



Vlaanderen
is wetenschap

19_111_1
WL rapporten

Uitwatering Galgenweel

Uitstroom via de oude en nieuwe constructie

DEPARTEMENT
**MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN**

waterbouwkundiglaboratorium.be

Uitwatering Galgenweel

Uitstroom via de oude en nieuwe constructie

Smolders, S.; De Maerschalck, B.; Vercruysse, J.; Plancke, Y.; 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 2020
D/2020/3241/43

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Smolders, S.; De Maerschalck, B.; Vercruysse, J.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2020). Uitwatering Galgenweel: Uitstroom via de oude en nieuwe constructie. Versie 2.0. WL Rapporten, 19_111_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Roeland Notele – De Vlaamse Waterweg NV	Ref.:	WL2020R19_111_1
Keywords (3-5):	Uitwateringsconstructie; Galgenweel; aanslibbing; debiet; overlaat		
Tekst (p.):	36	Bijlagen (p.):	4
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Sven Smolders
------------	---------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Bart De Maerschalck	Getekend door: Bart De Maerschalck (Signa) Getekend op: 2020-03-02 11:03:46 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Bart De Maerschalck</i>
	Yves Plancke	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2020-03-10 11:49:02 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>
	Jeroen Vercruysse	Getekend door: Jeroen Vercruysse (Signatu) Getekend op: 2020-03-02 11:39:56 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Jeroen Vercruysse</i>
Projectleider:	Sven Smolders	Getekend door: Sven Smolders (Signature) Getekend op: 2020-03-08 19:56:18 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Sven Smolders</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Frank Mostaert	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2020-03-03 09:25:54 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	----------------	---



Abstract

Het Galgenweel is gelegen op linkeroever net ten Noorden van de Kennedytunnel. Het is gemiddeld 5 m diep en heeft een oppervlakte van 471700 m². Het wordt niet door beken, maar enkel door regenwater gevoed. In droge zomers kan water uit de Schelde het waterpeil in Galgenweel terug aanvullen. Het is een brakwaterplas die voornamelijk voor zeilsport wordt gebruikt.

Het Galgenweel staat in verbinding met de Schelde door middel van een constructie met drie kokers. Deze oude constructie zal worden vervangen door een nieuwe uitwateringsconstructie met twee iets grotere kokers. Naar aanleiding van deze werken werden drie vragen gesteld: (1) Hoe lang duurt het bij intense regenbuien van 10 tot 30 mm/m² om dit regenwater uit Galgenweel af te voeren door de oude uitwateringsconstructie en welke debieten worden daarbij verwacht? (2) Bij recente inspecties werd in de uitwateringssleuf van de oude constructie aan de Schelde zijde twee meter slib aangetroffen. De oude constructie zal worden opgevuld met vulbeton, maar eerst moet het aanwezige slib geruimd worden. Kan dit slib op één of andere manier weggespoeld worden? (3) Is de nieuwe uitwateringsconstructie voldoende gedimensioneerd om veel regenwater af te voeren? Bij welke hoeveelheden regen zal de constructie zelf de limiterende factor worden op de afgevoerde debieten?

Bij een intense regenbui of bij langdurig regenweer, kan het waterpeil in Galgenweel enkele centimeters stijgen. Indien het regenwater het peil in het Galgenweel doet stijgen tot boven de overlaat, zal er water overstorten en naar de Schelde afgevoerd worden tot het peil van de overlaat terug bereikt wordt. Dit kan enkele dagen tot weken duren, maar de debieten die gehaald worden zijn klein: grootteorde 1 – 40 L/s.

Tot voor kort hielden die kleine debieten de betonnen sleuf aan de Schelde zijde van de oude uitwateringsconstructie wel vrij van slib. Recent is in die sleuf twee meter slib terechtgekomen. Dit rapport toont aan dat zelfs met kleine stroomsnelheden (en dus lage debieten door de uitwateringsconstructie), i.e. vanaf 0.14 -0.23 m/s, al slib kan geërodeerd worden.

Er werden enkele oefeningen gesimuleerd om een redelijk debiet door de oude uitwateringsconstructie te bekomen om zo dit slib uit te spoelen. Twee mogelijke oplossingen werden gevonden, waarvan één de duidelijke voorkeur draagt. Enerzijds kan men de terugslagkleppen van de oude uitwateringsconstructie open zetten zodat er water van de Schelde naar het Galgenweel kan stromen. Dit water zal bij laagwater dan ook weer naar buiten stromen en slib eroderen. Bij deze oplossing verwachten we echter dat er ook veel slib in het Galgenweel zal terechtkomen en dat is ecologisch gezien minder gewenst. Een tweede oplossing bestaat erin te wachten tot de nieuwe uitwateringsconstructie klaar is en deze dan te gebruiken om water uit de Schelde in het Galgenweel te laten stromen. Twee hoogwaters kunnen het waterpeil in het Galgenweel op die manier met bijna 0.1 m doen stijgen. Dit water kan dan door de oude uitwateringskokers terug naar de Schelde stromen bij laagwater en het slib in de uitwateringssleuf eroderen.

De voorgestelde oplossingen werden theoretisch berekend met heel wat aannames van parameters. De eventueel gekozen oplossing kan in praktijk best kort getest en gemonitord worden, voordat deze langdurig zou worden toegepast.

De nieuwe uitwateringsconstructie zal twee kokers met diameter 0.9 m bevatten daar waar de oude constructie drie kokers met diameter 0.6 m bevat. De nieuwe kokers zullen ook veel hoger (bodempokers op 3.2 m TAW tegenover 0.6 m bij de oude constructie) in de dijk tussen het Galgenweel en de Schelde geplaatst worden. Een korte berekening leerde dat deze nieuwe kokers ruim genoeg berekend werden om regenwater dat het peil in Galgenweel doet stijgen, af te voeren. Er moet al 400 mm neerslag op zeer korte tijd vallen opdat de diameters van de nieuwe kokers limiterend zouden zijn voor het afgevoerde debiet aan regenwater.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Situatieschets en probleemstelling	1
1.1 Situering Galgenweel.....	1
1.2 Waterpeil Galgenweel	4
1.3 Uitwatering Galgenweel	4
1.4 Probleemstelling.....	6
2 Debiet en tijdsverloop huidige uitwatering Galgenweel.....	7
3 Uitspoelen aanslibbing oude uitwatering-koker langs Schelde zijde	11
3.1 Sedimentatie in de sleuf aan de oude uitwatering Galgenweel	11
3.2 Droge Bulk densiteit nieuw slib: vergelijking met Burchtse Weel.....	13
3.3 Eroderen van slib: literatuur.....	13
3.4 Inschatting nodige stroomsnelheid om slib te eroderen	15
3.5 Debieten door oude uitwateringsconstructie met overlaat en getij aan Schelde zijde.....	17
3.5.1 Waterpeil Galgenweel 0.1 m boven overlaat en startende bij doottij	18
3.5.2 Waterpeil Galgenweel 0.2 m boven overlaat en startende bij doottij	19
3.5.3 Verschil tussen starten bij springtij of doottij?.....	21
3.6 Debieten door oude uitwateringsconstructie zonder overlaat, maar met getij aan Schelde zijde	22
3.7 Vullen Galgenweel door oude uitwateringsconstructie.....	23
3.8 Verwijderen overlaat; Galgenweel in open verbinding met de Schelde.....	27
3.9 Nieuwe uitwateringsconstructie als extra inwatering.....	28
3.10 Zal oude uitwateringsconstructie na spoelen vrij blijven van slib?	31
4 Bij welk waterpeil in Galgenweel wordt de diameter van de buizen in de nieuwe uitwateringsconstructie de limiterende factor om water afgevoerd te krijgen?	32
5 Conclusies	33
6 Aanbevelingen	34
7 Referenties	35
Bijlage 1 Bouwplannen oude en nieuwe in- en uitwateringsconstructie Galgenweel	B1
Bijlage 2 Inschatting evaporatie Galgenweel	B3

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Parameter waarden voor berekening uitwateringsdebieten met culvert vergelijkingen.	18
Tabel 2 – Berekening potentiële evaporatie Galgenweel in april en mei 2018	B3

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Situering Galgenweel op linkeroever	2
Figuur 2 – Het Galgenweel in 1925 met diepte aanduiding	3
Figuur 3 – Uitwatering Galgenweel aan Schelde zijde.	5
Figuur 4 – Uitwatering Galgenweel aan Galgenweel zijde.	5
Figuur 5 – Opzet scherpe overlaat om debiet te meten volgens Bos (1989)	7
Figuur 6 – Uitwateringsdebiet over scherpe overlaat Galgenweel voor start bij 10 mm (blauw), 20 mm (oranje) en 30 mm (geel) waterhoogte boven overlaat.....	8
Figuur 7 – Tijdsverloop uitwatering Galgenweel over scherpe overlaat: waterpeil boven overlaat.	9
Figuur 8 – Tijdsverloop uitwatering Galgenweel over scherpe overlaat: waterpeil boven overlaat startende vanaf 100 en 200 mm.	9
Figuur 9 – Uitwateringsdebiet over scherpe overlaat Galgenweel voor start bij 100 mm (rood) en 200 mm (blauw) waterhoogte boven overlaat.....	10
Figuur 10 – Neerslagdata voor 2018 voor locatie Melsele.....	12
Figuur 11 – Turbiditeit voor 2018 voor locatie Oosterweel	12
Figuur 12 – Morfologische evolutie raai oever ter hoogte van uitwatering Galgenweel (1980 – 2018)	13
Figuur 13 – Bulk dichtheid en bodemschuifkracht in functie van de bodemdiepte voor kaolinetklei en bij 35 ppt zoutoplossing	14
Figuur 14 – De bodemschuifkracht, τ_s , in functie van de bodemdiepte, z , voor verschillende consolidatietijden T_{dc}	15
Figuur 15 – Variatie in de wrijvingscoëfficiënt C_d in functie van de waterkolom en voor verschillende Manningcoëfficiënten n	16
Figuur 16 – Stroomsnelheid nodig voor erosie van cohesief sediment in functie van de wrijvingscoëfficiënt C_d en voor verschillende gekozen waarden voor de bodemschuifspanning.	17
Figuur 17 – Schematische voorstelling uitwatering met overlaat en Schelde getij.	18
Figuur 18 – Verloop uitwatering Galgenweel bij 0.1 m regenwater boven de overlaat en startende bij een doottij aan Schelde zijde.....	19
Figuur 19 – Waterstanden in de kokerput aan Galgenweel en in de Schelde voor uitwatering vanaf 0.1 m boven overlaat.....	19
Figuur 20 – Verloop uitwatering Galgenweel bij 0.2 m regenwater boven de overlaat en startende bij een doottij aan Schelde zijde.....	20
Figuur 21 – Waterstanden in de kokerput aan Galgenweel en in de Schelde voor uitwatering vanaf 0.2 m boven overlaat.....	21
Figuur 22 – Verloop uitwatering Galgenweel bij 0.2 m regenwater boven de overlaat. Verschil tussen starten bij springtij of doottij.	21
Figuur 23 – Schematische voorstelling uitwatering zonder overlaat en met laag Schelde getij met slib.....	22
Figuur 24 – Verloop uitwatering Galgenweel zonder overlaat.	23

Figuur 25 – Terugslagklep oude uitwateringsconstructie wordt opengezet en simulatie gestart bij doodtij: waterpeil Galgenweel en debieten door de kokers.	24
Figuur 26 – Waterstanden Galgenweel bij openen terugslagklep oude uitwateringsconstructie. De overlaat ligt op 3.65 m TAW.	25
Figuur 27 – Waterstanden Galgenweel bij openen terugslagklep oude uitwateringsconstructie. Overlaat verlaagt tot 3.35 m TAW en verschillende breedtes van de overlaat.	25
Figuur 28 – Debieten door de oude uitwateringsconstructie bij openen terugslagkleppen bij verlaagde overlaat (3.35 m TAW) en verschillende breedtes.	26
Figuur 29 – Scenario weghalen damwandplanken.	27
Figuur 30 – Schematische voorstelling in- en uitwatering nieuwe constructie + uitwatering door oude constructie. Beide met overlaat en met opgelegd getij langs Schelde zijde.	29
Figuur 31 – Waterstanden Galgenweel bij verschillende variaties in opening kokers en breedtes van de overlaat van de oude constructie.	29
Figuur 32 – Debieten door de oude constructie en over de oude overlaat bij verschillende breedtes van de overlaat.	30
Figuur 33 – Waterstanden Galgenweel bij inwatering door nieuwe constructie en verlagen overlaat oude constructie.	31
Figuur 34 – Debiet versus waterpeil boven overlaat voor debieten over overlaat en debieten door de nieuwe uitwatering.	32
Figuur 35 – Oude uitwateringsconstructie Galgenweel: detail zijaanzicht Schelde zijde.	B1
Figuur 36 – Oude uitwateringsconstructie Galgenweel: detail zijaanzicht Galgenweel zijde.	B1
Figuur 37 – Nieuwe uitwateringsconstructie Galgenweel: detail zijaanzicht Galgenweel zijde.	B2
Figuur 38 – Nieuwe uitwateringsconstructie Galgenweel: detail zijaanzicht Schelde zijde.	B2
Figuur 39 – Berekende evaporatie per dag en cumulatieve evaporatie voor 2019 voor station Herentals.	B4

