



Vlaanderen
is wetenschap

24_025_1
WL rapporten

Haven Antwerpen – Van Cauwelaertsluis

Hydraulische en nautische impact nieuwe brugkelder

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Haven Antwerpen - Van Cauwelaertsluis

Hydraulische en nautische impact nieuwe brugkelder

Vercruysse, J.; Verelst, K.; Eloot, K.

Juridische kennisgeving

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

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

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

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2025
D/2025/3241/405

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vercruysse, J.; Verelst, K.; Eloot, K. (2025). Haven Antwerpen - Van Cauwelaertsluis: Hydraulische en nautische impact nieuwe brugkelder. Versie 4.0. WL Rapporten, 24_025_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2025R24_025_1
Trefwoorden (3-5):	Erosiebescherming, sluis, omloopriool, brug		
Kennisdomeinen:	Sluizen > Erosiebescherming Interactie met constructies > sluizen > invaren/uitvaren		
Tekst (p.):	22	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

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

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verelst, K.	Getekend door: Kristof Verelst (Signature) Getekend op: 2025-11-12 10:00:00 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed
	Eloot, K.	Getekend door: Eloot Katrien Eliane Getekend op: 2025-11-07 13:36:05 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed
Projectleider:	Vercruysse, J.	Getekend door: Jeroen Vercruysse (Signa) Getekend op: 2025-11-07 14:00:21 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Bellafkih Abdelkarim Getekend op: 2025-11-07 11:33:30 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed
-----------------	---------------	--

Abstract

Afdeling Maritieme Toegang onderzoekt de bouw van een nieuwe brug over de toegangsgeul van de Van Cauwelaertsluis. Aan afdeling Waterbouwkundig Laboratorium wordt gevraagd om hydraulische en nautische expertise te leveren bij het voorontwerp van de brug.

Vooreerst is hiervoor de bestaande toestand onderzocht. Op basis van een zoektocht in foto en tijdschrift archieven werd het nivelleersysteem en de erosiebescherming aan Scheldezijde bepaald. Inzicht in de morfologie, de invloed van de uitstroming en de locatie en kwaliteit van de aanwezige erosiebescherming werd bepaald op basis van een analyse van bathymetriemetingen uitgevoerd in 2014, 2018 en 2024. Analyse van de waterpeilmetingen gaf inzicht in de uitstroomdebieten en snelheden uit de riolen. Op basis van deze inzichten werden aanbevelingen gegeven met betrekking tot inplanting van de brug, nautische toegang en erosiebescherming.

Tot slot werd een evaluatie uitgevoerd van het door het studiebureau uitgewerkt voorkeursontwerp. Dit betreft een basculebrug tussen de bestaande brug en het benedenhoofd van de kolk in. De brugkelder komt hierbij aan linkerzijde (=zuidzijde) van de vaargeul en een gesloten pijler komt aan rechterzijde (= noordzijde) van de vaargeul.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Onderzoek bestaande toestand	2
2.1 Beschrijving bestaande toestand	2
2.2 Analyse bathymetrie	6
2.3 Afleiding uitstroomdebieten en snelheden	12
3 Evaluatie voorkeursontwerp	17
3.1 Voorkeurontwerp.....	17
3.2 Evaluatie.....	19
3.2.1 Nautische toegankelijkheid	19
3.2.2 Impact op vullen – ledigen sluis.....	20
3.2.3 Impact uitstroming op kelder en pijler van de basculebrug.....	20
3.2.4 Erosiebescherming	20
4 Conclusies	21
5 Referenties	22

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Beschrijving transecten.....	8
Tabel 2 – Kolkengte	12
Tabel 3 – Oppervlak deurkamer	12
Tabel 4 – Te nivelleren oppervlak [m ²].....	12
Tabel 5 – Beschrijving beschouwde datareeksen voor bepaling uitstroomdebiet	13
Tabel 6 – Afvoercoëfficiënten μ [-].....	16

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Toegangsgemaal Scheldezijde Van Cauwelaertsluis	1
Figuur 2 – Opnames gemaakt tijdens bouw Van Cauwelaertsluis	3
Figuur 3 – Doorsnede en planzicht benedenhoofd Van Cauwelaertsluis	4
Figuur 4 - Vooraanzicht uitlaten benedenhoofd Van Cauwelaertsluis.....	5
Figuur 5 – Langsriool Van Cauwelaertsluis (linker- en rechterriool)	5
Figuur 6 – Overzicht bathymetriemetingen	6
Figuur 7 – Verschilkaarten	7
Figuur 8 – locatie transecten	7
Figuur 9 – Langs transecten.....	9
Figuur 10 – Dwars transecten.....	10
Figuur 11 – Detail erosie ter hoogte van vloerplaat uit meting 2024	11
Figuur 12 - Tweezijdig nivelleren– maximaal debiet en afvoercoëfficiënt in functie van verval	14
Figuur 13 – Eenzijdig nivelleren linkeromloopriool benedenhoofd – maximaal debiet en afvoercoëfficiënt in functie van verval	15
Figuur 14 - Maximale uitstroomsnelheid benedenhoofd in functie van verval	16
Figuur 15 – Concept inrichtingsplan voorkeursontwerp.....	18
Figuur 16 – Concept doorsnede voorkeursontwerp	18
Figuur 17 – Voorhaven Scheldezijde Van Cauwelaertsluis.....	19
Figuur 18 – Contouren uiterste scenario's brugkelder en pijler Van Cauwelaertsluis	20

1 Inleiding

Afdeling Maritieme Toegang (contactpersoon Björn Van de Walle) vraagt aan het Waterbouwkundig Laboratorium hydraulisch en nautische expertise in het kader van het ontwerp van een nieuwe brug over de toegangsgeul aan Scheldezijde naar de Van Cauwelaertsluis. Een luchtfoto van de toegangsgeul met de huidige brug wordt gegeven in Figuur 1.



www.geopunt.be Luchtfoto winter 2022

Figuur 1 – Toegangsgeul Scheldezijde Van Cauwelaertsluis

In eerste fase wordt een voorkeursontwerp uitgewerkt. Hiervoor heeft afdeling Maritieme Toegang opdracht gegeven aan het studiebureau Sweco. Binnen deze opdracht dient onder meer de locatie, overspanning, type en kostprijs bepaald te worden.

Aan het Waterbouwkundig Laboratorium wordt gevraagd om vanuit hydraulisch en nautisch perspectief advies te leveren binnen deze opdracht. Onderhavig rapport omvat de opgedane inzichten uit dit advies samen. Een onderzoek naar de bestaande toestand wordt gerapporteerd in hoofdstuk 2. Het door het studiebureau uitgewerkt voorkeursontwerp wordt voorgesteld en hydraulisch en nautisch geëvalueerd in hoofdstuk 3. De conclusies worden samengevat in hoofdstuk 4.

2 Onderzoek bestaande toestand

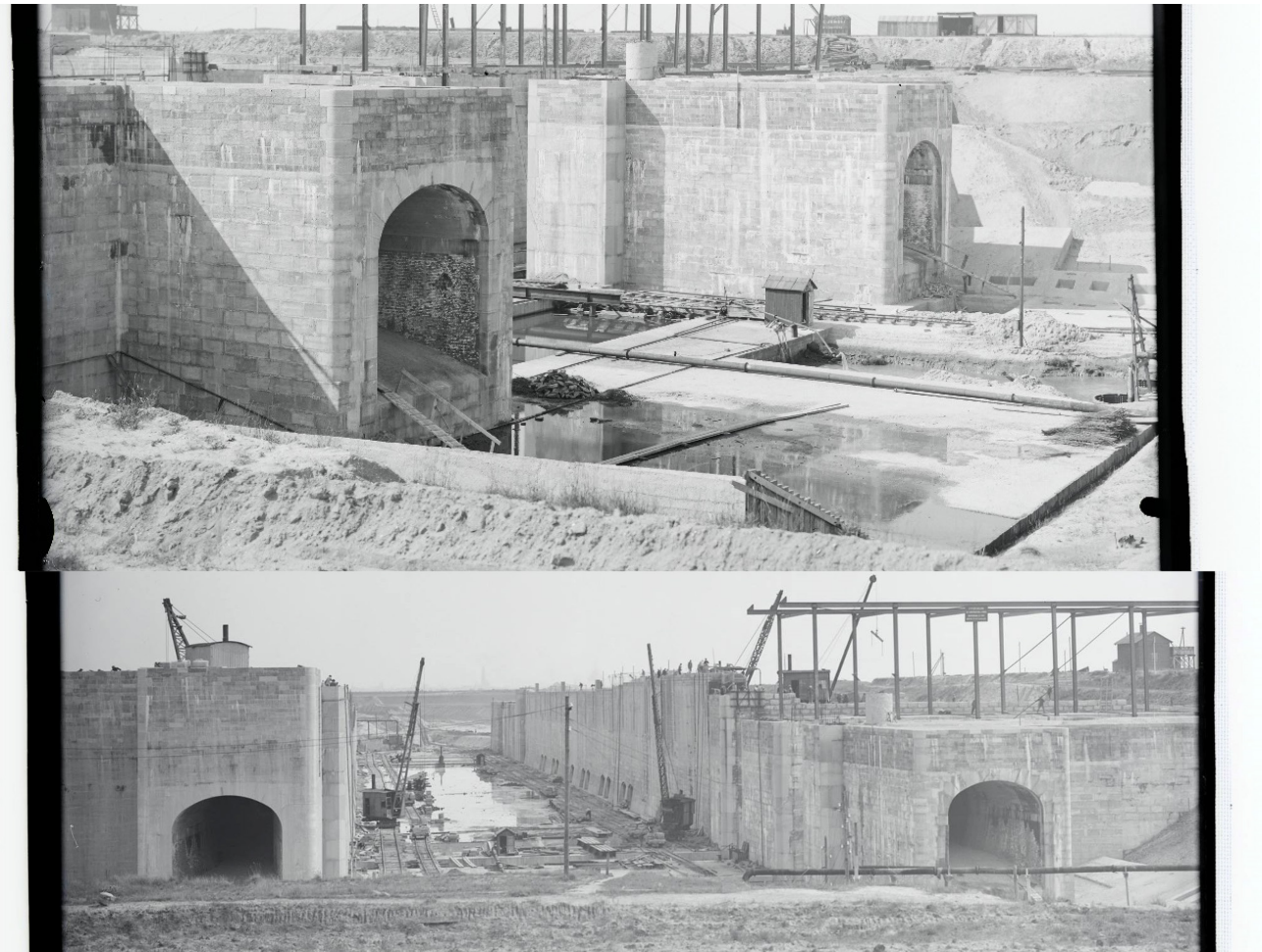
Aan de hand van aangeleverde plannen in combinatie met een studie van oude tijdschriftartikels en archieffoto's wordt de geometrie van het benedenhoofd van de Van Cauwelaertsluis beschreven in paragraaf 2.1. Om inzicht te krijgen in de sedimentatie- en erosiepatronen werd een analyse uitgevoerd van drie bathymetriemetingen, zie paragraaf 2.2. Op basis van het opgemeten peil in de kolk bij één- en tweezijdige nivelleringen werd het debietsverloop uit de uitlaatriolen van de sluis bepaald, zie paragraaf 2.3.

