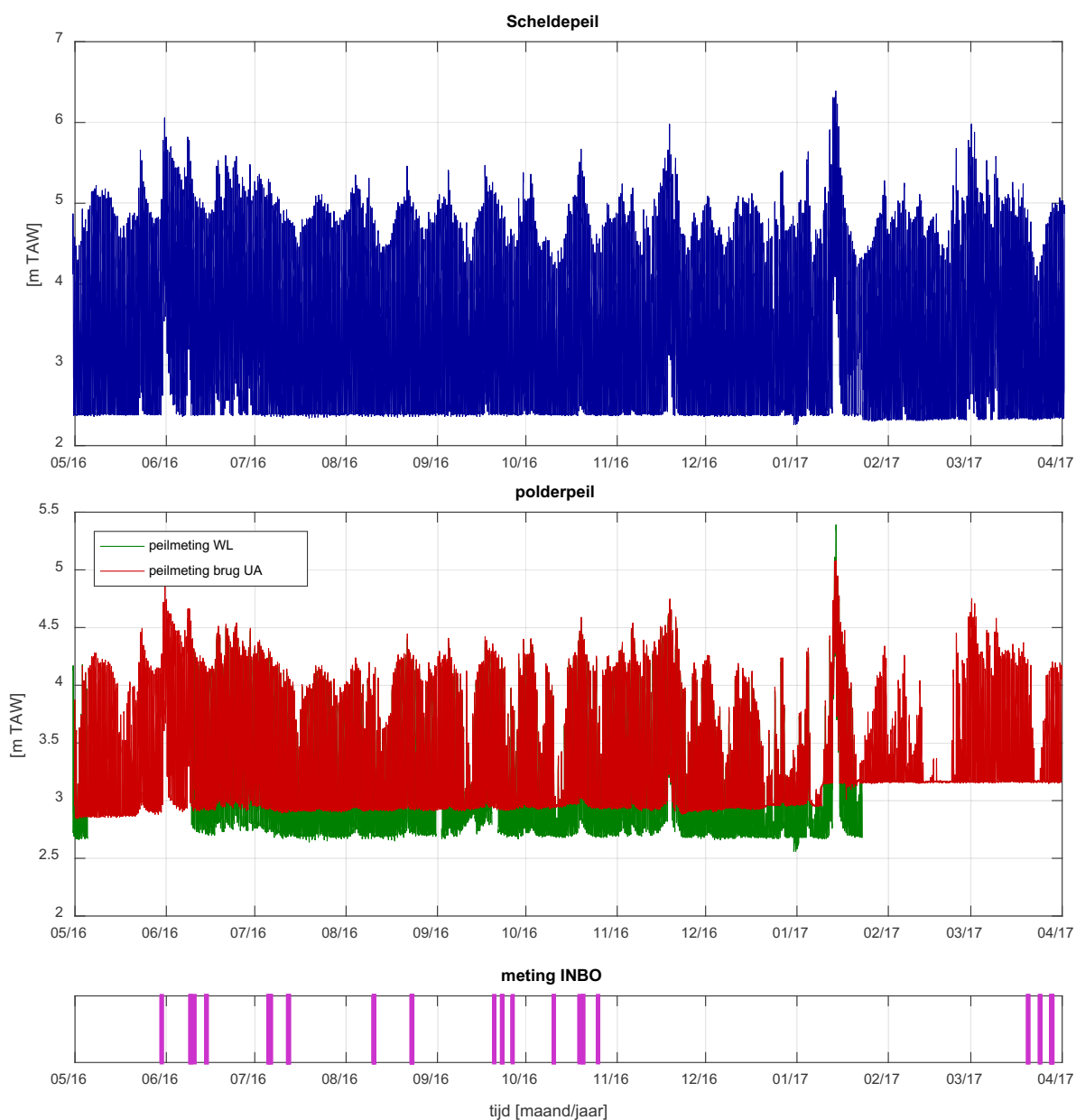
4.1.1 Continue waterpeilmetingen

Figuur 18 toont het gemeten Scheldepeil en polderpeil voor de periode 1 mei 2016 tot 30 april 2017 samen met de ogenblikken waarop door het INBO vissen werden afgevangen.

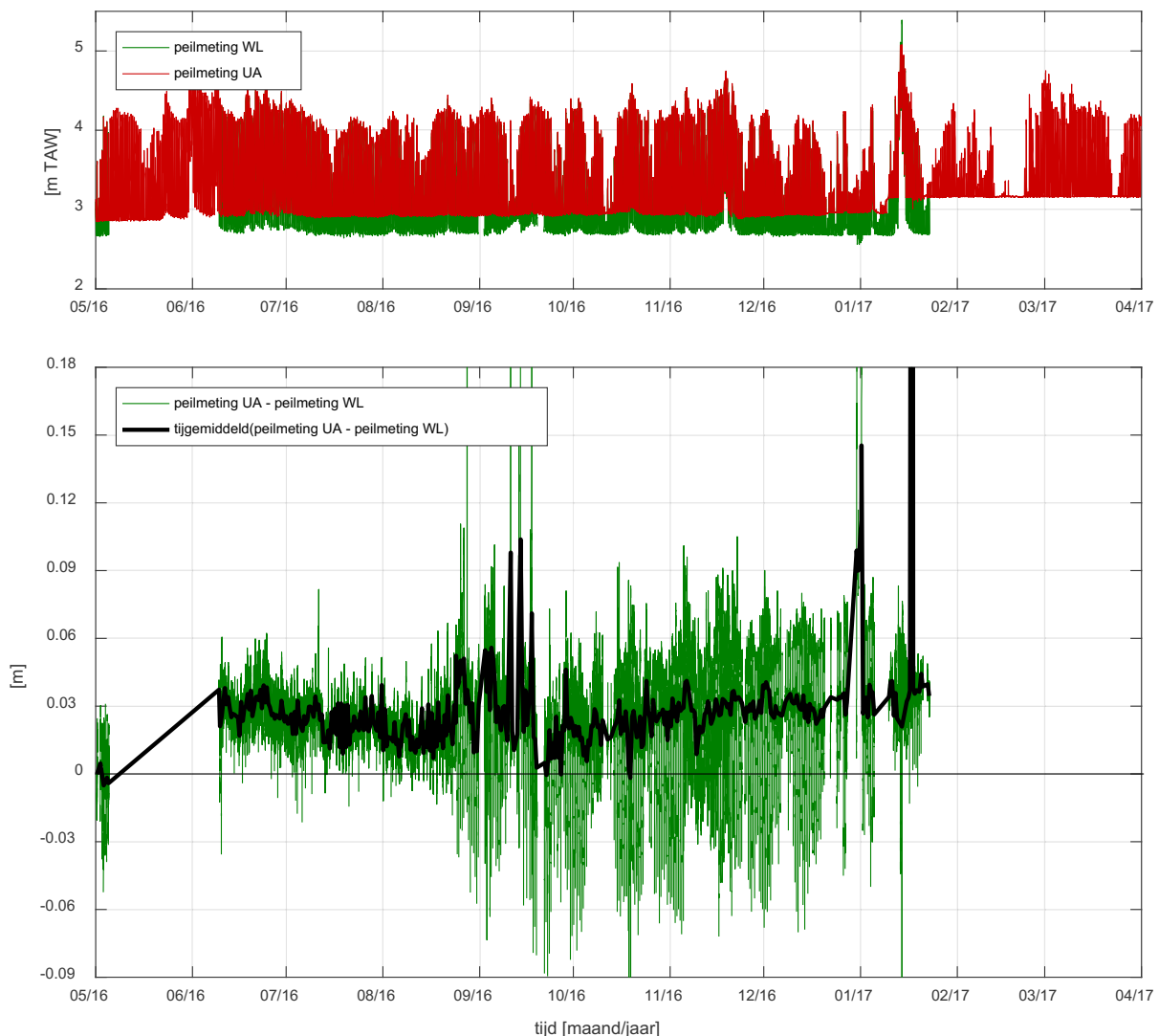
Merk in Figuur 18 op dat de constructie voor de gehele beschouwde periode in dienst is. De periodes van een hoog peil in het GOG-GGG komen overeen met periodes van springtij in de Schelde, of stormtij in januari 2017. Op enkele ogenblikken dat door het INBO vissen werden afgevangen is de WL peilmeting aan polderzijde buiten dienst. De WL peilmeting aan Scheldezijde en de UA peilmeting nabij de in- en uitwateringsconstructie zijn de volledige periode in dienst. Zowel de metingen aan polderzijde als aan rivierzijde worden onderaan afgetopt op een constante waarde in de tijd. Voor de WL peilmeting aan rivierzijde en de UA peilmeting aan polderzijde wordt dit verklaard door het droogvallen van de Diver. Merk op dat op 9/01/2017 de fysieke locatie van de UA peilmeting verhoogd werd. Het aftoppen van de WL meting aan polderzijde wordt verklaart door het bodempeil van de uitwateringskoker op 2.70 m TAW.

De door WL en UA uitgevoerde peilmetingen aan polderzijde worden vergeleken in Figuur 19. Voor de onderste grafiek in de figuur, waarop het verschil berekend wordt tussen de metingen van WL en UA, worden enkel metingen beschouwd met een peil hoger dan 3.30 m TAW (omwille van droogvallen meting UA). Uit het tij gemiddelde peilverschil valt op dat de door UA uitgevoerde meting 0.01 m tot 0.04 m hoger ligt dan de door WL uitgevoerde peilmeting.

Figuur 18 - Bergenmeersen - continue waterpeilmeting– periode 1 mei 2016 tot 31 april 2017



Figuur 19 – Bergenmeersen - continue waterpeilmeting - vergelijking polderpeilmetingen UA en WL



4.1.2 Meetcampagne 2016

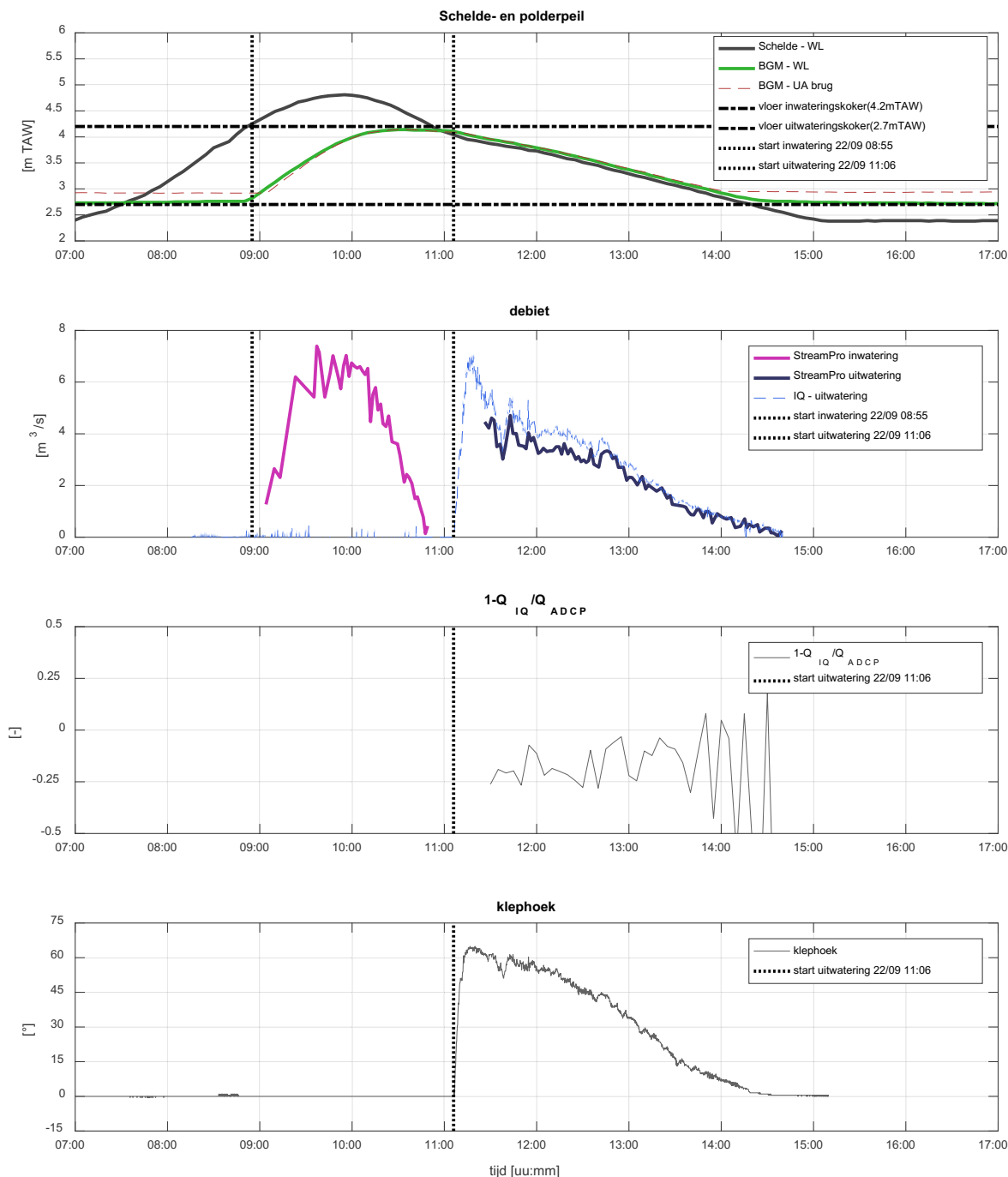
Figuur 20 toont de variatie in de tijd van de peilmetingen, debietsmetingen en klephoekmeting tijdens de 13-uursmeting. Het door middel van het IQ ADCP toestel opgemeten debiet in één uitwateringskoker wordt hierbij vermenigvuldigd met 6 (het aantal aanwezige uitwateringskokers). Hierbij werd ervan uitgegaan dat alle uitwateringskokers gelijk zijn en een gelijkaardig debiet geven.

Het peil van het hoogwater bedraagt 4.81 m TAW. Deze waarde ligt tussen een karakteristieke waarde voor een doortij (4.7 m TAW) en een gemiddeld tij (5.0 m TAW). Bij een rivierpeil van 4.81 m TAW bedraagt de inwateringshoogte 0.61 m. Het minimum peil aan Scheldezijde voor- en na de 13-uursmeting is lager dan het peil waarop de Diver droogvalt: 2.39 m TAW.

De StreamPro meting werd pas 20 minuten na begin uitwatering gestart. Voor de periode waarin zowel metingen met de StreamPro als met de IQ beschikbaar zijn valt het op dat het debiet opgemeten met de StreamPro ca. 15 % lager is dan het debiet opgemeten met de IQ. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de IQ het debiet opmeet in een centraal geplaatste uitwateringskoker (3b). Tijdens de 13-uursmeting opgemerkt werd dat er minder stroming was naar de buitenste uitwateringskoker (1a&1b) dan naar de centrale uitwateringskokers. Het maximaal debiet tijdens uitwatering opgemeten met het IQ toestel

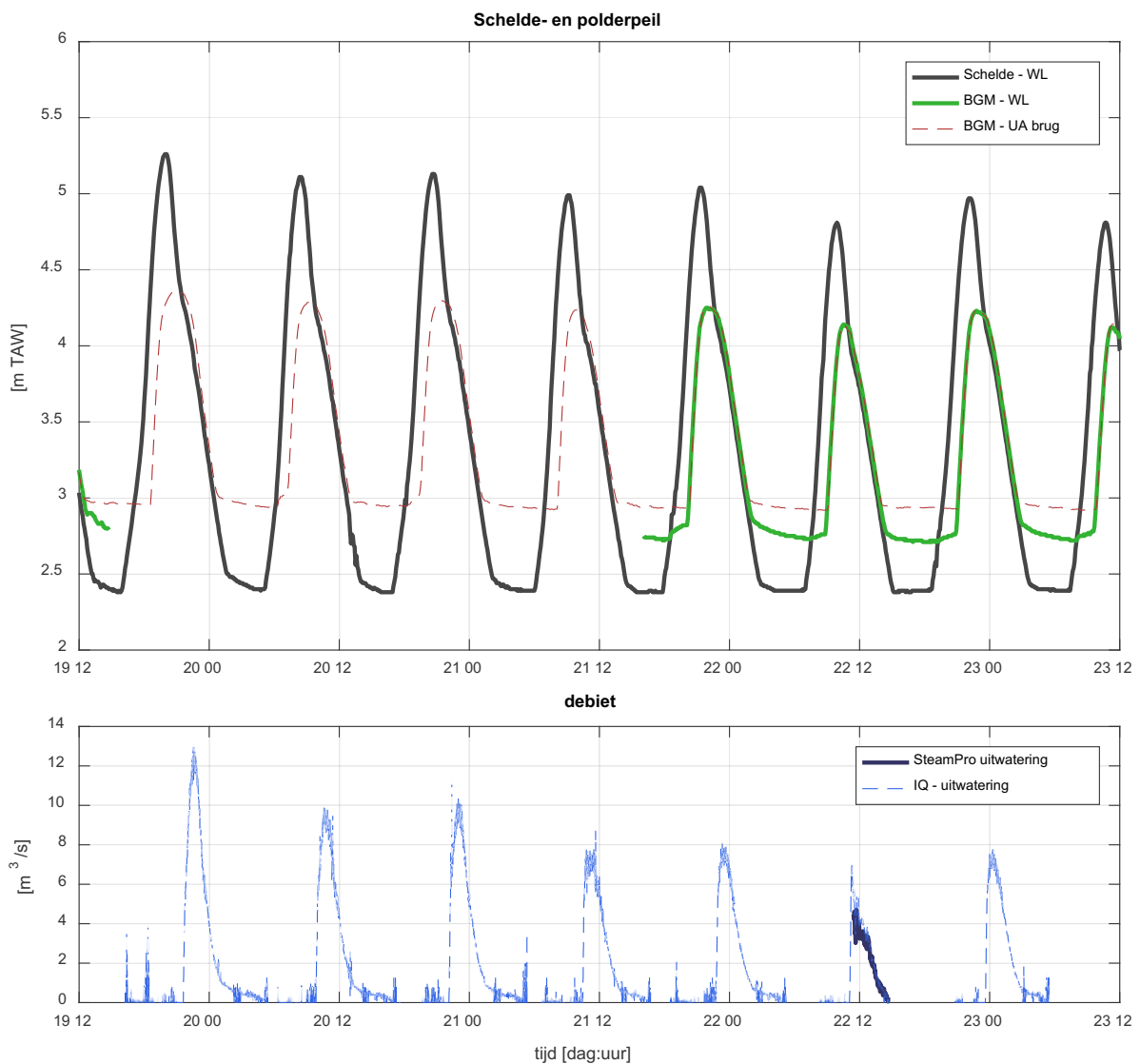
bedraagt ca. $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit maximum treedt op kort na begin uitwatering. De maximale helling van de terugslagklep bedraagt ca. 64° en valt samen met het ogenblik van maximum debiet.

Figuur 20 – Bergenmeersen meetcampagne – Scheldepeil, polderpeil, debiet en klephoek op 22/09/2016



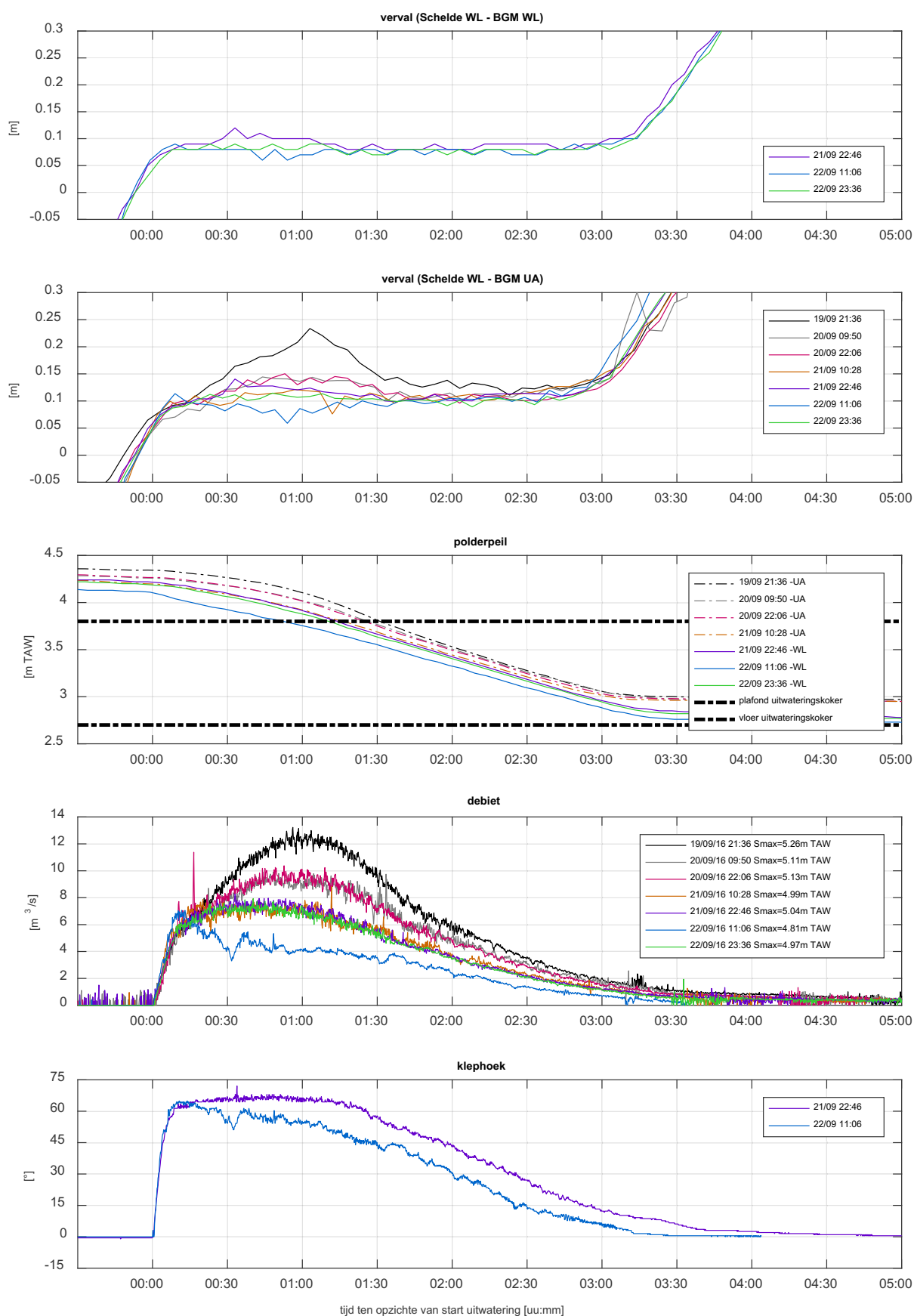
De debietsmeting in één uitwateringskoker door middel van het IQ ADCP toestel werd uitgevoerd voor een langere periode dan de 13-uursmeting. Namelijk van 19/09/2016 17:20 tot 23/09/2016 6:35. In Figuur 21 wordt het Scheldepeil en het polderpeil vergeleken met het opgemeten debiet voor de periode dat het IQ toestel het uitwateringsdebiet heeft opgemeten. Hieruit volgt een duidelijke relatie tussen het peil van het hoogwater in de Schelde ($S_{\max}$), het peil van het hoogwater in het GOG-GGG en het maximum debiet tijdens uitwatering.

Figuur 21 – Bergenmeersen – meetcampagne - Scheldepeil, polderpeil en debiet periode 19/09/2016 tot 23/09/2016



In Figuur 22 wordt het debiet, het verval over de uitwateringskokers, de waterhoogte in de uitwateringskoker en de klephoek vergeleken voor de uitwateringsperiodes waarmee gemeten werd met het IQ toestel. De tijdslijn van elke uitwateringsperiode wordt zo gekozen dat het nulpunt overeenkomt met het visueel bepaalde ogenblik op de debietskromme waarop de uitwatering begint. Dit visueel bepaalde tijdstip nul wordt weergegeven in de legende. Merk in de figuur op dat de WL meting van het polderpeil buiten dienst was (van 14:45 19/09/2016 tot 16:05 21/09/2016). Daarom wordt ook het verval tussen de UA peilmeting aan polderzijde en de WL peilmeting aan rivierzijde gegeven.

Figuur 22 – Bergenmeersen meetcampagne 2016 – Verval, polderpeil, polderpeil, IQ-debiet en klephoek



Merk in Figuur 22 op dat het starttijdstip van begin uitwatering samenvalt met het starttijdstip waarop de terugslagklep opent. Op dit moment bedraagt het verval al ca. 0.06 m. Het tijdstip waarop het polderpeil gelijk is aan het Scheldepeil komt echter ca. 7 min vroeger. De densiteit van de terugslagklep bedraagt 1041 kg/m^3 wat amper hoger is dan de densiteit van water (zie paragraaf 2.3). Hierdoor wordt verwacht dat deze quasi ogenblikkelijk begint te openen bij een positief verval. De verklaring dat de klep pas geopend wordt bij een peilverschil van 0.06 m is mogelijk (gedeeltelijk) meettechnisch, dit kan zowel een afwijking in peil betreffen als een afwijking van de synchronisatie.

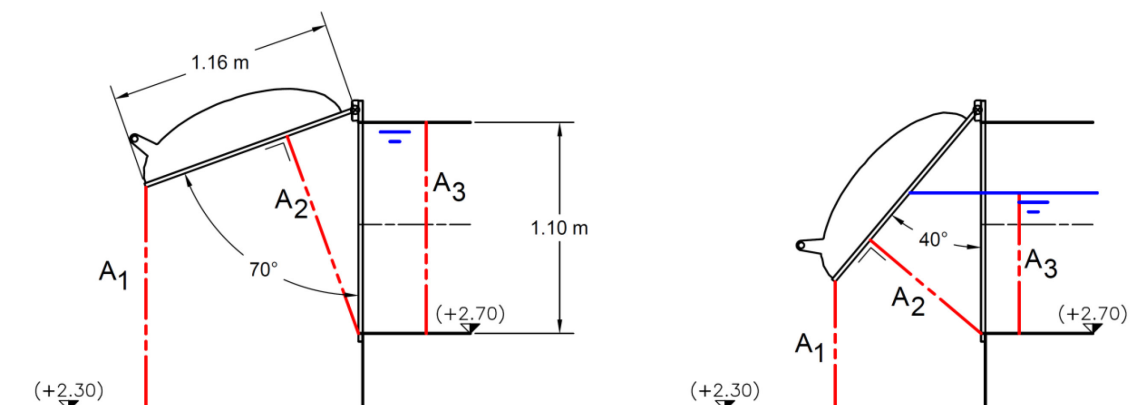
Het opgemeten verval tijdens uitwatering bedraagt 0.07 m tot 0.11 m voor de WL peilmetingen en bedraagt 0.08 m tot 0.23 m bepaald op basis van UA peilmeting aan polderzijde en de WL peilmeting aan rivierzijde. Bemerkt hierbij dat de WL peilmeting aan polderzijde buiten dienst was voor de 4 metingen met het hoogste verval. Circa 3 uur na start uitwatering neemt het verval sterk toe. Dit is het moment waarop de uitwateringskoker droogvalt; het Scheldepeil neemt nog verder af, maar het polderpeil kan niet meer volgen aangezien de minimale uitwateringshoogte is bereikt. Er stroomt dan nagenoeg ook geen water meer uit het gebied (uitwateringsdebiet gaat naar nul).