1 Situatieschets en probleemstelling

1.1 Situering Galgenweel

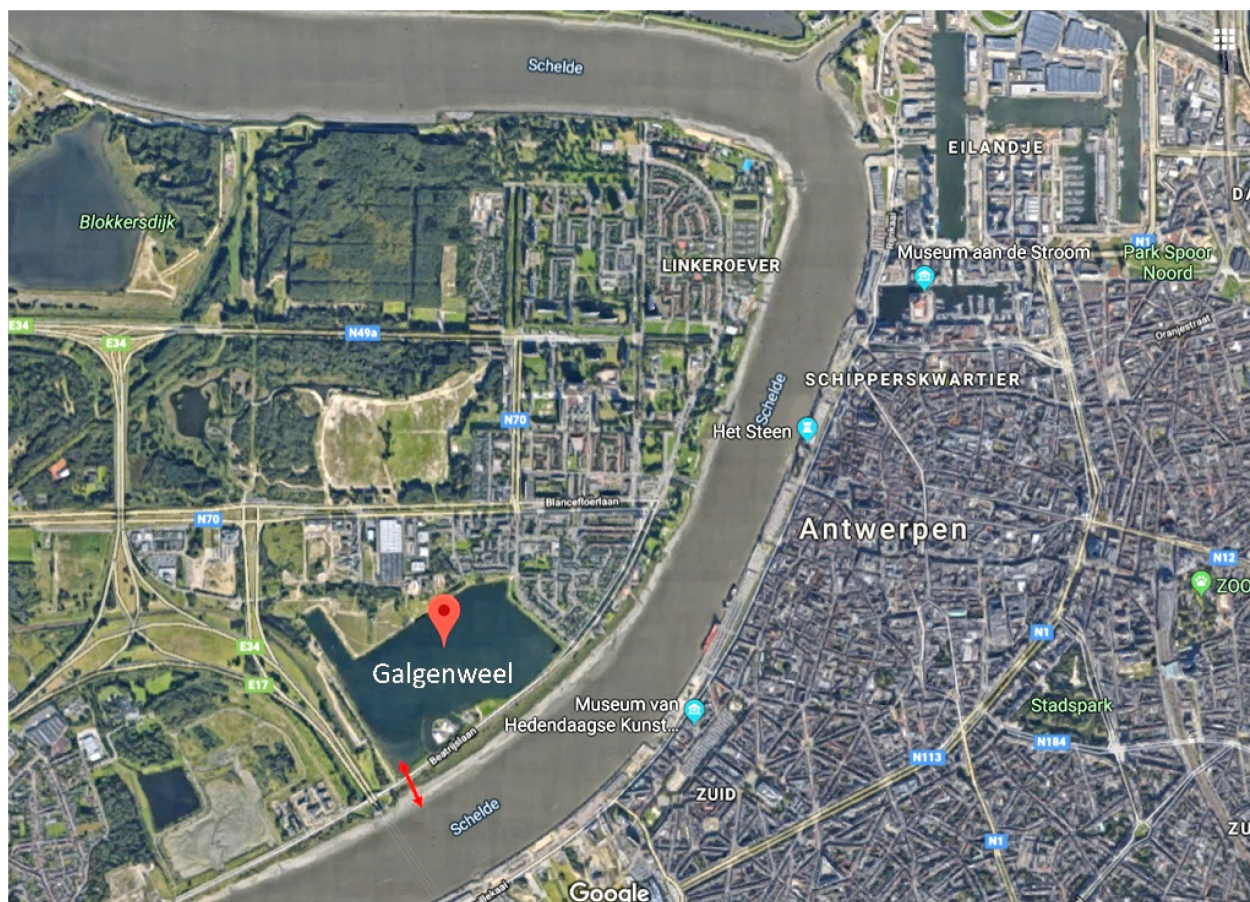
Het Galgenweel is een watermassa gelegen op linkeroever, net ten Noorden van de Kennedytunnel (Figuur 1). Het bestaat al lang en is reeds zichtbaar op de bekende Ferraris kaart, daterende van 1778. Een weel ontstond typisch door een lokale dijkdoorbraak tijdens een stormvloed. Het kolkende water schuurde lokaal een diepe ronde vijver uit. Al doet de vorm en grootte van het Galgenweel vermoeden dat niet enkel een dijk doorbraak verantwoordelijk is. Mogelijk was het een dichtslibbende kreek in een oude loop van de zich ontwikkelende Schelde tijdens het Holocene (Darras, 2016). De vorm veranderde nog doorheen de tijd en dit werd toegeschreven aan talrijke militaire bouwwerken in de 19^e eeuw en de overstromingen van oktober 1830 (Verelst, 1997). Aangezien de galg of terechtstellingsplaats omstreeks 1771 of vroeger in de omgeving van dit weel stond, dankt het hieraan zijn naam (Verelst, 1997).

De huidige rechthoekige vorm is ontstaan door het waterpeil kunstmatig te verhogen, waardoor de onregelmatige natuurlijke vorm onder de waterspiegel verdwenen is. De verhoging van de waterstand werd in 1960 door de maatschappij IMALSO (Intercommunale Maatschappij van de Linker Scheldeoever) uitgevoerd. Deze maatschappij had tot doel het aanleggen, onderhouden en uitbaten van een tunnel onder de Schelde en het te gelde maken van de gronden op linkeroever. In 1934 werden werken gestart waarbij de omgeving van het Galgenweel stelselmatig werd opgehoogd. In 1958 werd de dijk aangelegd die de oorspronkelijke grillige natuurlijke vorm veranderde in de huidige rechthoekige vorm. De westelijke oevers zijn zandig en zacht hellend. De oevers nabij de zeilclubs zijn verstevigd met beton of kasseien en zijn zeer steil. Hier stond vroeger het fortje van Burcht (zie Figuur 2), gebouwd in 1807 door Napoleon, en in 1957 gesloopt. De vorm ervan is nu nog te herkennen rond de locatie van de zeilclubs. De overige oevers zijn zacht hellend en verstevigd met divers stortsteen materiaal. (Darras, 2016).

Er werd in 1958 ook aan de vereniging voor de bevordering van de zeilsport op het Galgenweel (Vezega) een vergunning gegeven voor de zeilsport en surfen (Leestmans & Yseboodt, 1993).

De oppervlakte van het huidige Galgenweel bedraagt 47.17 ha (ten opzichte van de vroegere geschatte 24 ha voor de ophoging) en de totale oeverlengte werd begroot op 3550 m. Door de ophoging van de omliggende gronden heeft het deel buiten het oorspronkelijke Galgenweel een geringe diepte van 2.5 m. Het oorspronkelijke weel heeft een variabele diepte van gemiddeld 5 à 6 m met uitschieters tot meer dan 13 m. Er is een zeer geleidelijke overgang van oever naar diep water zoals eerder aangehaald, maar de oevers van het oorspronkelijke Galgenweel kennen een steile helling. (Leestmans & Yseboodt, 1993).

Figuur 1 – Situering Galgenweel op linkeroever (satellietfoto Google maps). Rode pijl geeft locatie uitwatering weer.



Om aan de voorwaarden van het geactualiseerd Sigmaplan te voldoen en om de veiligheid en robuustheid van het Galgenweel via de uitwateringssluis te garanderen worden sinds 2017 volgende werken gepland:

- Er wordt een nieuwe uitwateringsconstructie (uitwateringssluis) gebouwd parallel met de bestaande constructie in het zuiden van het Galgenweel. Deze constructie moet het waterpeil (3.65 m TAW) controleren van het Galgenweel. De peilbeheersing gebeurt aan de hand van schotbalken in de nieuwe uitwatering;
- De bestaande dijk wordt aan de Scheldekant verhoogd tot +9.25m TAW om aan het Sigmapeil te voldoen, op het vlakke stuk naast het bestaande fietspad wordt een kleine tuimeldijk aangelegd;
- Gezien de dijken worden verhoogd, dient een bijkomende oeverbescherming bestaande uit breuksteen aan Scheldezijde te worden aangebracht om de dijk te beschermen tegen erosie.

1.2 Waterpeil Galgenweel

Het waterpeil in het Galgenweel wordt op 3.65 m TAW gehouden ten gunste van de zeilsport (TVSAM, 2005). Wanneer het peil te hoog of te laag komt, zal dit het gebruik van de vaste aanlegplekken van de zeilclub bemoeilijken. Het Galgenweel wordt niet gevoed door een beek, maar enkel door regenwater of grondwater. De afvoer van dit overtollig water gebeurt via een verbindingskoker met de Schelde. Omgekeerd kan in periodes van droogte, wanneer het peil in het Galgenweel te veel zakt, het peil worden gehandhaafd door de terugslagkleppen van de uitwateringsconstructie open te zetten en vanuit de Schelde het waterlichaam terug aan te vullen. Dit gebeurt/gebeurde gemiddeld drie keer per jaar op vraag van de zeilclubs wanneer het peil 20 cm gezakt is. Om dit bij te vullen worden de sluizen ongeveer een week opengezet (Van Ballaer et al., 2008).

Grondwater stroomt door het Galgenweel van NW naar ZO, loodrecht op de lokale Schelde-as. Van Ballaer et al. (2008) schatten het doorstromen van grondwater in het Galgenweel op 3,5 miljoen m³ grondwater per jaar. Het is onduidelijk in welke mate het grondwater mee het waterpeil in het Galgenweel bepaalt.

1.3 Uitwatering Galgenweel

Om van overtollig water af te raken staat het galgenweel al van in de 16^e eeuw in verbinding met de Schelde via een gemetste koker. Later werden in deze koker drie betonnen uitwateringsbuizen aangelegd met diameter 0.6 m. De originele gemetste koker had verschillende doormeters, waarvan de kleinste rechthoekig was met een hoogte van 1.7 m en een breedte van 3 m. Deze ruimte rond de latere drie uitwateringsbuizen is opgevuld met vulbeton. De bodem van de uitwateringsbuizen ligt op ongeveer 0.6 m TAW (0.55 m TAW + 0.05 m dikte betonbuis) aan Galgenweel zijde en op 0.2 m TAW (0.15 m TAW + 0.05 m dikte betonbuis) aan Schelde zijde. Deze uitwateringsbuizen monden uit in een brede betonnen sleuf (4 m breed en 85 m lang) die het water verder afvoert naar de Schelde. Deze sleuf is langs beide zijden versterkt met een betonnen wand en vanbinnen zijn meerdere houten en betonnen dwarsbalken ter versteviging aangebracht (Figuur 3). Een deel van deze betonnen sleuf (ongeveer 20 m) ligt onder het maaiveld en onder de weg (Beatrijslaan). Zijaanzichten (bouwplan) van de oude uitwateringsconstructie zijn in appendix opgenomen in Figuur 35 en Figuur 36. Aan Galgenweel zijde verhinderen damwandplanken onderstroom onder de kokerconstructie vanuit het Galgenweel richting Schelde. Twee damwandplanken liggen iets dieper (Figuur 4), vormen een scherpe overlaat en bepalen het waterniveau in Galgenweel. Het niveau van de overlaat en dus het waterpeil in het Galgenweel wordt afhankelijk van de bron op 3.60 m TAW (Van Ballaer et al., 2008; TVSAM, 2005) of 3.65 m TAW (Darras, 2016) geschat. De totale breedte van de overlaat, i.e. twee damwandplanken, wordt op 2.8 m geschat.

De afwatering van de Kennedytunnel komt ook uit in de grote sleuf na de uitwateringskoker aan Schelde zijde. Het is niet bekend welke hoeveelheden water hierdoor naar de sleuf vloeien.

Een nieuwe uitlaatconstructie voor Galgenweel wordt gebouwd. Deze zal bestaan uit twee uitwateringskokers, i.e. betonnen buizen met diameter 0.9 m. De bodem van de buis zal horizontaal op 3.2 m TAW liggen. Deze kokers zullen aan Galgenweelzijde voorzien worden van een vuilrooster om verstopping door plantresten e.d. te voorkomen. Aan Schelde zijde zullen er HDPE terugslagkleppen geplaatst worden. De uitwatering van de Kennedytunnel zal ook verlengd worden (de nieuwe uitwatering ligt iets Noordelijker dan de oude constructie) en uitmonden nabij de uitlaat van de nieuwe kokers aan Schelde zijde. Ook hier zal een terugslagklep voorzien worden. Aan Galgenweelzijde zullen schotbalken het waterpeil bepalen. Het toekomstige waterpeil zal gelijk blijven aan het huidige waterpeil. Zijaanzichten (bouwplan) zijn in appendix opgenomen in Figuur 37 en Figuur 38.