Ook werd navraag uitgevoerd bij PoAB met betrekking tot de ervaringen bij het nivelleren van de Van Cauwelaertsluis. Hieruit volgden geen bijzonderheden.

2.1 Beschrijving bestaande toestand

Aan beide kolkzijden bevindt zich een doorlopende langsriool. De uitwisseling tussen de kolk en het langsriool gebeurt door middel van zijspruiten in de kolkwand. In het boven- en benedenhoofd worden de langsriolen afgesloten door middel van schuiven.

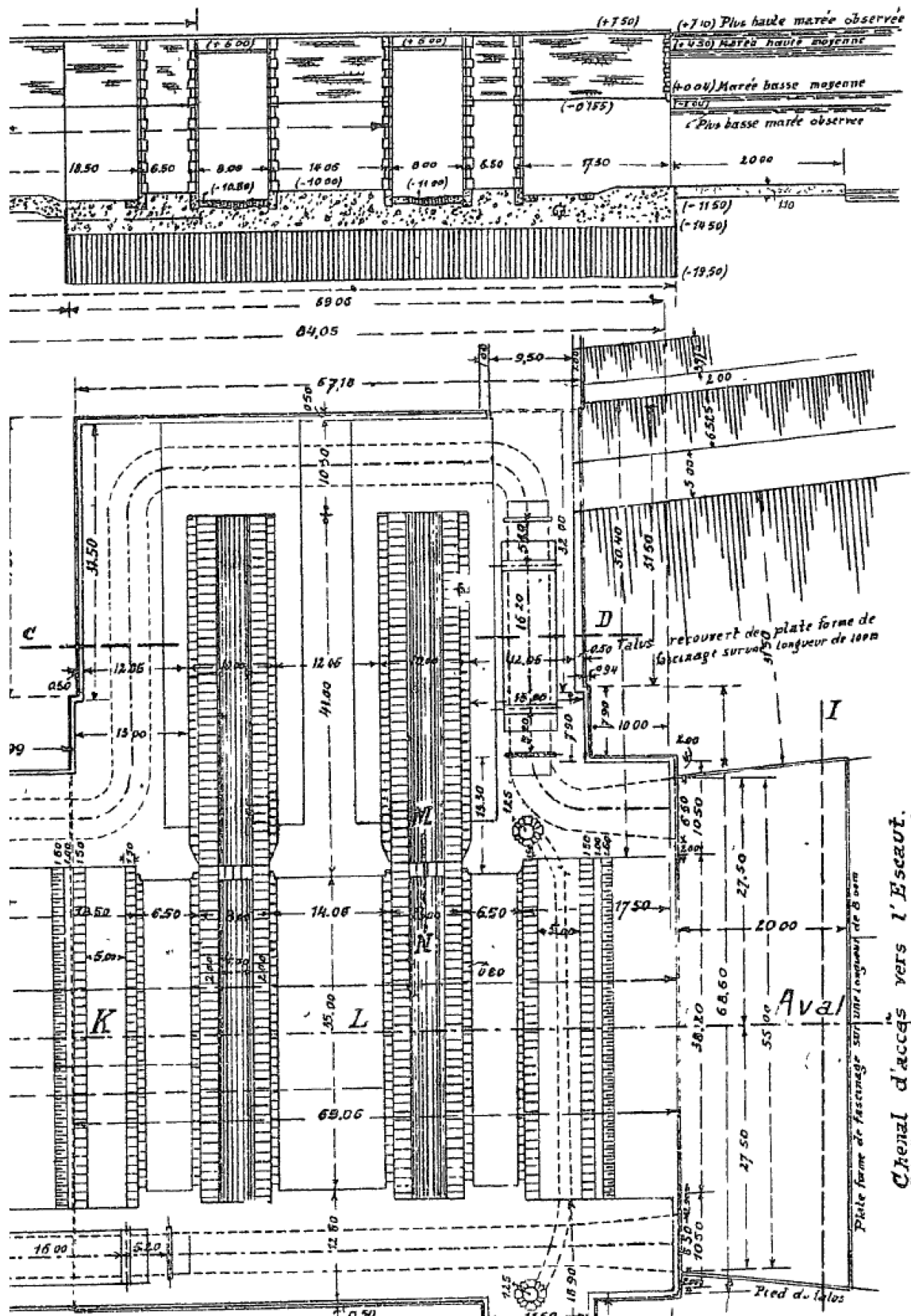
Door aMT werden een groot aantal plannen aangeleverd van de renovatie van de sluis in 2009-2011. Een gedetailleerd plan van het vul- en ledigingsysteem van de sluis ontbrak echter. Van de uitlaten was enkel een planzicht beschikbaar. Hierop is te zien dat de uitlaten zich bevinden in de twee uitstekende koppen en een breedte 6.5 m hebben. Het online Felixarchief bevat wel foto's van tijdens de bouw. Twee foto's van het benedenhoofd zijn overgenomen in Figuur 2.



Bron felixarchief.antwerpen.be Boven : 2004#1518.jpg / onder: 2004#1538.jpg

Figuur 2 – Opnames gemaakt tijdens bouw Van Cauwelaertsluis

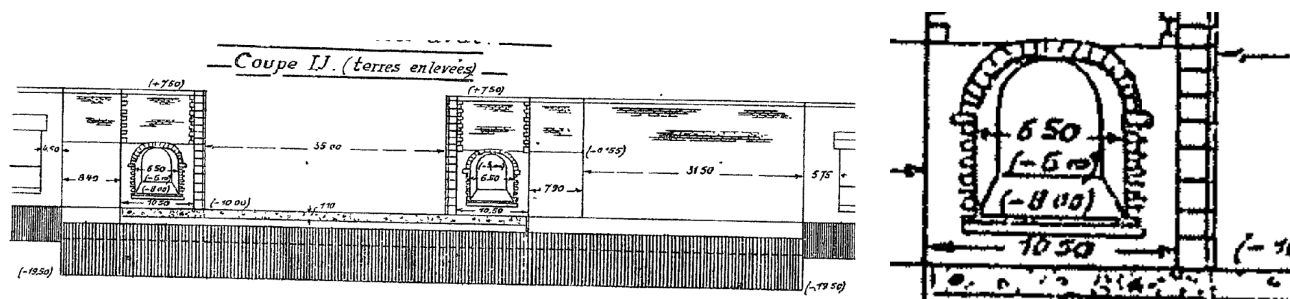
WL beschikt over een omvangrijk archief van historische technische tijdschriften. De tijdschriftnummers zijn opgenomen in de WL catalogus, maar de informatie gaat niet tot op artikelniveau. Om deze redenen werd in 2007 een literatuurstudie uitgevoerd waarbij in deze tijdschriften gezocht werd naar artikels met betrekking tot sluizen. Een oplistijng van de relevante artikels is opgenomen in De Mulder et al. (2007). Met betrekking tot de Kruisschansluis/Van Cauwelaertsluis werden drie artikels gevonden in het TIJDSCHRIFT DER OPENBARE WERKEN VAN BELGIË uitgave XXV (1924), XXIX (1928) en XXII (1929). Het artikel uit tijdschrift XXV uit 1924 bevat een uitgebreide beschrijving van het ontwerp en gedetailleerde plannen. Van dit artikel werd een kwaliteitsvolle scan gemaakt, zie Figuur 3 en Figuur 4.



TIJDSCHRIFT DER OPENBARE WERKEN VAN BELGIË uitgave XXV (1924)

Figuur 3 – Doorsnede en planzicht benedenhoofd Van Cauwelaertsluis

Uit Figuur 3 volgt dat er zich de eerste 20 m volgend op de uitlaten in het benedenhoofd een vloerplaat bevindt. Deze neemt in planzicht toe onder een hoek 6°. De dikte van deze vloerplaat bedraagt 1.1 m en het bovenpeil ligt op -10.00 m (KD). Op basis van de arcering wordt verondersteld dat de vloerplaat opgebouwd is uit beton.



TIJDSCHRIFT DER OPENBARE WERKEN VAN BELGIË uitgave XXV (1924)

Figuur 4 - Vooraanzicht uitlaten benedenhoofd Van Cauwelaertsluis

Uit Figuur 3 en Figuur 4 volgt dat beide uitlaten in het benedenhoofd een breedte 6.5 m hebben. Het bodempeil van het riool bevindt zich op -6.00 m (KD) en het bodempeil in het dagvlak van de uitlaat op -8 m (KD). De lengte van deze overgang loopt over +/- 11.5 m. Op de scan werd voor de uitlaten een hoogte 7.5 m afgeleid waarvan de bovenste 2.5 m afgerond is. Wanneer verondersteld wordt dat de bovenste sectie ellipsvormig is wordt een oppervlak 42.0 m² bekomen.