De uitwateringsperiodes met het maximum uitwateringsdebiet komen overeen met de uitwateringsperiodes met het hoogste verval. Voor alle reeksen geldt dat tijdens de eerste 9 tot 10 minuten het debiet snel toeneemt tot ca. $6 \text{ m}^3/\text{s}$, waarbij de klep zich opent tot een maximale hoek van ca. 60° . In tegenstelling tot de 13-uursmeting (start uitwatering 22/09 11:06) waarbij het debiet en de klephoek hierna afnemen, neemt het debiet bij de overige metingen nog geleidelijk toe naar het maximum voor het debiet. De variatie in maximum uitwateringsdebiet is daarbij gekoppeld aan het hoogwaterpeil en varieert voor de gemeten reeks van $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (na een hoogwater 4.81 m TAW) tot $12.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (na een hoogwater 5.26 m TAW). Het opgemeten uitwateringsdebiet was het laagste tijdens de 13-uursmeting. Voor metingen bij een nagenoeg zelfde voorgaand hoogwaterpeil (S_{max}) is er een goede overeenkomst voor het opgemeten debiet.

Klepstanden en stroomsnelheden in uitwateringskoker

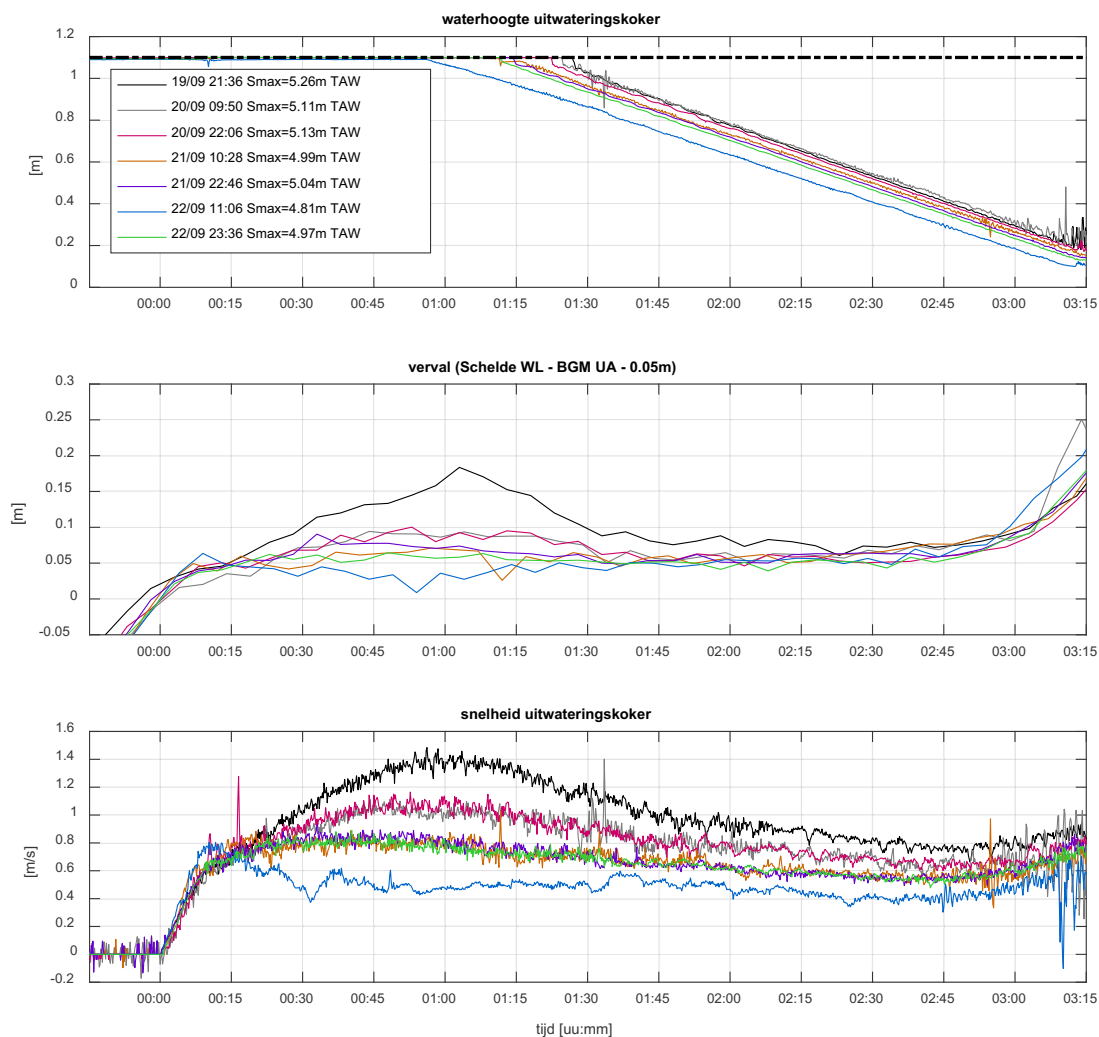
Het doel van de in 2015 uitgevoerde meting van de helling van de terugslagklep in combinatie met uitstroomdebiet was het begroten van de te passeren snelheid voor vissen bij opwaartse migratie (Vercruysse *et al.*, 2016). Hiervoor werd getracht om (benaderend) de meest kritische doorstroomsectie te bepalen op basis van het waterpeil in de uitwateringskoker en de klephoek. De beschouwde kritische doorstroomsecties worden geïllustreerd in Figuur 23. Uit de analyse volgde dat in alle gevallen sectie A3 (de waterhoogte in de koker) de meest kritische is. Bemerkt dat deze analyse geen rekening houdt met contractie van de stroming bij uitstroming ter plaatse van de klep zelf. Om deze reden worden de resultaten in dit rapport beperkt tot de stroomsnelheid in de uitwateringskoker (sectie A3 in Figuur 23).

Figuur 23 – Illustratie sectie A1, A2 en A3 voor een klephoek 70° en een klephoek 40°



De waterhoogte in de uitwateringskoker, het verval over de uitwateringskoker en de stroomsnelheid in de uitwateringskoker tijdens uitwatering wordt gegeven in Figuur 24. Merk op dat door het buiten dienst zijn van de WL peilmeting aan polderzijde gedurende 4 van de 7 ledigingen gekozen werd om het verval te berekenen op basis van de UA peilmeting aan polderzijde en de WL peilmeting aan rivierzijde. Van het op deze wijze berekende verval wordt vervolgens 0.05 m afgetrokken zodat het ogenblik waarop de uitwatering start overeenkomt met het ogenblik waarop het verval doorheen nul gaat.

Figuur 24 – Bergenmeersen meetcampagne – waterhoogte in de uitwateringskoker, verval over de uitwateringskoker en stroomsnelheid in de uitwateringskoker



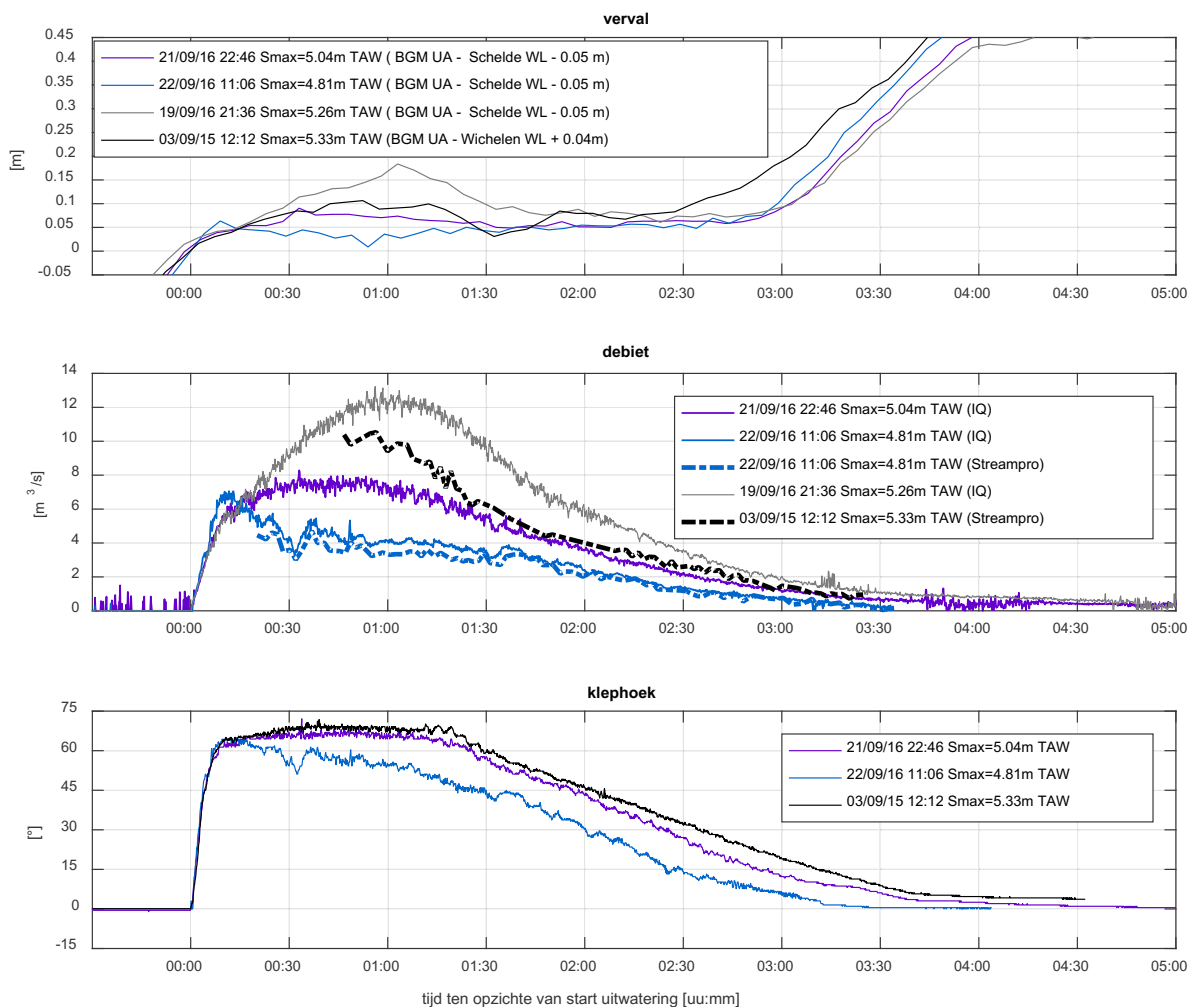
In Figuur 24 wordt het volgende opgemerkt:

- Stroomsnelheden in de koker zijn net als het debiet voor alle reeksen (hoogwaters) gerelateerd aan het verval over de constructie. Vanaf het moment dat de koker niet langer verdronken is, zorgt de afnemende waterdiepte en het quasi constant verval ervoor dat de stroomsnelheden nagenoeg constant blijven terwijl het debiet verder afneemt, tot het moment dat de koker droog valt.
- Alle reeksen bereiken binnen 10 min een volledig geopende klepstand (circa 64°), waarbij een gemiddelde stroomsnelheid wordt berekend van circa 0.7-0.8 m/s. De mate waarin het debiet en daarmee dus de stroomsnelheden daarna nog toenemen of afnemen is afhankelijk van de hoogte van het daarvoor opgetreden hoogwater ($S_{\max}$) en daarmee de vulling in het gebied (maximale polderpeil).

- Er zijn drie reeksen die overeenkomen met een **gemiddeld tij** (een hoogwater ca. 5 m TAW, zie ook Tabel 2) die dan ook nagenoeg hetzelfde snelheidsverloop hebben. Bij volledig geopende klep en verdronken koker is de gemiddelde stroomsnelheid in de koker bij deze reeksen relatief constant 0.7-0.8 m/s. Bij afnemend debiet neemt de stroomsnelheid nog licht af tot circa 0.6 m/s, maar blijft daarna vervolgens door afnemende waterdiepte in de koker relatief constant op deze waarde.
- Dan zijn er twee reeksen met een hoogwater 5.12 m TAW, waarbij de gemiddelde stroomsnelheden na volledige opening klep nog toenemen van 0.8 m/s tot circa 1.1 m/s
- De reeks met de hoogste hoogwaterstand (5.26 m TAW), wat overeenkomt met een **gemiddeld springtij**, bereikt op circa een uur na klepopening een maximale stroomsnelheid van 1.4 m/s. Daarna neemt de gemiddelde stroomsnelheid geleidelijk terug af tot een stroomsnelheid van 0.8 m/s bij afnemende waterdiepte in de koker.
- De enige reeks waarbij stroomsnelheden na volledige klepopening terug afnemen is de reeks die overeenkomt met een **gemiddeld doottij (+ 10 cm)**, namelijk een hoogwater 4.81 m TAW (= de reeks van de 13-uursmeting op 22/9/2016). Hier nemen gemiddelde stroomsnelheden (net als het debiet) na volledige klepopening geleidelijk af van 0.8 m/s tot circa 0.5-0.4 m/s. Opvallend genoeg neemt de klephoek bij deze reeks na volledig opening ook direct geleidelijk af, terwijl die voor de reeks van 21/9/2016 (hoogwater 5.04 m TAW, gemiddeld tij) gedurende een uur volledig open blijft en pas daarna geleidelijk terug sluit.
- Maximaal toelaatbare stroomsnelheden voor de doelsoorten (in het Scheldebekken) worden opgedeeld in twee typen: een sprintsnelheid van 1-1.5 m/s en kruissnelheden van circa 0.5-1 m/s. Sprintsnelheden zijn snelheden die enkel over een korte afstand kunnen worden aangehouden, kruissnelheden over langere afstanden. Aangezien de uitlaatkokers te Bergenmeersen een lengte hebben van circa 10 meter wordt voor de passeerbaarheid best uitgegaan van de kruissnelheden voor de doelsoorten. Bemerk dat de snelheid ter plaatse van de klep hoger kan zijn door contractie van de stroming. Uit een analyse uitgevoerd op de in 2015 uitgevoerde meting volgde dat door de grote openingshoek de afstand tussen klep en onderrand koker, zie Figuur 23, steeds groter was dan de waterhoogte in de koker. Daarom wordt aangenomen dat, mede gelet op de grote openingshoek van de HDPE kleppen, de kruissnelheid in de koker maatgevend is ten opzichte van de sprintsnelheid onder de klep.
- Naast maximale stroomsnelheden is de waterdiepte (doorzwemdiepte) in de koker van belang. Volgens de richtlijn voor goede passeerbaarheid is daarbij een minimale waterdiepte van circa 0.30 m benodigd. Op basis van deze richtlijn en de resultaten uit de grafiek van Figuur 24 kan worden vastgesteld dat de tijd waarin de waterdiepte in de koker voldoende diep is, om passeerbaar te kunnen zijn voor de meeste doelsoorten, circa 3 uur is.

In Figuur 25 wordt het verval, het debiet en de klephoek vergeleken voor de in 2015 en 2016 uitgevoerde 13-uursmetingen te Bergenmeersen. In 2015 was zowel de WL peilmeting aan polderzijde als aan rivierzijde onbetrouwbaar. Daarom werd toen voor het rivierpeil de analoge peilmeting (op rol) te Wichelen gedigitaliseerd. In 2015 werd enkel tijdens de 13-uursmeting de klephoek en het debiet (met een StreamPro ADCP) opgemeten. De analyse van de in 2015 uitgevoerde meting werd gerapporteerd in Vercruyse *et al.* (2016). Merk op dat de metingen voor het verval in hoogte verschoven werden zodat op het tijdstip van start uitwatering overeenkomt met het tijdstip waarop het verval doorheen nul gaat. Voor de meting uitgevoerd in 2015 werd 0.04 m bijgeteld en voor de metingen uitgevoerd in 2016 werd 0.06 m afgehouden.

Figuur 25 – Bergenmeersen– Vergelijking klep- en debietmetingen 2015 en 2016



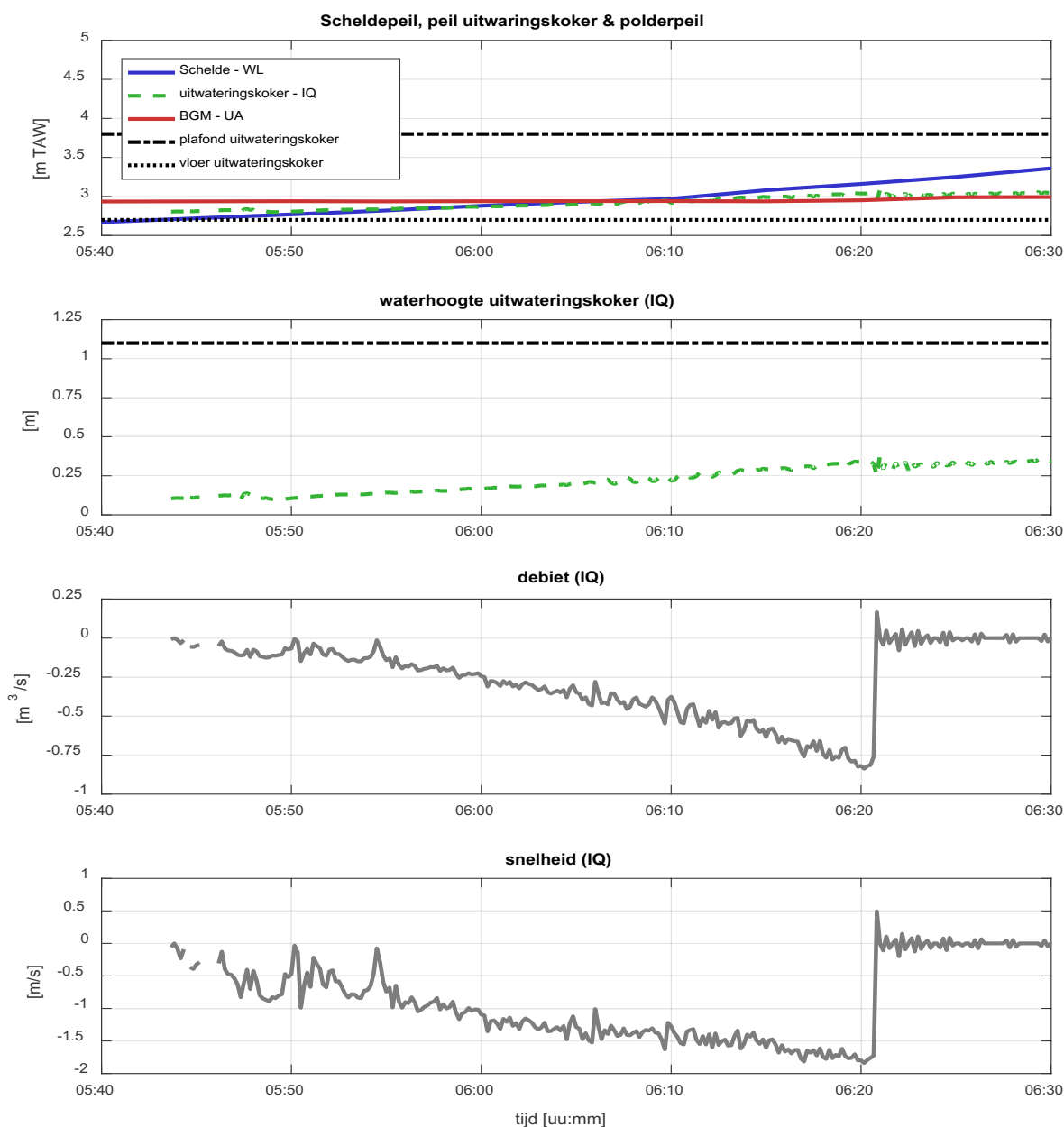
Merk in Figuur 25 op dat voor de metingen van 2016 waarbij de klephoek opgemeten werd het voorgaande hoogwater (respectievelijk 5.05 m TAW en 4.81 m TAW) merklijk lager is dan voor de meting in 2015 waarbij de klephoek opgemeten werd (5.33 m TAW). Niettegenstaande dit verschil wordt een goede gelijkenis gevonden tussen de het verloop van de klephoek opgemeten in 2015 (voorgaand hoogwater 5.33 m TAW) en de uitwatering beginnend op 21/09/2016 om 22:46 (voorgaand hoogwater 5.04 m TAW). Wanneer voor deze twee metingen het debiet vergeleken wordt, valt op dat voor het eerste deel waarin de klephoek gelimiteerd is tot ca. 69° het in 2015 opgemeten debiet merklijk hoger is, terwijl voor het deel waarin de klephoek afneemt het debiet vrijwel samenloopt. Op deze figuur wordt ook de in 2016 opgemeten uitwatering gegeven met een vergelijkbaar hoogwater als de in 2015 opgemeten uitwatering. Dit is de uitwatering die start op 19/09/2016 21:36 met een voorgaand hoogwater 5.26 m TAW, tijdens deze uitwatering werd de klephoek niet opgemeten. Uit de vergelijking van het debiet valt op dat niettegenstaande het lagere hoogwater 5.26 m TAW ten opzichte van 5.33 m TAW het debiet en ook het verval tijdens uitwatering merklijk hoger is. Dit verschil kan mogelijks verklaard worden door, een combinatie van een aantal factoren zoals de vorm van het getij, de verstopping van de vuilroosters, de hoogte van het voorgaand hoogwater en het type meting (IQ of Streampro).

Pet-door-simulatie

Op 20/09/2016 heeft INBO tussen 5:50 en 6:20 een 'pet-door-simulatie' uitgevoerd. Hierbij wordt bij opkomend Scheldepeil de klep van één uitwateringskoker voor 45° geopend nog voordat er water via de inwateringskoker het gebied binnenstroomt. De pet-door-simulatie werd uitgevoerd op de uitwateringskoker waarin de IQ gemonteerd was. In Figuur 26 wordt het opgemeten waterpeil, debiet en stroomsnelheid in de uitwateringskoker gegeven tijdens de pet-door-simulatie.

Merk in deze figuur op dat een negatief debiet overeenkomt met inwatering (water stroomt namelijk het gebied in door de uitwateringskoker), het teken van de snelheid wordt voor de duidelijkheid wel verdraaid zodat deze positief is. Uit de figuur volgt dat vanaf het Scheldepeil hoger komt dan het bodempeil van de uitwateringskoker (om ca. 5:45) inwatering optreedt. Het debiet en de snelheid neemt hierbij toe tot de klep gesloten wordt om ca. 6:20 bij een Scheldepeil +3.2 m TAW. Op dit tijdstip bedraagt het debiet -0.8 m³/s en de snelheid 1.8 m/s.

Figuur 26 – Bergenmeersen meetcampagne 2016 – waterpeil, debiet, stroomsnelheid en waterdiepte in de uitwateringskoker tijdens de pet-door-simulatie op 20/09/2016

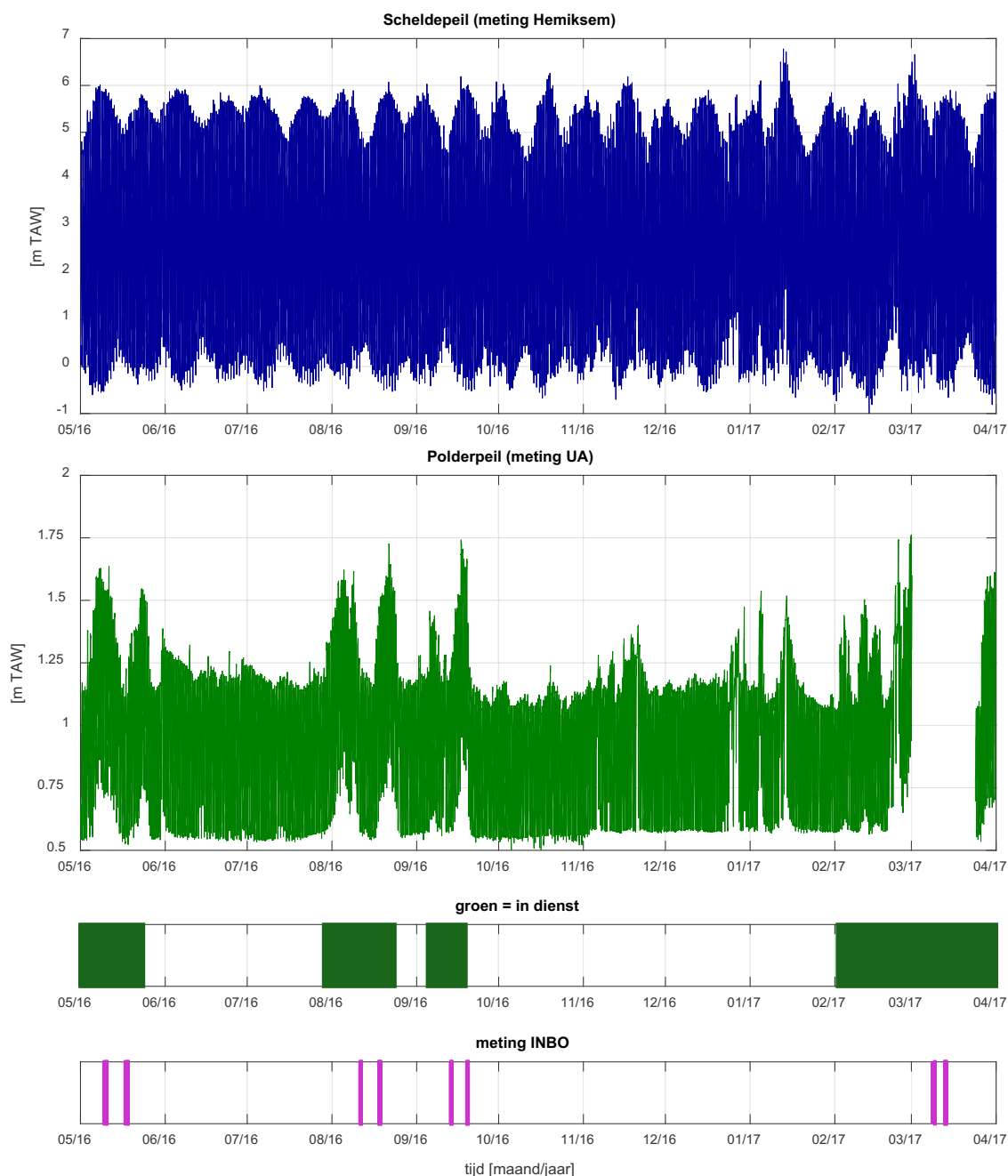


4.2 Bazel Noord

4.2.1 Continue waterpeilmeting

Figuur 27 toont het Scheldepeil en het polderpeil voor de periode 1 mei 2016 tot 30 april 2017. Daarnaast worden in de figuur tevens de momenten aangegeven waarop de noordelijke inwateringsconstructie in dienst was en de tijdstippen waarop door het INBO vissen werden afgevangen.