Figuur 3 – Uitwatering Galgenweel aan Schelde zijde. De bovenzijde van de betonnen wanden ligt op 2.75 m TAW.



Figuur 4 – Uitwatering Galgenweel aan Galgenweel zijde. Een verlaging van twee damplanken in het midden zorgt voor een overstort en bepaald de maximum waterhoogte in het Galgenweel.



1.4 Probleemstelling

Bij aanvang van het project om een nieuwe uitwateringsconstructie te bouwen en de oude uit dienst te nemen, zo'n viertal jaren geleden, werd de oude uitwateringskoker met sleuf geïnspecteerd en werd er nauwelijks slib aangetroffen. Een recente inspectie bracht echter aan het licht dat in de uitwateringssleuf een tweetal meter slib ligt. De droge zomers van de afgelopen twee jaren worden als mogelijke verklaring gegeven. Tijdens de afgelopen twee jaren is er gedurende lange periodes weinig tot geen neerslag gevallen. Hierdoor stroomde er voor langere periodes geen water van het Galgenweel naar de Schelde. Dit water hield de uitwateringssleuf vrij van slib. Bij gebrek aan uitwateringsdebiet, kon het Scheldewater elk getij nog wel in deze sleuf stromen en er zijn slib achterlaten. Dit slib moet geruimd worden om de oude uitwateringsconstructie te stabiliseren met vulbeton voor deze definitief uit dienst genomen kan worden.

Er werden door de klant aan het waterbouwkundig laboratorium drie specifieke vragen gesteld om de huidige problematiek beter te kunnen inschatten en eventuele toekomstige problemen sneller te kunnen detecteren:

1. Hoeveel debiet gaat er langs Galgenweel zijde over de scherpe overlaat (bestaande uit twee damplanken) richting oude uitwateringskokers bij verschillende soorten regenbuien (10 mm, 20 mm en 30 mm) en hoelang duurt het om deze hoeveelheid regenwater af te voeren.
2. Doe via "expert judgement" een uitspraak over de mogelijkheid om het slib in de sleuf achter de oude uitwateringskoker langs Schelde zijde terug uit te spoelen.
3. Bereken bij welke regenval of waterstand in het Galgenweel de diameter van de kokers in de nieuwe uitwateringsconstructie de beperkende factor zal zijn om het regenwaterwater afgevoerd te krijgen.

Deze drie vragen zullen elk afzonderlijk in volgende hoofdstukken behandeld worden en zullen nadien in een conclusie worden samengevat.

2 Debiet en tijdsverloop huidige uitwatering Galgenweel

De damwandplanken, die het huidige waterpeil in het Galgenweel bepalen, kunnen beschouwd worden als een scherpe overlaat. Met de formule voor het debiet over een scherpe overlaat kan het debiet bij verschillende regenbuien (waterstanden opwaarts de overlaat) berekend worden. Er zullen drie scenario's berekend worden: een regenbui waarbij 10 mm/m², 20 mm/m² en 30 mm/m² valt (en waarbij 1 mm overeenkomt met 1l per vierkante meter). We doen hier wel de aanname dat het debiet pas overstort na de regenbui, terwijl dit in realiteit reeds begint over te storten bij de minste overschrijding van het niveau van de overlaat.

Het debiet over een scherpe overlaat (zoals te zien in Figuur 5) kan bepaald worden met volgende formule volgens Bos (1989, p. 153-158):

$$Q = \frac{2}{3} C_e \sqrt{2g} b_c h_1^{3/2} \quad (1)$$

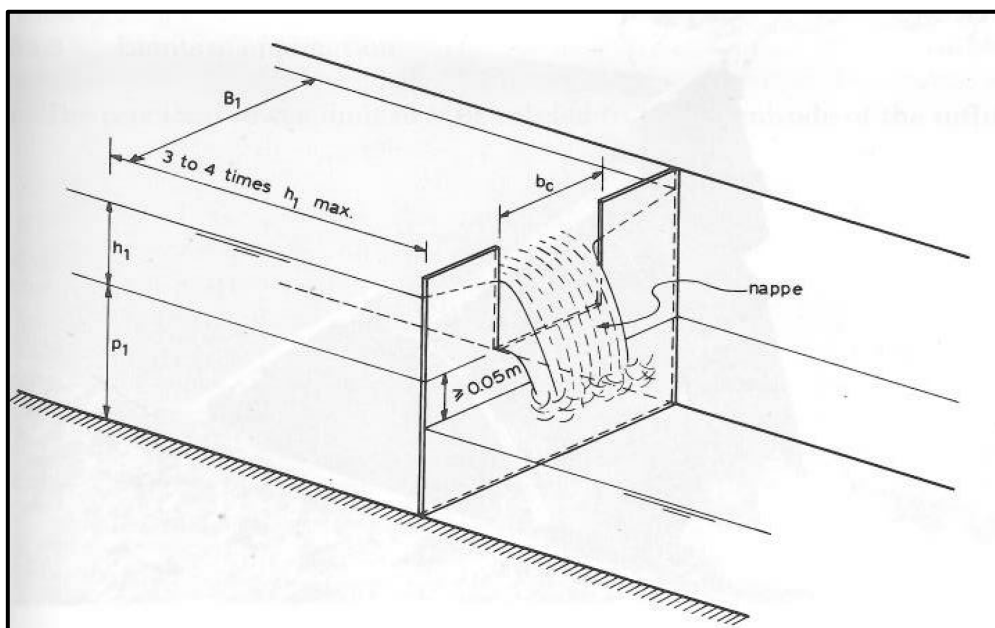
waarbij: g valversnelling door zwaartekracht (9.81 m/s²)
 b_c breedte van de overlaat (m)
 h₁ hoogte waterstand boven niveau van de overlaat (m)

en waarbij:

$$C_e = 0.602 + (0.075 * \frac{h_1}{p_1}) \quad (2)$$

met: p₁ hoogte van de overlaat boven bodem van het Galgenweel (m)

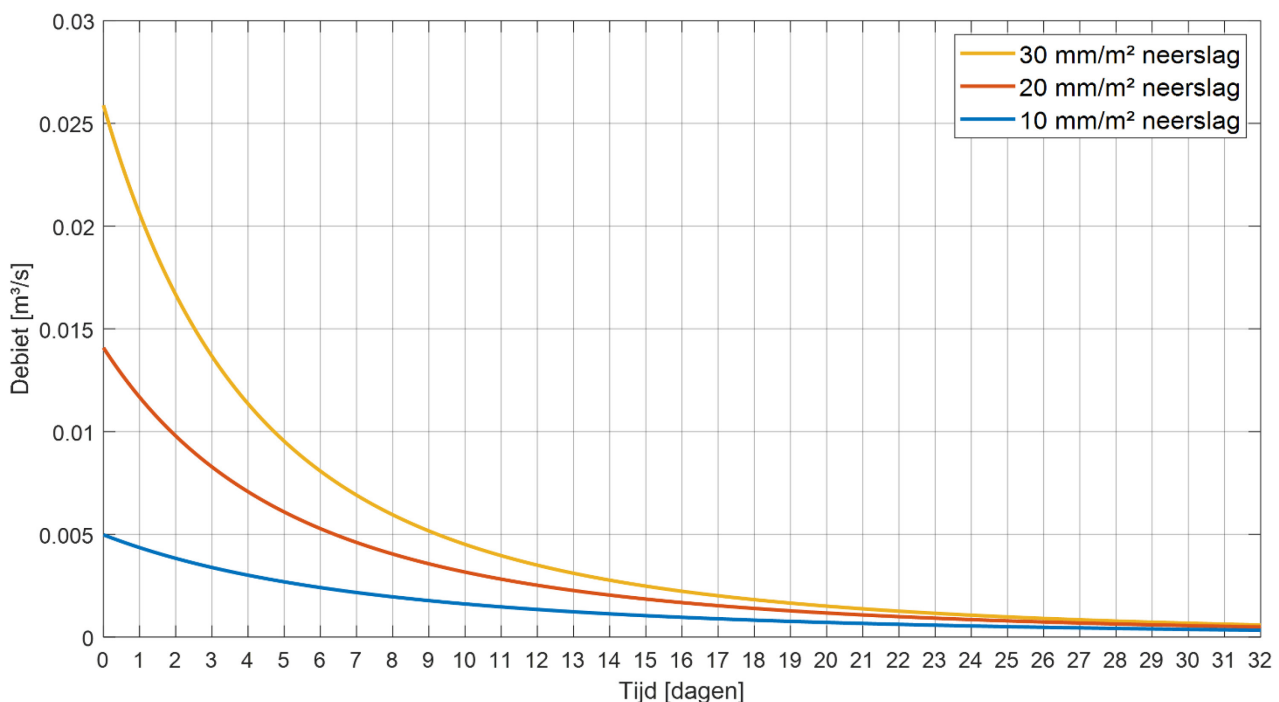
Figuur 5 – Opzet scherpe overlaat om debiet te meten volgens Bos (1989)



De breedte van de overlaat, b_c , wordt 2.8 m geschat. Als gemiddelde waterdiepte, de parameter p_1 , in het Galgenweel wordt 5 m genomen.

De intensiteit van de regenbui, bepaalt ook de hoogte van het waterniveau boven de overlaat, parameter h_1 . We laten deze variëren van 0.01 m tot 0.03 m voor een regenbui van 10 mm/m² tot 30 mm/m² respectievelijk. Wanneer het niveau in het Galgenweel 10 mm gestegen is geeft dit een debiet over de damwandplanken van 0.0083 m³/s of 8.3 l/s. Wanneer het niveau in het Galgenweel 30 mm gestegen is, geeft dit een debiet over de damwandplanken van 0.026 m³/s of 26 l/s. Het verloop van het debiet in de tijd is weergegeven in Figuur 6.

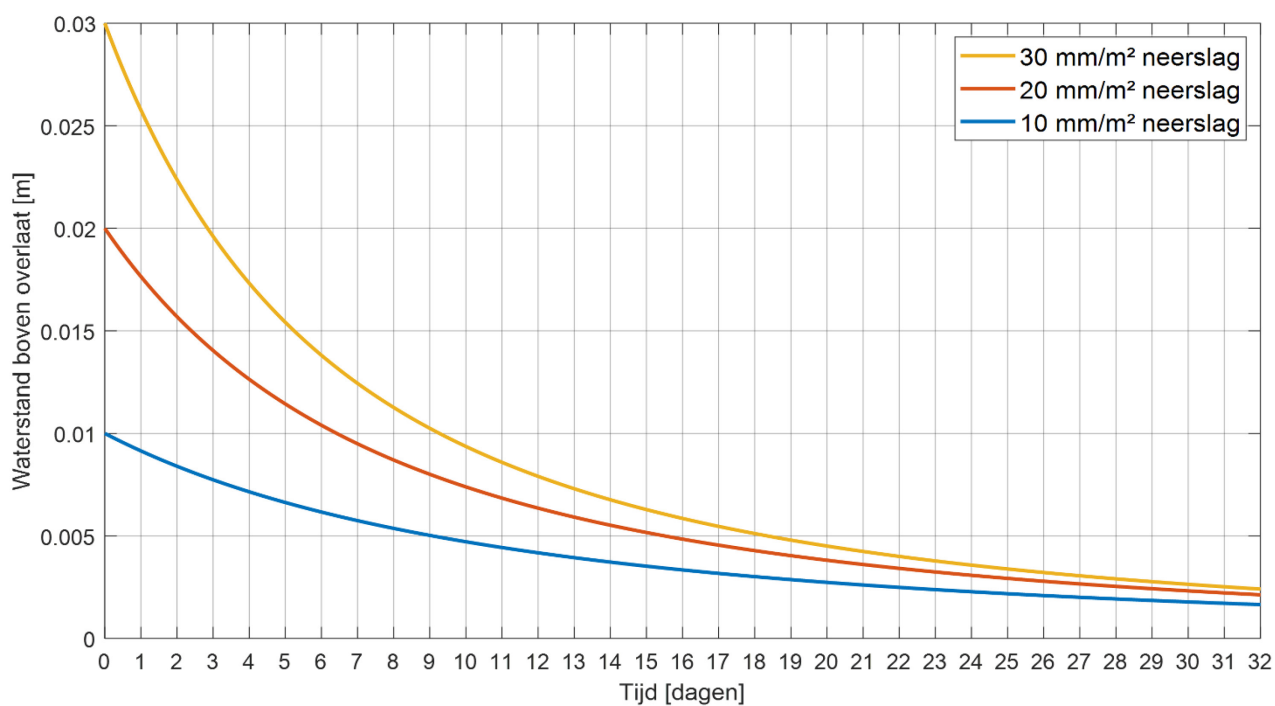
Figuur 6 – Uitwateringsdebiet over scherpe overlaat Galgenweel voor start bij 10 mm (blauw), 20 mm (oranje) en 30 mm (geel) waterhoogte boven overlaat.