Een doorsnede van het langsriool wordt gegeven in Figuur 5. Door middel van Autocad werden de contouren op dit plan overgetekend waarna de sectie bepaald werd. Voor beide riolen werd op deze wijze een ca. 20.9 m² afgeleid. Deze sectie zal gebruikt worden voor de bepaling van de hydraulische afvoercoëfficiënt van het nivelleersysteem in paragraaf 2.3.



(Bonnet, 1924)

Figuur 5 – Langsriool Van Cauwelaertsluis (linker- en rechterriool)

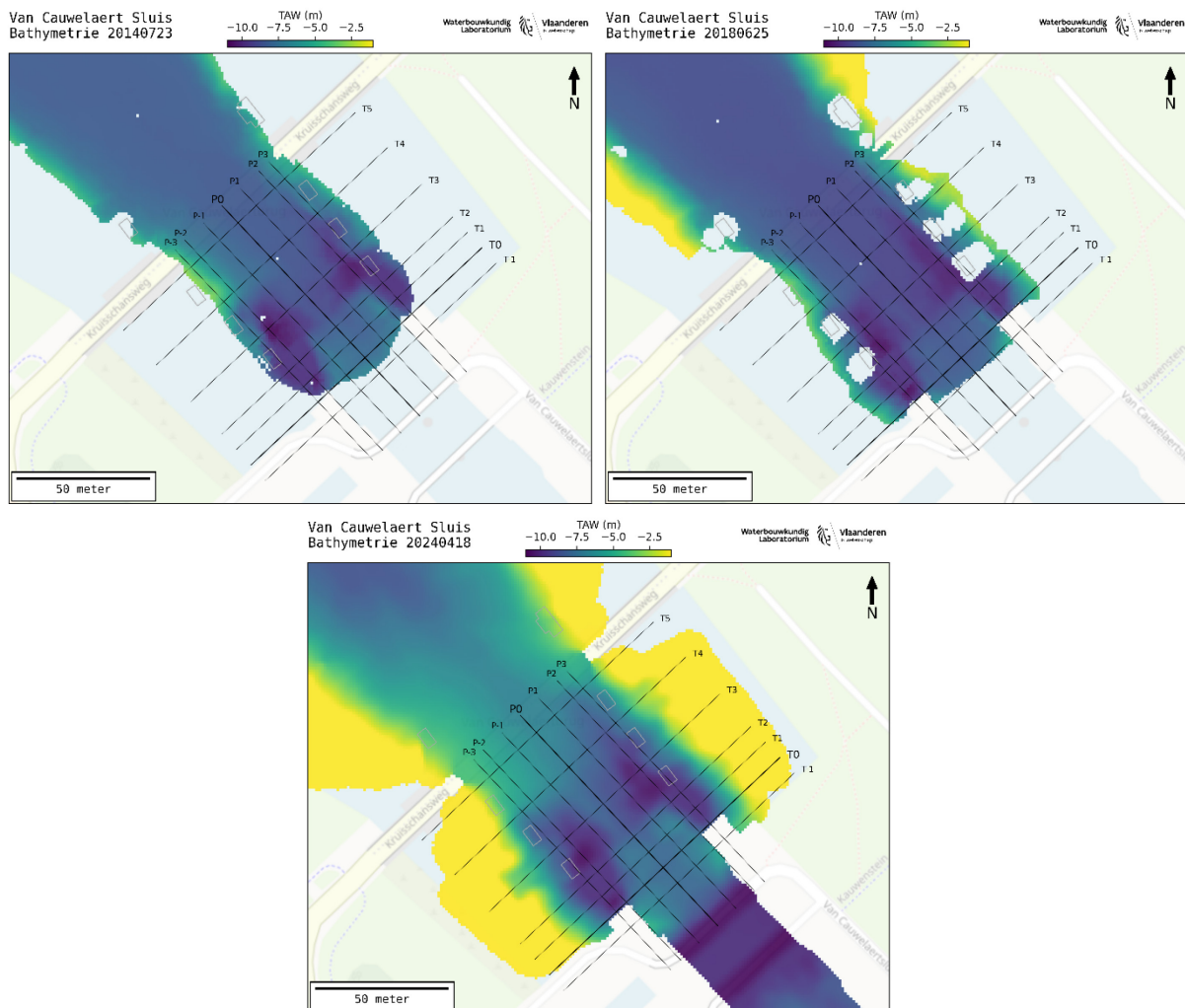
Een overzicht van de historische referentievlakken in België wordt gegeven in Vereycken *et al.* (2015). Hierin wordt aangegeven dat van 1888 tot en met 1940 het referentievlak KD (ook Krijgsdepot of nul D genaamd) in gebruik was. Aangenomen wordt dat de peilen op de plannen weergegeven zijn in KD. In de periode 1942-1948 werden nieuwe nauwkeurigere waterpassingen uitgevoerd waarbij overgegaan werd van KD naar NKD. In weze zijn NKD en KD gelijk mits lokale verschillen te wijten aan de nieuwe inmeting. In Vereycken *et al.* (2015) wordt voor Wilmarsdonk opgemerkt dat NKD een 7 cm lager ligt dan KD terwijl voor Kattendijk NKD samenvalt met KD. Voor de daaropvolgende overgang naar TAW wordt voor de Boudewijnsdijk vastgesteld dat NKD gemiddeld 13 cm boven TAW ligt. Te Wilmarsdonk ligt NKD een 10 cm boven TAW.

Uit bovenstaande wordt vastgesteld dat de peilen grofweg verondersteld kunnen worden op TAW uit te komen met een onzekerheidsmarge van -10 cm tot 0 cm.

Uit een in 2005 opgesteld plan in kader van de renovatie (Vlaamse Overheid, Afdeling Maritieme Toegang, 2005) volgt een bodempeil -9.89 m TAW voor de kolk en tussen de roldeuren. Bemerkt dat dit een 11 cm lager ligt dan het bodempeil -10.00 m KD uit het gescand plan uit het tijdschrift OW uit 1924.

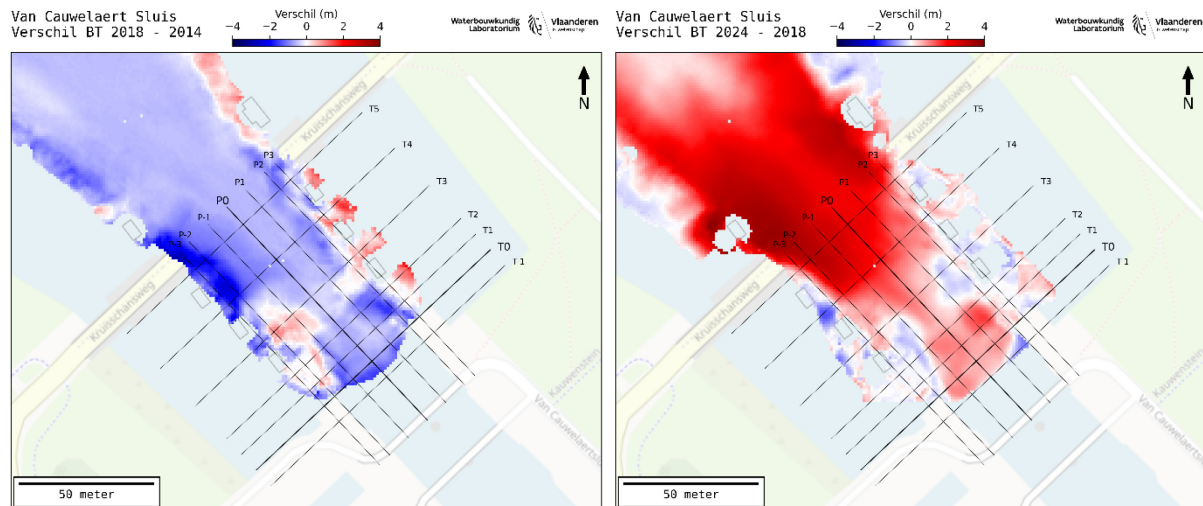
2.2 Analyse bathymetrie

Om inzicht te krijgen in de erosie- en sedimentatiepatronen wordt een bathymetrische analyse uitgevoerd. Hiervoor wordt een meting uit 2014, 2018 en een recente meting uit 2024 beschouwd. Een voorstelling van deze drie metingen wordt gegeven in Figuur 6. Bemerkt dat de meting uit 2024 werd uitgevoerd in kader van dit project en de breedste dekking heeft zowel naar de oevers als naar de kolk toe. Op de bathymetrie zijn duidelijke de erosiekuilen ten gevolge van de uitstroming uit de uitlaten in het benedenhoofd waar te nemen.



Figuur 6 – Overzicht bathymetriemetingen

Uit de verschilkaarten, zie Figuur 7, volgt dat deze erosiekuilen zo goed als stabiel zijn in de tijd. Tussen 2014 en 2018 valt op dat het bodempeil in de vaargeul met ca. 2 m is afgenomen om in 2024 terug met een 2 m te zijn toegenomen. Bemerkt dat de Van Cauwelaertsluis een zeesluis betreft die ingezet wordt voor de binnenvaart en hierdoor gekenmerkt wordt door sterke sedimentatie.



Figuur 7 – Verschilkaarten

Daarnaast worden een aantal profielen vergeleken. De langs- en dwarsstransecten voor deze profielen worden gegeven in Figuur 8 en Tabel 1.