Figuur 27 – Bazel Noord - continue waterpeilmeting - periode 1 mei 2016 tot 31 april 2017



Merk op dat de constructie tijdens drie periodes buiten dienst was (zie witte blokken onder 'in dienst'). Tussen 24/05/2016 en 29/07/2016 werden de noordelijke en zuidelijke inwateringsconstructie gesloten omwille van het vogel broedseizoen. Tussen 24/08/2016 en 5/09/2016 werden de noordelijke en zuidelijke inwateringsconstructie gesloten voor maaibeheer in de polder. En tussen 19/09/2016 tot en met 2/02/2017 werden de noordelijke en zuidelijke inwateringsconstructie gesloten in kader van de aanleg van een pijpleiding.

Het inwateringspeil van de noordelijke inwateringsconstructie ligt op 5.00 m TAW (schotbalkpeil, zie Tabel 3) het uitwateringspeil ligt op 0.50 m TAW (bodempeil uitwateringskoker, zie Figuur 5). Merk op dat bij doodtij het hoogwater lager is dan het inwateringspeil, en er dus geen water het gebied binnenstroomt door de inwateringskoker. Bij springtij bedraagt het Scheldepeil ca. 6.00 m TAW wat overeenkomt met een inwateringshoogte van 1.00 m.

Opvallend genoeg varieert het polderpeil in het gebied nog mee met het getij in de periodes dat de noordelijke en zuidelijke inwateringsconstructies buiten dienst zijn. Bij hoogwater en gesloten constructie varieert het polderpeil tussen 1.05 m TAW en 1.25 m TAW en bij een laagwater tussen 0.50 m TAW en 0.60 m TAW. De vermoedelijke oorzaak hiervan zijn enerzijds lekverliezen door de uitwateringsconstructie en anderzijds een beek die uitwatert in het GOG-GGG. Tijdens een plaatsbezoek van WL op 17/10/2017 werd inderdaad een lekdebiet opgemerkt (zie paragraaf 2.2 en paragraaf 6.2).

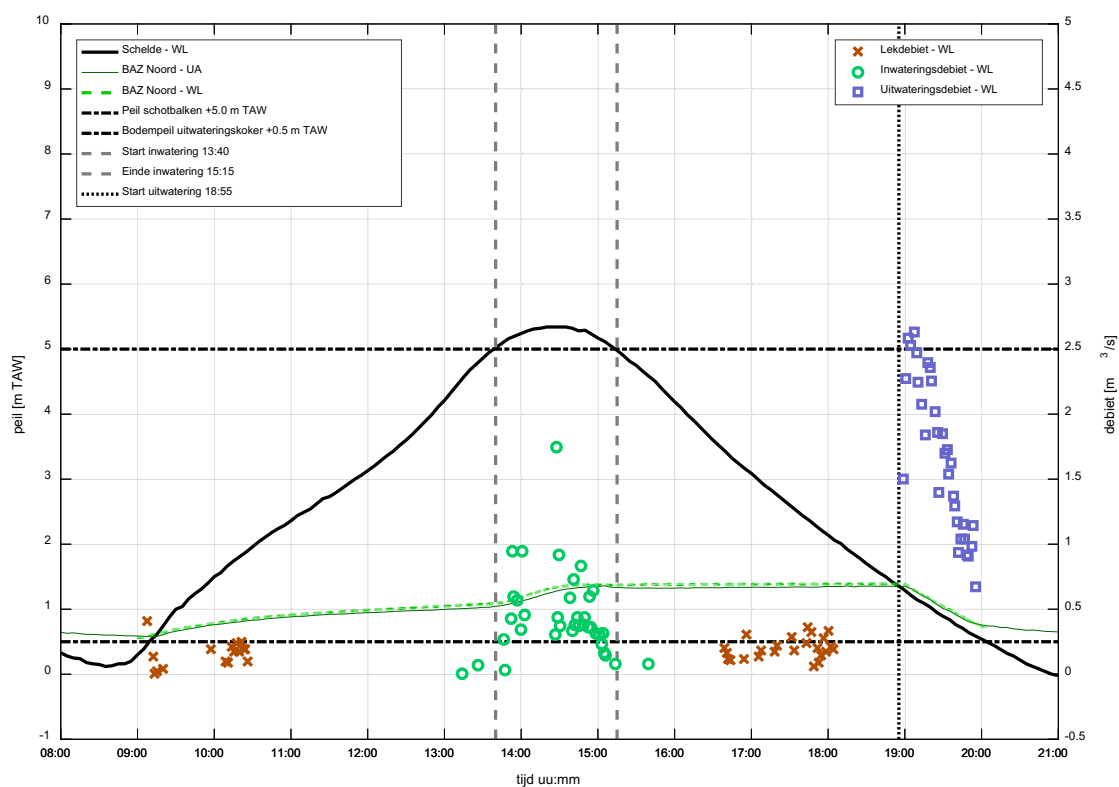
Uit een analyse van de bathymetrie (zie paragraaf 6.2) volgt dat aan polderzijde van de noordelijke en zuidelijke in- en uitwateringsconstructie zich een kom bevindt. Het bodempeil rondom deze kom bedraagt tussen 1.5 m TAW en 2.0 m TAW. Bij een polderpeil 1.25 m TAW blijft het water beperkt tot het oppervlak van de kom en de in verbinding staande grachten.

4.2.2 Meetcampagne 2016

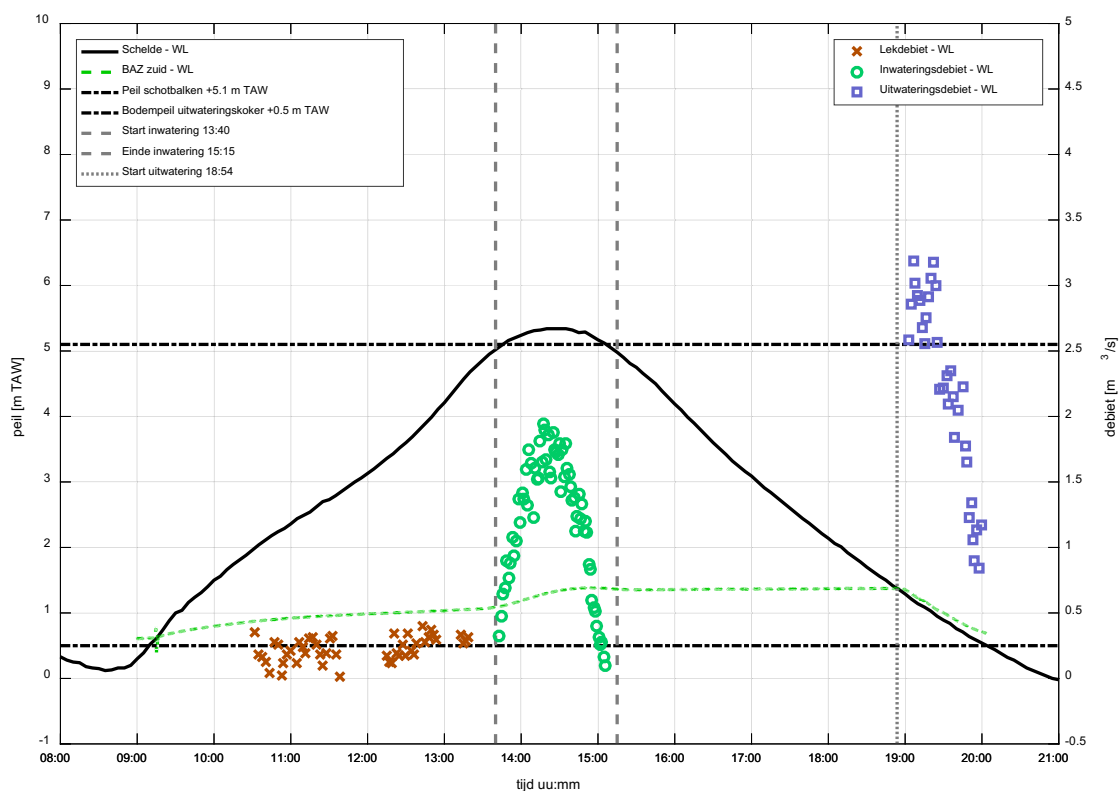
Op 14/09/2016 werd door WL een 13-uursmeting uitgevoerd in het GOG-GGG Bazel. Hierbij werd tegelijkertijd gemeten te Bazel Noord en te Bazel Zuid. De peilen en opgemeten debieten gedurende deze 13-uursmeting worden in Figuur 28 gegeven voor Bazel Noord en in Figuur 29 voor Bazel Zuid. Merk op dat tijdens de 13-uurs meting te Bazel Zuid de Diver meting van UA buiten dienst was en dus niet weergegeven wordt in Figuur 29.

Op vraag van UA heeft WL tijdens de 13-uursmeting ook het lekdebiet opgemeten, zowel ter plaatse van Bazel Noord als Bazel Zuid. Het peil tijdens hoogwater bedraagt 5.34 m TAW. Dit komt overeen met een inwateringshoogte 0.24 m (koker 1b, 2a en 2b) en 0.34 m (koker 1a) voor Bazel Zuid, en 0.34 m (koker 1a en 1b) voor Bazel Noord. Het peil tijdens het laagwater voorafgaand aan de 13-uursmeting bedraagt 0.12 m TAW en het peil tijdens het laagwater nagaand op de 13-uursmeting bedraagt -0.11 m TAW (opwaartse meetlocatie Scheldepeil te Hemiksem, zie Figuur 17).

Figuur 28 – Bazel Noord 13-uursmeting 14/09/2016 - Debiet- en waterpeil



Figuur 29 – Bazel Zuid 13-uursmeting 14/09/2016 - Debiet- en waterpeil



Bij Figuur 28 en Figuur 29 wordt het volgende opgemerkt:

Het inwateringsvolume is kleiner te Bazel Noord en Zuid in vergelijking met Bergenmeersen. Dit komt door het hogere inwateringspeil (peil schotbalken) en het kleinere aantal inwateringskokers (3 i.p.v. 6). Hierdoor is ook de duur van uitwatering relatief kort (circa 1 uur te Bazel Noord en Zuid ten opzichte van circa 3 uur te Bergemeersen).

Het maximaal opgemeten debiet tijdens inwatering bedraagt $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$ te Bazel Noord en $1.9 \text{ m}^3/\text{s}$ te Bazel Zuid. Bemerkt dat het debiet te Bazel Zuid het dubbele bedraagt van het debiet te Bazel Noord. Te Bazel Zuid zijn er dan ook 2 inwateringskokers ten opzichte van 1 voor Bazel Noord. Bij Bazel Zuid wordt drie keer een schotbalkpeil 5.1 m TAW toegepast en 1 schotbalkpeil 5.0 m TAW, bij Bazel Noord wordt 2 keer een schotbalkpeil 5.0 m TAW toegepast.

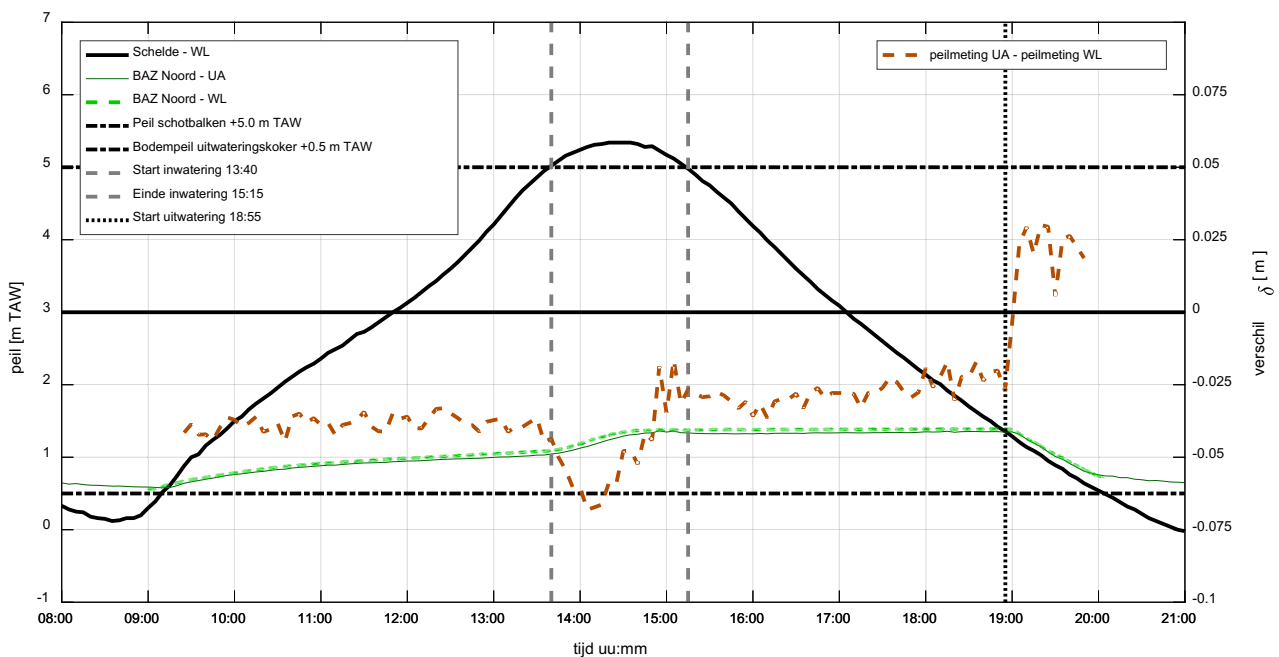
Voor Bazel Zuid is er een goede onderlinge correlatie tussen de debietmetingen bij inwatering. Voor Bazel Noord is deze correlatie minder. De vermoedelijke verklaring hiervoor is de aanwezigheid van een ondiep geulensysteem opwaarts van de noordelijke inwateringsconstructie (zie Figuur 6 rechtsonder) wat het uitvoeren van correcte metingen met een heen en weer getrokken ADCP toestel bemoeilijkt.

Bij uitwatering bedraagt het maximaal opgemeten debiet $2.6 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Bazel Noord en $3.2 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Bazel Zuid. Beide uitwateringsconstructies hebben evenveel kokers. Het opgemeten peil voorafgaand aan de uitwatering is quasi gelijk voor Bazel Noord en Bazel Zuid (1.38 m TAW ten opzichte van 1.37 m TAW). Het verschil in maximaal uitwateringsdebiet wordt mogelijks verklaard door een verschil in aanvoer vanuit het grachtenstelsel of een verschil in verstopping van vuilroosters (zie Figuur 7 rechts).

Het opgemeten lekdebiet is gelijkaardig voor Bazel Noord en Bazel Zuid en bedraagt $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ tot $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$.

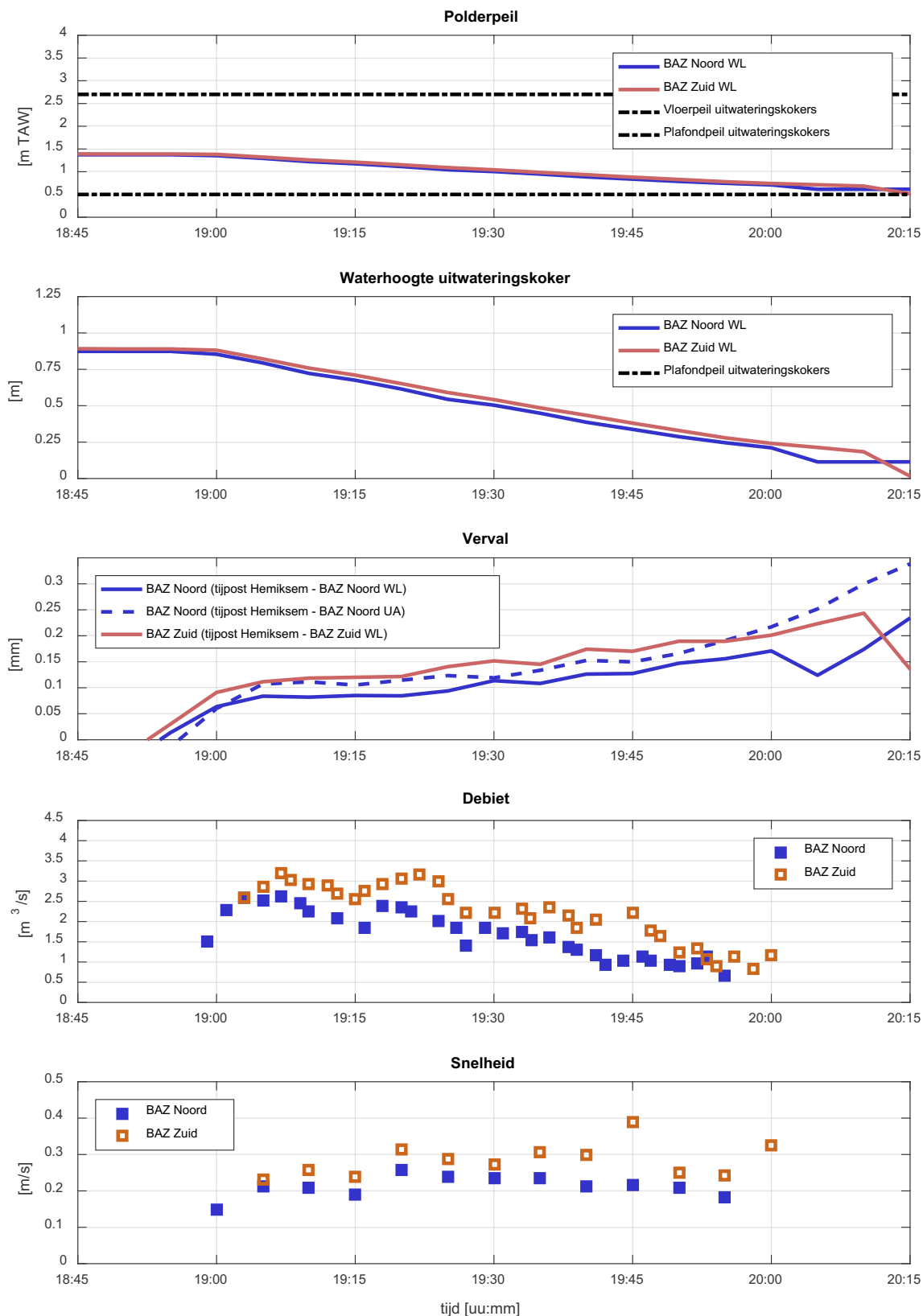
In Figuur 30 wordt voor Bazel Noord het verschil (δ) gegeven tussen de continue meting van het polderpeil door UA en het door WL opgemeten peil tijdens de 13-uursmeting. De UA peilmeting werd uitgevoerd nabij het begin van het grachtenstelsel (zie paragraaf 3.2.1). De WL peilmeting werd uitgevoerd nabij de in- en de uitwateringsconstructie. Tijdens de periodes zonder stroming kan verwacht worden dat de UA peilmeting en de WL peilmeting identiek zijn. Voorafgaand aan de inwatering wordt opgemerkt dat het door WL opgemeten peil 0.04 m hoger is dan het door UA opgemeten peil. In de periode tussen inwatering en uitwatering is het door WL opgemeten peil 0.03 m hoger dan het door UA opgemeten peil. Tijdens inwatering neemt het verschil toe en is de door WL uitgevoerde meting 0.03 m tot 0.07 m hoger dan het door UA opgemeten peil. Tijdens uitwatering keert dit om en is het door UA opgemeten peil ca. 0.025 m hoger dan het door WL opgemeten peil.

Figuur 30 – Bazel Noord 13 uursmeting 14/09/2016 – Vergelijking waterpeilmeting UA en WL



De waterhoogte, het verval, het debiet en de snelheid tijdens uitwatering in de uitwateringskokers te Bazel Noord en Bazel Zuid wordt vergeleken in Figuur 31. Het verval over de constructie tijdens uitwatering bedraagt 0.08 m tot 0.15 m. Dit verval wordt gekenmerkt door een bepaalde onzekerheid. Op basis van het startogenblik van uitwateren werd op het verval te Bergenmeersen een correctie van ca. 0.05 m toegepast. Door het ontbreken van een continue meting van het debiet of de klephoek is het niet mogelijk om een dergelijke correctie op te stellen voor Bazel. Het verval over Bazel Zuid is ca. 0.04 m hoger dan het verval over Bazel Noord. Bij een gelijke constructie (identieke geometrie, gelijkaardige verstopping vuilroosters) zal een hoger verval resulteren in een hoger debiet. Dit volgt ook uit de debietsmetingen. Een mogelijke verklaring hiervoor is het grotere aantal inwateringskokers: 2 voor Bazel Zuid ten opzichte van 1 voor Bazel Noord. Ter informatie wordt ook de snelheid in de uitwateringskokers afgeleid op basis van het debiet, de door UA opgemeten waterhoogte aan polderzijde van de uitwateringskokers en de totale breedte van de kokers op plan. Hieruit volgt een snelheid van 0.2 m/s tot 0.3 m/s tijdens uitwatering. Dit is merkbaar lager dan voor Bergenmeersen waar snelheden tussen 0.4 m/s en 1.4 m/s werden opgemeten. Hierbij moet opgemerkt worden dat het peil aan polderzijde mogelijk niet representatief is voor het peil in de uitwateringskokers, zeker bij een verstopping van de vuilroosters zoals in Figuur 32. Uit de analyse van de opgemeten klephoek van de lichtgewicht HDPE kleppen van Bergenmeersen werd vastgesteld dat deze niet zorgen voor een sterke reductie van de doorstroomsectie (Vercruysse *et al.*, 2016). Bij de zwaardere klassieke kleppen te Bazel wordt de doorstroomsectie mogelijk wel lokaal sterk gereduceerd met de bijhorende toename van de snelheid tot gevolg. Om meer inzicht te krijgen in het hydraulische gedrag van een uitwateringsconstructie met klassieke terugslagkleppen verdient het aanbeveling om een meetcampagne uit te voeren waarbij het verval over de constructie, de snelheid en waterhoogte in één uitwateringskoker en de bijhorende klephoek opgemeten wordt, analoog met de in 2016 uitgevoerde meting te Bergenmeersen.

Figuur 31 – Bazel 13-uursmeting 14/09/2016 – vergelijking waterhoogte uitwateringskoker, verval, debiet en snelheid Noordelijke en Zuidelijke uitwateringsconstructie



Figuur 32 – Illustratie verstopping vuilroosters Bazel tijdens plaats bezoek op 17/10/2017



5 Debietberekening

5.1 Achtergrond

In het kader van het WL project 13_131 “Bevaarbaarheid Boven Zeeschelde” werd een nieuw ongestructureerd 3D hydrodynamisch model van het Schelde estuarium gemaakt, genaamd Scaldis. In dit model werden reeds alle huidige en toekomstige overstromingsgebieden en ontpolderingen opgenomen. Dit model werkt met de TELEMAC modelleringssoftware. De vergelijkingen om de stroming door kokers of duikers te beschrijven, waren niet afdoende aanwezig in de software en dus werd er door het WL een nieuwe set vergelijkingen opgesteld met als hoofddoel het simuleren van stroming door duikers om in het Scaldis model de uitwisseling tussen water in Schelde en overstromingsgebieden met gecontroleerd gereduceerd getij mogelijk te maken. Deze set van vergelijkingen kan echter ook los van de TELEMAC software gebruikt worden. De Fortran code werd vertaald naar een Matlab-script. Dit script heeft drie soorten input nodig: 1. de specificaties en parameters van de in- en uitwateringsconstructie, 2. de waterstanden aan de zijde van de polder, en 3. de waterstanden aan de Scheldezijde. De verschillende vergelijkingen worden hierna kort beschreven alsook een overzicht van de parameters die de constructie beschrijven. Voor meer gedetailleerde info wordt verwezen naar Smolders *et al.* (2016a).

5.2 Formules

Voor de berekening van stroming door duikers of kokers wordt verwezen naar Bodhaine (1968) die deze stroming onderverdeelde in zes categorieën. Voor elke categorie gaf hij een verschillende formule voor het berekenen van het debiet. Het zijn deze categorieën of types van stroming die hierna kort besproken worden. Een overzicht van de stromingstypes wordt gegeven in Figuur 33. Alle formules zijn afgeleid van de continuïteits- en energievergelijkingen tussen de sectie van de koker aan instroomzijde en de sectie aan uitstroomzijde. Het type van stroming wordt bepaald door het feit of de koker volledig gevuld is en of het debiet bepaald wordt door de aanstroomzijde of de uitstroomzijde. Dit wordt bepaald door de waterstand aan de aanstroomzijde en de waterstand aan de uitstroomzijde. Deze beide zijn daardoor dus invoergegevens voor het Matlab-script dat via deze vergelijkingen de bijhorende debieten zal bepalen.