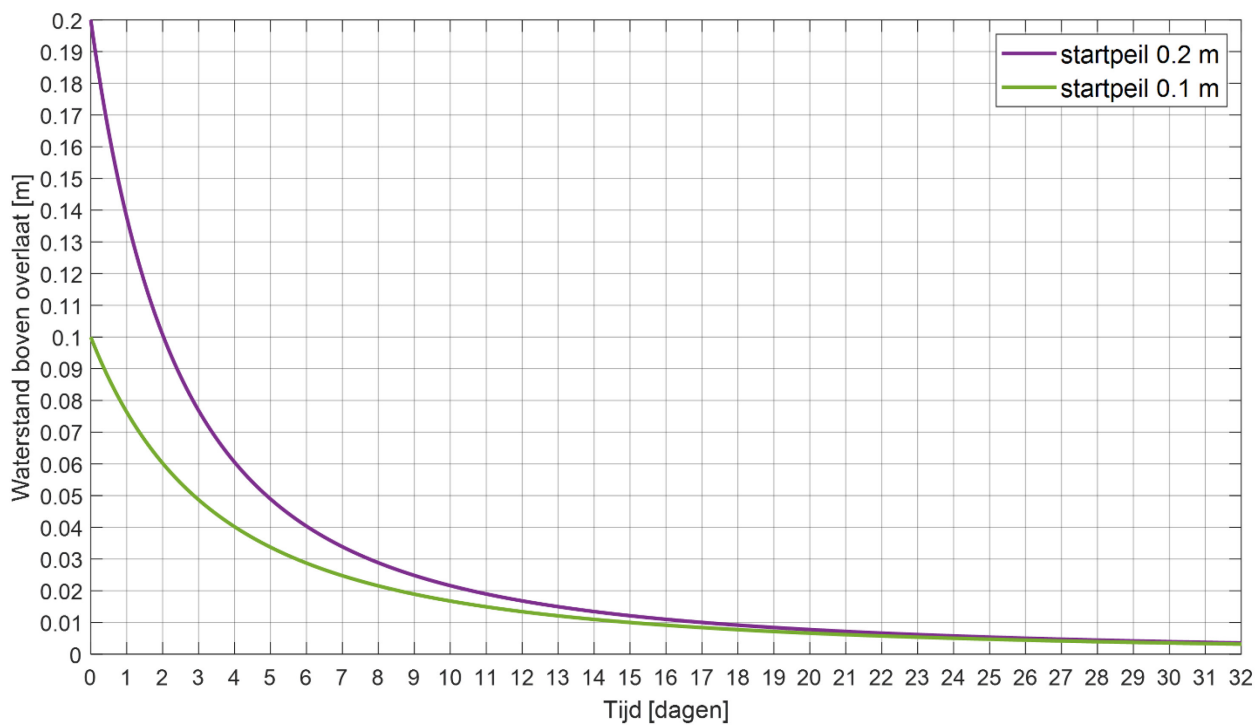
Om de tijdsduur te berekenen waarbinnen het regenwater afgevoerd kan worden, itereren we de overlaat formule (vergelijking 1) waarbij telkens het volume water dat overstort van het totaal volume regenwater in Galgenweel wordt afgetrokken en er dus een nieuwe waterhoogte boven de overlaat wordt berekend. Met deze nieuwe waterhoogte wordt een nieuw debiet over de overlaat berekend en zo verder. Een tijdstap van 60 seconden bleek voldoende nauwkeurige resultaten op te leveren. Het duurt vrij lang vooraleer al het water theoretisch verwijderd is. In praktijk zal windopzet de waterstand ter hoogte van de overlaat ook beïnvloeden. Het verloop van het waterpeil boven de overlaat in de tijd wordt weergegeven in Figuur 7.

Met het oog op de volgende vraag in verband met het uitspoelen van slib in de betonnen sleuf aan Schelde zijde van de uitwatering, werd deze oefening herhaald maar dan met zogenaamde opgespaard regenwater dat dan een hoogte van 0.1 en 0.2 m boven de overlaat bereikt. In Figuur 8 en Figuur 9 zijn de resultaten weergegeven. Deze oefening houdt geen rekening met het getij aan Schelde zijde en berekent enkel de theoretische debieten over de scherpe overlaat. Zo is te zien dat startende bij 0.2 m water boven de overlaat, dat na 2 dagen reeds 0.1 m van het waterpeil is afgevoerd. Er worden dan ook aanvankelijk debieten tot meer dan 0.45 m³/s gehaald, maar deze zakken snel weg samen met het waterpeil boven de overlaat.

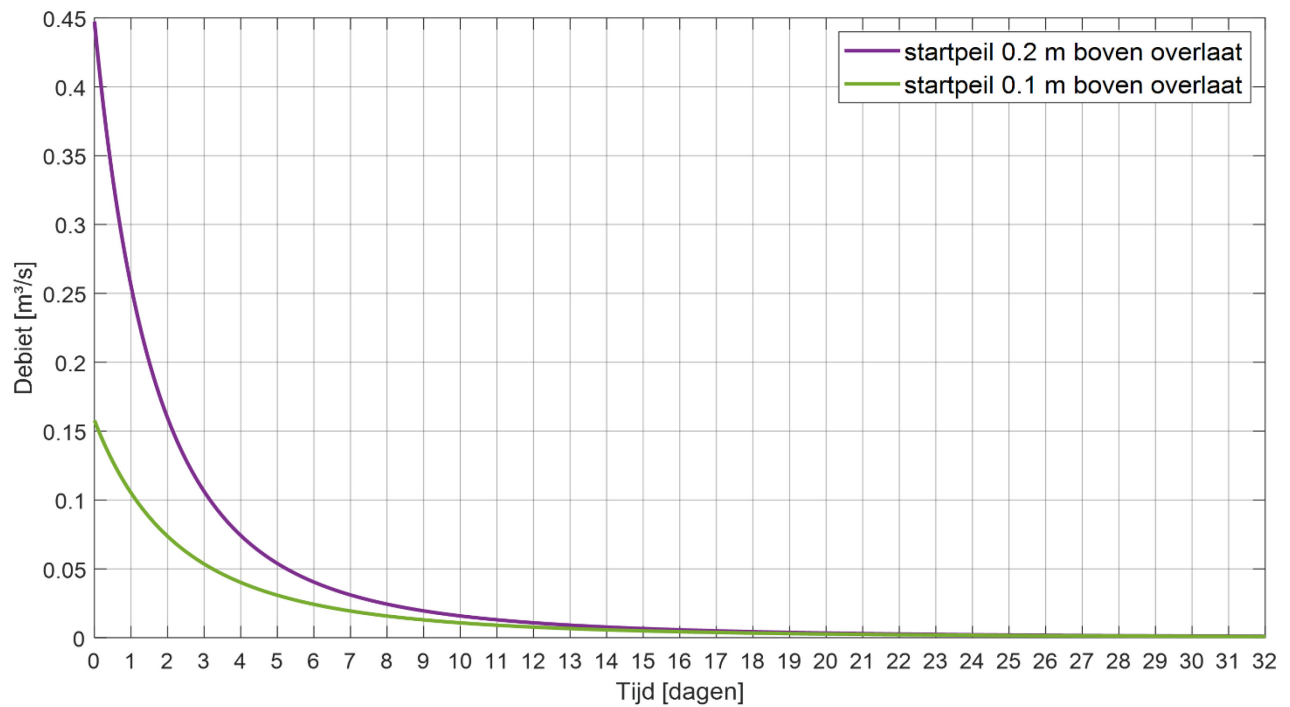
Figuur 7 – Tijdsverloop uitwatering Galgenweel over scherpe overlaat: waterpeil boven overlaat.



Figuur 8 – Tijdsverloop uitwatering Galgenweel over scherpe overlaat: waterpeil boven overlaat startende vanaf 100 en 200 mm.



Figuur 9 – Uitwateringsdebiet over scherpe overlaat Galgenweel voor start bij 100 mm (rood) en 200 mm (blauw) waterhoogte boven overlaat.



3 Uitspoelen aanslibbing oude uitwateringskoker langs Schelde zijde

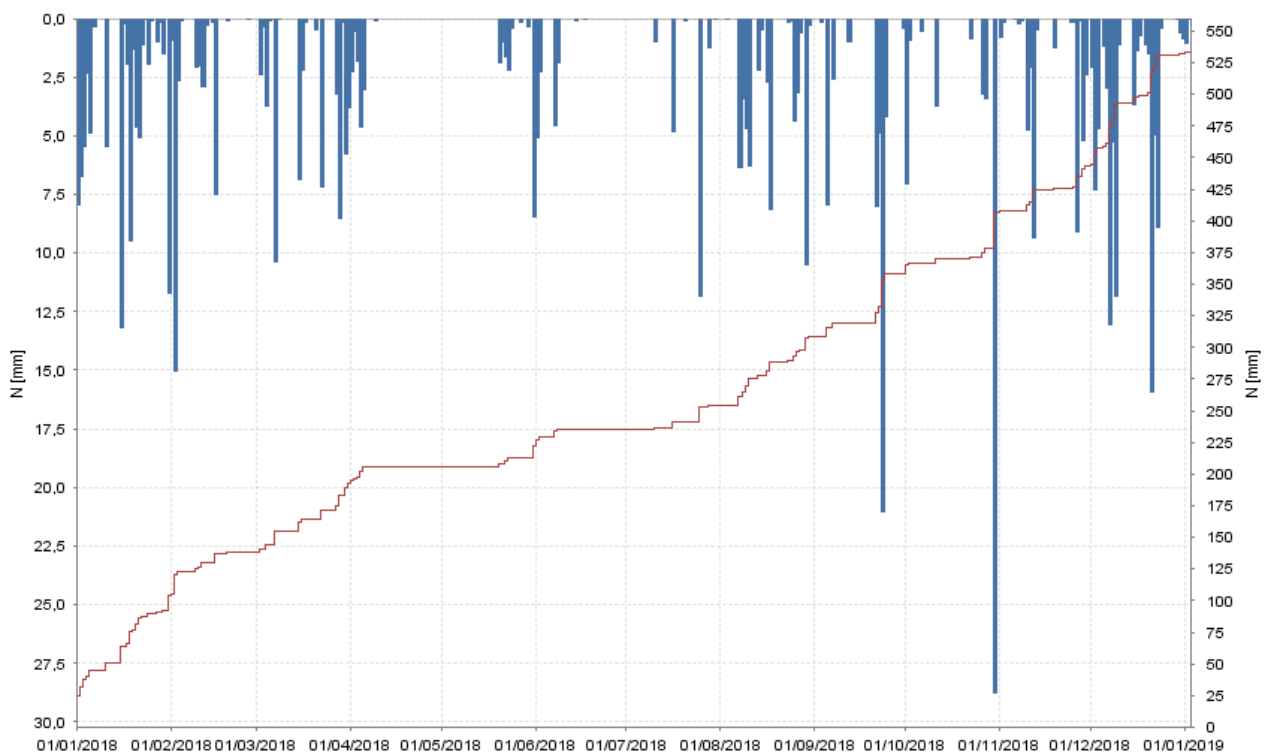
3.1 Sedimentatie in de sleuf aan de oude uitwatering Galgenweel

Er wordt vermoed dat het slib in de betonnen sleuf van de oude uitwateringsconstructie van Galgenweel er nog maar recent ligt. Er zijn foto's van de betonnen sleuf uit 2013 waaruit blijkt dat er toen nog geen slib op de bodem van de sleuf lag en dat deze nog vrij was.