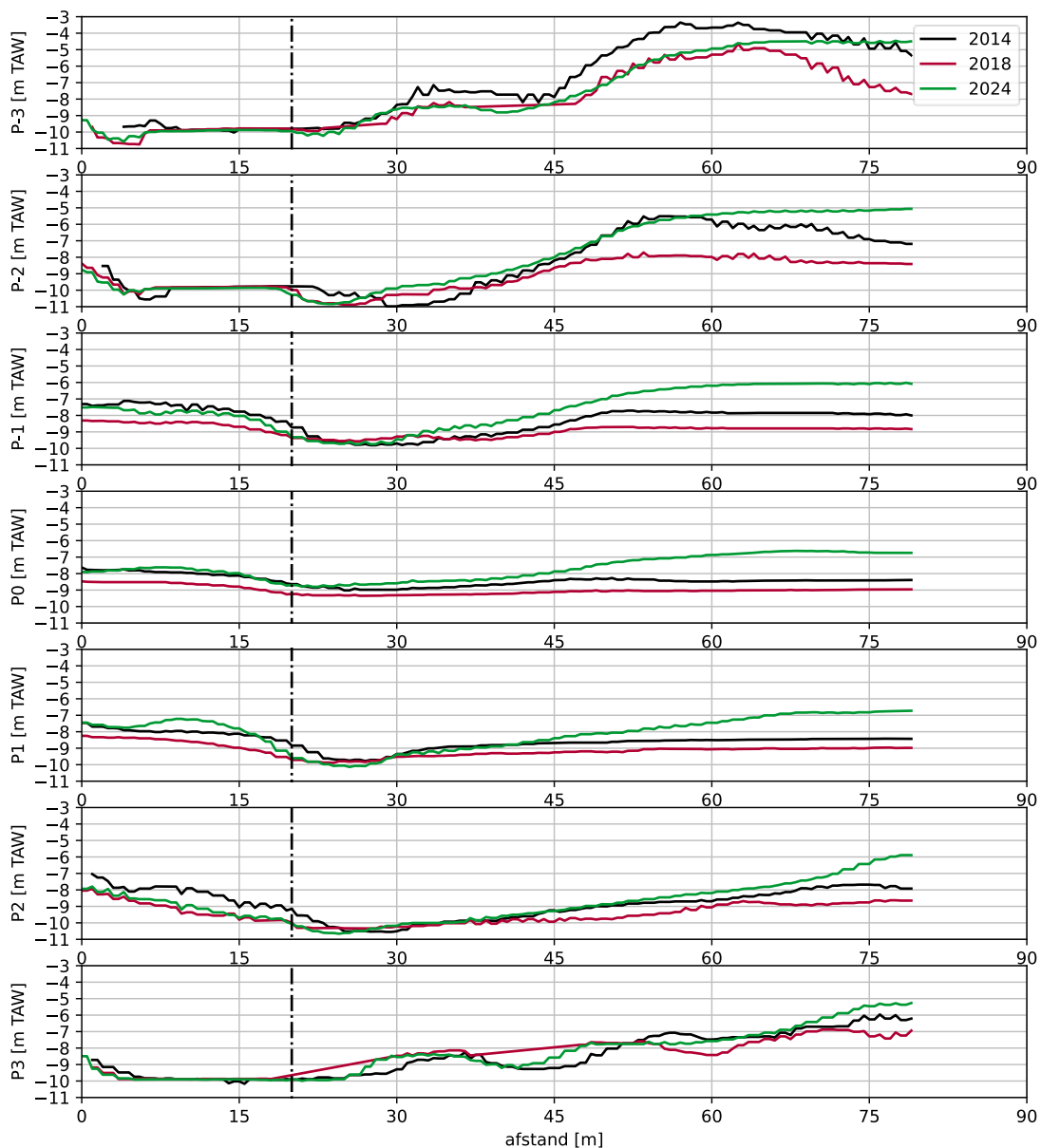
Figuur 8 – locatie transecten

Tabel 1 – Beschrijving transecten

Naam	Afstand (m) tot T0	Beschrijving
T-1	-8	
T0	0	Dagvlak uitlaat
T1	8	
T2	16	
T3	33	Tussen drukdalven
T4	52	Tussen drukdalven
T5	70	Voor bestaande brug

Naam	Afstand (m) tot P0	Beschrijving
P-3	-24.3	Center uitlaat
P-2	-19.1	Dagvlak kolk
P-1	-9.55	¼ kolkbreedte
P0	0	Thalweg
P1	9.55	¼ kolkbreedte
P2	19.1	Dagvlak kolk
P3	24.3	Center uitlaat

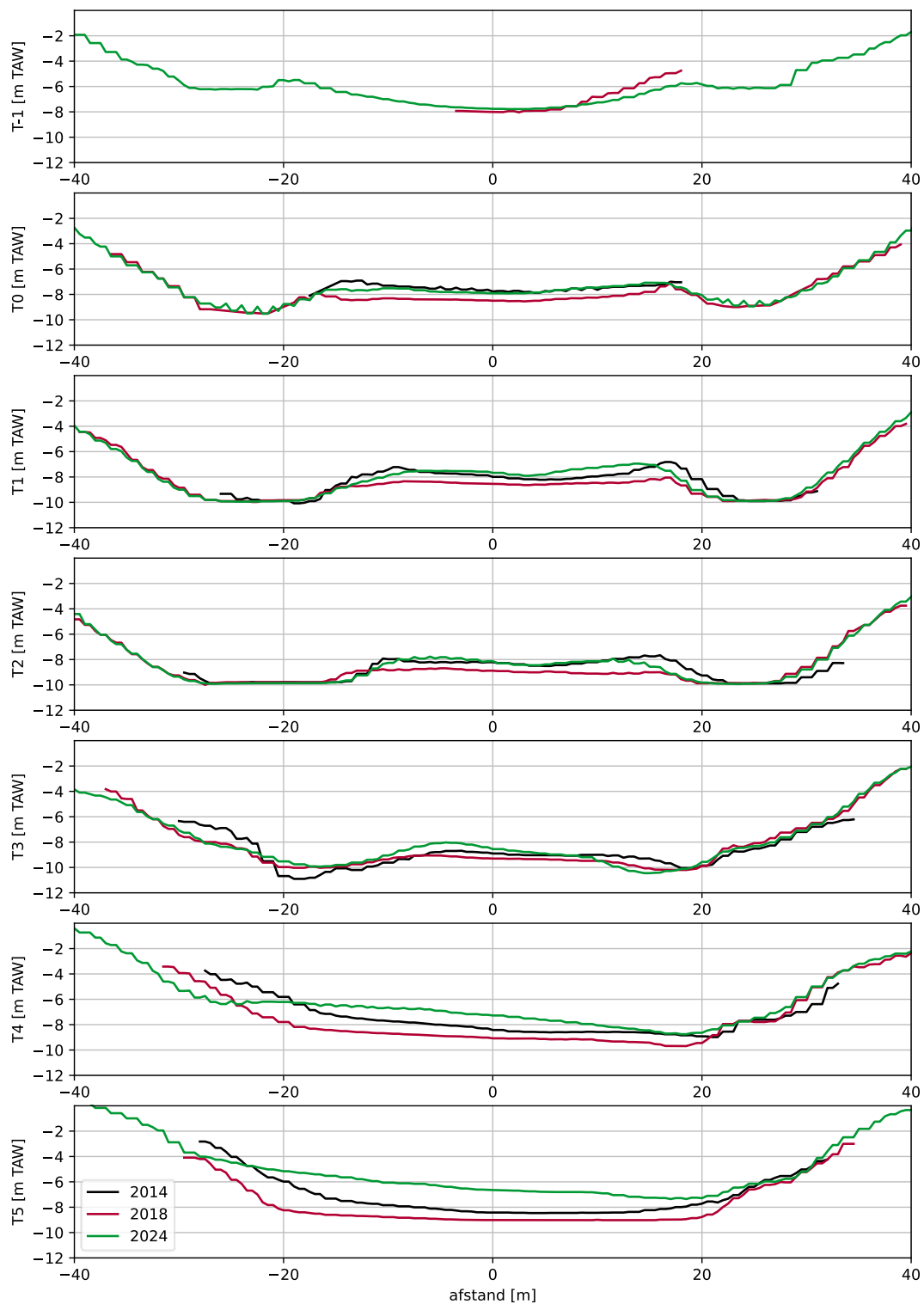
De profielen van de langstransecten, naamgeving begint met “P”, worden voorgesteld in Figuur 9 en de profielen voor de dwarstransecten, naamgeving begint met “T”, worden voorgesteld in Figuur 10. In deze figuren wordt xxxx aangeduid met een punt-streeplijn.



Het nulpunt op de X-as betreft het dagvlak van de uitlaten, de punt-streeplijn geeft het einde van de bodemplaat weer.

Figuur 9 – Langs transecten

Op de transecten P-3, P-2 en P3 is een duidelijke aflijning van de bodem op - 9.8 tot - 9.9 m TAW te zien tot op +/- 20 m uit het dagvlak van de uitlaat. Het bodempeil van deze aflijning komt overeen met het bodempeil van de kolk volgend uit het in 2005 opgestelde plan in kader van de renovatie (Vlaamse Overheid. Afdeling Maritieme Toegang, 2005). Volgend op het einde van de vloerplaat wordt in een aantal transecten in het verlengde van de uitstroom nog een beperkte erosie tot een diepte - 11 m TAW opgemerkt. Dit betreft erosie volgend op de vloerplaat met een diepte gelijk aan de dikte van de vloerplaat op plan, zie Figuur 3. In de invloedszone van de uitstroming is het bodempeil vrijwel constant en wordt dus niet beïnvloed door het proces van sedimentatie en baggerwerken.