Figuur 33 – Stromingstypes doorheen een koker volgens Bodhaine (1968)

TYPE	EXAMPLE	TYPE	EXAMPLE
1 CRITICAL DEPTH AT INLET $\frac{h_1 - z}{D} < 1.5$ $h_4/h_c < 1.0$ $S_0 > S_c$		4 SUBMERGED OUTLET $\frac{h_1 - z}{D} > 1.0$ $h_4/D > 1.0$	
2 CRITICAL DEPTH AT OUTLET $\frac{h_1 - z}{D} < 1.5$ $h_4/h_c < 1.0$ $S_0 < S_c$		5 RAPID FLOW AT INLET $\frac{h_1 - z}{D} > 1.5$ $h_4/D \approx 1.0$	
3 TRANQUIL FLOW THROUGHOUT $\frac{h_1 - z}{D} < 1.5$ $h_4/D \approx 1.0$ $h_4/h_c > 1.0$		6 FULL FLOW FREE OUTFALL $\frac{h_1 - z}{D} \approx 1.5$ $h_4/D \approx 1.0$	

Type 1 – Kritische waterhoogte aan inlaat – superkritische stroming in de koker

In dit stromingstype is het bodempeil aan de inlaat hoger dan het bodempeil aan de uitlaat en is de helling van het bodempeil steiler zijn dan de kritische helling. Dit type werd niet mee opgenomen in de set van vergelijkingen om kokerdebieten te berekenen. Dit type komt niet voor bij de in- en uitwateringsconstructies in de onderhavige studie.

$$Q = C_D A_c \sqrt{2g \left(h_1 - z - d_c - h_{f12} + \alpha \frac{V_1^2}{2g} \right)} \quad (1)$$

- met:
- C_D debietscoëfficiënt, typisch = 0.95 [-]
 - A_c koker sectie bij kritische waterhoogte in de koker [m²]
 - g zwaartekracht constante [m s⁻²]
 - h_1 waterstand stroomopwaarts [m]
 - z hoogte van de bodem van de koker [m]
 - d_c kritische waterdiepte in de koker [m]
 - h_{f12} verliescoëfficiënt voor de aanstroomsectie [m]
 - α coëfficiënt voor correctie van kinetische energie in de aanstroomsectie [-]
 - V_1 gemiddelde stroomsnelheid aan de aanstroomsectie van de koker [m/s]

Type 2 – Kritische diepte aan de uitstroom – subkritische stroming in de koker

Dit is een rustige stroming door de koker en de kritische waterhoogte ligt aan de uitgang van de koker. De koker is slechts gedeeltelijk gevuld. De helling van het bodempeil van de koker is lager dan de kritische helling. De debietscoëfficiënt is vergelijkbaar met type 1 en bedraagt typisch 0.95. Het debiet wordt berekend volgens deze formule:

$$Q = C_D A_c \sqrt{2g * \left(h_1 - d_c - h_{f12} - h_{f23} + \alpha \frac{V_1^2}{2g} \right)} \quad (2)$$

met: h_{f23} wrijvingsverlies in de koker [m]

Type 3 – Rustige stroming – subkritische stroming door heel de koker

Dit type kent een rustig stromingspatroon in heel de koker. Het waterpeil is in de volledige koker subkritisch. De koker is slechts gedeeltelijk gevuld. Zoals bij type 1 en 2 varieert de debietscoëfficiënt in functie van het Froude getal. Afhankelijk van het Froude getal kan dit hier variëren tussen 0.82 en 0.95. Volgende formule wordt gebruikt om het debiet bij type 3 stroming te berekenen:

$$Q = C_D A_3 \sqrt{2g \left(h_1 - d_3 - h_{f12} - h_{f23} + \alpha \frac{V_1^2}{2g} \right)} \quad (3)$$

met: A_3 natte sectie aan de uitlaat [m²]

d_3 waterdiepte koker uitlaat [m]

Type 4 – Verdrongen in- en uitlaat

In dit type 4 zijn de inlaat en uitlaat van de koker verdrongen. De koker is volledig gevuld. De debietscoëfficiënt varieert hier in functie van de koker geometrie en varieert van $C_D=0.75$ tot $C_D=0.95$. Het debiet wordt berekend aan de hand van volgende formule:

$$Q = C_D A_0 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_4)}{1 + 29C_D^2 n^2 L / R^{4/3}}} \quad (4)$$

met: A_0 natte sectie aan inlaat koker [m²]

h_4 waterstand stroomafwaarts [m]

n Manning coëfficiënt [sm^{-1/3}]

L lengte van de koker [m]

R hydraulische straal [m]

Type 5 – Snelle stroming aan ingang

In type 5 is de stroming superkritisch aan de ingang van de koker. De koker is slechts gedeeltelijk gevuld. Dit type komt niet vaak voor en de debietscoëfficiënt is vaak kleiner dan bij de andere stromingstypes.

$$Q = C_D A_0 \sqrt{2g(h_1 - z)} \quad (5)$$

Type 6 – Volledig gevulde koker met vrije uitlaat

In type 6 stroomt de koker volledig vol. De debietscoëfficiënt is vergelijkbaar met deze van type 4. Volgende formule wordt gebruikt om het debiet te berekenen:

$$Q = C_D A_0 \sqrt{2g(h_1 - d_3 - h_{f23})} \quad (6)$$

Deze formules werden rechtstreeks overgenomen van Bodhaine (1968). Om een onderscheid te maken tussen wanneer welke type stroming kan voorkomen gebruikte Bodhaine de voorwaarden opgesomd in Tabel 9.

Tabel 9 – Voorwaarden voor de verschillende stromingstypes volgens Bodhaine (1968)

Type 1	$\frac{h_1 - z}{D} < 1.5$	$\frac{h_4}{d_c} < 1.0$	$S_0 > S_c$
Type 2	$\frac{h_1 - z}{D} < 1.5$	$\frac{h_4}{d_c} < 1.0$	$S_0 < S_c$
Type 3	$\frac{h_1 - z}{D} < 1.5$	$\frac{h_4}{D} \leq 1.0$	
Type 4	$\frac{h_1 - z}{D} > 1.0$	$\frac{h_4}{D} > 1.0$	
Type 5	$\frac{h_1 - z}{D} \geq 1.5$	$\frac{h_4}{D} \leq 1.0$	
Type 6	$\frac{h_1 - z}{D} \geq 1.5$	$\frac{h_4}{D} \leq 1.0$	

De afmetingen en geometrie van de koker zullen bepalen of een stroming volgens type 5 dan wel type 6 zal plaatsvinden. Om een keuze te maken tussen beide types, wordt gebruik gemaakt van de relaties in Figuur 34. In deze figuur stelt r de straal van de ronding van de inlaat voor en is w een maat voor de afwijking op de diameter van de koker. De juiste coëfficiënt uit deze figuur is gebruikt in de formules om een onderscheid tussen type 5 en type 6 te maken.

In elk van de vergelijkingen van de stromingstypes komt een verliescoëfficiënt voor. Deze verliescoëfficiënt zal volgens Carlier (1972) opgedeeld worden in verschillende verliescoëfficiënten die elk zo dicht als mogelijk bij een fysische verliesterm staan. Op deze manier kunnen verschillen in constructie doorvertaald worden naar verschillende verliescoëfficiënten. Het is ook aan de hand van deze coëfficiënten dat het debiet door een koker gekalibreerd zal worden.

Carlier (1972) stelde voor om een dimensieloze coëfficiënt μ te gebruiken die hij ook de debietscoëfficiënt noemde. Deze coëfficiënt kan geschreven worden als volgt:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{C_1 + C_2 + C_3}} \quad (7)$$

met: C_1 verliescoëfficiënt aan inlaat van de koker [-]

C_2 verliescoëfficiënt in de koker [-]

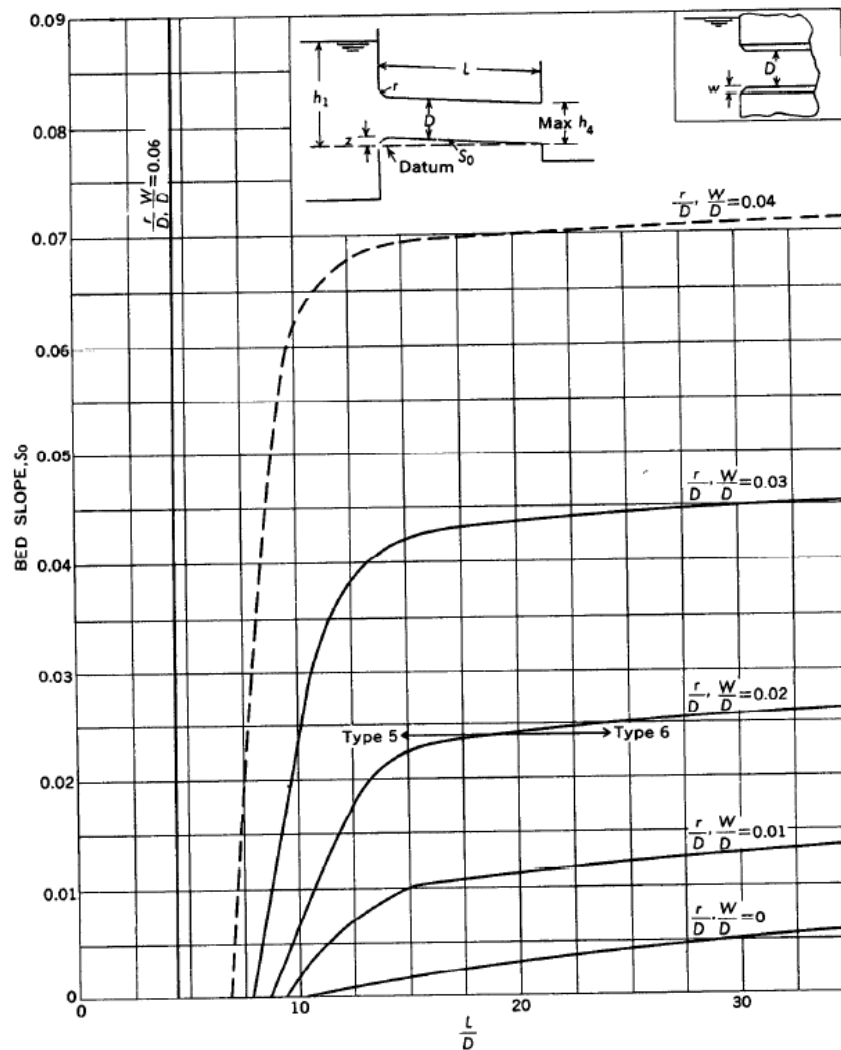
C_3 verliescoëfficiënt aan uitlaat van de koker [-]

De algemene formule van Carlier (1972) om het debiet te berekenen, is:

$$Q = \mu A \sqrt{2g\Delta H} \quad (8)$$

Wanneer deze wordt vergeleken met de formules die Bodhaine (1968) gebruikte, is het duidelijk dat beide sterk op elkaar lijken en dat de dimensieloze debietscoëfficiënt (μ) van Carlier zowel de debietscoëfficiënt (C_D) als de lokale verliezen (ΔH) van Bodhaine vervangt.

Figuur 34 – Onderverdeling in type 5 of type 6 stroming door een koker volgens Bodhaine (1968)



De combinatie van de formule van Carlier (1972) en de verschillende types stroming van Bodhaine (1968) geeft vijf werkbare formules (vijf omdat we stromingstype 1 met steile kokers (helling koker > kritische helling) hier verder buiten beschouwing laten).

$$\text{Type 2} \rightarrow Q = \mu h_c W \sqrt{2g(S_1 - (z_2 + h_c))} \quad (9)$$

$$\text{Type 3} \rightarrow Q = \mu (S_2 - z_2) W \sqrt{2g(S_1 - S_2)} \quad (10)$$

$$\text{Type 4} \rightarrow Q = \mu D W \sqrt{2g(S_1 - S_2)} \quad (11)$$

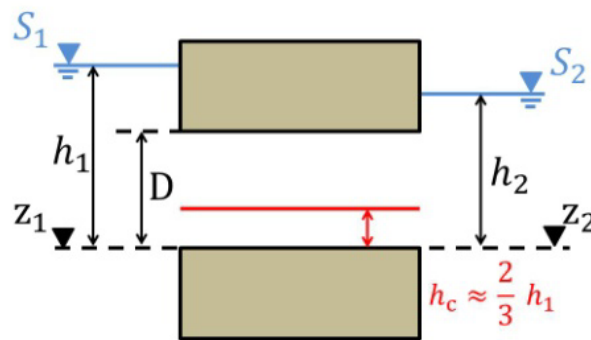
$$\text{Type 5} \rightarrow Q = \mu DW \sqrt{2gh_1} \quad (12)$$

$$\text{Type 6} \rightarrow Q = \mu DW \sqrt{2g(S_1 - (z_2 + D))} \quad (13)$$

Waarbij Q het debiet door de koker is [m^3/s], W de breedte van de koker [m], D de hoogte van de koker [m], μ de verliescoëfficiënt [-], S_1 de waterstand aan de inlaat [m], S_2 de waterstand aan de uitlaat [m], h_1 de waterhoogte boven de bodem van de koker aan de inlaat [m], h_2 de waterhoogte boven de bodem van de koker aan de uitlaat [m], h_c de kritische waterhoogte in de koker [m] (hiervoor wordt praktisch aangenomen dat dit $2/3$ van h_1 is), z_1 de hoogteligging van de bodem van de koker aan de inlaat [m], en z_2 de hoogteligging van de bodem van de koker aan de uitlaat [m] is.

Figuur 35 geeft een schematische voorstelling van hierboven vernoemde parameters.

Figuur 35 – Schematische voorstelling van een koker met de verschillende parameters



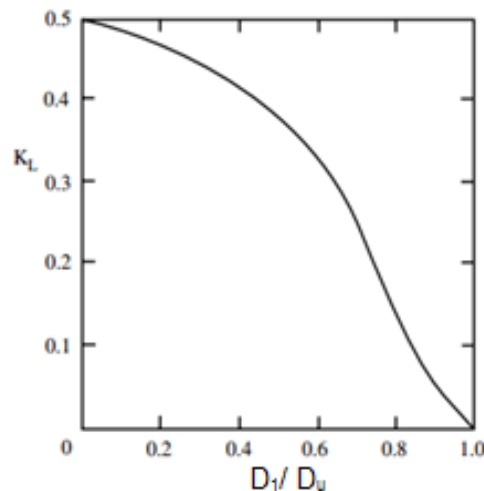
5.3 Lokale verliezen

Zoals beschreven in de voorgaande paragraaf wordt de dimensieloze coëfficiënt (μ) opgebouwd uit verschillende lokale verliescoëfficiënten. In deze paragraaf worden deze lokale verliescoëfficiënten opgesomd en kort besproken.

C_1 – Verlies door contractie aan de ingang

C_1 is de verliescoëfficiënt veroorzaakt door de plotse vernauwing aan de ingang van de koker. Na het dagvlak van de inlaat zal de stroming lokaal loslaten waardoor de werkelijke sectie met stroming hier kleiner zal zijn dan in het dagvlak van de inlaat. Hierdoor zal de stroomsnelheid licht afnemen net achter de vernauwing. Een relatie tussen C_1 en de grootte van de contractie van de stroming is opgesteld door Larock *et al.* (2000) en is terug te vinden in Figuur 36.

Figuur 36 – Lokale verlies coëfficiënt bij een plotse vernauwing, i.e. de verhouding tussen de diameter voor (D_u) en na (D_i) de vernauwing (volgens Larock *et al.*, 2000).



C_p – Verliescoëfficiënt door aanwezigheid van pilaar of tussenschotmuur

Soms wordt een koker aan de ingang of uitgang in twee delen verdeelt door een pilaar of kolom. Carlier (1972) gaf voor deze verliescoëfficiënt een formule:

$$C_p = \beta \left(\frac{L_p}{b} \right)^{4/3} \sin \theta \quad (14)$$

- Met:
- L_p de breedte van de pilaar [m]
 - b de afstand tussen twee opeenvolgende pilaren [m]
 - β een coëfficiënt die afhankelijk is van de dwarssectie van de pilaar [-]. Volgens Carlier (1972) is β gelijk aan 2.42 voor rechthoekig gevormde pilaren en 1.67 voor meer afgeronde pilaren.
 - θ de hoek tussen de pilaar en het horizontaal vlak [°]. Meestal is deze hoek 90° en is de $\sin \theta$ dan gelijk aan 1.

Deze verliescoëfficiënt is op zich niet opgenomen in de code, maar indien aanwezig kan de waarde opgeteld worden bij verliescoëfficiënt C1.

C_2 – Verliescoëfficiënt door wrijving langheen de binnenwand

De formule voor deze verliescoëfficiënt is voorgesteld door (Lencastre & Valembois, 1961):

$$C_2 = \frac{2gLn^2}{R^{4/3}} \quad (15)$$

- Met:
- L de lengte van de koker is [m]
 - n de Manning wrijvingscoëfficiënt [$s/m^{1/3}$]
 - R de natte dwarssectie in de koker [m^2]

Deze coëfficiënt wordt elke tijdstap berekend op basis van de waterhoogte in de koker (voor bepalen van natte sectie) en de lengte en wrijvingscoëfficiënt.

C_3 – Verliescoëfficiënt door verbreding aan uitgang

C_3 is de verliescoëfficiënt veroorzaakt door de plotse verbreding bij de uitgang van de koker. Volgende formule¹ werd hiervoor gebruikt (Lencastre & Valembois, 1961):

$$C_3 = \left(1 - \frac{A_s}{A_{s2}}\right)^2 \quad (16)$$

Met: A_s dwarssectie net binnen de koker [m²]

A_{s2} dwarssecties net buiten de koker [m²]

C_V – Verliescoëfficiënt door de aanwezigheid van een klep

Deze coëfficiënt is afhankelijk van het type klep en van de openingshoek die deze klep bereikt. Lencastre (1961) geeft enkele waarden voor deze coëfficiënt in functie van de openingshoek in Tabel 10.

Tabel 10 – Verliescoëfficiënt door aanwezigheid van een klep en in functie van de openingshoek van deze klep (volgens Lencastre & Valembois (1961))

	C_V
Wide open	0.2
¾ open	1.
½ open	5.6
¼ open	17

C_{Trash} – Verlies coëfficiënt door aanwezigheid van vuilrooster

Vuilroosters kunnen aanwezig zijn voor kokers om te vermijden dat ze verstopt raken met drijfvuil. Deze verliescoëfficiënt beschrijft enkel het verlies door het vuilrooster zelf en houdt geen rekening met eventueel vuil dat op of tegen het rooster aanligt. Hier wordt een formule gebruikt van Wahl (1992):

$$C_{trash} = (1.45 - 0.45A_{trash} - A_{trash}^2) \quad (17)$$

waarbij $A_{trash} = \frac{A_{net}}{A_{gross}}$ de verhouding tussen netto doorstroomopening en roosteroppervlak weergeeft. De waarde van deze verlies coëfficiënt kan variëren tussen 0 (voor $A_{trash} = 1$, het equivalent van geen vuilrooster aanwezig) tot $C_{trash} = 1.4$ (waarbij $A_{trash} = 0$, waarbij het rooster zoveel plaats inneemt dat er nog maar weinig doorstroming mogelijk is). In de praktijk kan deze coëfficiënt veel groter worden door ook het drijfvuil zelf mee in rekening te brengen.

¹ Deze formule wordt ook de Borda-Carnot formule genoemd, naar Jean-Charles de Borda (1733–1799) and Lazare Carnot (1753–1823).

5.4 Kokerparameters

In de debietberekeningen worden maatgevende parameters opgegeven die eigen zijn aan de verschillende kokers in de constructies. Deze zgn. ‘kokerparameters’ worden besproken in deze paragraaf. Bij kalibratie van de debieten worden vooral de verliescoëfficiënten licht aangepast zodat het berekende debiet dicht bij het opgemeten debiet komt te liggen. Per constructie zal een lijst met de waarden voor deze parameters gegeven worden. Elke koker heeft twee openingen: 1 en 2 (zie ook Figuur 35). Afhankelijk van de stroomrichting is zijde 1 of 2 de ingang en/of uitgang. Tabel 11 geeft een overzicht van de kokerparameters. Hier wordt verder niet ingegaan op de opbouw van de code en de berekening van alle parameters. Indien verdere informatie gewenst is, wordt verwezen naar Smolders *et al.* (2016a).

Tabel 11 – Opsomming kokerparameters voor berekening kokerdebieten

Koker parameter naam in de code	beschrijving	komt overeen met ...
CE1	verliescoëfficiënt ingang zijde 1 van de koker [m]	$C_1 + C_p$
CE2	verliescoëfficiënt ingang zijde 2 van de koker [m]	$C_1 + C_p$
CS1	verliescoëfficiënt uitgang zijde 1 van de koker [m]	$C_3 + C_p$
CS2	verliescoëfficiënt uitgang zijde 2 van de koker [m]	$C_3 + C_p$
LARG	breedte van de koker [m]	
HAUT1	hoogte van opening koker aan zijde 1 [m]	D aan zijde 1 in Figuur 35
CLP	parameter die richting van doorstromen kan bepalen (0 beide stroomrichtingen zijn mogelijk = geen klep aanwezig; 1 = alleen stroming van zijde 1 naar 2 mogelijk; 2 = alleen stroming van zijde 2 naar 1; 3 = geen stroming mogelijk)	
RD1	hoogteligging bodem van de koker aan zijde 1 [m t.o.v. bepaald referentieniveau bv. TAW]	z1 in Figuur 35
RD2	hoogteligging bodem van de koker aan zijde 2 [m t.o.v. bepaald referentieniveau bv. TAW]	z2 in Figuur 35
CV	verliescoëfficiënt door aanwezigheid van een klep [m]	C_v
C56	parameter bepaald verschil tussen stromingstype 5 en 6	
CV5	correctie factor voor verliescoëfficiënt CV bij stromingstype 5 [-]	
C5	correctie factor voor verliescoëfficiënt CE bij stromingstype 5 [-]	
TRASH	verliescoëfficiënt door aanwezigheid van vuilrooster [m]	C_{TRASH}
HAUT2	hoogte van opening koker aan zijde 2 [m]	D aan zijde 2 in Figuur 35
FRIC	Manning Strickler coëfficiënt gebruikt in vergelijking 15 [$\text{sm}^{-1/3}$]	gebruikt voor berekening C_2
LONG	lengte van de koker [m]	gebruikt voor berekening C_2
CIR	parameter die bepaalt of formules voor rechthoekige (=0) of ronde (=1) kokers gebruikt wordt	gebruikt voor berekening C_2

6 Kalibratie en validatie debieten

6.1 GOG-GGG Bergenmeersen

Voor Bergenmeersen wordt de 13-uursmeting van 11 september 2014 gebruikt om de kokerparameters (zie paragraaf 0) te kalibreren. De 13-uursmeting van 22 september 2016 wordt vervolgens gebruikt voor de validatie. Om debieten te kunnen berekenen is een zeer betrouwbare tijdreeks van de waterstanden net opwaarts en net afwaarts de in- en uitlaatconstructie nodig. Een afwijking van 0.01 m geeft al grote afwijkingen in het berekende debiet. Voor de inwatering in Bergenmeersen is het debiet vooral afhankelijk van de waterstand in de Schelde nabij de inlaatconstructie. De waterstanden in het gebied zelf blijven meestal laag genoeg om de inwatering niet te verstoren. Bij de uitwatering liggen de waterstanden in en net buiten het gebied zeer dicht bijeen. Het is in deze fase dat de gevoeligheid van de vergelijkingen, voor zelfs die ene centimeter verschil, zeer belangrijk wordt.

6.1.1 Kalibratie september 2014

De constructie van Bergenmeersen werd reeds voorgesteld in paragraaf 2.1. Deze constructie heeft echter enkele onderdelen die niet goed passen in een goede berekening van debieten door een koker. Een eerste moeilijkheid zijn de schotbalken die aangebracht zijn bij de inwateringskokers. Deze werden aangebracht om het moment waarop de inwatering begint, uit te stellen tot een iets hoger waterpeil in de Schelde bereikt is. Dit wordt in de vergelijkingen aangepakt door de hoogteligging van de bodem van de koker te verhogen. Een tweede moeilijkheid vormen de spindelschuiven. Bij de constructie van Bergenmeersen zijn deze voor een groot deel dichtgedraaid om de toevoer van Scheldewater te knijpen. Dit werd in de berekeningen aangepakt door te spelen met de hoogte van de kokers. Beide redenen zorgen voor mogelijke extra afwijkingen tussen berekend en gemeten debiet.

Tijdens de 13-uursmeting van 11 september 2014 werden debieten gemeten met een StreamPro ADCP. Met Divers werd de waterstand net stroomopwaarts en stroomafwaarts van de constructie gemeten. De afmetingen van de kokers zijn bekend, de hoogte van de schotbalken voor elke koker is opgemeten en er is ook genoteerd hoever de spindelschuiven dichtgedraaid waren (zie Tabel 1).

Figuur 37 geeft voor de 13-uursmeting de gemeten waterstanden en de gemeten debieten (voorgesteld door gele bolletjes). De berekende debieten voor inwatering zijn aangegeven met een blauwe lijn en voor uitwatering met een oranje lijn.

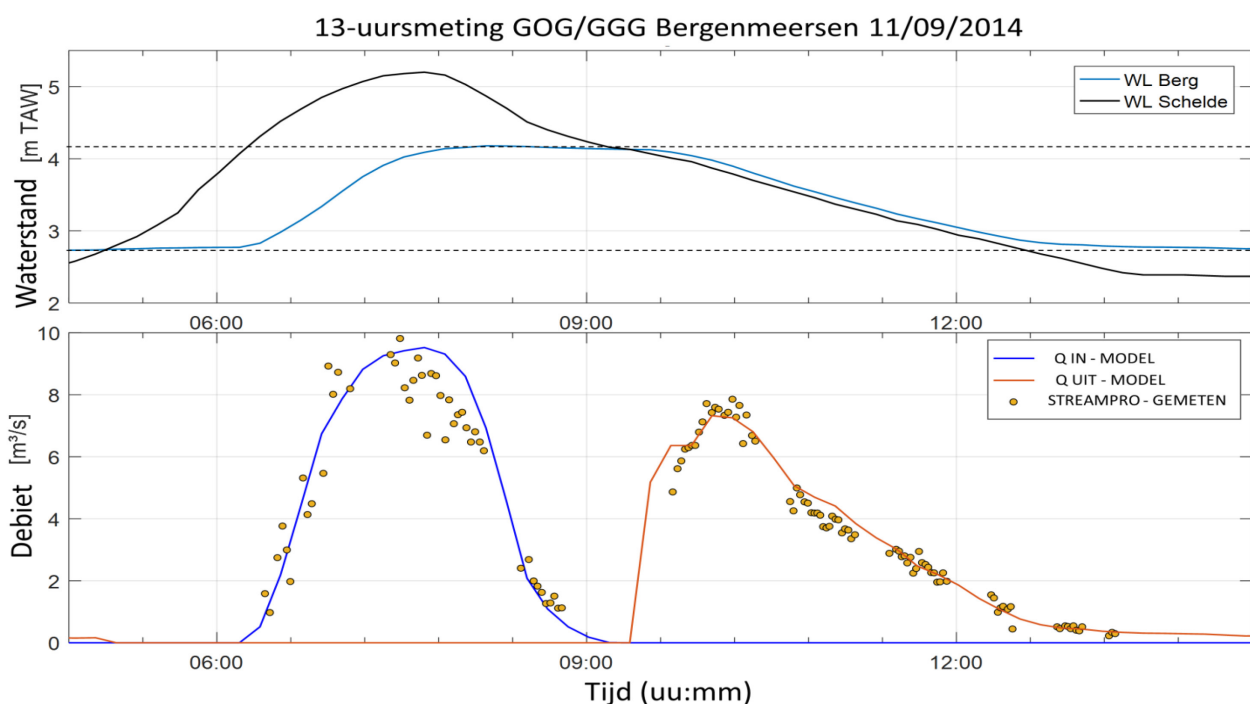
De gebruikte parameterwaarden worden hieronder weergegeven in Tabel 12:

Tabel 12 – Overzicht kokerparameterwaarden gebruikt voor GGG Bergenmeersen

parameter	inlaat kokers ^[1]						uitlaat kokers					
	1	2	3	4	5	6	3a	3b	4a	4b	5a	5b
CE1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CE2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CS1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CS2	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
LARG	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
HAUT1 ^[2]	0.35	0.35	0.35	0.45	0.25	0.35	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
CLP	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2
RD1	4.5	4.5	4.35	4.2	4.2	4.2	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
RD2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
CV	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
C56	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
CV5	0	0	0	0	0	0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
C5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
TRASH	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
HAUT2	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
FRIC	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
LONG	1	1	1	1	1	1	9	9	9	9	9	9
CIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- [1] De kokers zijn genummerd van stroomopwaarts naar stroomafwaarts zoals in Figuur 1.
- [2] De hoogte van de inlaat kokers aan de rivierzijde is afhankelijk van de aanwezigheid van schotbalken en van de mate dat de spindelschuiven naar beneden zijn gelaten. Deze getallen komen per koker niet noodzakelijk overeen met de waarden voor de schotbalken en spindelschuiven opgegeven in Tabel 1 omdat deze in de tijd aangepast zijn. Na kalibratie zijn wel de waarden op het tijdstip van de meting gebruikt.