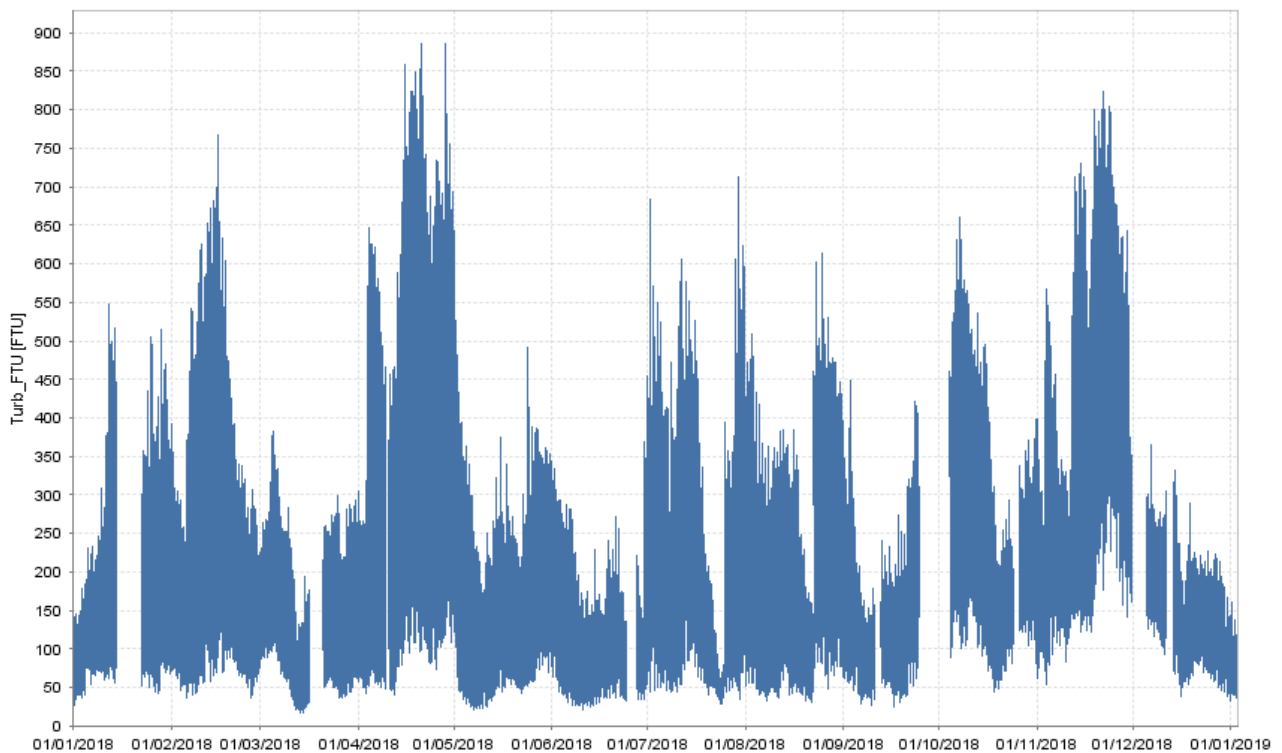
De damwandplanken aan Galgenweel zijde zijn reeds zeer lang aanwezig (al zeker van voor 2013) en het aanbrengen ervan heeft dus waarschijnlijk geen invloed gehad op de aanslibbing van de sleuf. Aangezien regenwater de enigste bron (uitgezonderd het vullen van Galgenweel met Scheldewater; maar hiervoor zijn menselijke handelingen noodzakelijk) van water is om het waterpeil in Galgenweel te verhogen, gaan we ervan uit dat doorheen de jaren de normale regenval voldoende debiet door de oude uitwateringsconstructie verzorgde om de sleuf langs Schelde zijde vrij van slib te houden. Vermoed wordt dat het droge voorjaar en zomer van 2018 verantwoordelijk kunnen zijn. Figuur 10 geeft de dagelijkse en cumulatieve hoeveelheid neerslag weer voor 2018 gemeten in Melsele. Uit deze figuur valt op te maken dat er begin april 2018 een periode van droogte begint die bijna twee maanden duurt. Eind mei en begin juni valt er ongeveer 25 mm neerslag. Een snelle schatting (berekening in bijlage 2) van de potentiële evaporatie van water uit het Galgenweel voor de periode april-mei 2018 leert dat er in deze periode potentieel 170 mm water verdampt is. Deze schatting geeft aan dat de neerslag die eind mei en begin juni gevallen is, niet voldoende is om voor uitwatering te zorgen. In juni en juli zien we terug een droge periode wat maakt dat er gedurende ongeveer 4 maanden waarschijnlijk geen uitwatering uit het Galgenweel is gebeurd. Bovendien werd er in april, het begin van de droge periode een sterk verhoogde turbiditeit te Oosterweel opgemeten (Figuur 11). De combinatie van beide factoren kan een snelle sedimentatie in de hand werken.

In De Maerschalck et al. (2019) werd onderzoek gedaan naar stroming en morfologie ten behoeve van een nieuwe Scheldebrug net opwaarts van Galgenweel. In dit rapport worden resultaten weergegeven van morfologie van een raai ter hoogte van de uitwatering van Galgenweel tussen 1980 en 2018 (figuur 7 in De Maerschalck et al., 2019). Deze figuur werd hier gekopieerd, maar meer ingezoomd op de linkeroever; zie Figuur 12. Deze figuur toont een sterke sedimentatie van de oever sinds 2007. De meest recente peiling (2018) toont echter een zeer sterke erosie van sediment aan. Deze figuur toont de sterke variatie in sedimentatie – erosie die hier kan optreden. In De Maerschalck et al. (2019) wordt ook nog een raai net afwaarts Galgenweel getoond, maar deze vertoont nauwelijks variatie in topografie.

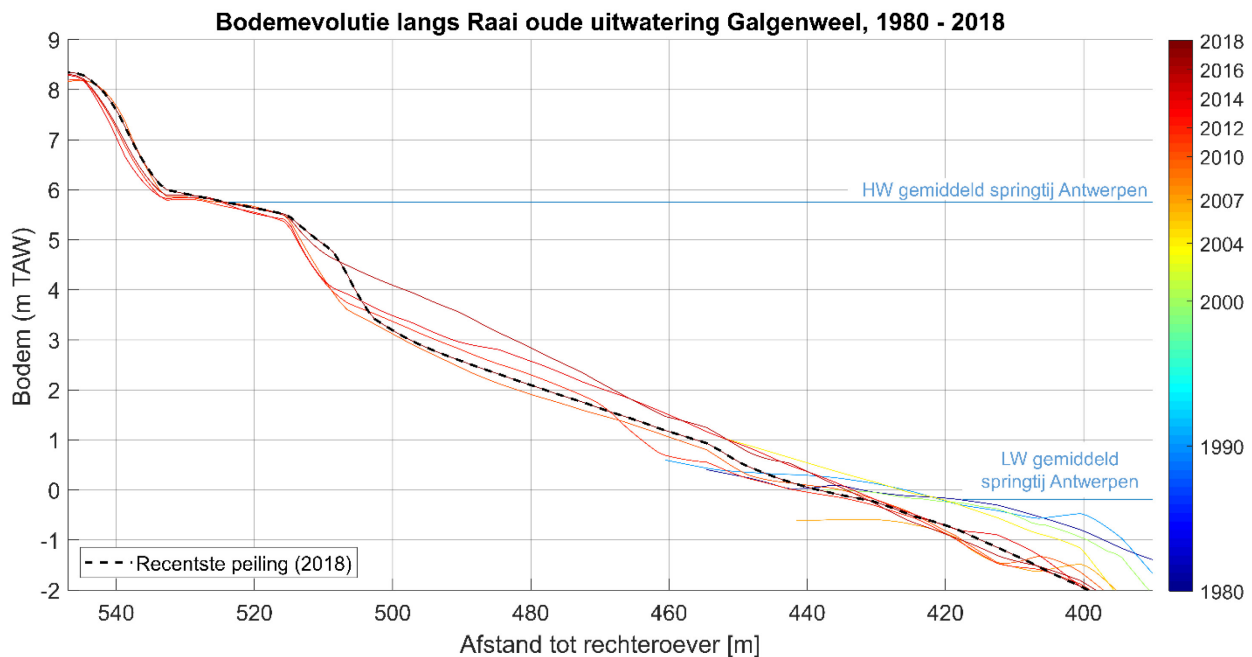
Figuur 10 – Neerslagdata voor 2018 voor locatie Melsele (www.waterinfo.be; brondata: VMM)



Figuur 11 – Turbiditeit voor 2018 voor locatie Oosterweel (www.waterinfo.be; brondata: MOW-HIC)



Figuur 12 – Morfologische evolutie raai oever ter hoogte van uitwatering Galgenweel (1980 – 2018)
(naar De Maerschalck et al., 2019)



3.2 Droge Bulk densiteit nieuw slib: vergelijking met Burchtse Weel

Net opwaarts van het Galgenweel ligt Burchtse Weel. Sinds enige jaren staat dit weel in open verbinding met de Schelde en staat het bekend om zijn enorme sedimentatiehoeveelheden van slib (Oosterlee et al., 2019; Smolders et al., 2019). De UA heeft hier meerdere metingen uitgevoerd naar ophogingssnelheden en consolidatie van nieuw gevormde slikken. Oosterlee et al. (2019) vermeldt gemeten droge bulk dichtheden voor verschillende locaties in Burchtse Weel. Deze variëren van 470 tot 630 kg/m³. Zij zien ook een stijging in droge bulk densiteit tussen de jaren 2014, 2015 en 2016 voor de locaties van de metingen. Deze stijging bedraagt ruwweg een 50 kg/m³ per jaar. Hoe hoger de (droge) bulk densiteit van het slib, hoe meer het geconsolideerd is en hoe moeilijker het zal zijn om dit terug in suspensie te brengen. Aangezien vermoed wordt dat het slib in de sleuf van de oude uitwateringsconstructie er nog maar recent ligt, is een vergelijking met het Burchtse Weel betreffende mogelijke te verwachten bulk densiteiten nuttig. Indien de droge periode voorjaar en zomer 2018 de periode was dat de sleuf vol slib kwam te liggen, dan kunnen we de huidige droge bulk densiteit schatten op ongeveer 500 kg/m³.

3.3 Eroderen van slib: literatuur

Parchure en Mehta (1985) beschrijven in hun artikel metingen en experimenten die ze uitgevoerd hebben om gesedimenteerd cohesief sediment terug in suspensie te brengen. Dergelijke experimenten werden reeds sinds 1962 uitgevoerd en beschreven door onder meer Partheniades (1962, 1964), Krone (1962), Mehta et al. (1982) en anderen. Maar nog steeds is men in discussie over dit topic en tracht men de processen die optreden beter te begrijpen.

Wanneer zwevende stoffen, vlokken en aggregaten neerslaan op de bodem bij lage stroomsnelheden, bevindt er zich nog vaak zeer veel water tussen de verschillende deeltjes. Een nieuwe toplaag die zo gevormd wordt heeft slechts weinig mechanische sterkte of weerstand tegen erosie. Maar na depositie ondergaat een dergelijk opgebouwd sedimentbed consolidatie, i.e. er treden fysicochemische veranderingen op die zorgen dat vlokken en aggregaten worden afgebroken en de aparte deeltjes herorganiseren zich en vormen nieuwe

verbindingen. Bij dit proces neemt de bulk densiteit en de weerstand tegen erosie toe met de tijd. Volgens Parchure en Mehta (1985) duurt het consolidatieproces slechts enkele dagen tot weken. Dit wordt echter tegengesproken door de metingen in bv. Burchtse Weel waar na drie jaar nog steeds een toename van de droge bulk densiteit wordt gemeten. Misschien is het beter om te spreken van initiële consolidatie en secundaire consolidatie.

Voor een specifiek homogeen opgebouwd bed met cohesief sediment hangt de erosiesnelheid, E , af van het overschot aan bodemschuifspanning, $\tau_b - \tau_c$, waarbij τ_b de tijdsgemiddelde bodemschuifspanning is waarbij erosie optreedt en τ_c de kritische bodemschuifspanning is vanaf wanneer erosie kan optreden. Aangezien τ_c constant blijft over de diepte van een homogeen opgebouwde bodem, blijft ook de erosiesnelheid E constant bij eenzelfde τ_b . Een veel gebruikte formule om erosie te berekenen is de Partheniades formule:

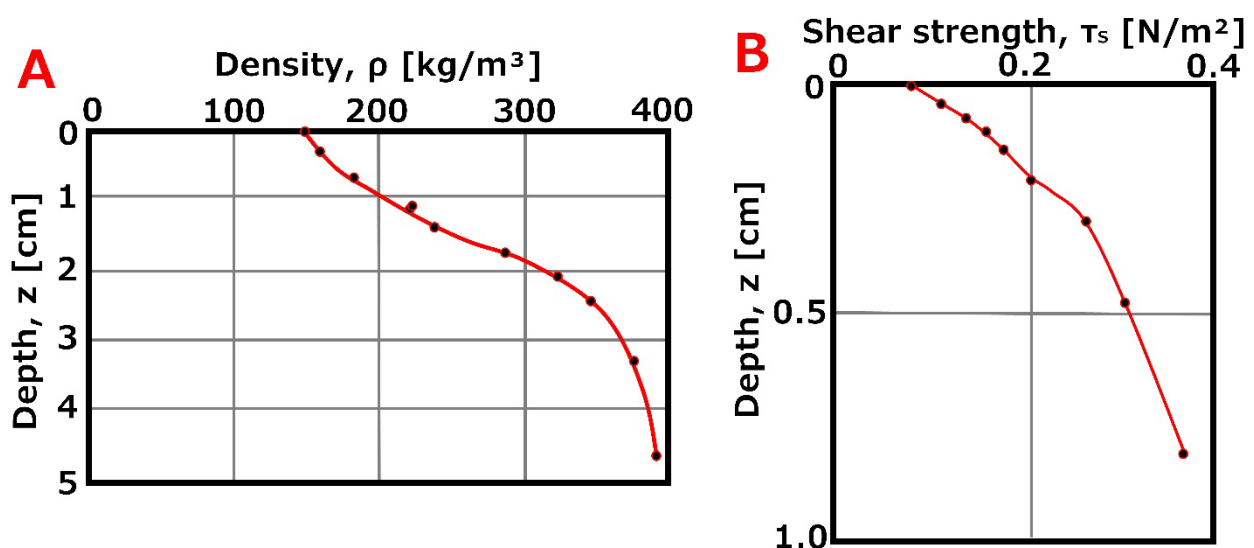
$$E = M \left(\frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c} \right) \quad (1)$$

waarbij M de Partheniades constante wordt genoemd, i.e. de erosiesnelheid wanneer $\tau_b = 2 \tau_c$. De waarde van M hangt sterk af van de fysicochemische eigenschappen van de sliblaag (zoals bv de kation uitwisselingscapaciteit van de kleiplaatjes) die de sterkte van de binding tussen de kleideeltjes karakteriseren. Dit is de theorie want in praktijk zal de bodemschuifkracht, τ_s , i.e. de weerstand tegen erosie, bij een bodem die consolidatie heeft ondergaan, toenemen met de diepte. Zo kan bij een bepaalde bodemschuifspanning, τ_b , de erosie initieel snel toenemen tot er een evenwicht is bereikt of tot wanneer de bodem is geërodeerd zodat een diepte wordt bereikt waar de bodemschuifspanning, τ_b , gelijk wordt aan de bodemschuifkracht, τ_s . Op dat moment blijft de concentratie zwevende stof in het water gelijk en zal er geen nieuw sediment meer eroderen. Bij erosie van de bodem is een toename, ΔC , in de zwevende stof concentratie, C , gerelateerd aan een verandering van de bodemniveau, Δz , volgende deze vergelijking:

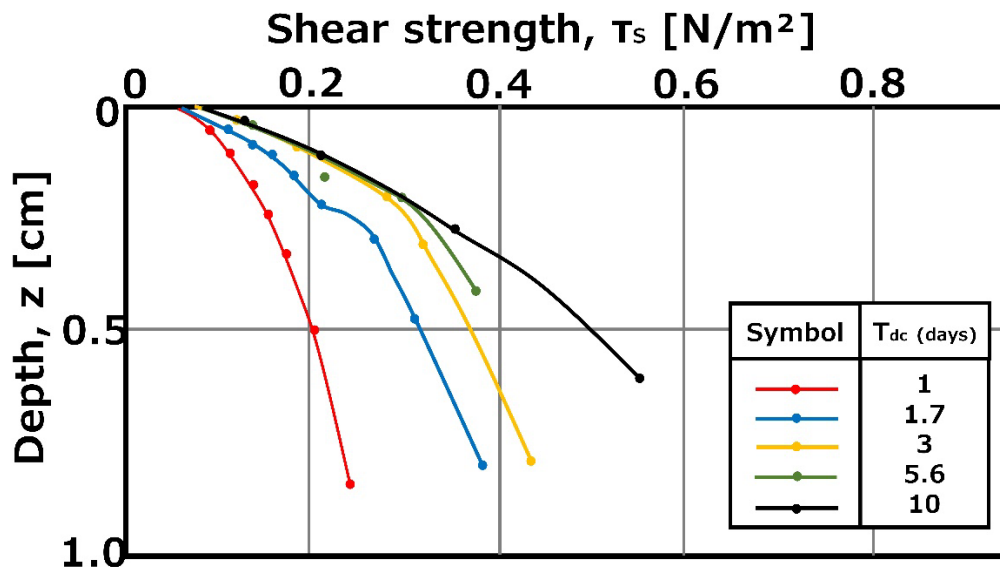
$$\Delta z = \frac{h}{\rho(z)} \Delta C \quad (2)$$

waarbij h de waterdiepte is die tijdens erosie van de bodem nauwelijks verandert en ρ de bulk densiteit van de bodem die afhankelijk is van de diepte.

Figuur 13 – Bulk dichtheid en bodemschuifkracht in functie van de bodemdiepte voor kaolinetklei en bij 35 ppt zoutoplossing (naar Parchure en Mehta (1985))



Figuur 14 – De bodemschuifkracht, τ_s , in functie van de bodemdiepte, z , voor verschillende consolidatietijden T_{dc} (naar Parchure en Mehta (1985))



Met bovenstaande vergelijking bepaalden Parchure en Mehta (1985) uit een van hun experimenten de droge bulk dichtheid van hun geconsolideerde (na 1.7 dagen) bodem en de bodemschuifkracht in functie van de diepte voor een kaolinietklei in een water-zoutoplossing met 35 ppt aan zout. Figuur 13 geeft de resultaten weer met links de toename in bulk dichtheid met toenemende diepte en rechts de toename in bodemschuifkracht met toenemende diepte. De bodemschuifkracht lijkt asymptotisch te verlopen met toenemende diepte, i.e. vanaf een bepaalde diepte lijkt de bodemschuifkracht niet meer toe te nemen. Hetzelfde zien we bij de bulk dichtheid. Echter, de consolidatie van de bodem in dit experiment duurde maar 1,7 dagen.

Deze bevindingen uit de literatuur kunnen helpen een inschatting te maken van de bodemschuifspanning die nodig is om het slib in de sleuf terug in suspensie te brengen.

3.4 Inschatting nodige stroomsnelheid om slib te eroderen

De bovenste millimeters slib zullen weinig geconsolideerd zijn en zullen dus bij de minste snelheid terug eroderen. Voor de lagen daaronder schatten we hier een nodige stroomsnelheid in. We veronderstellen dat de sliblaag in de betonnen sleuf van de oude uitwateringsconstructie homogeen is zoals dat ook is voor de sliblagen in Burchtse Weel (Smolders et al., 2019). In het slib (stalen genomen op verschillende dieptes in het slik) was zeer weinig zand aanwezig en de fractie die aanwezig was, had een zeer kleine diameter. Voor een bodemschuifspanning van 0.2, 0.6 en 1.0 Pa zal een nodige stroomsnelheid berekend worden om dit sediment te eroderen. Deze waarde werd als maximum gekozen uit de experimenten van Parchure en Mehta (1985), hierboven beschreven.

De bodemschuifspanning wordt met volgende vergelijking berekend:

$$\tau_b = \frac{1}{2} \rho_w C_D \bar{U} |\bar{U}| \quad (3)$$

met:

$$C_D = 2n^2 \frac{g}{h^{1/3}} \quad (4)$$

In deze vergelijkingen is τ_b de bodemschuifspanning [Pa]; ρ_w de bulk dichtheid van water (1000 kg/m^3); C_D is de wrijvingscoëfficiënt [-]; U is de stroomsnelheid; n is de Manning bodem wrijvingscoëfficiënt [$\text{s/m}^{1/3}$]; g is de valversnelling (9.81 m/s^2); h is de waterdiepte [m].

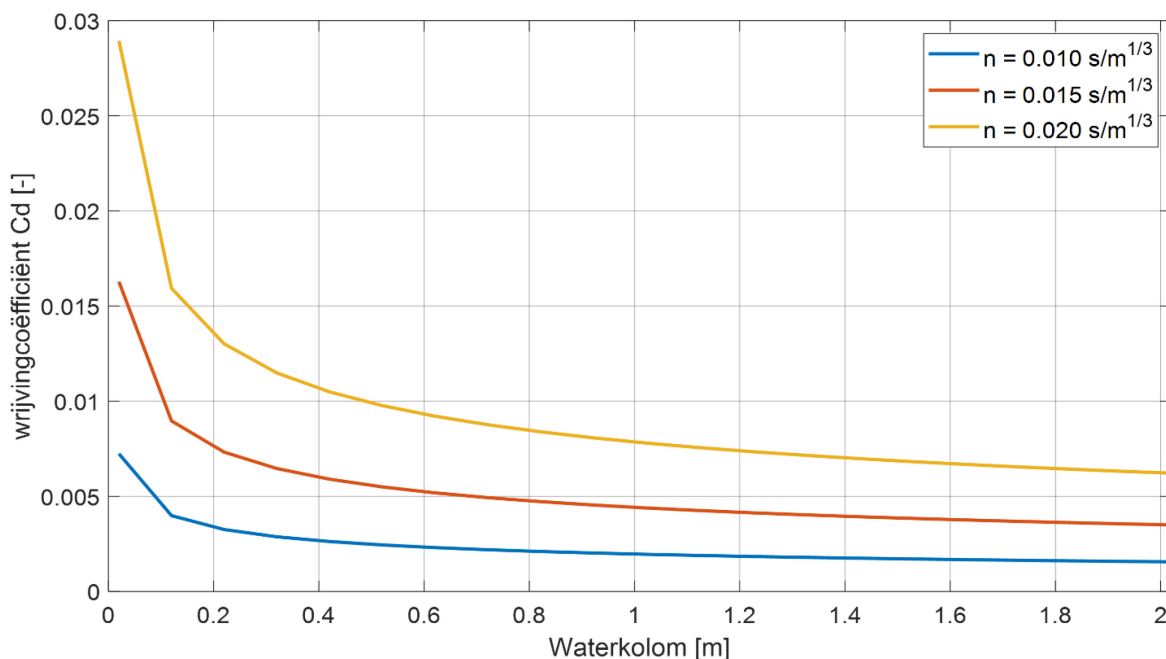
Uit vergelijking 3 kunnen we als we voor de bodemschuifspanning, τ_b , 0.2 Pa en 0.6 Pa kiezen, de stroomsnelheid berekenen. De parameter C_D is het moeilijkst in te schatten. Voor n nemen we een waarde tussen 0.01 - 0.02 $\text{s/m}^{1/3}$, wat overeenkomt met een standaard waarde die in de numerieke modellen gebruikt wordt. Aangezien de betonnen sleuf 4 m breed is, verwachten we bij een beperkt debiet maar een beperkte waterhoogte (lokaal kan dit door geulvorming wel toenemen). We schatten de stroomsnelheid in bij waterdieptes tussen 0.02 m (wanneer Scheldepeil lager is dan slib in de sleuf) en tot 2 m (voor wanneer het Scheldepeil zeer hoog staat en er nog 2 m water boven het slib in de sleuf staat). Deze waarden ingevuld in vergelijking 4 geven dan waarden voor de wrijvingscoëfficiënt C_D tussen de 0.0025 en 0.03 (zie Figuur 15).

Wanneer we vergelijking 3 herschrijven om de stroomsnelheid te bepalen, krijgen we:

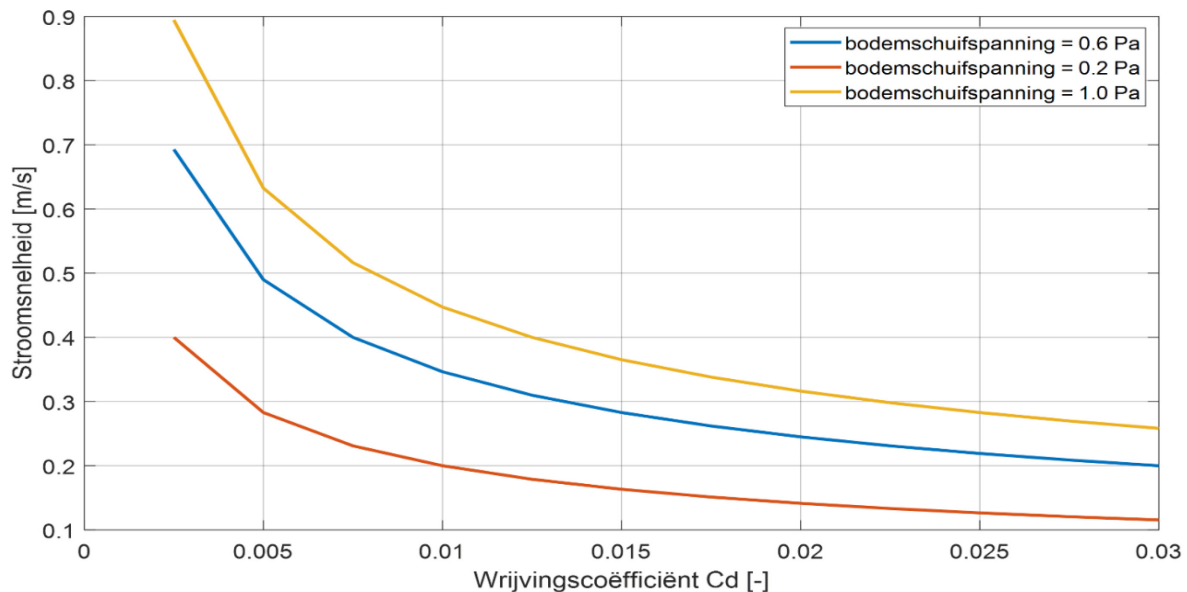
$$|U| = \sqrt{\frac{2\tau_b}{\rho_w C_D}} \quad (5)$$

Het invullen van de hierboven aangenomen en berekende C_D waarden geeft ons stroomsnelheden tussen de **0.1 m/s** voor $\tau_b = 0.2 \text{ Pa}$ en de **0.9 m/s** voor $\tau_b = 1.0 \text{ Pa}$ (zie Figuur 16).