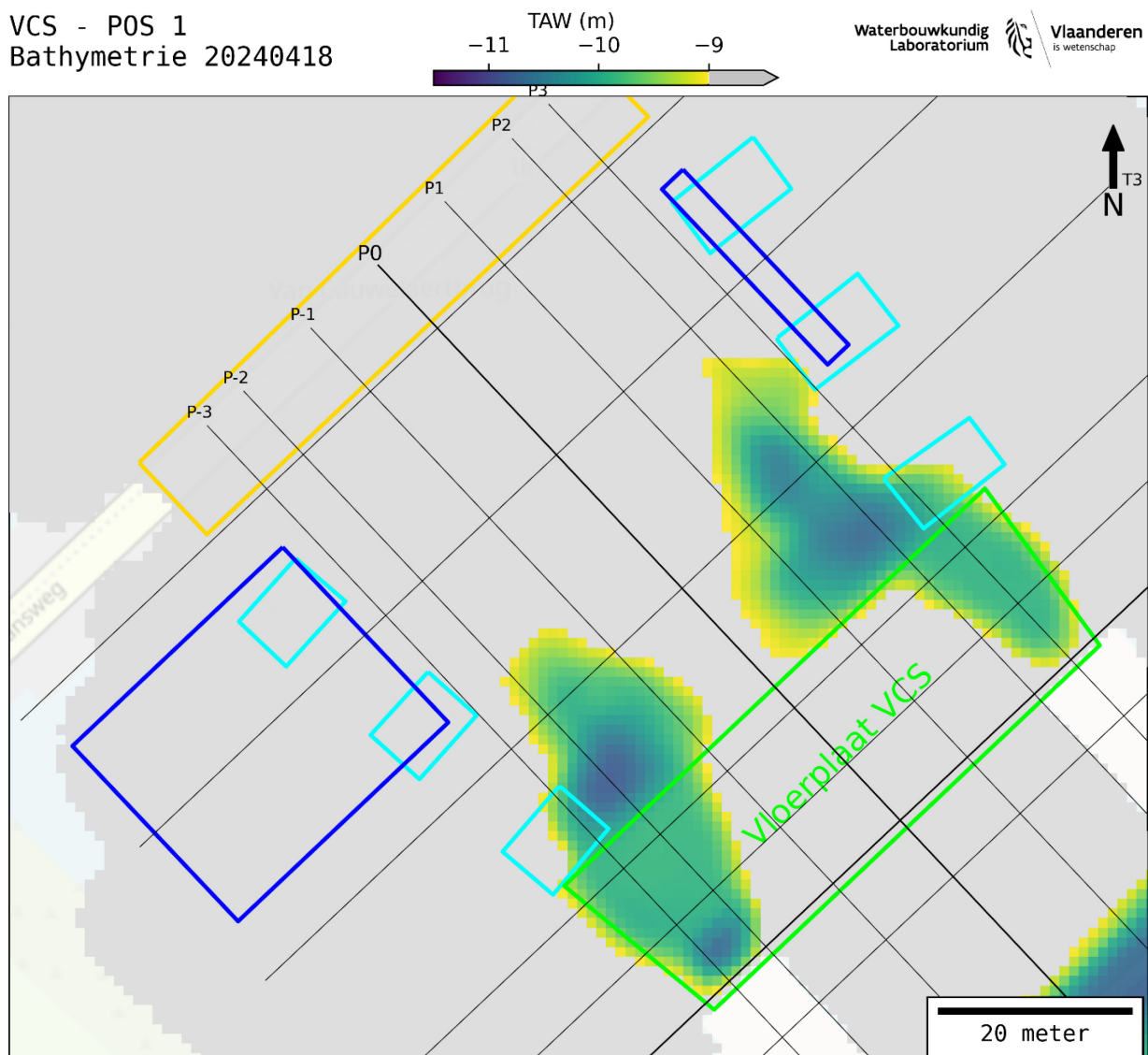


De afstand op de X-as betreft de afstand ten opzichte van de centerlijn van de kolk (georiënteerd van linker- naar rechteroever)

Figuur 10 – Dwars transecten

Uit de dwarssecten valt op dat op transect T2 – 16 m ten opzichte van het benedenhoofd – een duidelijk erosiepatroon ten gevolge van de uitstroming vertoont. Het erosiepatroon is stabiel in tijd en in verticale richting begrensd tot de vloerplaat. In transect T3 - 33 m ten opzichte van het benedenhoofd – is in het bodemprofiel de invloed van de uitstroming nog merkbaar. Vanaf transect T4 – 52 m ten opzichte van het benedenhoofd – is de invloed van de uitstroming niet meer merkbaar in het bodemprofiel.

Figuur 11 toont een detail van de bathymetrie binnen -11,55 m TAW tot -9,00 m TAW. Na de vloerplaat is in de invloedszone van beide uitlaten bodemerosie zichtbaar tot ongeveer -11 m TAW. Er valt een verschil op in het erosiepatroon tussen de linker uitlaat (=zuidzijde) en rechter uitlaat (=noordzijde). Het erosiepatroon volgend op de uitlaat van het rechteromloopriool lijkt hierbij afwijkend. Verder is er een verdieping in de vloerplaat bij de uitlaat van het linkeromloopriool. Deze verdieping is in transect P-3, zie Figuur 9, ook al zichtbaar op de in 2018 opgemeten bathymetrie.



Figuur 11 – Detail erosie ter hoogte van vloerplaat uit meting 2024

2.3 Afleiding uitstroomdebieten en snelheden

Het uitstroomdebiet en de stroomsnelheid kan afgeleid worden door de daalsnelheid van het kolkpeil in de tijd te vermenigvuldigen met het kolkoppervlak.

De kolk lengte wordt afgeleid uit een bekistingsplan opgemaakt in kader van de renovatie (THV ROEGIERS/DEPRET - NV VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION - NV EGEMIN, 2011a). Het te nivelleren kolkoppervlak in functie van de deurcombinatie wordt gegeven in Tabel 2. Bemerk dat ook de binnenzijde van één van de twee roldeuren mee zal genivelleerd worden. Voor de bepaling van de kolk lengte wordt hierom de as op as afstand van de deuren gehanteerd.

Tabel 2 – Kolk lengte

	Nuttige kolk lengte [m]	as-as [m]
binnendeuren	226	234
1 binnen en 1 buiten deur	248	256
buitendeuren	270	278

Ook de oppervlakte van minstens één deurkamer wordt mee genivelleerd. De oppervlakte van de deurkamers wordt afgeleid uit een in kader van de renovatie opgesteld bekistingsplan (THV ROEGIERS/DEPRET - NV VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION - NV EGEMIN, 2011b). De gebruikte breedte en deurdiepte en de hieruit volgende oppervlakte wordt gegeven in Tabel 3. Bemerk dat het oppervlak bepaald wordt tussen een peil +0.25 m TAW en een peil +4.00 m TAW.

Tabel 3 – Oppervlak deurkamer

	Breedte [m]	Lengte [m]	Oppervlak [m ²]
deurkamer	8.9	41	364.9

Op basis van een kolk breedte gelijk aan 35.0 m, de in Tabel 2 gegeven kolk lengte en de in Tabel 3 gegeven oppervlakte van een deurkamer wordt het te nivelleren oppervlak in functie van de ingezette deurcombinatie bepaald, zie Tabel 4.

Tabel 4 – Te nivelleren oppervlak [m²]

Ingezette deurcombinatie	Kolk	Deurkamers	Totaal
Sluiten van beide binnendeuren	8190	364.9	8554.9
Sluiten van één binnen- en één buitendeur	8960	729.8	9689.8
Sluiten van beide buitendeuren	9730	1094.7	10824.7

dataset	Tijdreeks		Deurcombinatie		Kolk opper vlak [m²]	Tijdstap tijdreeks [s]	Schuif buiten dienst
	Start	einde	Beneden hoofd	Boven hoofd			
Tweezijdig	21:38 14/5/2024	10:37 15/5/2024.	1	3	9689.8 m²	47 s	/
Eenzijdig benedenhoofd	18:02:30 20/08/2024	04:37:31 21/08/2024	1	3	9689.8 m²	19 s	3*

Uit de peilmetingen wordt het in-en uitgaand debiet uit de kolk als volgt afgeleid:

$$Q = \frac{dh}{dt} \cdot S_{kol\,k}$$

- Q Instromend debiet kolk $[m^3/s]$
- dh/dt Variatie van het kolkpeil in de tijd $[m/s]$
- S_{kolk} Kolkoppervlak, zie Tabel 5 $[m^2]$

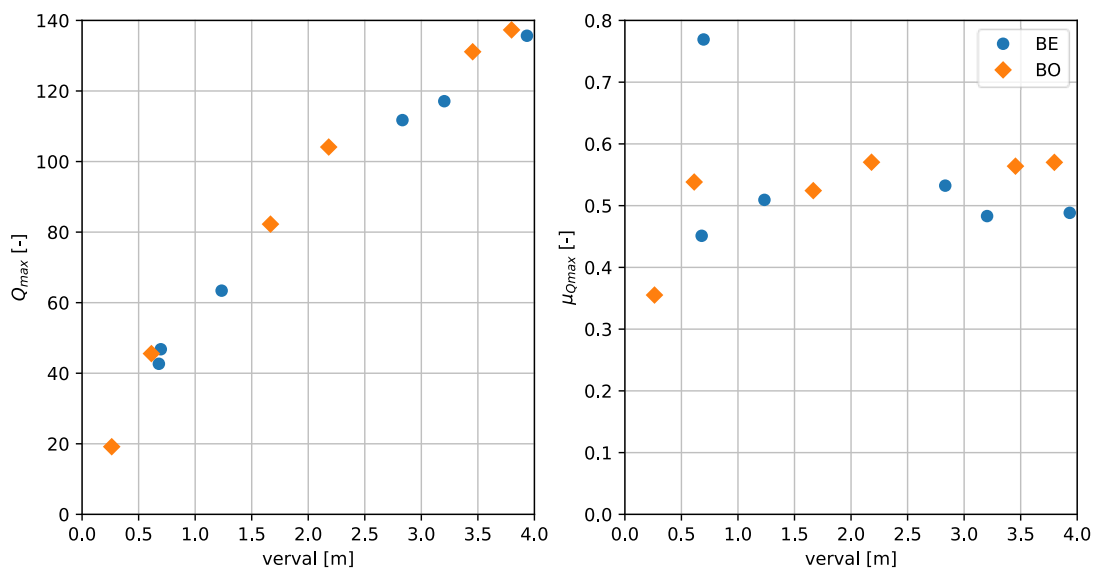
13

$$Q_{max} = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta H_{Q_{max}}}$$