Figuur 37 – Waterstanden en debieten berekend en gemeten voor 13-uursmeting Bergenmeersen 11 september 2014



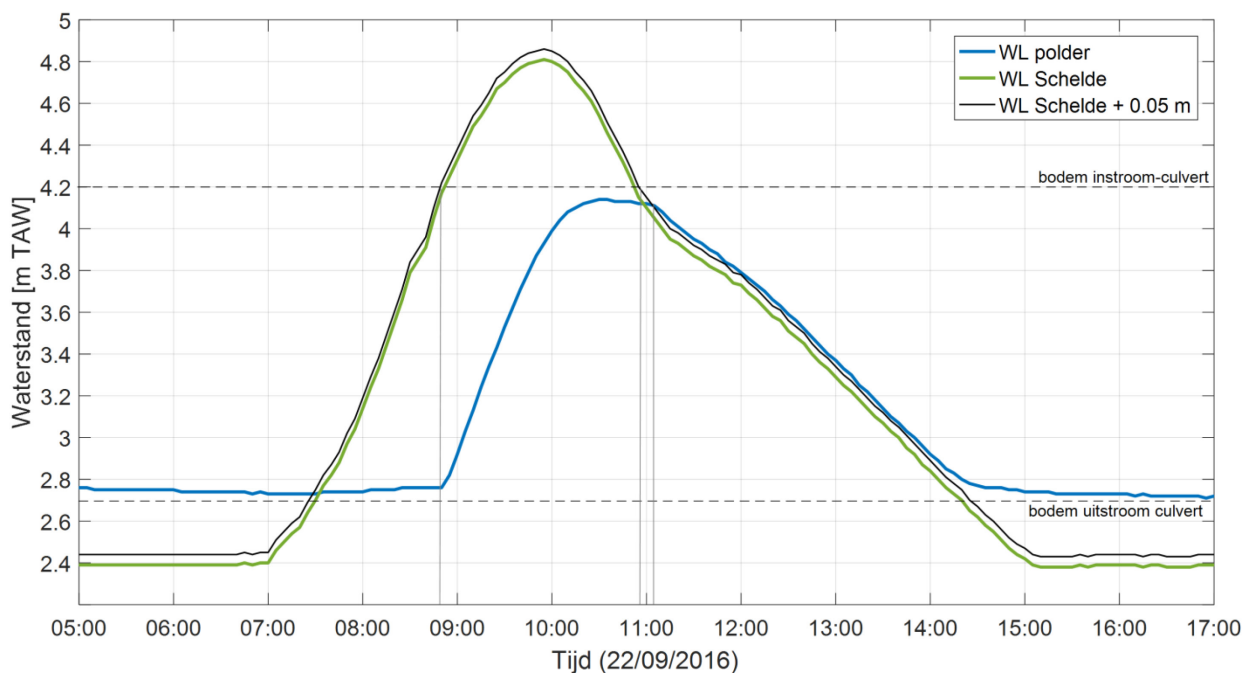
6.1.2 Validatie september 2016

Voor de validatie wordt gebruik gemaakt van de 13-uursmeting van 22 september 2016. Hiervoor werden de constructieparameters niet meer veranderd. Echter, er werden voor deze 13-uursmeting onregelmatigheden vastgesteld bij het aflezen van de exacte hoogtebepaling van de locatie van de divers. Dit geeft een extra onzekerheid op de gemeten waterstanden. Indien er bijvoorbeeld op de waterstanden een verschil zit van 0.01 m heeft dit direct effect op het tijdstip van uitwatering in het model en op het verval tussen waterstand binnen en buiten het GGG. Dit verval heeft vervolgens weer een direct effect op de debieten van de in- en uitwatering. Als dit verval continu veel groter wordt geschat, dan kan het uitwateringsdebiet fel overschat worden. Ter controle kan er steeds nagegaan worden dat het totale volume dat buiten stroomt niet veel groter kan zijn dan het volume water dat eerst binnen is gestroomd.

Bij deze meetcampagne werd er naast de StreamPro ADCP debietmetingen ook een IQ ADCP in een uitwateringskoker geplaatst als extra debietmeting. Ook deze metingen werden in de analyse opgenomen.

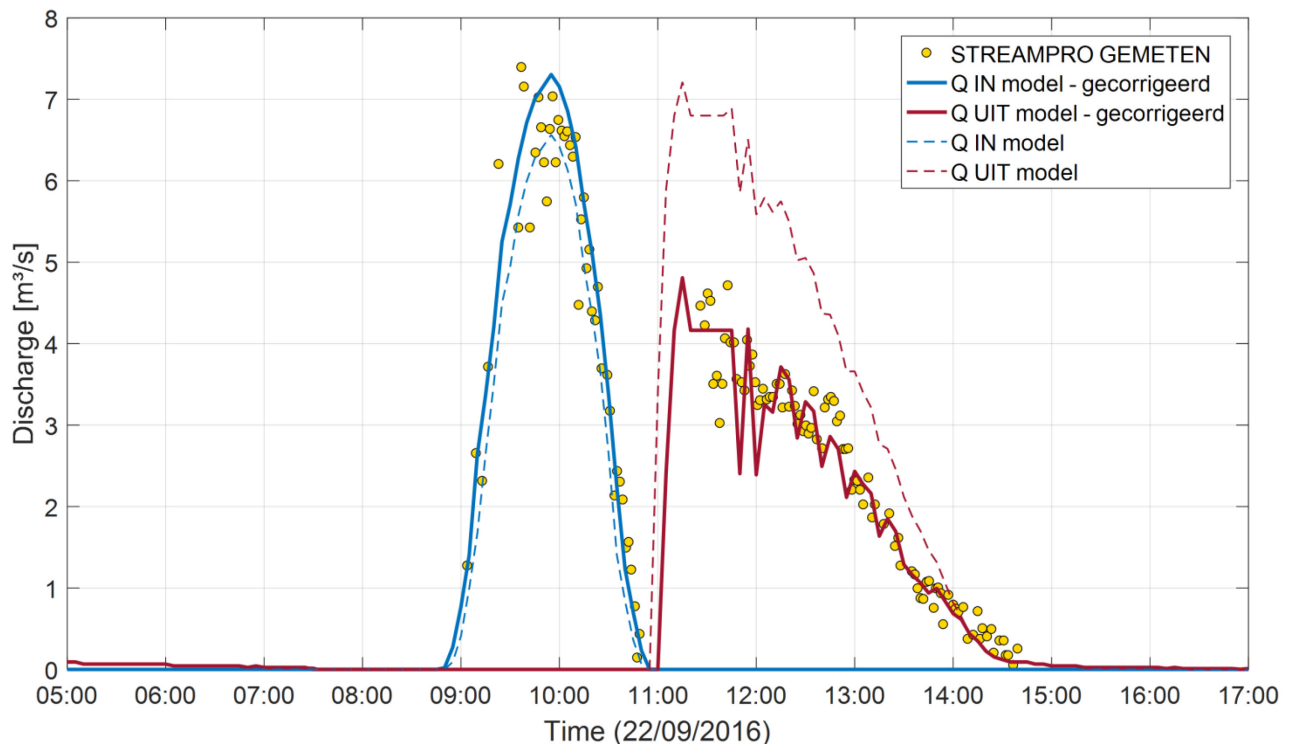
Na enkele proefberekeningen werd beslist om de gemeten waterstanden buiten (dus aan de Schelde kant) met 0.05^2 m te verhogen (Figuur 38). Deze beslissing werd genomen op basis van tijdstip start uitwatering en op basis van de berekende debieten met de originele tijdreeksen waarbij het volume water van de uitwatering steeds veel groter was dan het volume water dat in het GOG-GGG vloeit (zie Figuur 39). Wanneer het verschil in hoogwaterstanden tussen tijpost Schoonaarde en tijpost Wetteren wordt verdeeld op basis van relatieve afstanden van Bergenmeersen tot deze tijposten dan liggen de verhoogde waterstanden van de meetreeksen ook dicht bij deze geïnterpoleerde hoogwaterstanden.

Figuur 38 – Opgemeten waterstanden tijdens de 13-uursmeting te Bergenmeersen op 22/09/2016



² In hoofdstuk 4 werd dit verschil op 0.06 m begroot wat onze aanname van een correctie van 0.05 m uit te voeren ondersteunt.

Figuur 39 – Berekende en gemeten debieten tijdens de 13-uursmeting te Bergenmeersen op 22/09/2016

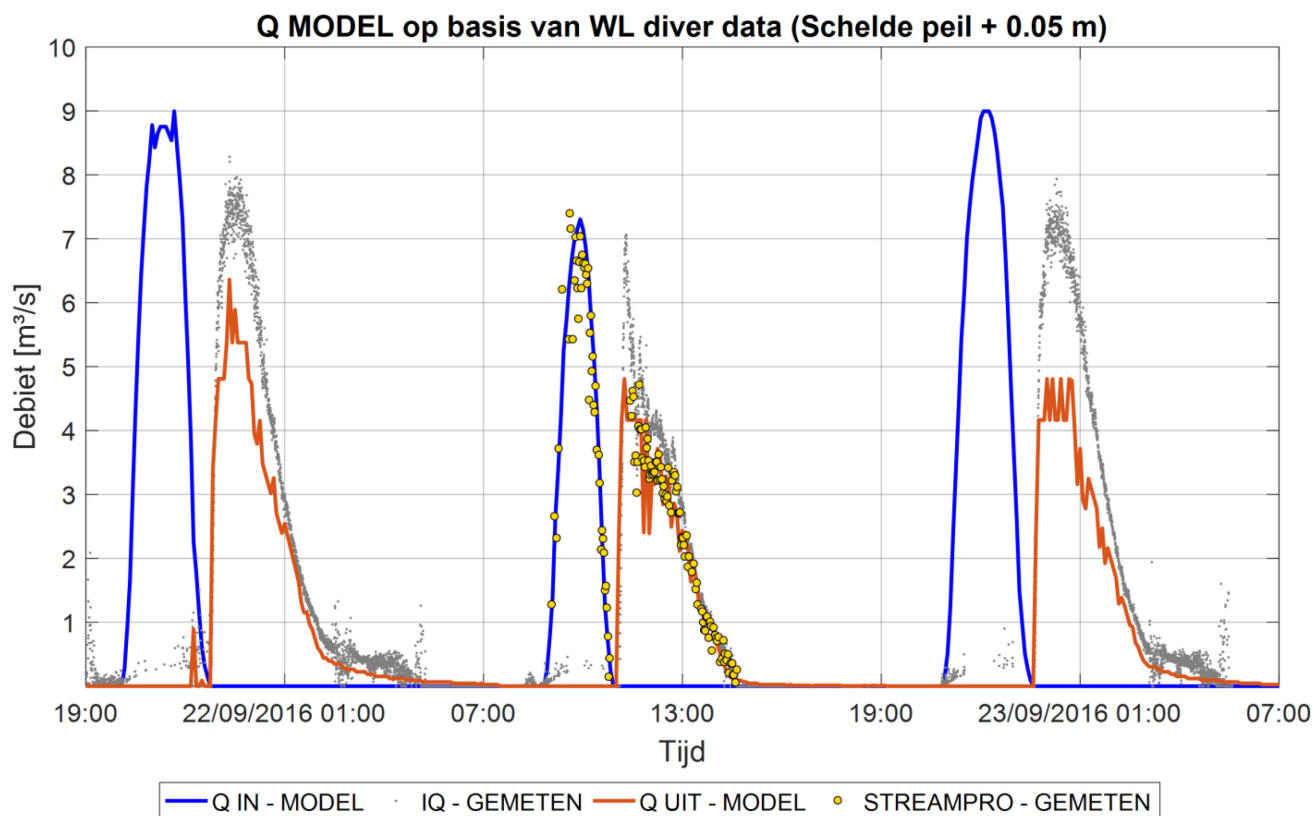


Figuur 40 toont aan dat de debieten gemeten met de IQ ADCP hoger liggen dan deze gemeten met de Streampro. Aangezien het model afgestemd is op de metingen met de Streampro ADCP lijkt het hier alsof het model de uitstroom debieten onderschat. Dit moet in de toekomst uitgeklaard worden, maar aangezien de metingen met de Streampro ADCP al jaren de standaard zijn, houden we hier ook vast aan de metingen van de Streampro.

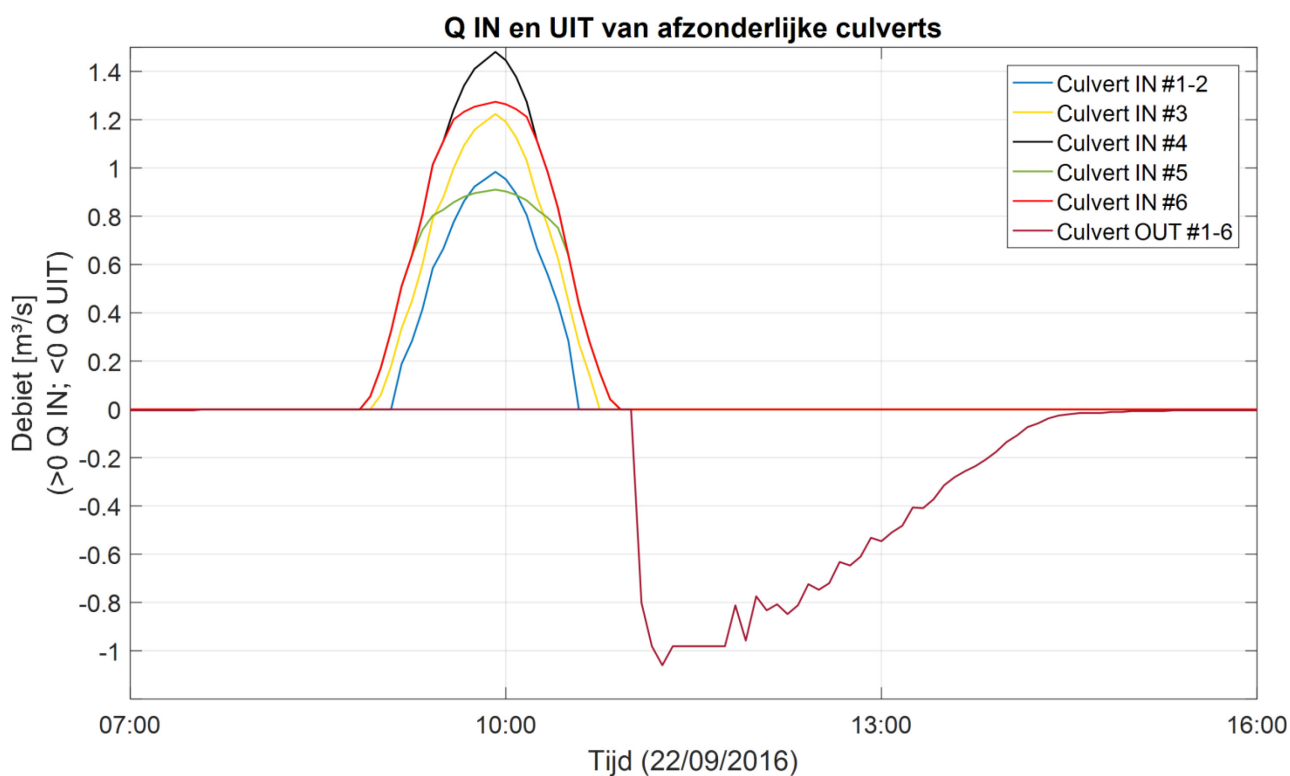
In Figuur 41 zijn de berekende debieten voorgesteld per koker afzonderlijk. De uitwateringskokers zijn alle 6 identiek hetzelfde en dit berekende debiet is in deze figuur als een negatief debiet voorgesteld. Door de verschillende hoogtes van de schotbalken en spindelschuiven zijn de inwateringskokers wel verschillend en dat vertaalt zich naar verschillende berekende debieten per koker.

Tenslotte laat Figuur 42 nog de stroomtypes per koker zien. Hierbij valt op dat de uitwateringskokers ook een stromingstype vertonen tijdens de inwatering. Het is hier dat de parameter CLP een rol speelt (zie paragraaf 0). Omdat er op deze kokers terugslagkleppen aanwezig zijn, is er slechts stroming in een richting mogelijk. Afhankelijk van welke richting is toegelaten (CLP waarde) worden wel debieten berekend, maar deze worden terug op nul gezet indien een bepaalde stroomrichting niet mogelijk is door bv een terugslagklep die aanwezig is. Zonder terugslagklep zou er uiteraard ook een groot debiet door de uitlaatkokers het GOG-GGG binnenkomen.

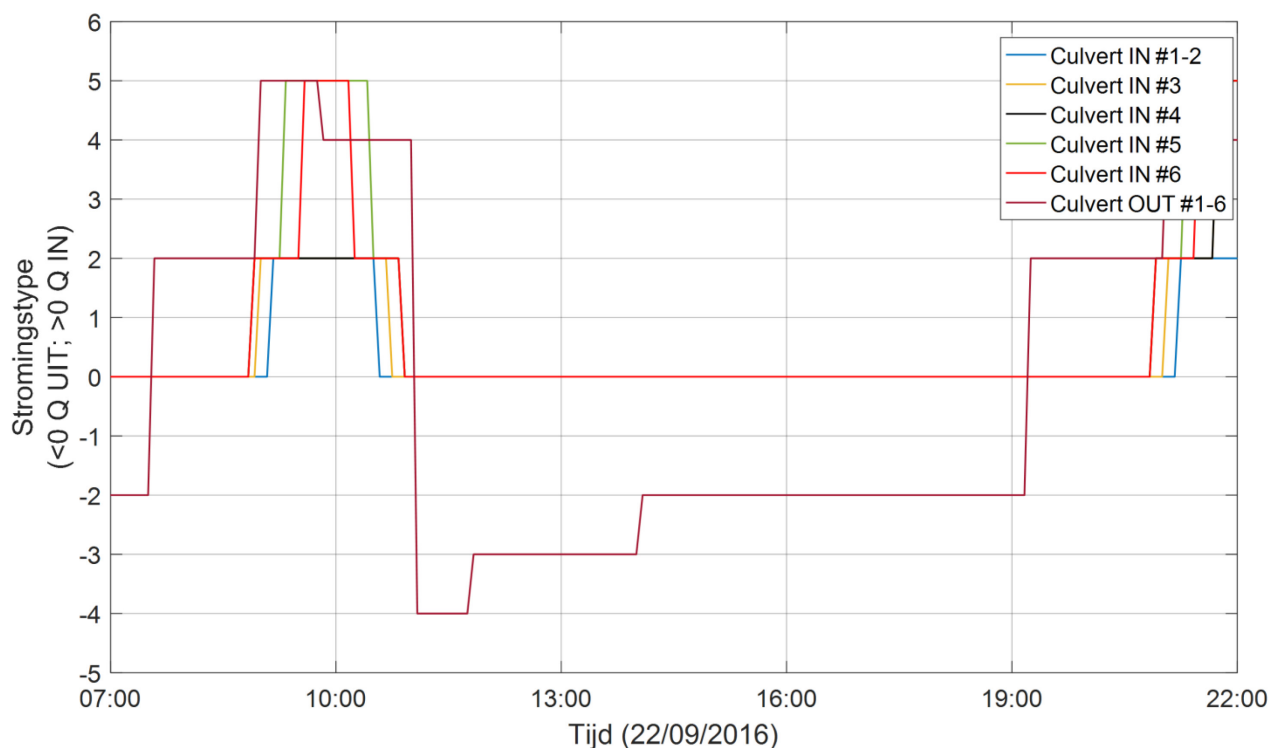
Figuur 40 – Berekende en gemeten debieten (IQ en StreamPro) voor 13-uursmeting 22/09/2016



Figuur 41 – Inwaterings- en uitwateringsdebieten per koker afzonderlijk voor 13-uursmeting Bergenmeersen 22/09/2016



Figuur 42 – Stromingstypes per koker afzonderlijk voor 13-uursmeting Bergenmeersen 22/09/2016



6.1.3 Pet-door-simulaties Bergenmeersen

Bij zogenaamde “pet-door-simulaties” wordt de terugslagklep van de uitwateringskoker gedurende een half uur geopend tot 45° (zie ook laatste deel van paragraaf 4.1.2). Dat half uur start vanaf dat er water door de uitwateringskoker in het gebied begint binnen te stromen. Na een half uur werd de terugslagklep vervolgens terug gesloten. Tabel 14 geeft een overzicht van de pet-door-simulaties op de in- en uitwateringsconstructie van Bergenmeersen in 2016 en 2017. Bij elke meting werd de tijd genoteerd.

De volumes en debieten die tijdens deze pet-door-simulaties voorkomen kunnen net als bij ‘normale’ in- en uitwatering gesimuleerd worden, zoals beschreven in de voorgaande paragrafen. Aangezien het enkel gaat over 1 koker, werden de parameters voor de andere kokers achterwege gelaten. Er werd gewerkt met dezelfde parameterwaarden als bij de kalibratie en validatie. Enkel de parameter CLP, die de doorstroomrichting van de koker weergeeft, werd aangepast zodat er water kon binnenstromen. Er werd verder aangenomen dat de klep voldoende open staat om geen verlies in debiet meer te genereren. Ook de verliescoëfficiënt van het vuilrooster werd voor deze simulatie op nul gezet. De gewijzigde parameterwaarden werden in Tabel 13 in het rood gezet.

Tabel 13 – Culvert parameters pet-door-simulaties

CE1	CE2	CS1	CS2	LARG	HAUT1	CLP	RD1	RD2	CV	C56	CV5	C5	TRASH	HAUT2	FRIC	LONG	CIR
0.5	0.5	0.5	0.5	1.35	1.1	0	2.7	2.7	0	10	1.5	7	0	1.1	0.015	9	0

Voor de simulaties zijn waterstanden van net buiten de constructie nodig en dit enkel voor het eerste halfuur, vanaf het water het bodempeil van de uitwateringskoker bereikt had, i.e. 2.7 m TAW.

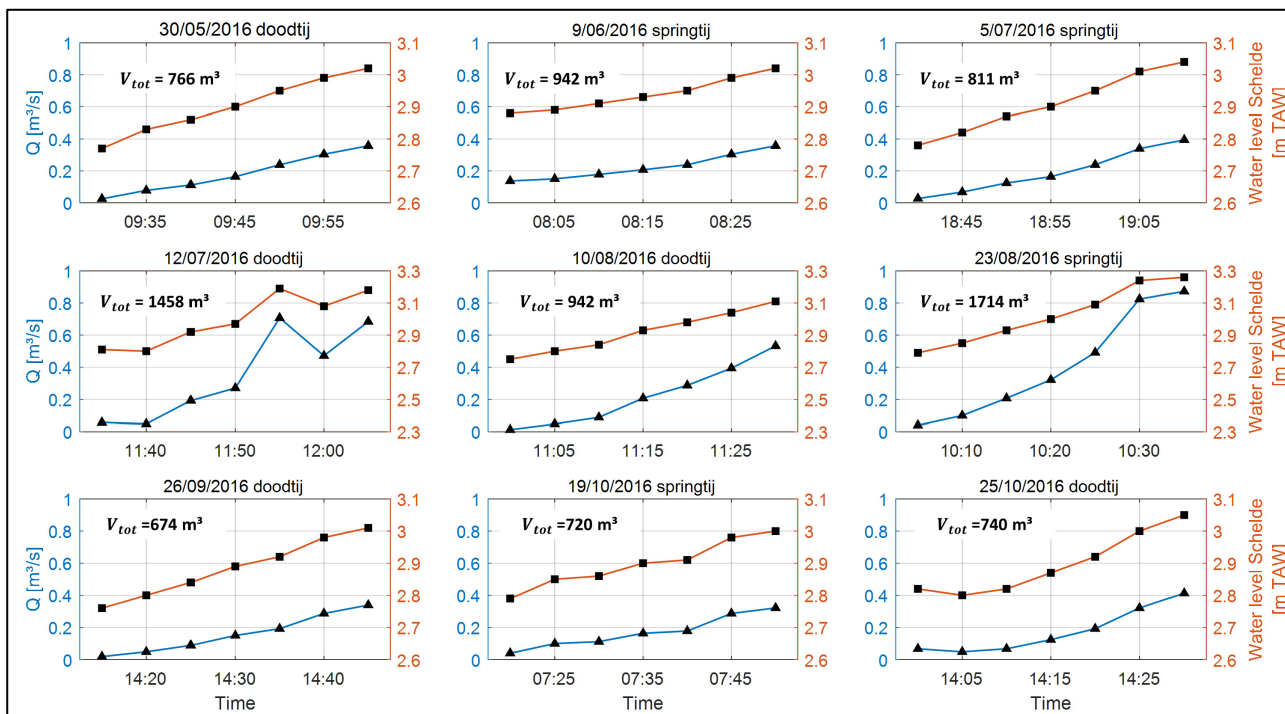
Voor drie metingen was er geen gemeten getij ter hoogte van Bergenmeersen beschikbaar en konden dan ook geen simulaties gedaan worden. Voor de data van de andere metingen konden wel simulaties gemaakt worden. Voor een overzicht zie Tabel 14. Het tijdstip van de simulatie werd ook meegegeven omdat dit soms afweek van het opgegeven tijdstip van de meting. In de laatste kolom zijn ook de berekende volumes, die gedurende het eerste halfuur door de koker stroomden, weergegeven.

Tabel 14 – Overzicht resultaten debietssimulaties voor de pet-door-simulaties te Bergenmeersen

Datum	pet-door (UTC)	type getij	model (UTC)	totaal volume simulatie
30/05/2016	10:00-10:30	doodtij	9:35-10:05	766 m ³
9/06/2016	06:38-07:08	springtij	06:00-06:30	942 m ³
5/07/2016	16:35-17:35	springtij	16:40-17:40	811 m ³
12/07/2016	9:30-10:00	doodtij	9:35-10:05	1458 m ³
10/08/2016	8:55-9:25	doodtij	9:00-9:30	942 m ³
23/08/2016	8:00-8:30	springtij	8:05-8:35	1714 m ³
20/09/2016	6:50-7:20	springtij	geen data	geen data
26/09/2016	12:15-12:45	doodtij	12:15-12:45	674 m ³
19/10/2016	6:00-6:30	springtij	5:20-5:50	720 m ³
25/10/2016	12:00-12:30	doodtij	12:00-12:30	740 m ³
24/03/2017	12:45-13:15	doodtij	geen data	geen data
28/03/2017	17:35-18:05	springtij	geen data	geen data

Figuur 43 geeft de modelresultaten van de pet-door-simulaties weer. Zowel het debiet (blauw) en het totale volume (waarde) als de gemeten waterstand (oranje) worden weergegeven. De gesimuleerde volumes zijn sterk afhankelijk van de opgemeten waterstanden in de Schelde net buiten de in- en uitwateringsconstructie. Er is geen duidelijke trend zichtbaar tussen springtij of doottij. Het is dan ook niet mogelijk om voor de ontbrekende data een uitspraak te doen over de mogelijke volumes die bij de pet door meting zijn binnengestroomd. Op momenten dat de waterstand binnen het eerste halfuur dezelfde hoogte bereikt als tijdens de IQ meting (i.e. 3,15 m TAW; zie Figuur 26), zoals bv het springtij van 23/08/2016, geeft het gesimuleerde debiet vergelijkbare waarden weer.