Figuur 15 – Variatie in de wrijvingscoëfficiënt C_D in functie van de waterkolom en voor verschillende Manningcoëfficiënten n



Figuur 16 – Stroomsnelheid nodig voor erosie van cohesief sediment in functie van de wrijvingscoëfficiënt C_d en voor verschillende gekozen waarden voor de bodemschuifspanning.



3.5 Debieten door oude uitwateringsconstructie met overlaat en getij aan Schelde zijde

In deze sectie worden de debieten berekend die door de oude uitwateringskokers stromen voor verschillende waterpeilen in Galgenweel en met aan Schelde zijde een opgemeten getij (meting te Antwerpen Loodsgebouw van 20/11/2019 – 4/12/2019; dit start bij een doottij). Aan Galgenweel zijde wordt rekening gehouden met de scherpe overlaat over de damwandplanken. De berekening van de debieten door de kokers maakt gebruik van de culvert debietsvergelijkingen die het WL in de TELEMAC software heeft geprogrammeerd. Voor details over deze vergelijkingen en voor details over het bepalen van de verschillende debietscoëfficiënten wordt verwezen naar Smolders et al. (2016). Deze code die in TELEMAC werd ingebouwd, werd vertaald naar een matlab script en zal voor dit onderzoek gebruikt worden. De gebruikte parameterwaarden zijn gebaseerd op de fysische kenmerken van de constructie. Deze fysische kenmerken zijn hieronder opgesomd. De parameter waarden voor de oude uitwateringsconstructie die gebruikt werden in de berekeningen zijn opgesomd in Tabel 1. Voor de specifieke verklaring van elke afzonderlijke parameter verwijzen we weer naar Smolders et al. (2016). De situatie is schematisch weergegeven in Figuur 17. Er werd in deze oefening geen rekening gehouden met het in 2014 geplaatste afdichtingsschot aan Galgenweelzijde.

De volgende fysische parameters werden gebruikt:

- Waterhoogte Galgenweel initieel = 3.65 m TAW
- Waterhoogte Schelde zijde opgemeten getij van Antwerpen Loodsgebouw
- lengte kokers = 45 m
- diameter kokers = 0.6 m
- Er zijn drie naast elkaar liggende kokers
- Bodem kokers Galgenweel zijde ligt op 0.6 m TAW
- Bodem kokers Schelde zijde ligt op 0.25 m TAW
- Manning coëfficiënt voor betonbuis met biofilm = $0.015 \text{ s/m}^{1/3}$
- aanname dat de terugslagklep slechts $\frac{1}{4}$ open kan door aanwezige slib
- geen vuilrooster aanwezig
- cirkelvormige kokers
- hoogte overlaat = 3.65 m TAW
- breedte overlaat = 2.8 m

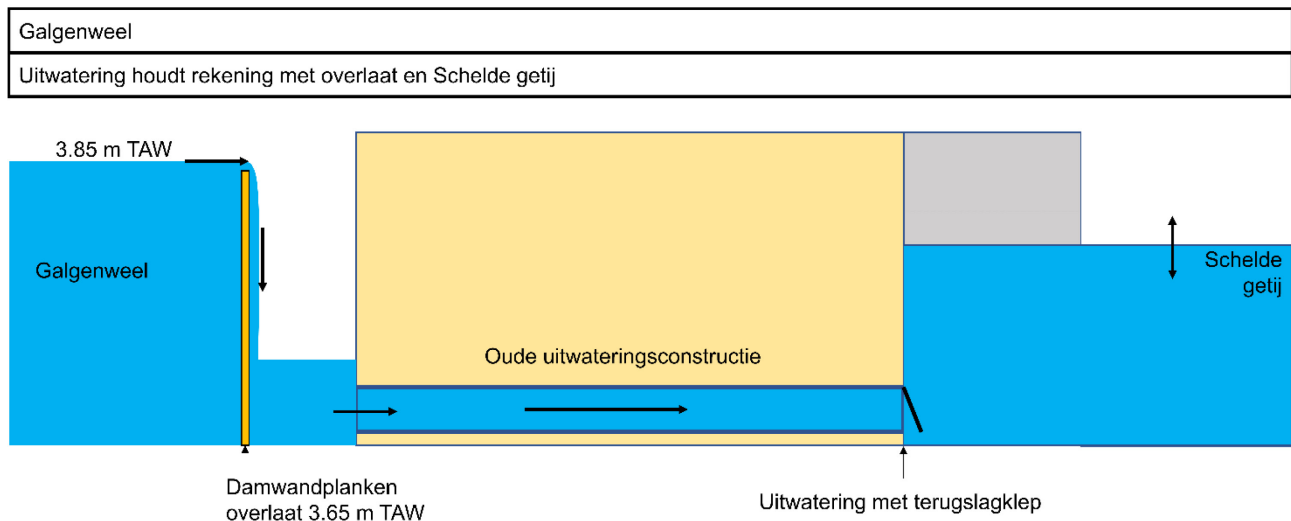
Tabel 1 – Parameter waarden voor berekening uitwateringsdebieten met culvert vergelijkingen.

CE1	CE2	CS1	CS2	LRGbus	Haut1	CLP	z1	z2	CV	C56	CV5	C5	Ctrash	Haut2	Fric	length	circ
0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	2	0,25	0,6	10	10	1,5	6	0	0,6	0,015	45	1

Om de in sectie 3.4 berekende minimum stroomsnelheid van 0.1 m/s te realiseren om het slib te eroderen, is er een minimum debiet nodig van 0.5 m³/s als we met de breedte van 4 m van de uitwateringssleuf rekenen. Maar waarschijnlijk zal de uitwatering doorheen het slib zich centraliseren in een gevormd geultje en zullen daar de stroomsnelheden mogelijks hoger liggen bij lagere gerealiseerde debieten. Dus zelfs al wordt het hier berekende minimum debiet van 0.5 m³/s niet gehaald, dan wordt er nog verwacht dat in een gevormd geultje er slib zal eroderen. Hoe dit in realiteit zal verlopen is echter moeilijk in te schatten.

In deze sectie wordt de oefening gemaakt waarbij in Galgenweel water opgespaard wordt tot 0.1 en 0.2 m boven de overlaat. We berekenen hoe de uitwatering zou verlopen. Dit hangt natuurlijk af of er gestart wordt bij een springtij of bij een doottij. Beide situaties worden bekeken. Er worden maximaal 10 dagen uitwatering doorgerekend per case. De terugslagkleppen verhinderen dat Scheldewater naar Galgenweel kan stromen. In deze oefening wordt nog geen rekening gehouden met het slib dat er ligt.

Figuur 17 – Schematische voorstelling uitwatering met overlaat en Schelde getij.



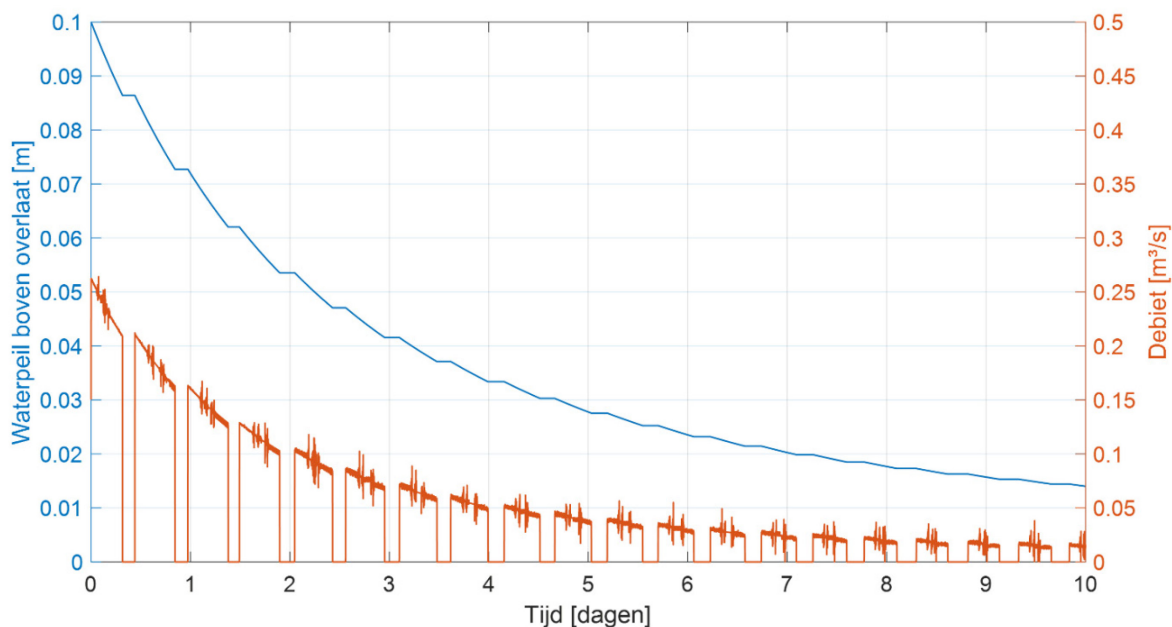
3.5.1 Waterpeil Galgenweel 0.1 m boven overlaat en startende bij doottij

Deze simulatie start met een waterpeil in Galgenweel van 3.75 m TAW ofwel 0.1 m boven de scherpe overlaat (damwandplanken). Het water stroomt eerst naar de kokerput (Figuur 4) net voor de oude uitwateringsconstructie en van daaruit zal het via de kokers naar de Schelde stromen. Langs de Schelde zijde is er een getij opgelegd (gemeten te Antwerpen Loodsgebouw, startende op 20/11/2019, i.e. startende bij doottij).

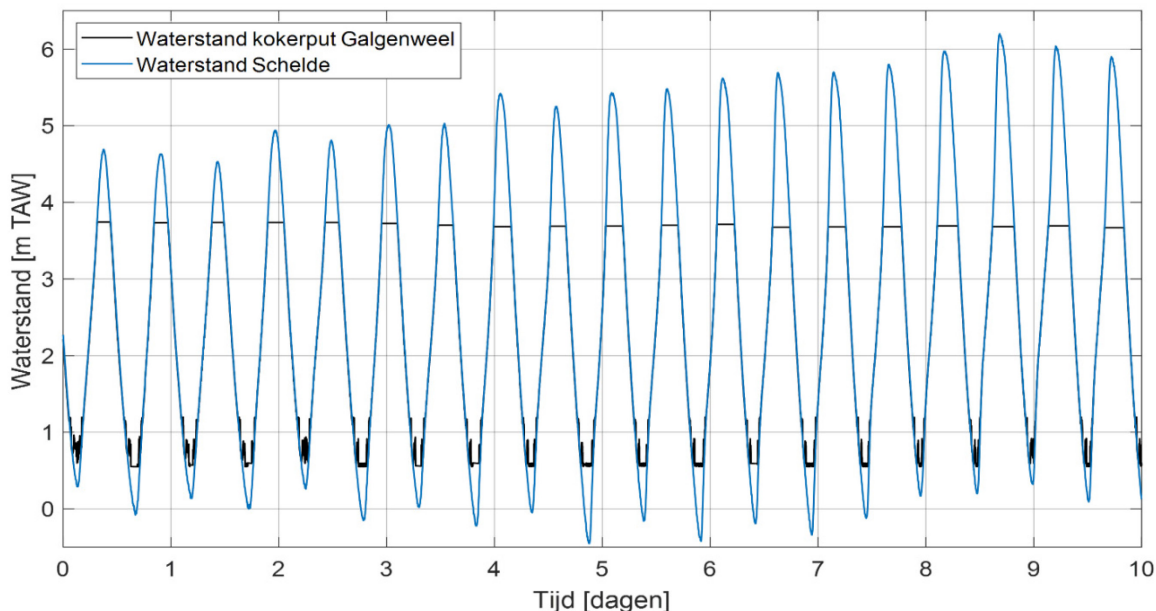
Figuur 18 toont het verloop van het waterpeil in Galgenweel in functie van de tijd en toont daarbij ook de gehaalde debieten door de kokers. Het gaat hier steeds over het totaal debiet over de drie kokers samen. Wanneer het waterpeil in de Schelde hoger staat dan het peil in Galgenweel, valt het debiet door de kokers terug naar 0 m³/s. De terugslagkleppen zorgen ervoor dat er geen Scheldewater richting het Galgenweel stroomt. We merken hier op dat het debiet door de kokers gelimiteerd wordt door het debiet over de overlaat of de damwandplanken. De gehaalde debieten die in deze figuur getoond worden hebben een zeer sterke gelijkenis met de berekende debieten over de scherpe overlaat uit Figuur 9 uit hoofdstuk 2.