Met:

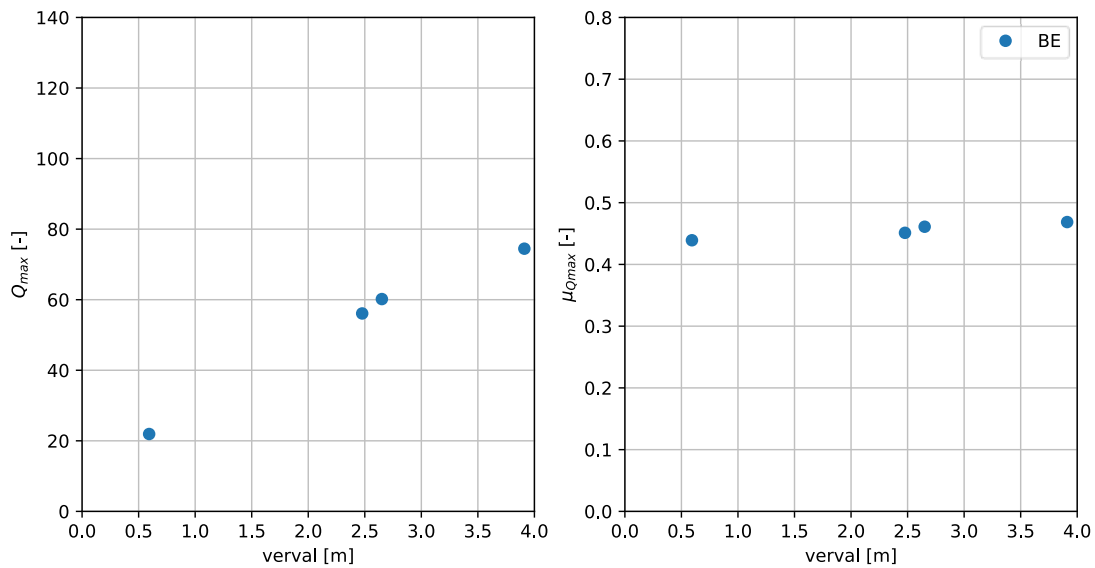
- Q_{max} Maximaal debiet $[m^3/s]$
- μ Afvoercoëfficiënt $[-]$
- A Natte sectie riool $[m^2]$
- g Zwaartekrachtversnelling = 9.81 m/s^2 $[m/s^2]$
- $\Delta H_{Q_{max}}$ Verval op tijdstip maximaal debiet $[m]$

Voor de tweezijdige nivelleringen wordt het maximaal debiet en de afvoercoëfficiënt in functie van het verval bij aanvang nivellieren gegeven in Figuur 12. Bemerk in deze figuur dat er een duidelijk verband bestaat tussen het maximum debiet en het verval bij aanvang nivellieren. De afvoercoëfficiënt heeft bij vervallen boven 1.0 m een constant verloop, bij de lagere vervallen zijn de hefschuiven niet volledig geopend op het tijdstip van maximaal debiet. Bemerk dat niettegenstaande de behoorlijk grote tijdstap van 47 s de resultaten consistent zijn.



Figuur 12 - Tweezijdig nivellieren – maximaal debiet en afvoercoëfficiënt in functie van verval

Voor de eenzijdige nivelleringen met het linkeromloopriool van het benedenhoofd wordt het maximaal debiet en de afvoercoëfficiënt in functie van het verval bij aanvang nivellieren gegeven in Figuur 13. Bemerk dat net zoals bij de tweezijdige nivelleringen de afvoercoëfficiënt onafhankelijk is van het verval.



Figuur 13 – Eenzijdig nivelleren linkeromloopriool benedenhoofd – maximaal debiet en afvoercoëfficiënt in functie van verval

De globale afvoercoëfficiënt van het beneden- en bovenhoofd (μ_G) bij tweezijdig nivelleren en de afvoercoëfficiënt van het benedenhoofd bij eenzijdig nivelleren met het linkeromloopriool (μ_L): wordt bepaald als de gemiddelde afvoercoëfficiënt van de nivelleringen met een verval groter dan 1.0 m. Bijkomend wordt de afvoercoëfficiënt voor het rechteromloopriool (μ_R) van het benedenhoofd als volgt afgeleid=

$$Q_{G-max} = Q_{L-max} + Q_{R-max}$$

$$\mu_G \cdot A_G \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta H_{Qmax}} = \mu_L \cdot A_L \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta H_{Qmax}} + \mu_R \cdot A_R \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta H_{Qmax}}$$

$$\mu_R = 2 \cdot \mu_G - \mu_L$$

Met:

- Q_{G-max} Maximaal debiet [m³/s]
- μ_G Globale Afvoercoëfficiënt [-]
- A_G Natte sectie rechter- en linkerriool ($A_G = A_L + A_R$) [m²]
- Q_{L-max} Maximaal debiet linkerriool [m³/s]
- μ_L Afvoercoëfficiënt linkerriool [-]
- A_L Natte sectie linkerriool [m²]
- Q_{R-max} Maximaal debiet rechterriool [m³/s]
- μ_R Afvoercoëfficiënt rechterriool [-]
- A_R Natte sectie rechterriool [m²]
- g Zwaartekrachtversnelling = 9.81 m/s² [m/s²]
- ΔH_{Qmax} Verval op tijdstip maximaal debiet [m]

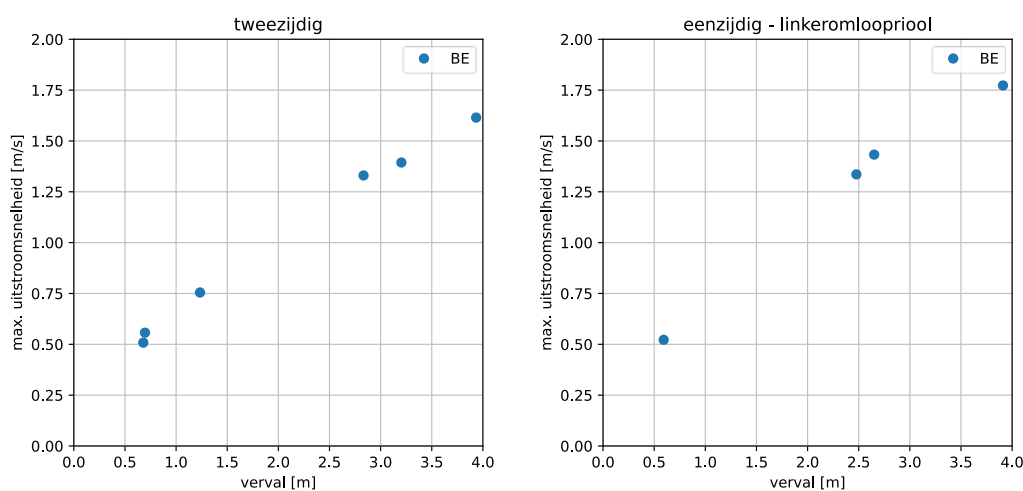
De afvoercoëfficiënten worden samengevat in Tabel 6. Bemerkt dat er enig verschil is tussen de afvoercoëfficiënt van benedenhoofd en bovenhoofd. De vermoedelijke verklaring is dat de hydraulische verliezen van in- en uitlaten en splitsingen richtingsafhankelijk zijn. De vermoedelijke verklaring voor de lagere afvoercoëfficiënt van de linkeromloopriool betreft de omleiding van de linkeromloopriool rondom de deurkamers met een toename in lengte en een 4 bijkomende bochten als gevolg.

Tabel 6 – Afvoercoëfficiënten μ [-]

Bovenhoofd	Benedenhoofd		
BO tweezijdig	tweezijdig	linkeromloopriool	rechteromloopriool
0.56	0.50	0.46	0.54

Op basis van de verhouding van de afvoercoëfficiënten volgt dat op het tijdstip van maximaal debiet een 46 % van het debiet uit de linkeromloopriool komt en een 54 % van het debiet uit de rechteromloopriool komt. Bemerkt dat deze analyse geen rekening houdt met inertieverschijnselen. Door de langere lengte van de lange omloopriool zal het debiet trager opbouwen maar na bereiken van het maximaal debiet ook trager afbouwen, zie bijvoorbeeld de analyse van de overtravel in de Kieldrechtsluis (Vercruysse *et al.*, 2017b; a, 2019). Om de invloed hiervan mee te nemen dient een hydraulisch netwerkmodel van de Van Cauwelaertsluis opgesteld te worden dat gekalibreerd wordt op één- en tweezijdige nivellerings met beide omloopriolen. Voor voorliggende vraag wordt dit niet opportuun geacht.

Op basis van de in paragraaf 2.1 bepaalde sectie van de uitstroombopeningen wordt de maximale sectiegemiddelde uitstroomsnelheid bepaald. Bemerkt in Figuur 14 dat bij een verval gelijk aan 4 m een uitstroomsnelheid 1.6 m/s wordt bekomen bij tweezijdig nivelleren en 1.75 m/s bij eenzijdig nivelleren met de linkeromloopriool.