Figuur 43 - Resultaten pet-door-simulatie Bergenmeersen: debieten in het blauw en waterstanden in het oranje.
De tijden weergegeven op de figuren, komen overeen met lokale tijd.



6.2 GOG-GGG Bazel

6.2.1 Kalibratie Bazel Noord september 2016

Het inschatten van de debieten in het GOG-GGG Bazel is een stuk complexer dan bij Bergenmeersen. Het GOG-GGG is ten eerste al veel groter en de in- en uitwatering is verdeeld over 2 respectievelijk 3 locaties (in het meest stroomafwaartse deel is nog een oude uitwateringskoker aanwezig). Bovendien komt er aan polderzijde ook nog een debiet toe van een beek. Verder werd ook nog een lekdebet vastgesteld doorheen de terugslagkleppen van de uitwateringsconstructie (zie paragraaf 4.2.2). In tegenstelling tot GOG-GGG Bergenmeersen liggen in- en uitwatering te Bazel naast elkaar in plaats van boven elkaar. Voor het totaal debiet dat het gebied binnenkomt kunnen we stellen dat:

$$Q_{IN} = Q_{inw} + Q_{lek} + Q_{beek}$$

waarbij:

- Q_{inw} het debiet door de inwateringskokers
- Q_{lek} het lekdebet dat door niet goed sluitende kleppen door de uitwateringskokers naar binnen loopt.
- Q_{beek} het debiet van de beek die achteraan het gebied binnen komt.

In de inwateringskokers van zowel Bazel Noord als Bazel Zuid werden schotbalken geplaatst die tot 0.6 en 0.7 m boven de koker bodem komen. Bij een lagere waterstand in de Schelde, waarbij het water nauwelijks tot boven deze schotbalken komt, schieten de bovenvermelde kokervergelijkingen te kort en spreken we meer van een standaard scherpe overlaat. De kokervergelijkingen zijn niet voorzien op dergelijk hoge schotbalken.

Toch werd een poging gedaan om de debieten die in en uit het gebied stromen te berekenen met behulp van de kokerformules (zie hoofdstuk 5). De data van de 13-uursmeting van 14 september 2016 op de constructie van Bazel Noord werd gebruikt om de modelparameters te kalibreren. Bij gebrek aan een tweede dataset op dezelfde constructie, werd het model gevalideerd op de data van de 13-uursmeting van dezelfde dag op de constructie van Bazel Zuid. Beide constructies zijn zeer gelijkaardig, waarbij Bazel Zuid dubbel zoveel inwateringskokers heeft als Bazel Noord, namelijk 2. De afmetingen van de kokers werden in paragraaf 2.2 van dit rapport beschreven.

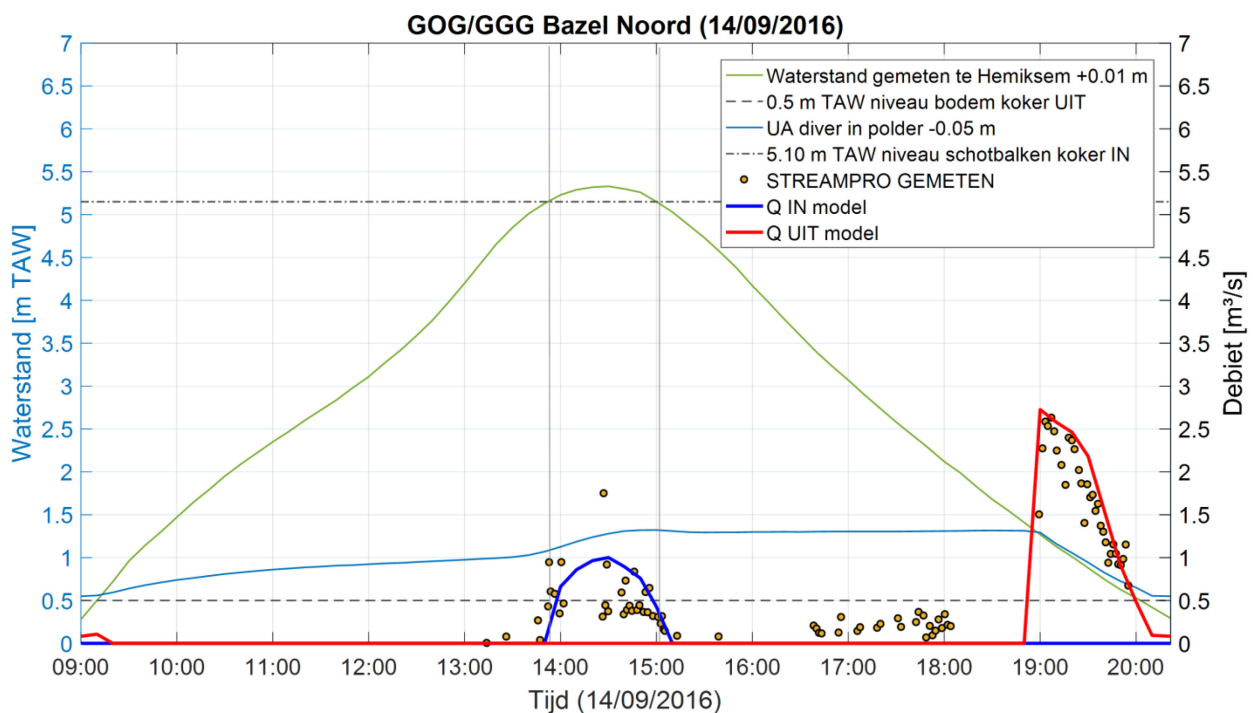
Voor de waterstanden in de Schelde werd gebruik gemaakt van de tijpost Hemiksem, die net stroomopwaarts van de constructie ligt. Voor de waterstanden in het gebied werd beroep gedaan op Divermetingen van UA. Deze Divers stonden opgesteld net opwaarts van de uitwatering in het gebied. De waterstanden door deze Divers opgemeten, zal daarom een klein beetje hoger ingeschat worden dan de waterstand vlakbij de uitwateringskokers. Bij kalibratie werd gekeken naar het verval tussen de waterstand in het gebied en de Schelde. Hierbij werd er 0.05 m van de Diver waarden van de UA afgetrokken en voor Bazel Noord werd bij de waterstand van de tijpost Hemiksem 0.01 m bijgeteld. Figuur 44 toont beide waterstandsreeksen tijdens de 13-uursmeting. Deze figuur geeft ook de opgemeten debieten en de gemodelleerde debieten weer. Bij de gemeten inwateringsdebieten merken we rond 15:30 één veel hogere waarde dan de rest van de metingen. In eerste instantie werd met deze waarde rekening gehouden bij de kalibratie, maar bij de validatie met de data van Bazel Zuid werd duidelijk dat dit punt als outlier beschouwd kan worden. De waarden in Figuur 44 geven meteen de gekalibreerde toestand van het model weer.

De parameters van het model worden hieronder weergegeven in Tabel 15 – Parameter waarden kokers GGG Bazel Noord. Aangezien de constructies in het GOG-GGG Bazel verschillend zijn van deze bij Bergenmeersen, verschillen ook de modelparameters die de fysische afmetingen weergeven. Voor de uitwatering werden sterk bevulde vuilroosters waargenomen op het terrein en deze coëfficiënt werd dan ook sterk verhoogd t.o.v. Bergenmeersen. Ook de verliescoëfficiënt voor de kleppen werd verhoogd omdat de terugslagkleppen bij Bazel veel zwaarder zijn en dus minder ver zullen openen bij uitwatering. De eerste rij stelt de inwateringskoker voor. De laatste vijf rijen stellen de uitwateringskokers voor.

Tabel 15 – Parameter waarden kokers GGG Bazel Noord

CE1	CE2	CS1	CS2	LARG	HAUT1	CLP	RD1	RD2	CV	C56	CV5	C5	TRASH	HAUT2	FRIC	LONG	CIR
0.9	0.5	0.5	0.5	2.6	1.7	0	4.7	5.15	0	10	0	7	0	1.25	0.015	0.1	0
0.5	0.5	0.5	0.5	2.6	2.1	2	0.5	0.5	3	10	1.5	7	2	2.1	0.015	37	0
0.5	0.5	0.5	0.5	2.6	2.1	2	0.5	0.5	3	10	1.5	7	2	2.1	0.015	37	0
0.5	0.5	0.5	0.5	2.6	2.1	2	0.5	0.5	3	10	1.5	7	2	2.1	0.015	37	0
0.5	0.5	0.5	0.5	2.6	2.1	2	0.5	0.5	3	10	1.5	7	2	2.1	0.015	37	0
0.5	0.5	0.5	0.5	2.6	2.1	2	0.5	0.5	3	10	1.5	7	2	2.1	0.015	37	0

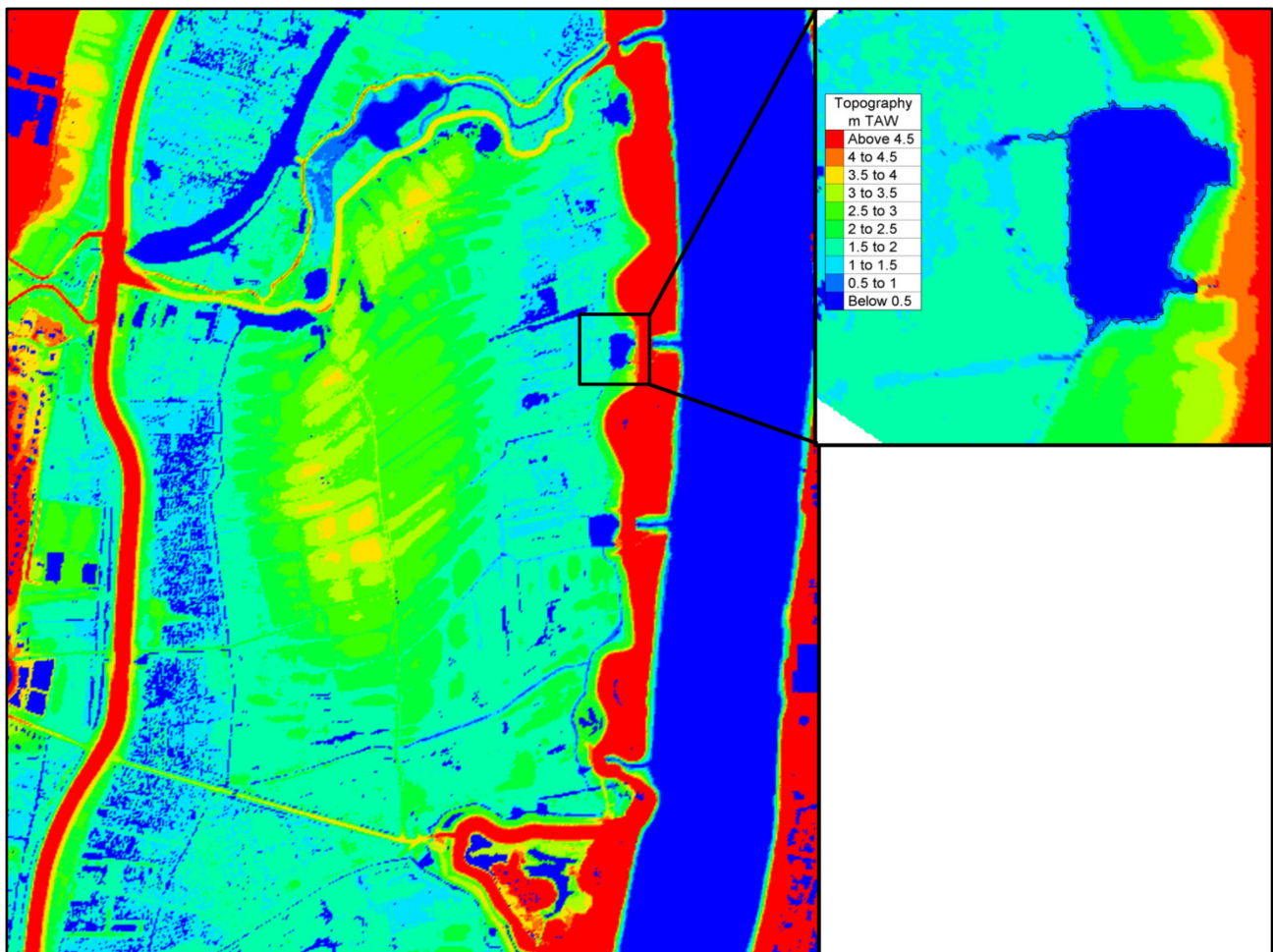
Figuur 44 – Vergelijk gemeten en gemodelleerde debieten voor GGG Bazel Noord tijdens 13-uursmeting 14/09/2016



In Figuur 44 is te zien dat hoewel er geen inwatering is door de kokers, de waterstand in het GOG-GGG toch stijgt. Een bezoek aan het gebied, bracht aan het licht dat er een lekdebet stroomt door de uitwateringsconstructie naar binnen toe. Enkele van de terugslagkleppen sluiten niet volledig af en wanneer de waterstand in de Schelde het niveau van deze kleppen bereikt, stroomt er water door de uitwateringsconstructie terug naar binnen. In de figuur zien we dat de waterstand in het gebied stijgt van ongeveer 0.55 m TAW tot 1.05 m TAW voordat de eigenlijke inwatering begint. Figuur 45 toont de topografie van GGG Bazel en er is ingezoomd op de constructie van Bazel Noord. We kunnen zien dat onder de 1 m TAW het meeste water zich in de kom achter de uitwateringsconstructie bevindt. De oppervlakte van die kom bedraagt ongeveer 3600 m². Indien op deze oppervlakte het water stijgt van 0.55 m TAW tot 1.05 m TAW, kan hieruit een volume geschat worden, i.e. 3600 m² * 0.5 m = 1800 m³. En deze stijging

realiseert zich over een tijdspanne van 4,5 uren (16200 s). Hiermee kan het debiet dat binnenstroomt ruwweg op 0.1 m³/s geschat worden. Hierbij wordt aangenomen dat een deel van dit debiet ook afkomstig is van de beek die het debiet vanuit de achterzijde van de polder voedt. In Figuur 44 is ook te zien dat de waterstand in het gebied niet veel meer stijgt na de inwatering. Op dat moment is de kom aan de uitwateringsconstructie reeds volledig gevuld en extra water dat eventueel nog binnenkomt, zal over een veel groter gebied/oppervlakte verspreid worden en geen aanleiding meer geven tot grote veranderingen in het waterpeil.

Figuur 45 – Topografie GGG Bazel met zoom van Bazel Noord constructie



6.2.2 Validatie Bazel Zuid september 2016

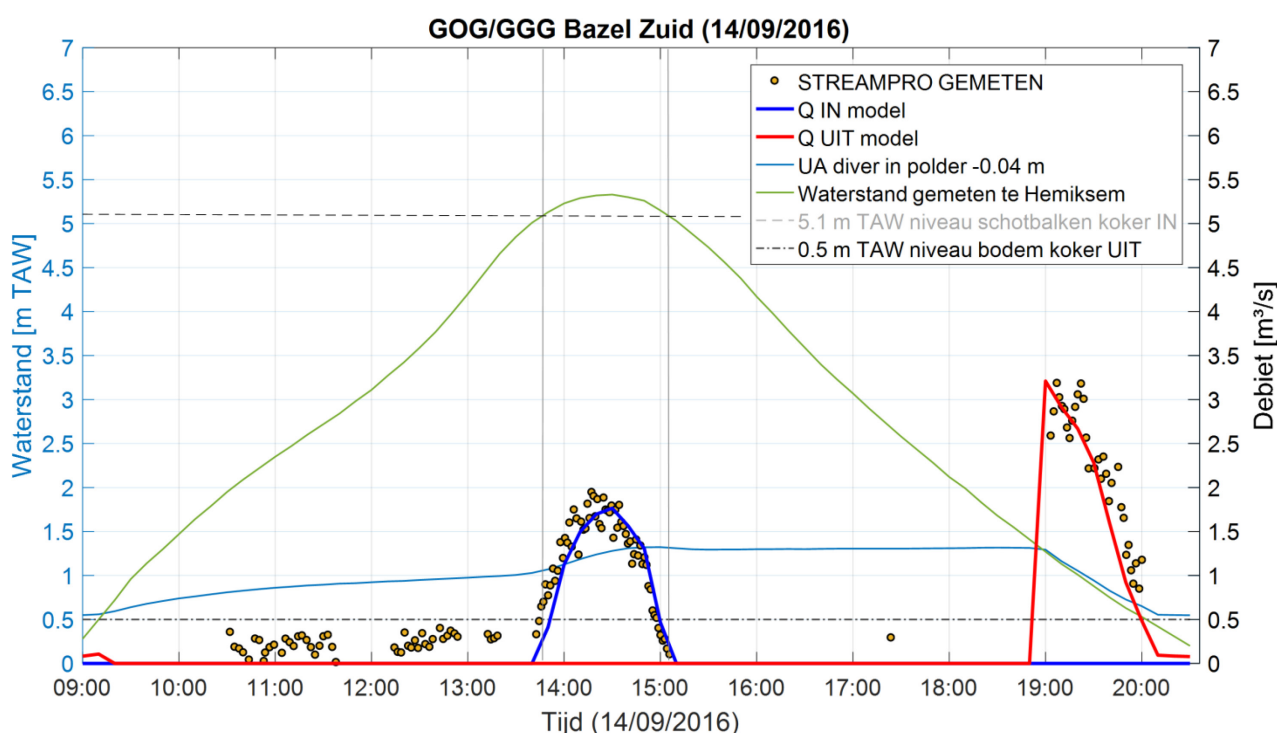
Voor de validatie werden dezelfde model parameters gebruikt als bij de kalibratie bij Bazel Noord. Aangezien deze constructie een dubbele inwateringskoker heeft; werd de eerste lijn gekopieerd zodat er bij deze validatie oefening dubbel zoveel inwateringskokers zijn dan bij Bazel Noord (2 in plaats van 1). De waterstanden van de tijpost Hemiksem werden voor Bazel Zuid niet gecorrigeerd met 0.01 m zoals bij Bazel Noord (Bazel Zuid ligt veel dichterbij de tijpost dan Bazel Noord). De waterstanden van de Diver meting van de UA werden naar beneden gecorrigeerd met 0.04 m.

Figuur 46 toont de waterstanden in de Schelde en in het gebied voor de 13-uursmeting bij Bazel Zuid. Verder toont deze figuur de gemeten debieten (waarbij ook het lekdebiet werd opgemeten) en de gemodelleerde debieten. De figuur toont duidelijk een goede overeenkomst tussen model en meting.

Ook bij deze constructie is een lekdebiet te zien. Er gelijkaardige stijging in waterstand van 0.55 m TAW tot 1.05 m TAW is ook hier te zien. In Figuur 45 op de topografie van het GGG Bazel is te zien dat ook Bazel Zuid een kom heeft aan de uitwateringsconstructie. De oppervlakte van deze kom (berekende oppervlakte van gebied dat lager ligt dan 1.05 m TAW) bedraagt 4800 m². Bij een stijging van een halve meter wordt hier dus een 2400 m³ water opgeslagen. Over dezelfde periode van 4,5 uren (16200 s) geeft dit een ruw geschat debiet van 0.15 m³/s.

Aangezien Bazel Noord en Bazel Zuid tot hetzelfde GGG behoren en er een gracht aanwezig is die de kommen voor beide uitwateringsconstructie verbindt, is het moeilijk verdere uitspraken te doen over deze lekdebieten.

Figuur 46 - Vergelijk gemeten en gemodelleerde debieten voor GGG Bazel Zuid tijdens 13-uursmeting 14/09/2016



6.2.3 Pet-door-simulaties Bazel Noord

Zoals voor Bergenmeersen werden bij de uitwateringsconstructie van Bazel Noord ook pet-door-simulaties uitgevoerd. Een overzicht van de verschillende metingen is gegeven in Tabel 17. Voor alle metingen, behalve deze van 9 maart 2017 was waterstandsdata beschikbaar om debieten door de uitwateringskoker voor het eerste half uur te simuleren. Hiervoor werden zoals bij Bergenmeersen enkele aannames gedaan: zo werden de verliescoëfficiënten van de klep en de vuilroosters op nul gezet en werd er stroming in de andere richting (CLP = 0) toegelaten doorheen de uitwateringskoker (Tabel 16).

Tabel 16 – Parameters pet-door koker Bazel Noord

CE1	CE2	CS1	CS2	LARG	HAUT1	CLP	RD1	RD2	CV	C56	CV5	C5	TRASH	HAUT2	FRIC	LONG	CIR
0.5	0.5	0.5	0.5	2.6	2.1	0	0.5	0.5	0	10	1.5	7	0	2.1	0.015	37	0

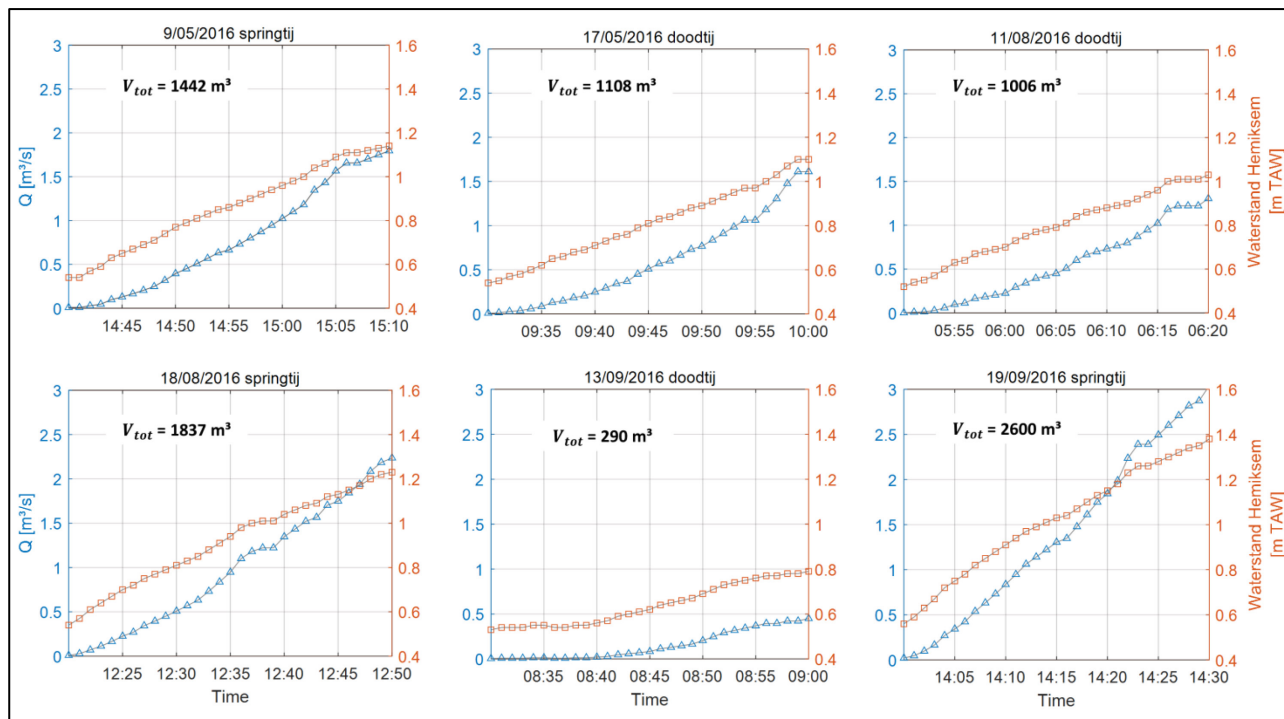
Voor de simulaties werden de waterstanden in de Schelde van de tijpost Hemiksem gebruikt. Er werd verder aangenomen dat de waterstand in het gebied voor het half uur dat gesimuleerd werd, gelijk gesteld werd aan het bodempeil van de uitwateringskoker, in dit geval 0,5 m TAW. De tijdstippen voor de simulaties zijn in Tabel 17 meegegeven omdat deze soms verschillen van de tijdstippen die bij de pet door metingen werden opgegeven. Ook het totale volume dat gedurende een half uur door de uitwateringskoker stroomde, is in Tabel 17 toegevoegd. Hier zien we wel dat bij doodtij het volume toch lager ligt dan bij springtij. Maar de variatie is ook weer groot zodat het inschatten van het totaal volume op de dag dat er geen waterstandsinfo beschikbaar is, moeilijk wordt.

Tabel 17 - Overzicht resultaten simulaties voor pet-door-metingen te Bazel Noord

Datum	pet-door (UTC)	type getij	model (UTC)	totaal volume simulatie
9/05/2016	14:45-15:20	springtij	10:40-11:10	1442 m ³
17/05/2016	9:50-10:20	doodtij	9:03-9:33	1108 m ³
11/08/2016	7:30-8:00	doodtij	5:30-6:00	1006 m ³
18/08/2016	14:00-14:30	springtij	13:45-14:15	1837 m ³
13/09/2016	9:50-10:20	doodtij	10:23-10:53	290 m ³
19/09/2016	14:55-15:25	springtij	15:18-15:48	2600 m ³
9/03/2017	13:30-14:00	doodtij	geen data	geen data
13/03/2017	12:35-13:05	springtij	12:56-13:26	1756 m ³

Figuur 47 geeft de resultaten van de simulatie per meting weer. Zowel het debiet (blauw) als de gemeten waterstand (oranje) worden weergegeven. Het totale volume is per simulatie ook weergegeven. De modelresultaten voor 9/03/2017 zijn niet beschikbaar door gebrek aan data en de resultaten voor 13/03/2017 werden niet mee in de figuur opgenomen.

Figuur 47 – Resultaten pet-door-simulatie Bazel Noord: debieten in het blauw en waterstanden in het oranje.
De tijdsaanduidingen in deze figuren komen overeen met lokale tijd.