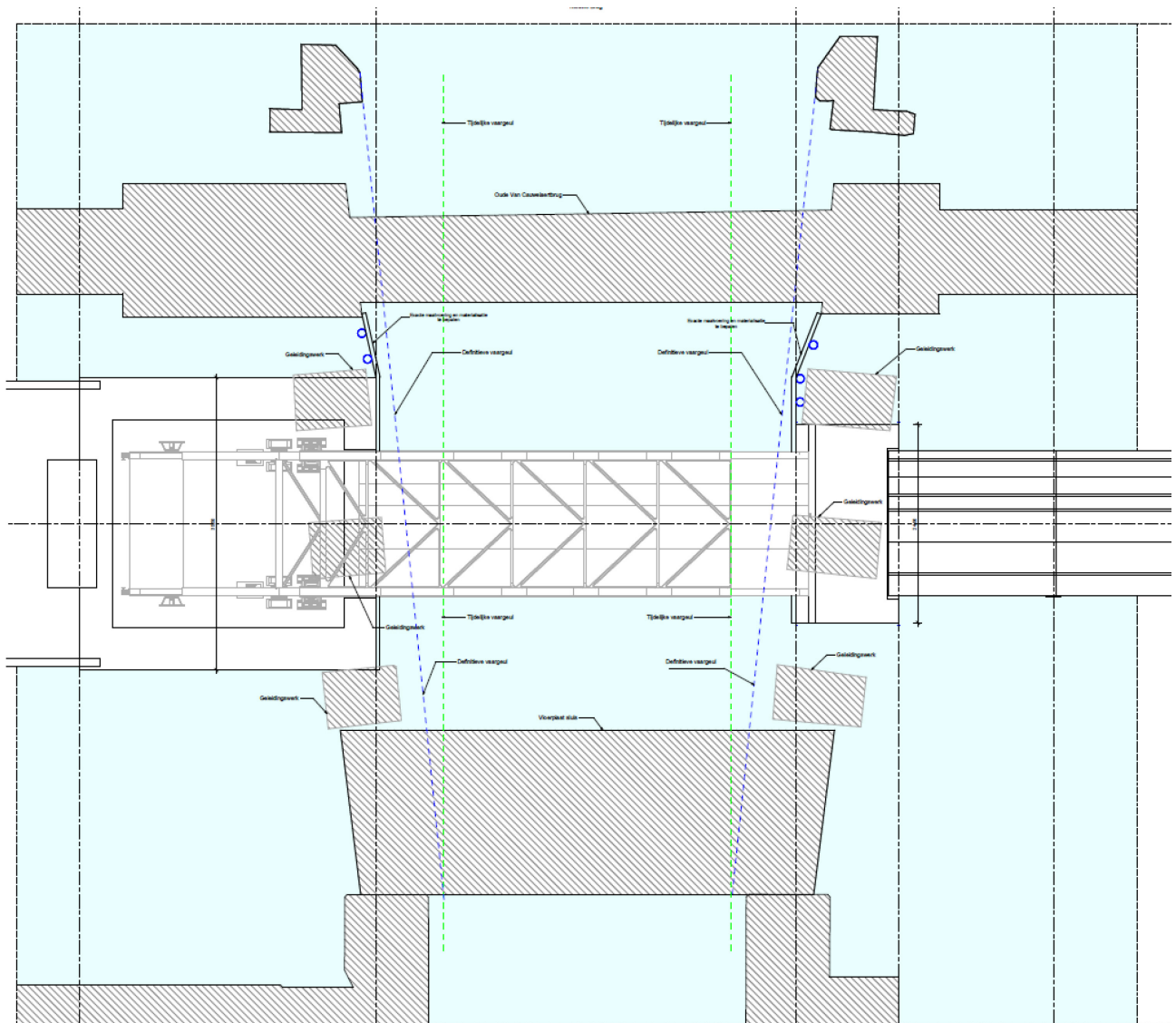
Figuur 14 - Maximale uitstroomsnelheid benedenhoofd in functie van verval

3 Evaluatie voorkeursontwerp

Het door het studiebureau opgestelde voorkeursalternatief wordt voorgesteld in paragraaf 3.1. Dit voorkeursalternatief wordt in paragraaf 3.2 geëvalueerd.

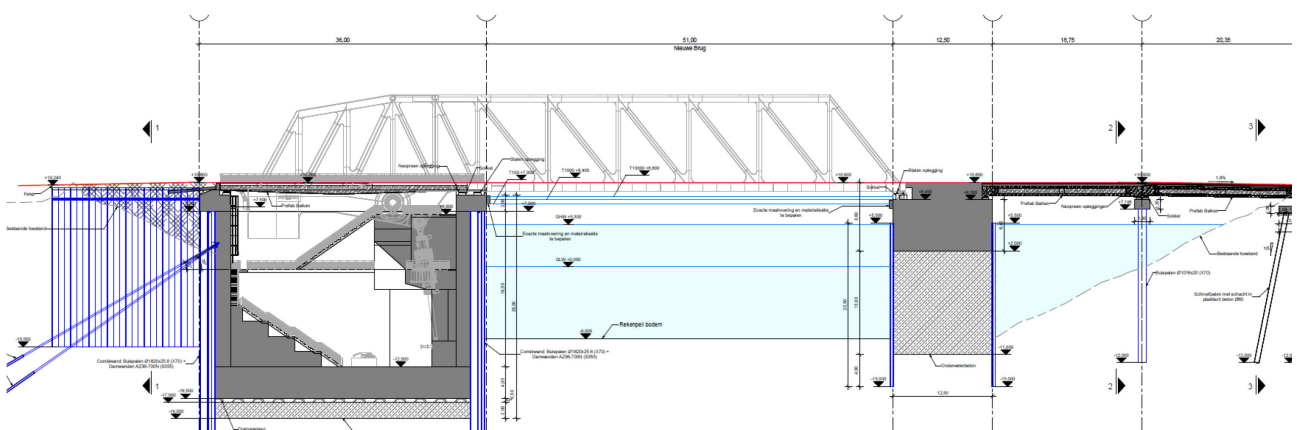
3.1 Voorkeurontwerp

Door SWECO werd een voorkeursontwerp uitgewerkt. Dit voorkeursontwerp omvat een bascule brug met een kelder die tussen de oude brug en de sluis in komt te liggen. Een detail van een door het studiebureau opgesteld conceptinrichtingsplan en doorsnede wordt overgenomen in Figuur 15 en Figuur 16.



mail Björn van De Walle dd. 15/08/2025

Figuur 15 – Concept inrichtingsplan voorkeursontwerp



mail Björn van De Walle dd. 15/08/2025

Figuur 16 – Concept doorsnede voorkeursontwerp

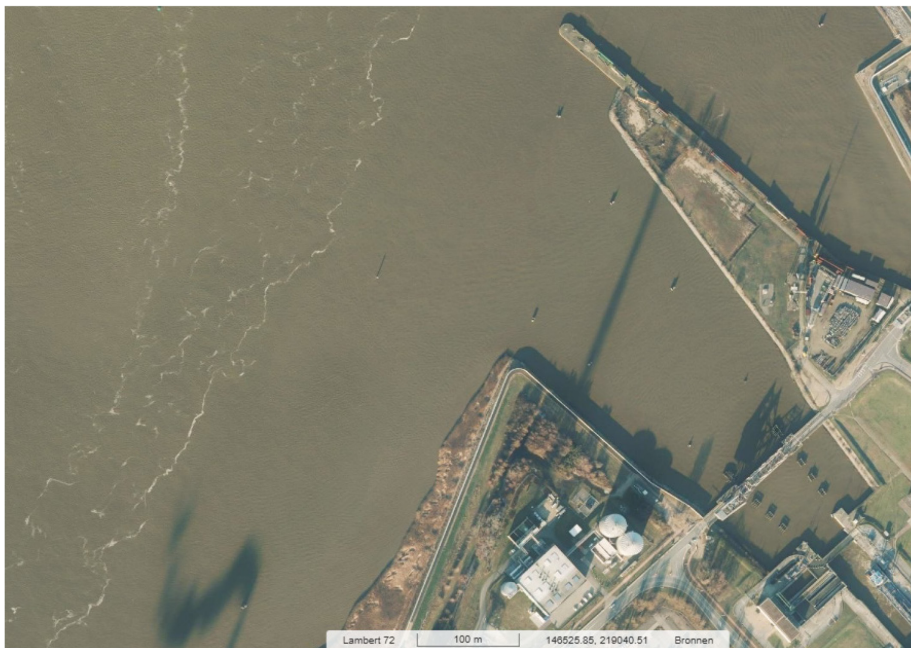
Om de overspanning beperkt te houden komt de basculebrug tussen de oude brug en de kolk in te liggen. De kelder van de basculebrug wordt ingepland in de linkeroever en aan de rechteroever wordt een pijler voorzien. Zowel de kelder als de pijler betreffen gesloten structuren. De ruimte achter de brugkelder wordt opgevuld terwijl achter de pijler aan rechterzijde nog stroming mogelijk is.

3.2 Evaluatie

3.2.1 Nautische toegankelijkheid

De kelder en pijler van de basculebrug komen achter de vaarweg te liggen gedefinieerd door de oude brug en het dagvlak van de kolk. De huidige dukdalven komen te vervallen. Bemerk dat aan Scheldezijde van de huidige brug nog een ruime voorhaven aanwezig is, zie Figuur 17. Door de grote lengte van de voorhaven aan Scheldezijde van de bestaande brug kan een open niet doorlopende fendering toegepast worden. Er dient over gewaakt te worden dat het brugdek in geopende toestand zich buiten de vaarweg bevindt.

Bij gebruik van de boegschroef tijdens invaren zal reflectie optreden op de gesloten kelder en brugpijler. Het schip zal hierbij een plotse en aanzienlijke dwarskracht ondervinden. Aangezien deze structuren duidelijk zichtbaar zijn en het havengebied gekenmerkt wordt door meerdere complexe structuren wordt dit niet als een probleem beschouwd.



www.geopunt.be luchtfoto winter 2024

Figuur 17 – Voorhaven Scheldezijde Van Cauwelaertsluis

Voor de tijdelijke situatie worden volgende aandachtspunten meegegeven:

- Om ruimte te voorzien voor de bouw van de kelder en de brugpijler kan in de tijdelijke situatie de aslijn van de kolk doorgetrokken worden.
- Ook de tijdelijke situatie dient bestand te zijn tegen aanvaringen.

3.2.2 Impact op vullen – ledigen sluis

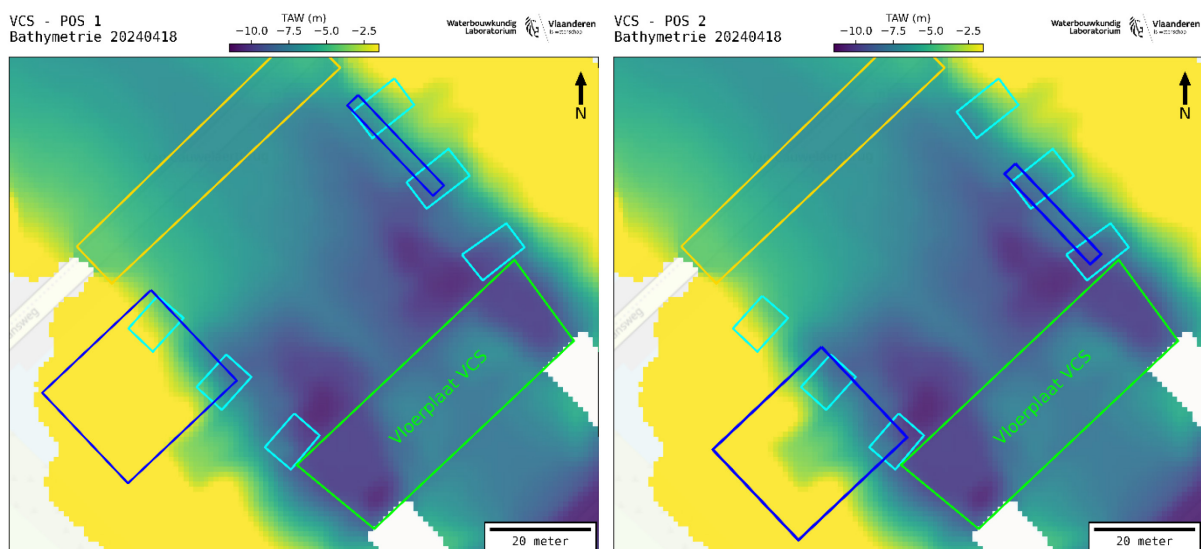
De voorgestelde constructie heeft geen invloed op het vullen of ledigen van de sluis.

3.2.3 Impact uitstroming op kelder en pijler van de basculebrug

De brugkelder komt op ca. 27 m ten opzichte van het benedenhoofd van de kolk te liggen. Uit de analyse van de bathymetrie, zie paragraaf 2.2 volgt dat de uitstroming uit de riolen hier al naar het center van de vaargeul is toegetrokken. Ook zijn de uitstroomsnelheden uit de Van Cauwelaertsluis (1.75 m/s bij een verval 4.0 m) nog relatief beperkt. Om deze redenen dient de uitstroming niet in detail onderzocht te worden door middel van een CFD-modellering. Ook een hydraulische geoptimaliseerde vormgeving van de kelder en brugpijler zijn niet vereist.

3.2.4 Erosiebescherming

De eerste 20 m afwaarts van het benedenhoofd is een harde vloerplaat voorzien op -9.89 m TAW. Volgend op deze vloerplaat is er een beperkte lokale erosie tot - 11.00 m TAW. De kelder en pijler van de basculebrug komen op 27 m ten opzichte van het benedenhoofd te liggen. Aanbevolen wordt om een doorlopende erosiebescherming te voorzien vanaf het einde van de vloerplaat tot aan de kelder en pijler van de brug over de volledige breedte van de vaargeul. Deze erosiebescherming kan bestaan uit een steenbestorting en kan ook dienen als overgangszone tussen de betonplaat en de niet beschermde bodem. Ten gevolge van gebruik van boegschroeven bij invaren van de sluis, zal reflectie van de straal van de boegschroeven tegen de wand van de brugkelder en de pijler vermoedelijk maatgevend zijn voor de bodembescherming onmiddellijk naast de brugkelder en de pijler. Bijgevolg wordt aanbevolen om de bodembescherming te dimensioneren op basis van stroming ten gevolge van boegschroef.



Figuur 18 – Contouren uiterste scenario's brugkelder en pijler Van Cauwelaertsluis

Aanbevolen wordt om na ingebruikname de bodembescherming te monitoren aan de hand van opmetingen van de bathymetrie.

4 Conclusies

Afdeling Maritieme Toegang onderzoekt de vervanging van de brug aan Scheldezijde van de Van Cauwelaertsluis. Hiervoor werd aan het studiebureau SWECO de opdracht gegeven om een voorkeursontwerp uit te werken. Aan de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium werd gevraagd om hydraulische en nautische expertise aan te leveren.

Dit rapport vat de hieruit opgedane inzichten en aanbevelingen samen. De conclusies kunnen opgedeeld worden in een onderzoek van de bestaande toestand en een hydraulische en nautische evaluatie van het door het studiebureau opgemaakte voorkeursontwerp.

Onderzoek bestaande toestand:

- Uit nazicht van de bestaande plannen bleken deze op vlak van nivelleersysteem en erosiebescherming aan benedenhoofd onvolledig. Op basis van het doornemen van foto -en tijdschriftarchieven werd een goed beeld verkregen van zowel het nivelleersysteem als de erosiebescherming aan benedenhoofd.
- Vervolgens werd een analyse uitgevoerd van in 2014, 2018 en 2024 uitgevoerde opmetingen van de bathymetrie in de voorhaven aan Scheldezijde. Deze analyse bevestigt de aanwezigheid van een vloerplaat over de eerste 20 m. Beperkte erosie wordt opgemerkt volgend op deze vloerplaat en nabij de uitlaat van het riool aan linkeroever.
- De debieten en snelheden bij uitstroming werden afgeleid uit de peilmetingen van de sluis. Hieruit volgde een beperkte onevenwicht in het debiet tussen het linker- en rechterriool. Bij een verval van 4.0 m bedraagt de maximale sectiegemiddelde uitstroomsnelheid ca. 1.75 m/s.
- Bij PoAB werd navraag gedaan naar de ervaringen met het gebruik van de Van Cauwelaertsluis. Hieruit volgden geen bijzonderheden.
- Deze inzichten werden tijdens een overleg meegedeeld aan Afdeling Maritieme Toegang en het studiebureau.

Evaluatie voorkeursontwerp:

- Door het studiebureau werd een voorkeursontwerp opgesteld. Dit voorkeursontwerp bestaat uit een basculebrug die tussen de oude brug en de sluis in komt te liggen. Aan de linkerzijde van de toegangsgeul komt hierbij een brugkelder en aan rechterzijde een gesloten pijler.
- Uit een evaluatie van het overgemaakte voorkeursontwerp volgt dat dit de nautische toegang niet verhindert. Door de grote lengte van de voorhaven aan Scheldezijde van de bestaande brug kan een open niet doorlopende fendering toegepast worden.
- Op basis van een vergelijking van de inplanting met de bathymetrie volgde dat de nieuwe kelder en pijler zich niet in het rechtstreekse tracé van de uitstroming bevinden. Een CFD-simulatie en hydraulische optimalisatie van de kelder en brugpijler zijn hierdoor niet vereist.
- Tussen het einde van de vloerplaat en de kelder en pijler van de basculebrug dient een erosiebescherming voorzien te worden. Dit kan een erosiebescherming uit steenbestorting zijn. De bodembescherming dient gedimensioneerd te worden op basis van stroming ten gevolge van schroefstralen (hoofdschroef en boegschroef). Het is aanbevolen om na aanleg de bodembescherming regelmatig te monitoren aan de hand van opmetingen van de bathymetrie.

5 Referenties

- Bonnet, L.** (1924). Les travaux d'extension du port d'Anvers. *Tijdschr. der Openb. Werken van België = Ann. des Trav. Publics Belgique* 25: 651–660
- De Mulder, T.; Cerpentier, S.; De Brabanter, W.** (2007). Ontsluiting bibliotheek WL op het vlak van schutsluizen: deel 1. *WL Rapporten*, 822/1A. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. 8 + 57 p. appendices pp.
- THV ROEGIERS/DEPRET - NV VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION - NV EGEMIN.** (2011a). Renovatie Van Cauwelaertsluis - BEKISTINGSPLAN Aanzichten en doorsneden saswand - kant Zuid
- THV ROEGIERS/DEPRET - NV VICTOR BUYCK STEEL CONSTRUCTION - NV EGEMIN.** (2011b). Renovatie Van Cauwelaertsluis Fase 1 - Kabelgangen deurkamers - Bekistingsplan TE-B-05-318 C
- Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Mostaert, F.** (2017a). Haven van Antwerpen: Kieldrechtsluis: simulaties reduceren overvulling en overlediging. Version 7.. *WL Rapporten*, 17_059_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Mostaert, F.** (2019). Haven Antwerpen - Kieldrechtsluis: validatie hydraulisch netwerkmodel met betrekking tot overvullen en overledigen. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 19_039_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2017b). Haven Antwerpen - Kieldrechtsluis: meting overvulling en overlediging. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 16_106_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Vereycken, K.; Vanlierde, E.; Taverniers, E.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2015). Over referentievlakken en peilschaalopmetingen in het Zeescheldebekken. *WL Rapporten*, 12_058. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Vlaamse Overheid. Afdeling Maritieme Toegang.** (2005). Haven Van Antwerpen Renovatie Van Cauwelaertsluis – Renovatie van de saskolk verhogen + renovatie Dagvlak Kaaimuur Noord zaanzichten

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