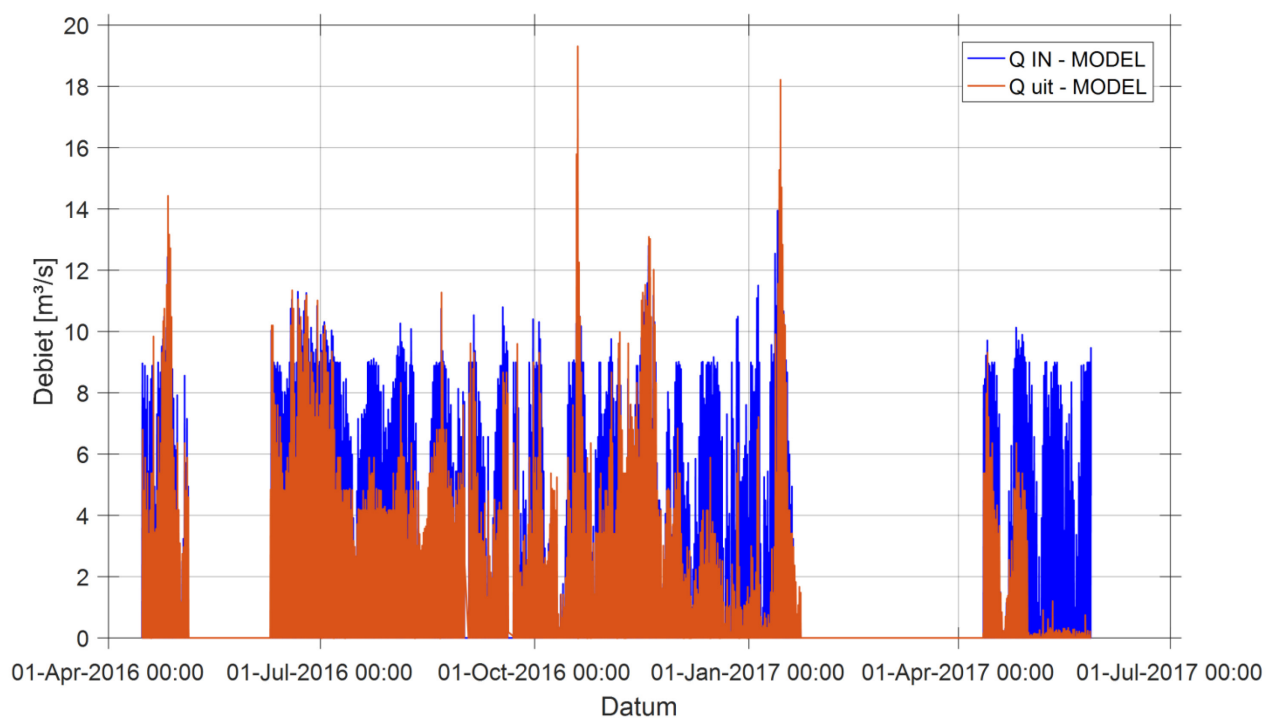


7 Berekenen debieten en volumes

7.1 Bergenmeersen

Voor de berekening van de debieten doorheen de constructie van Bergenmeersen is goed gemeten waterstandsdata net binnen en buiten de constructie nodig. Het WL heeft op de betreffende locaties Divers geïnstalleerd, maar helaas werkten deze niet altijd even goed in het verleden. De berekening van de debieten werd gedaan voor de periode van mei 2016 tot juni 2017 (periode van de INBO-metingen) en dit enkel indien zowel Diver data voor waterstanden binnen als net buiten de constructie beschikbaar waren. Figuur 48 toont de berekende debietreeksen (met hun hiaten). Op de hele waterstandsreeksen is dezelfde correctie aangebracht als tijdens de kalibratie. Aangezien de vergelijkingen voor stroming doorheen de kokers zeer sterk afhangen van de kwaliteit van de data (0.01 m afwijking kan al grote invloed hebben op de berekende debieten) zijn de UA Diver metingen (omwille van de locatie) in het gebied geen goede proxy om de ontbrekende tijdsperiodes aan te vullen. Voor de waterstanden in de Schelde zijn de data van de tijpost Schoonaarde (afwaarts) of Wetteren (opwaarts) ook geen goede benadering.

Figuur 48 – Berekende debieten voor Bergenmeersen



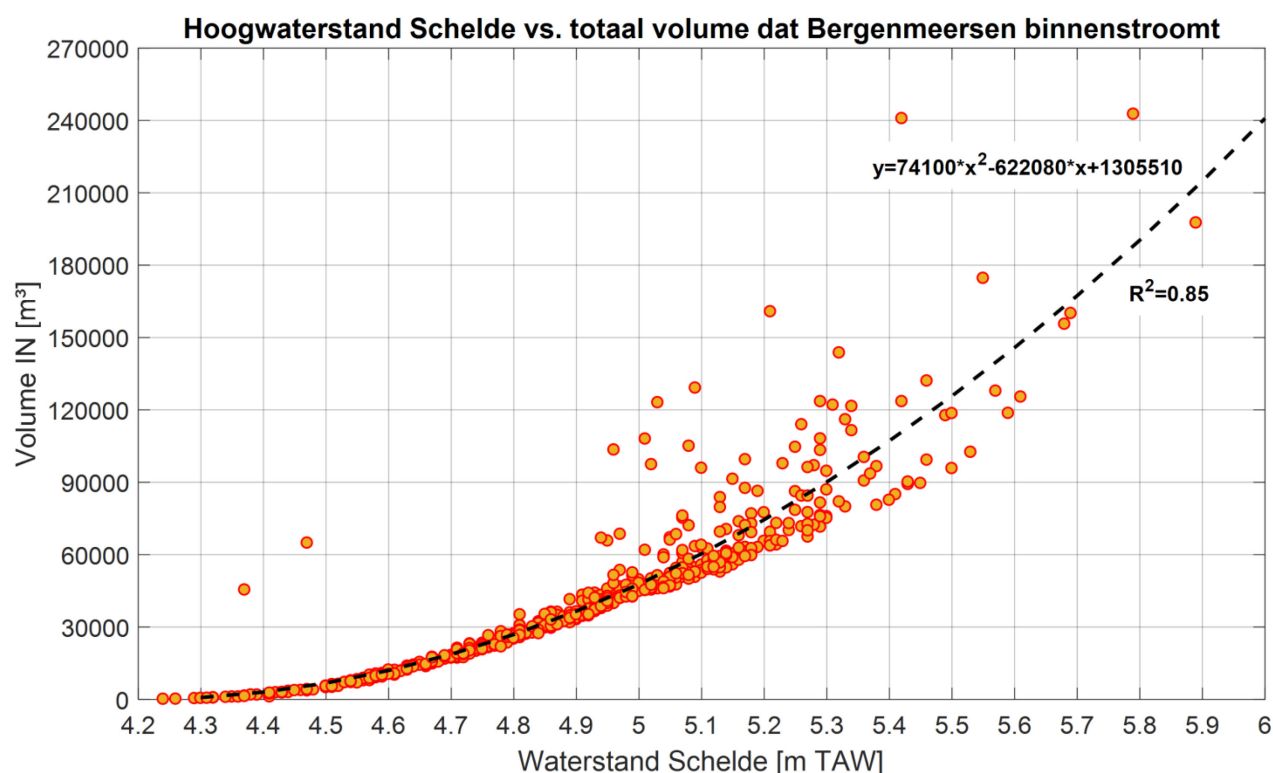
Om toch een idee te krijgen van het totale volume dat in en uit het GGG Bergenmeersen stroomt tijdens de periodes dat goede Diver metingen ontbreken, werd er bekeken of er geen relatie kon worden gevonden tussen de hoogwaterstand in de Schelde en enerzijds het totale volume dat het gebied binnen stroomt en anderzijds het totale volume dat het gebied weer buiten stroomt. Het totale volume werd hierbij berekend door het berekende debiet van alle tijdstappen op te tellen en te vermenigvuldigen met de tijdstap (aantal seconden tussen twee opeenvolgende debietsbepalingen). Die tijdstap bedraagt hier 300 seconden.

Figuur 49 toont het totale volume aan water dat het GGG Bergenmeersen binnenstroomt afhankelijk van de hoogwaterstanden in de Schelde net buiten de constructie. Door deze data werd een polynomiale fit getrokken. Deze fit geeft de verandering in volume dat binnenstroomt (Vol_{IN}) weer in functie van het hoogwater (HW) in de Schelde. De fit wordt beschreven door volgende vergelijking:

$$Vol_{IN} = 74100 \cdot HW^2 - 622080 \cdot HW + 1305510$$

Figuur 49 toont aan dat deze fit een zeer goede inschatting geeft bij lagere hoogwaterstanden, maar dat de spreiding groter wordt bij springtij.

Figuur 49 – Relatie tussen hoogwaterstand en totaal instromend volume voor het GGG Bergenmeersen



Wanneer dan de uitwateringsvolumes in functie van de inwateringsvolumes worden geplot, is een lineaire relatie te zien. Deze is duidelijker zichtbaar op een subset van de beschikbare data (getoond in Figuur 50) maar werd berekend op de hele dataset. De relatie kan dan als volgt worden beschreven:

$$Vol_{UIT} = 0.861 \cdot Vol_{IN}$$

waarbij: Vol_{UIT} het totale uitwateringsvolume

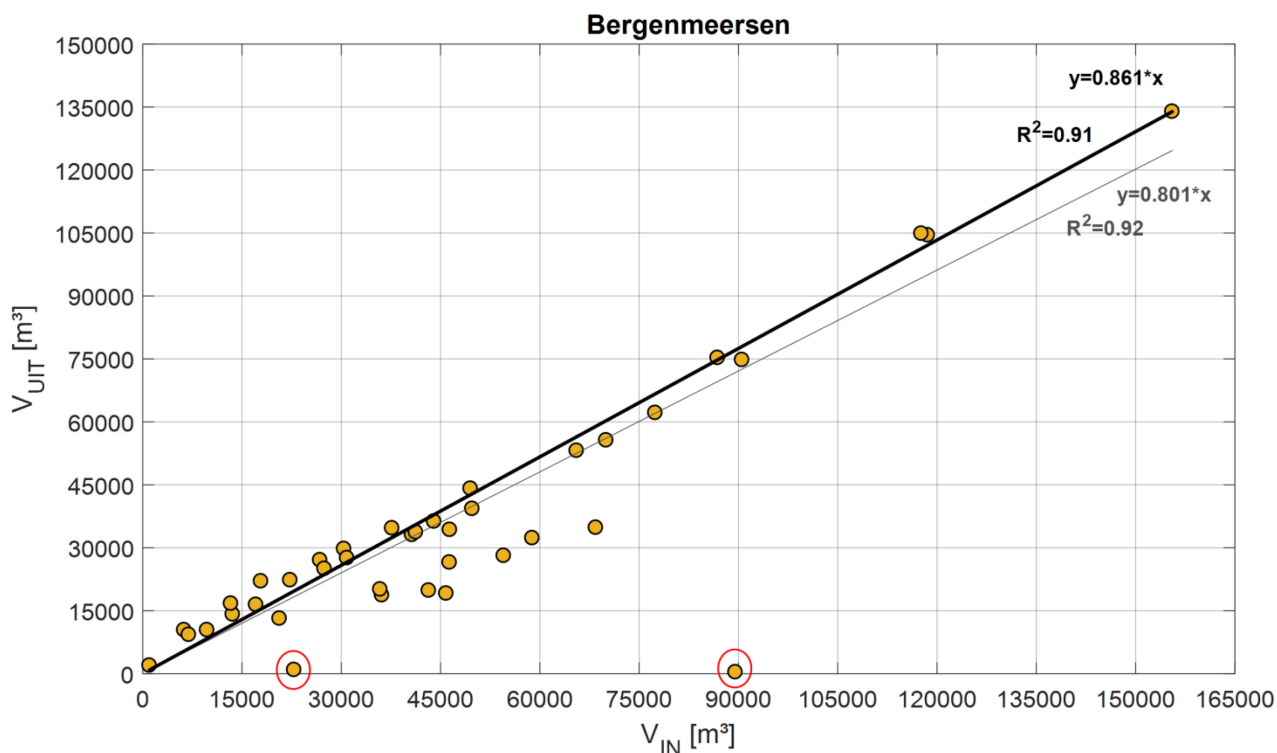
Vol_{IN} het totale inwateringsvolume

De richtingscoëfficiënt van deze relatie geeft aan dat er steeds meer water binnen stroomt dan dat er terug buiten stroomt. Zo'n 86% stroomt terug naar buiten. Dit is inderdaad mogelijk aangezien we hier de debieten over 1 constructie berekenen. Achteraan de polder van het GGG Bergenmeersen is er nog een uitwateringskoker aanwezig (meer stroomopwaarts op de Schelde). Deze koker wordt gevoed door een

grote gracht achteraan het gebied. De gevonden relatie geeft aan dat deze koker achteraan zo'n 14% van het binnen gestroomde water afvoert³.

Gezien de spreiding op de data voor beide relaties is voorzichtigheid steeds aangewezen bij het gebruik ervan. Deze relaties kunnen enkel gebruikt worden om een grove inschatting te maken. Voor nauwkeurigere debieten, zijn steeds goede metingen van de waterstanden net binnen en buiten de constructie nodig!

Figuur 50 – Relatie tussen instromende en uitgaande volumes voor Bergenmeersen – kleine dataset



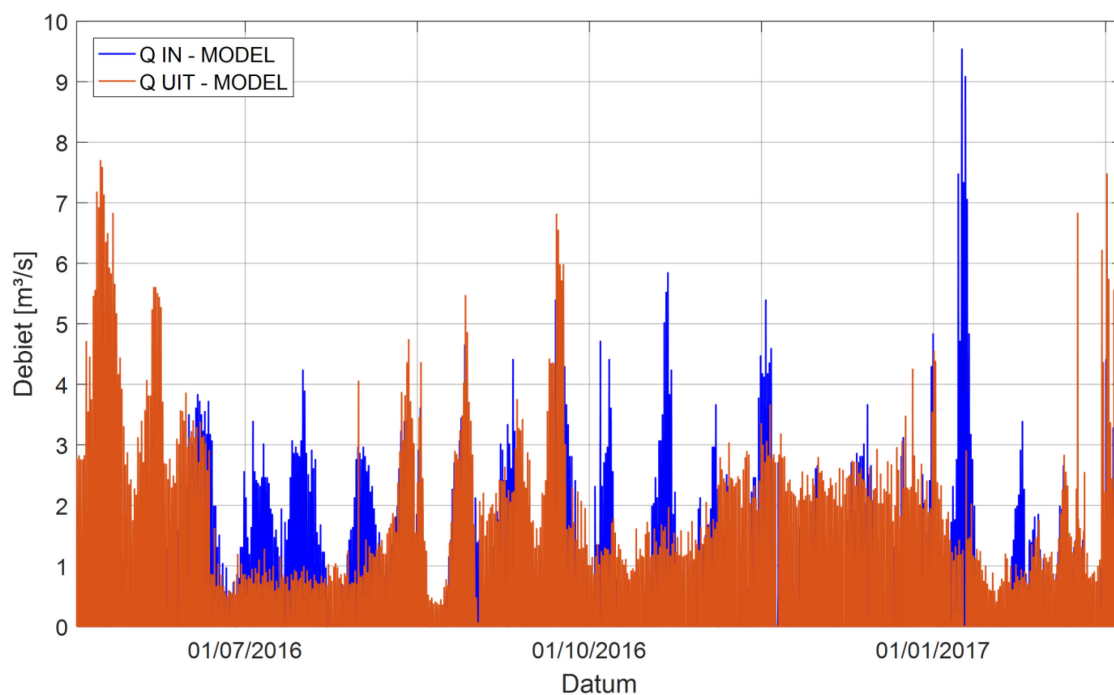
³ Uit vroegere modelervaring bij opmaak van het Scaldis Telemac3D model (Smolders *et al.*, 2016b), bleek dat de oude uitwateringskoker afwaarts geen grote rol van betekenis speelde in dit gebied in tegenstelling tot de oude koker opwaarts. In de tekst wordt dan ook enkel melding gemaakt van de oude koker opwaarts.

7.2 Bazel Noord

De inwateringskokers van het GGG Bazel werden sinds de opening van het gebied meermaals voor langere periode gesloten om verschillende redenen (landbouw, broedseizoen vogels, aanleg gasleiding), zie paragraaf 4.2. Bij het berekenen van de debieten met het model werd hier geen rekening mee gehouden. De waterstanden van tijpost Hemiksem werden als input gebuikt (er werd terug 0.01 m bijgeteld). Voor de waterstanden in het gebied werden de Diver metingen van de UA weer aangepast met -0.05 m. De periode van de berekening loopt van 1 mei 2016 tot 17 maart 2017 (periode INBO-metingen). Net als bij Bergenmeersen werd de input data gebuikt met een tijdsinterval van 5 minuten (= 300 s).

Omdat de inwateringskokers vaak gesloten werden, zal het model voor deze perioden een groter inwateringsdebiet voorspellen dan het uitwateringsdebiet. Het uitwateringsdebiet wordt niet beïnvloed door deze schatting van het inwateringsdebiet, aangezien de debietberekeningen enkel gebeuren op basis van gemeten waterstanden.

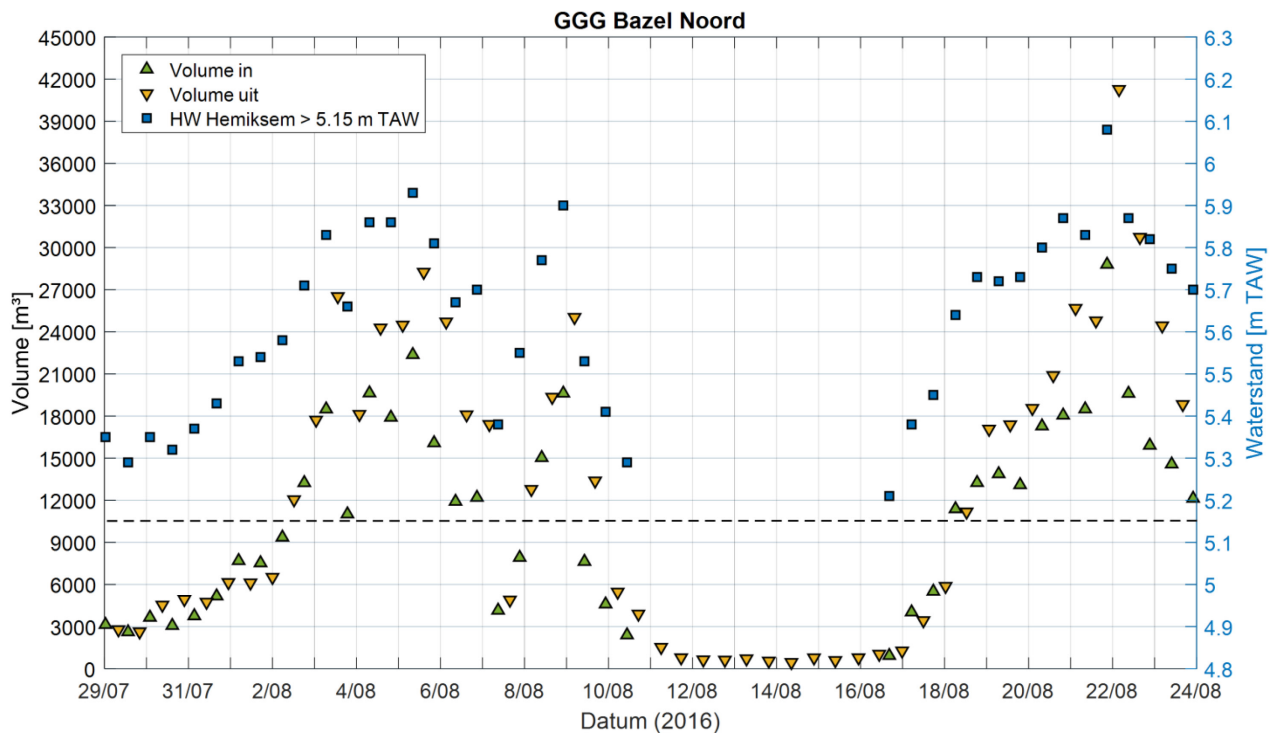
Figuur 51 – Berekende debieten in en uit GGG Bazel Noord



Wanneer een deel van de input gegevens ontbreken, is het niet mogelijk om het model te gebruiken om de debieten te bepalen. Daarom werd er gezocht naar een relatie tussen de maximale hoogwaterstand van een getij en het totale inwateringsvolume dat daarmee gepaard gaat voor Bazel Noord enerzijds en een relatie tussen het inwateringsvolume en het uitwateringsvolume anderzijds. Hierbij werd geen rekening gehouden met de lekvolumes en de toestroom door de beek.

Om deze relaties te vinden, werd gekozen voor een periode dat Bazel Noord en Zuid geopend waren en er een debiet in en uit kon stromen, i.e. van 29 juli 2016 tot 24 augustus 2016. Figuur 52 toont voor deze periode de hoogwaters gemeten in de tij-post te Hemiksem, de berekende volumes in en uit het GGG te Bazel Noord. De hoogwaterstanden worden enkel getoond indien deze hoger komen dan het niveau van de schotbalken in de inlaat kokers (i.e. 5,15 m TAW). Door het lekdebiet en het debiet van de beek, zou het uitgaande volume steeds groter moeten zijn dan het berekende inkomende volume.

Figuur 52 – Hoogwaters Hemiksem, berekende volumes in en uit GGG te Bazel Noord voor periode 29 juli 2016 – 24 augustus 2016.



Wanneer de hoogwaters te Hemiksem worden geplot ten opzichte van de totale inwateringsvolumes (hier is dit de som van de per tijdstap berekende debieten gedurende 1 getij; wanneer deze som vermenigvuldigd wordt met de tijdstap van 300 s ofwel 5 minuten verkrijgt men het totale volume in of uit). Dit is weergegeven in Figuur 53. Door deze data werd een polynomiale fit getrokken met de vergelijking:

$$Vol_{IN} = 19500 \cdot (HW - 5.15)^2 + 12510 \cdot (HW - 5.15)$$

waarbij: Vol_{IN} het inwateringsvolume door de koker te Bazel Noord [m^3]

HW het hoogwaterpeil te Hemiksem [m TAW]

Hetzelfde werd gedaan voor het uitwateringsvolume in functie van het inwateringsvolume voor Bazel Noord. Dit is weergegeven in Figuur 54. Hier kan een lineaire relatie gevonden worden die als volgt kan omschreven worden:

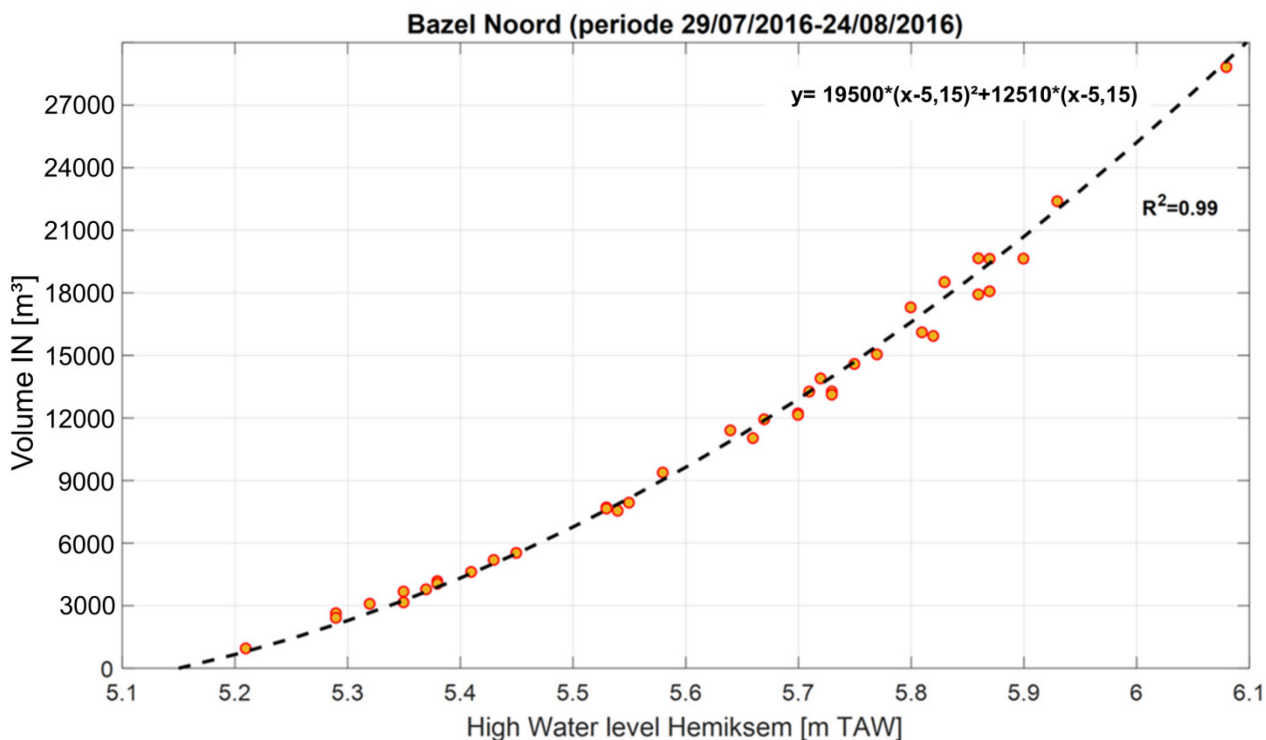
$$Vol_{UIT} = 1.358 \cdot Vol_{IN}$$

waarbij: Vol_{UIT} het uitwateringsvolume [m^3]

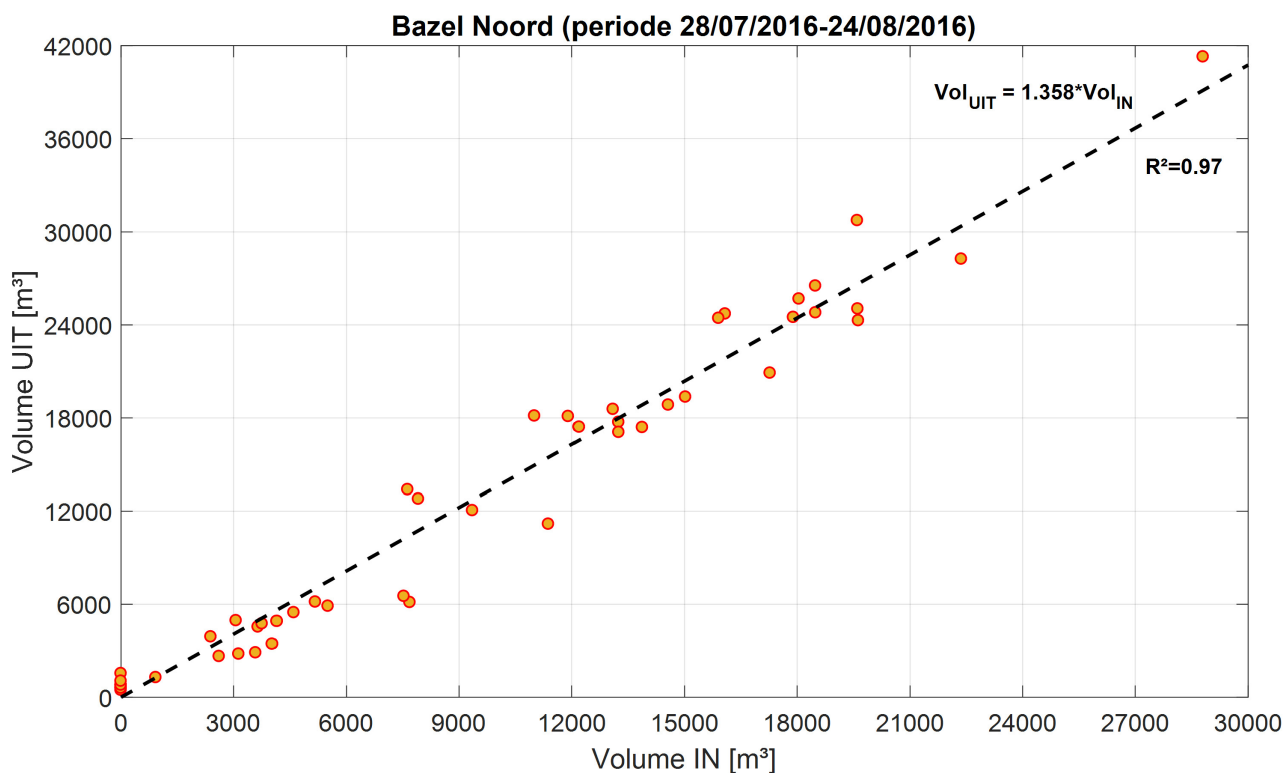
Vol_{IN} het berekende inwateringsvolume [m^3].

Wanneer er geen water door de koker naar binnen stroomt, geeft deze relatie aan dat er ook geen water buiten stroomt. In werkelijkheid is er dus steeds nog het lekdebiet en het debiet vanuit de beek. De richtingscoëfficiënt in deze lineaire fit geeft ook duidelijk aan dat er indien er wel inwatering is, er toch steeds een 35.8 % meer water naar buiten terug stroomt. Dus in die relatie is het lekvolume en het volume vanuit de beek dan wel weer voorzien. Wanneer een gemiddelde genomen wordt van de totale volumes die buiten stromen in een periode dat er geen inwatering door de inwateringskokers is, wordt een gemiddelde totaal lekvolume van 771 m^3 bekomen (berekend over een periode van 6 dagen, 12 getijden). Deze schatting is minder dan de helft die bij de kalibratie/validatie werd geschat en dit geeft duidelijk aan dat dit lekdebiet/volume op zich moeilijk in te schatten is zonder verder onderzoek.

Figuur 53 – Totaal inwateringsvolume in GGG te Bazel Noord in functie van het hoogwater te Hemiksem voor periode 29/07/2016 – 24/08/2016



Figuur 54 – Uitwateringsvolume in functie van het inwateringsvolume voor GGG te Bazel Noord voor periode 29/07/2016 – 24/08/2016



8 Besluit

In het kader van het geactualiseerde Sigmaplan worden langsheen de Schelde en haar getijdezijrivieren Gecontroleerde Overstromingsgebieden (GOG's) aangelegd. Een aantal van deze gebieden zal tevens ingericht worden met Gecontroleerd Gereduceerd Getijde Gebied (GGG). Omwille van de natuurdoelstelling van een GOG-GGG moet vismigratie mogelijk zijn doorheen de in- en uitwateringsconstructies. De migratie vanuit de rivier naar een GOG-GGG zal afhankelijk van de vissoort doorheen de inwateringskoker of doorheen de uitwateringskoker gebeuren. De passeerbaarheid van de uitwateringskokers voor vissen wordt bepaald door de maximale stroomsnelheden, waterdiepte in de koker en de doorzwemopening ter plaatse van de kleppen. Traditioneel werden relatief zware terugslagkleppen toegepast bestaande uit houten balken met een metalen beplating (zoals in het GOG-GGG Bazel). Bij het GOG-GGG Bergenmeersen werden lichtgewicht HDPE terugslagkleppen toegepast.

Om het functioneren van deze lichtgewicht terugslagkleppen te beoordelen heeft het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) in opdracht van afdeling Zeeschelde van De Vlaamse Waterweg (DVW; contactpersoon Hans De Preter) in 2015 en 2016 de helling van één terugslagklep opgemeten simultaan met een 13-uursmeting waarbij het debiet tijdens in- en uitwatering werd opgemeten.

Daarnaast heeft het Instituut voor Natuur en Bosonderzoek (INBO; contactpersoon Sophie Vermeersch) in opdracht van DVW tussen 1 mei 2016 en 30 april 2017 op geregelde tijdstippen vissen afgevangen in de GOG-GGG's Bergenmeersen en Bazel. Om deze resultaten te kunnen evalueren heeft het INBO aan het WL een inschatting gevraagd van de in- en uitwateringsdebieten op de tijdstippen dat vissen werden afgevangen.

De bevindingen uit de metingen en debietsberekeningen worden hieronder kort weergegeven.

Bergenmeersen:

- Op 22/09/2016 heeft het WL in het GOG-GGG Bergenmeersen een 13-uursmeting uitgevoerd. Het in- en uitwateringsdebiet wordt standaard opgemeten met een Streampro ADCP aan de opwaartse zijde van de constructie. Naast de Streampro-metingen werden ook debietmetingen uitgevoerd in één enkele centrale uitwateringskoker met behulp van een IQ ADCP. Het kokergemiddelde debiet opgemeten met de Streampro ADCP ligt ca. 15 % lager dan het door de IQ ADCP opgemeten debiet in één centrale uitwateringskoker. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat het debiet door de centrale kokers hoger is dan het debiet door de buitenste kokers. Voor de kallibratie van het model voor debietschatting werden daarom steeds enkel de Streampro-metingen gebruikt.

- Uit de WL peilmetingen aan polder- en rivierzijde van de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie werd het verval over de uitwateringsconstructie van het GOG-GGG Bergenmeersen bepaald tijdens uitwatering. Dit verval bedroeg 0.08 m tot 0.11 m. Er werd pas een uitstromend debiet waargenomen vanaf het ogenblik dat het peil in de polder 0.06 m hoger staat dan het peil aan rivierzijde. Dit is tegen de verwachting in omdat de dichtheid van de HDPE klep 1041 kg/m^3 bedraagt wat amper hoger is dan de dichtheid van water. De vermoedelijke verklaring hiervoor is een fout in de peilmeting of een tijdverschuiving van een meting. De mogelijke relatieve meetfout tussen twee WL Diver metingen werd begroot op 0.06 m.

- De klephoek en het debiet nemen bij begin uitwatering in Bergenmeersen de eerste 9 tot 10 minuten sterk toe tot een hoek ca. 60° en een debiet ca. $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Hierna is er een meer geleidelijke toename van het debiet en de klephoek. De maximale klephoek is circa 64° . Het maximale uitwateringsdebiet, opgemeten met de IQ ADCP, lag tussen $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (na een 0.11 m hoger peil dan een gemiddeld doottij) en $12.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (na een gemiddeld springtij).

- De stroomsnelheid in de uitwateringskoker bij uitwatering in Bergenmeersen is afhankelijk van het voorgaand hoogwater. Bij een hoogwater gelijk aan een gemiddeld springtij werd met de IQ ADCP een gemiddelde stroomsnelheid tussen 0.8 m/s en 1.4 m/s opgemeten. Bij een hoogwater 0.11 m hoger dan een gemiddeld doottij werd een gemiddelde snelheid tussen 0.4 m/s en 0.8 m/s opgemeten. Merk op dat meting met de IQ ADCP uitgevoerd in een centrale uitwateringskoker. In de buitenste kokers kunnen de snelheden lager zijn, maar dit is niet gestaafd met metingen. Gelet op de lengte van de koker (10 m) wordt aangeraden om de hier gegeven snelheden te vergelijken met de kruissnelheid van vissen (voor doelsoorten ligt deze tussen de 0.5 en 1 m/s). Hierbij wordt opgemerkt dat hogere stroomsnelheden kunnen optreden ter plaatse van de kleppen door contractie wanneer deze niet volledig geopend zijn. In dat geval worden de daar lokaal optredende stroomsnelheden best vergeleken met maximale sprintsnelheden voor vissen (lees: maximale snelheden over korte afstanden; voor doelsoorten ligt deze tussen de 1 en 1.5 m/s). Op basis van de klephoekmetingen te Bergenmeersen kon echter worden besloten dat de HDPE-klep al snel dusdanig ver open komt te staan dat verwacht mag worden dat de stroomsnelheden in de koker maatgevend zijn.

- Naast stroomsnelheden is ook de waterdiepte in de uitwateringskokers bepalend voor de migratiemogelijkheden van vissen. Uit de metingen te Bergenmeersen bleek dat de waterdiepte tijdens uitwatering gedurende minimaal 3 uur groter dan de theoretische ondergrens van 30 cm water was.

Bazel:

- Voor het GOG-GGG Bazel is een goede overeenkomst tussen de noordelijke en zuidelijke inwateringsconstructie voor het debiet per koker. Bij uitwatering bedraagt het maximaal opgemeten debiet 2.6 m³/s bij Bazel Noord en 3.2 m³/s bij Bazel Zuid. Het verschil in maximaal uitwateringsdebiet kan mogelijks verklaard worden door een verschil in aanvoer vanuit het grachtenstelsel of een verschil in verstopping van de vuilroosters.

- Uit de continue metingen blijkt dat tijdens de periodes dat de noordelijke en zuidelijke inwatering van het GOG-GGG Bazel gesloten waren het peil in het GOG-GGG nog met ca. 0.5 m meegaat met het getij. Het debiet van een beek die uitmondt in de polder en een lekdebiet door niet goed sluitende terugslagkleppen op de uitwateringsconstructie werden als mogelijke oorzaken vastgesteld.

- Het opgemeten lekdebiet is gelijkaardig voor Bazel Noord en Bazel Zuid en bedraagt 0.10 m³/s tot 0.35 m³/s. Geschatte lekdebieten op basis van peilmetingen en oppervlakte van waterkom bij Bazel Noord geven een gelijkaardig berekend debiet van 0.1 m³/s en voor Bazel Zuid van 0.15 m³/s.

- Aangezien er te Bazel geen klephoek metingen en geen snelheid en/of waterhoogte metingen (IQ ADCP) in de constructie beschikbaar zijn, kunnen er geen conclusies getrokken worden ten aanzien van maatgevende stroomsnelheden met oog op vismigratie.

Berekening debiet en inwateringsvolumes:

- Een model met theoretische koker- of culvertformules is beschikbaar en werd per constructie gekalibreerd op basis van waterpeilen en debieten, gemeten tijdens een 13-uursmeting, alsook nauwkeurige informatie over de in- en uitlaatconstructies, hoogte van de schotbalken, hoogte van de spindelschuiven en topografie van het betreffende GOG-GGG.

- Met het gekalibreerde model werden debieten doorheen de kokers van beide gebieden voor langere tijdreeksen bepaald op basis van de waterstanden aan de binnen- en buitenzijde van de in- en uitwateringsconstructies van beide polders. Het model is gevoelig voor kleine verschillen in waterstanden (grootteorde 0.01 m).

- Indien voor een bepaalde periode geen peilmetingen in de polder beschikbaar zijn, kan er op basis van het model geen debiet berekend worden. Wel kon er op basis van de berekende debieten van periodes waarvoor wel metingen beschikbaar waren voor beide gebieden relaties gevonden worden tussen het

hoogwaterpeil in de Schelde en het totaal instromend volume enerzijds en tussen het instromend volume en het uitstromend volume anderzijds. Dit maakt het mogelijk om wel totale instroom- en uitstroomvolumes te bepalen voor periodes wanneer er geen peilmetingen beschikbaar zijn voor polderzijde. Deze relaties gelden wel enkel voor de huidige situatie. De berekende debieten, en daarmee de volumes, zijn immers sterk afhankelijk van de waterpeilen in het gebied. Wanneer de topografie in het gebied teveel wijzigt door bv. aanslibbing, zal het waterpeil in het gebied anders reageren op de inkomende debieten en daarmee dan ook deze debieten en volumes beïnvloeden.

9 Aanbevelingen

Om een vergelijking te kunnen maken tussen de HDPE-klep en de traditionele terugslagklep is het nuttig om ook de helling van een traditionele terugslagklep op te meten. Door de grotere massadichtheid van een traditionele terugslagklep (2616 kg/m^3 ten opzichte van 1041 kg/m^3 voor een HDPE klep) wordt verwacht dat de openingshoek duidelijk kleiner zal zijn.

Gelet op het beperkte verval over de constructie tijdens uitwatering (grootteorde 0.05 m tot 0.10 m) is een meetopstelling met Divers niet geschikt (meetfout verval begroot op 0.06 m). Een nauwkeurigere meting zal toelaten om de debietformules enkel te kalibreren op basis van optredende verliezen in plaats van ook de peilen aan te moeten passen.

Het meten over een langere periode dan één getij geeft belangrijke bijkomende inzichten. Uit de meting van het debiet in één uitwateringskoker van Bergenmeersen voor 7 uitwateringsperiodes volgde belangrijke verschillen voor het debiet en de stroomsnelheid in de uitwateringskoker in relatie tot het hoogwater. Een dergelijke meting die meerdere uitwateringsperiodes omvat is tevens een meerwaarde voor de kalibratie/validatie van de formuleringen voor het berekenen van het debiet.

Indien er voor andere GOG-GGG's in de toekomst debieten berekend moeten worden, is het belangrijk om de exacte locaties te weten van de peilmetingen aan polderzijde. Deze metingen gebeuren idealiter zo dicht mogelijk bij de in- en uitlaatconstructie. Ook is het belangrijk de afmetingen (as-built plannen) van de constructie goed te kennen alsook de hoogte van de schotbalken en de hoogte van de spindelschuiven. Indien deze in de tijd worden aangepast, is het raadzaam om deze tijdstippen en de veranderingen te noteren in een logboek. Indien nieuwe 13-uursmetingen uitgevoerd worden, is het interessant om ook te noteren of de vuilroosters volledig vrijgemaakt werden.

De kalibratie van de formules om het debiet te berekenen werden nu gedaan op basis van de debietmetingen met de Streampro ADCP. Dit omdat de metingen met de IQ-ADCP namelijk een overschatting van het totaal debiet leken te geven. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het debiet door de buitenste kokers kan verschillen ten opzichte van de meer centraal gelegen kokers. De IQ-ADCP meet namelijk het debiet door één koker. Om de toepassing van de IQ-ADCP te kunnen evalueren is verder onderzoek doormiddel van een vergelijkende studie benodigd.

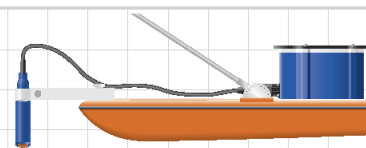
10 Referenties

- Afdeling Betonstructuren.** (2010). Zeeschelde R.O. Te Dendermonde (Vlassenbroek) Aanleg gecontroleerd overstromingsgebied Vlassenbroek; In- en uitwateringsconstructie GGG algemene aanzichten – details; plan voor stedenbouwkundige vergunningsaanvraag. C4 9388-B07.
- Bodhaine, G.L.** (1968). Measurement of peak discharge at culverts by indirect methods. *Techniques of Water-Resources Investigations Reports*, 3-A3. USGS: [S.I.]
- Carlier, M.** (1972). Hydraulique générale et appliquée. *Collection du centre de recherches et d'essais de chatou*, 14. Eyrolles: Paris
- Jan DE NUL.** (2010a). Gecontroleerd Overstromingsgebied Kruibeke - Brussel - Ruppelmonde Bouwen van in en uitwateringssluizen. Betonplan hooggelegen inwateringssluis nr. 2 Planzichten, sneden en details AS BUILT KZL-1-INW2-BET-001 B. pp.1
- Jan DE NUL.** (2010). Gecontroleerd Overstromingsgebied Kruibeke - Brussel - Ruppelmonde Bouwen van in en uitwateringssluizen. Betonplan hooggelegen inwateringssluis nr. 3 Planzichten, sneden en details AS BUILT KZL-1-INW3-BET-001 B. pp.1
- Jan DE NUL.** (2010b). Gecontroleerd Overstromingsgebied Kruibeke - Brussel - Ruppelmonde Bouwen van in en uitwateringssluizen. Betonplan laaggelegen uitwatering nr. 2 Planzichten, sneden en details AS BUILT KZL-1-UITW2-BET-001 D. pp.1
- Jan DE NUL.** (2010). Gecontroleerd Overstromingsgebied Kruibeke - Brussel - Ruppelmonde Bouwen van in en uitwateringssluizen. Betonplan laaggelegen uitwatering nr. 3 Planzichten, sneden en details AS BUILT KZL-1-UITW2-BET-001 D. pp.1
- Larock, B.E.; Jeppson, R.W.; Watters, G.Z.** (2000). *Hydraulics of Pipeline Systems*. CRC Press. 5333 pp.
- Lencastre, A.; Valembois, J.** (1961). Manuel d'hydraulique générale. *Collection du Laboratoire National d'Hydraulique*, 7. Eyrolles: Paris
- Smolders, S.; Leroy, A.; Teles, M.; Maximova, T.; Vanlede, J.** (2016a). Culverts modelling in TELEMAC-2D and TELEMAC-3D. *Proc. 23rd TELEMAC-MASCARET User Conf.* oct: 11–13
- Smolders, S.; Maximova, T.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016b). Integraal plan Bovenzeeschelde: Subreport 1. SCALDIS: a 3D Hydrodynamic model for the Scheldt Estuary. *WL Rapporten*, 13_131. Flanders Hydraulics Research: Antwerp
- Van Essen Instruments BV.** (2007). Mini-Diver, Micro-Diver, Cera-Diver, Baro-Diver producthandleiding. pp.28
- Vanlierde, E.; Michielsens, S.; Vereycken, K.; Hertoghs, R.; Meire, D.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016). Tienjarig overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldbekken: decennium 2001-2010. *WL Rapporten*, 12_071. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Vercruysse, J.B.; Visser, K.P.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016). Sigmaplan - Vismigratie Gereduceerde Getijdegebieden: opmeting van helling terugslagklep en debiet te Bergenmeersen. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 15_034. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Vereecken, H.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2014). Controlemeting in- en uitgaande debieten en sedimentbalans ter hoogte van het GGG Bergenmeersen. versie 3.0. *WL Rapporten*, 00_043. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Wahl, T.L.** (1992). Trash control structures and equipment: a literature review and survey of bureau of reclamation experience.: Denver, Colorado

Bijlage A – Streampro

StreamPro ADCP

REVOLUTIONARY NEW TOOL FOR VELOCITY AND DISCHARGE MEASUREMENT IN SHALLOW STREAMS



Technical Specifications

Velocity Profiling	
# cells	1–20
Min. cell size	1cm
Max. cell size	10cm standard, 20cm with upgrade
Max. range	2m standard, 4m with upgrade
1st cell start	7–30cm (from transducer); depends on cell's size
Accuracy (cell = 1/2 max.)	$\pm 1.0\% \pm 0.2\text{cm/s}$
Resolution	0.1cm/sec
Velocity range	$\pm 2\text{m/sec}$
Physical Properties	
Weight in air	5 kg including electronics, transducer, float, and batteries
Dimensions	Electronics housing: 15 x 20 x 10cm Transducer: 3.5cm diam. x 15cm length Float: 44 x 70 x 11cm
Transducer	
Frequency	2.0MHz
Geometry	4 beams, 20° beam angle
Beam width	3°
Material	Polyurethane

Standard Sensors

Temperature: Range -4° to 40°C
Accuracy $\pm 0.5^\circ\text{C}$
Resolution 0.01°

Thermistor in metallic housing in direct contact with water

Communications

Bluetooth wireless
Baud rates: 115,200 bps

Construction

Cast polyurethane with stainless hardware.

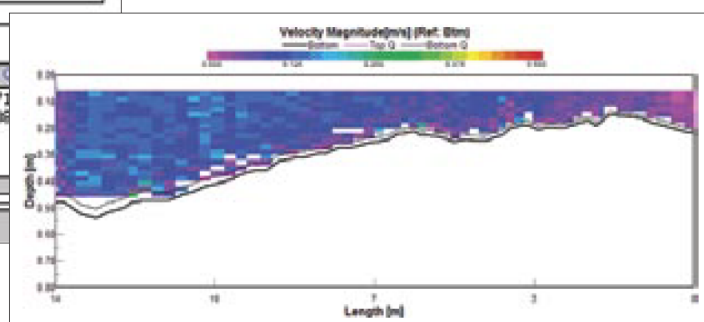
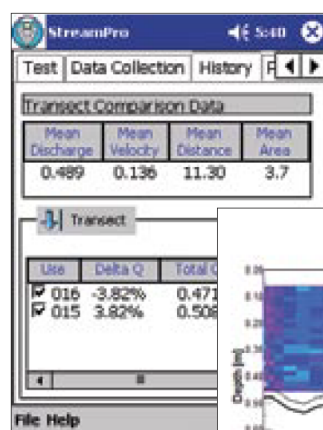
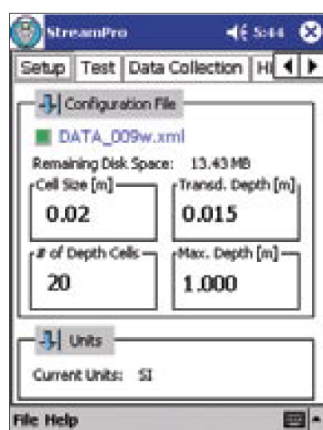
System Components

- Small transducer head
- Electronics case
- Small float
- PocketPC: iPAQ
- Bluetooth wireless
- Data collection software

Power

Voltage: 10–13.5VDC
(8 AA batteries, alkaline or rechargeable NiMH)

Electronics energy consumption: 10 hours continuous with 8 AA alkaline batteries
12 hours continuous with 8 AA NiMH rechargeable batteries



RD Instruments

Acoustic Doppler Solutions

www.rdinstruments.com

RD Instruments

9855 Businesspark Avenue, San Diego, CA 92131 USA

Tel. (858) 693-1178 • Fax (858) 695-1459 • E-mail: sales@rdinstruments.com

Les Nertieres 5 Avenue Hector Pintus 06610 La Gaude France

Tel. +33-49-211-0930 • Fax +33-49-211-0931 • E-mail: rdi@rdieurope.com



Specifications subject to change without notice. Rev. 0305

Bijlage B – SonTek IQ-Plus

SonTek-IQ ACCESSORIES AND SPECIFICATIONS

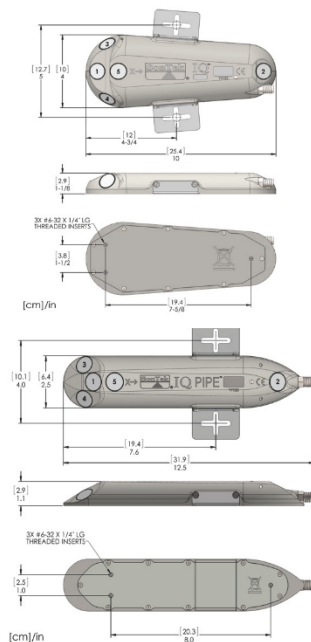


Custom-fit for the IQ Pipe, this easy to use mounting ring will make system installation a breeze. Fits pipe diameters from 16 in (41 cm) to 72 in (183 cm).



With the press of a single button, data is yours with the SonTek-IQ Flow Display. No PC required!

Product Dimensions



xylem
Let's Solve Water

Specifications

	SonTek-IQ Standard	SonTek-IQ Plus	SonTek-IQ Pipe
Application	Regular Canals	All Open Channels	Pipes & Culverts
Velocity Measurement			
-Sampling Range	0.05 - 1.5 m (0.16 - 5 ft)	0.05- 5.0 m (0.16 - 16 ft)	0.05 - 5.0 m (0.16 - 16 ft)
-Number of Cells	1	Up to 100	Up to 100
-Cell Size	Dynamically integrated	2 cm - 10 cm (0.8 - 4 in)	2 cm - 10 cm (0.8 - 4 in)
Advanced Data Reprocessing	N/A	✓	✓
Increased Number of Data Fields	N/A	✓	✓
Velocity Measurement			
-Velocity Range		±5 m/s (16 ft/s)	
-Resolution		0.0001 m/s (0.0003 ft/s)	
-Accuracy		±1% of measured velocity, ±0.5 cm/s (0.2 in/s)	
Water Level			
-Vertical Beam Range		0.05 - 1.5 m (0.2 - 5 ft) (Standard); 0.05 - 5.0 m (0.2 - 16 ft) (Plus/Pipe)	
-Water Level Accuracy		0.1% of measured depth or ±0.003 m (0.01 ft) whichever is greater	
-Pressure Sensor Range ¹		30 m (98 ft; 42 psi)	
-Pressure Sensor Accuracy		0.1% of full scale	
Acoustics			
-Acoustic Frequency		3.0 MHz	
-(2) Along Axis Beams		25° off vertical axis, along axis of channel	
-(2) Skew Beams		60° off vertical and 60° off center axis of channel (Standard/Plus); 37° off vertical and 45° off center axis of channel (Pipe)	
Communications			
		RS232, SDI-12, Modbus, Analog (via optional Flow Display)	
Data Storage			
		4 GB (approximately 1 year)	
Operating/Storage Temperature			
		-5 to 60° C (23 - 140° F)	
Temperature Sensor			
		Accuracy ± 0.2° C; Resolution ± 0.01° C	
Tilt Sensor			
		Accuracy ± 1.0°	
SmartPulse^{HD}			
		Yes	
Power			
-Input		9-15 VDC	
-Consumption		0.5 - 1.0 W (0.02 when idle)	

¹For use in pressurized pipes. Housing rated to 42 psi.

Founded in 1992 and advancing environmental science globally, SonTek manufactures acoustic Doppler instrumentation for water velocity measurement in oceans, rivers, lakes, harbors, canals, estuaries, industrial pipes and laboratories. SonTek's sophisticated and proprietary technology serves as the foundation for some of the industry's most trusted flow data collection systems. SonTek is headquartered in San Diego, California, and is a brand of Xylem Inc.

SonTek
9940 Summers Ridge Road
San Diego CA 92121
Tel +1.858.546.8327
Fax +1.858.546.8150
www.sontek.com

YSI, Inc.
1700/1725 Brannum Lane
Yellow Springs, Ohio 45387
Tel +1.937.767.7241
Fax +1.937.767.9353
www.ysi.com

Xylem, Inc.
1133 Westchester Avenue
White Plains, NY 10604
Tel +1.914.323.5700
Fax +1.914.323.5800
www.xyleminc.com

www.sontek.com

S16-01

© 2015 Xylem, Inc. All rights reserved. SonTek, SonTek-IQ and SmartPulse^{HD} are trademarks of Xylem Inc. or one of its subsidiaries. The SonTek-IQ is made in the USA. Specifications are subject to change without notice. This material is based upon work supported by the Cooperative State Research, Education, and Extension Service, U.S. Department of Agriculture, under Agreement No. 2008-33610-19458. Any opinions, findings, conclusions, or recommendations expressed in this publication are those of the authors and do not necessarily reflect the view of the U.S. Department of Agriculture.

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