Figuur 19 toont de waterstanden in de kokerput aan Galgenweel net voor de kokers en de waterstand op hetzelfde moment aan Schelde zijde. Op deze figuur is mooi te zien dat de waterstand in de kokerput deze in de Schelde volgt, maar door de terugslagkleppen niet verder stijgt dan 3.75 - 3.65 m TAW.

Figuur 18 – Verloop uitwatering Galgenweel bij 0.1 m regenwater boven de overlaat en startende bij een doottij aan Schelde zijde



Figuur 19 – Waterstanden in de kokerput aan Galgenweel en in de Schelde voor uitwatering vanaf 0.1 m boven overlaat.



3.5.2 Waterpeil Galgenweel 0.2 m boven overlaat en startende bij doottij

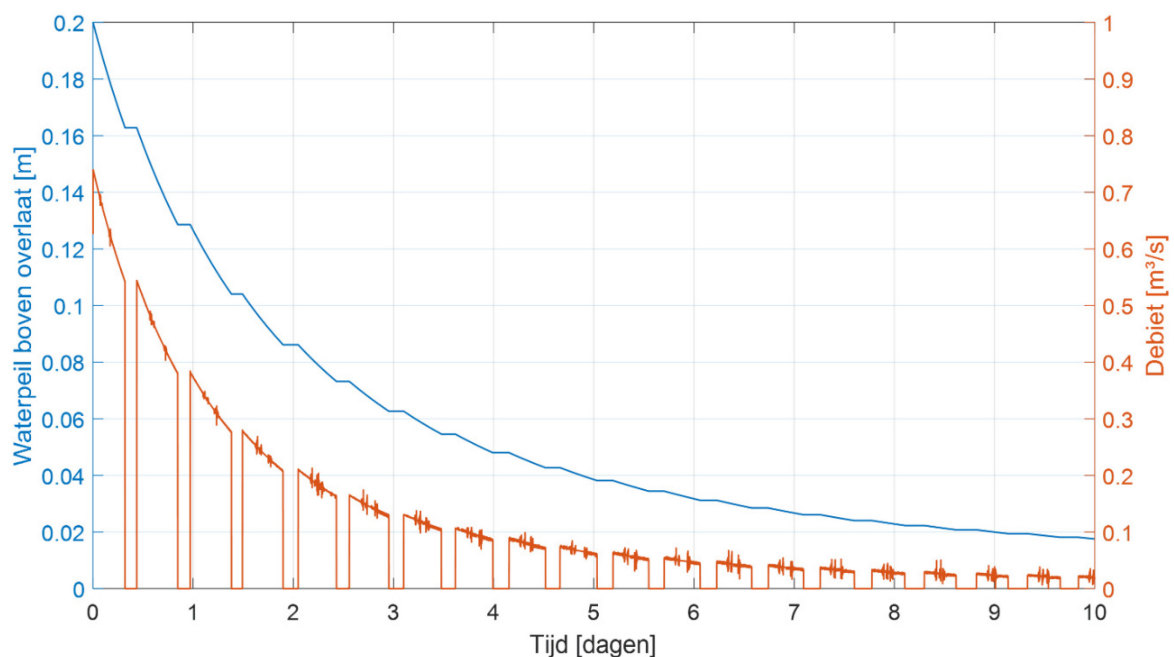
Deze simulatie start met een waterpeil in Galgenweel van 3.85 m TAW ofwel 0.2 m boven de scherpe overlaat (damwandplanken). Het water stroomt eerst naar de kokerput net voor de oude uitwateringsconstructie en

van daaruit zal het via de kokers naar de Schelde stromen. Langs de Schelde zijde is er een getij opgelegd (gemeten te Antwerpen Loodsgebouw, startende op 20/11/2019, i.e. startende bij doottij).

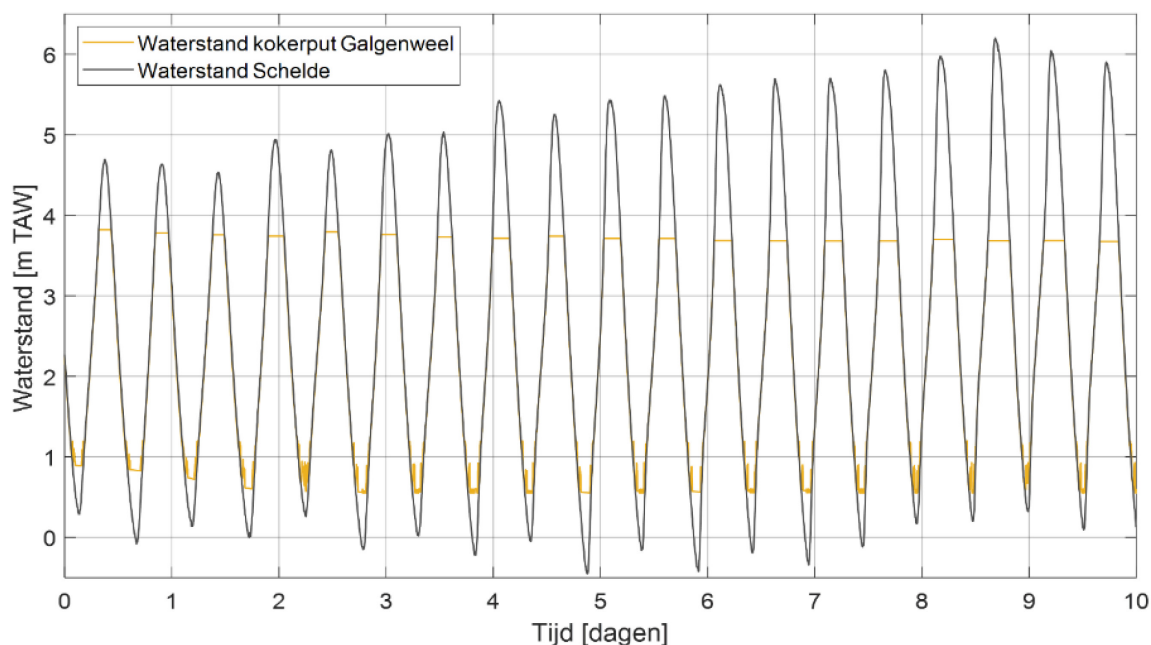
Voor deze opstelling kunnen we dezelfde conclusies trekken als deze met 0.1 m waterpeil boven de overlaat. Ook hier is de overlaat limiterend voor het debiet door de kokers, al ligt het debiet hier initieel wel al veel hoger. Figuur 20 toont het verloop van het waterpeil in Galgenweel de eerste 10 dagen van de uitwatering en toont hierbij weer de overeenkomstige gehaalde debieten door de drie kokers samen.

Figuur 21 toont de waterstanden in de kokerput en in de Schelde. Hier valt op te merken dat het waterniveau in de kokerput de eerste dag niet volledig wegzakt tot het niveau van de bodem van de koker (i.e. 0.55 m TAW). Wanneer het debiet over de overlaat de eerste dag nog lager was startende vanaf een waterpeil van 0.1 m boven de overlaat, werd dit waterpeil wel steeds tot de bodem van de koker getrokken.

Figuur 20 – Verloop uitwatering Galgenweel bij 0.2 m regenwater boven de overlaat en startende bij een doottij aan Schelde zijde



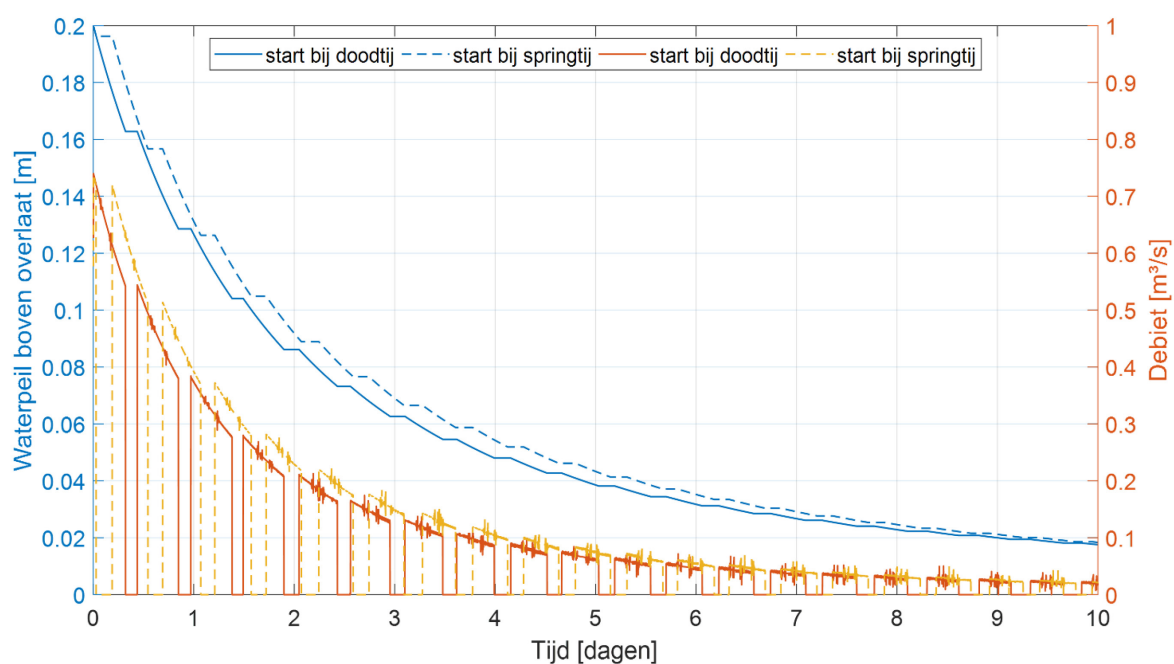
Figuur 21 – Waterstanden in de kokerput aan Galgenweel en in de Schelde voor uitwatering vanaf 0.2 m boven overlaats.



3.5.3 Verschil tussen starten bij springtij of doottij?

Het grootste verschil dat in Figuur 22 te zien is, is te wijten aan de start net voor hoogwater of net na hoogwater. Verder is het verschil tussen springtij en doottij bij deze waterpeilen en debieten door de kokers niet zo groot.

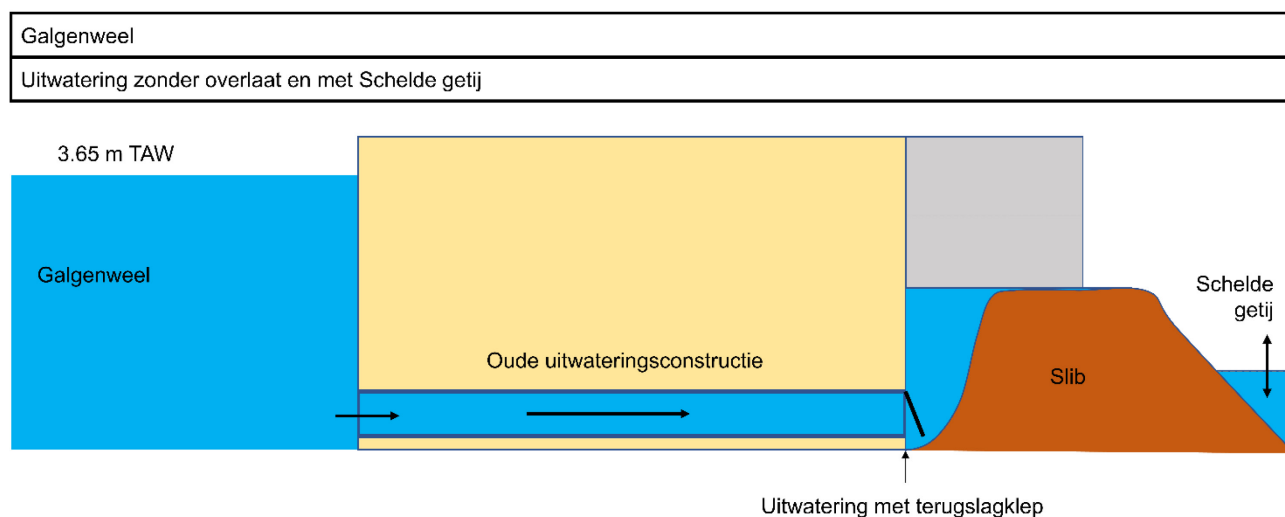
Figuur 22 – Verloop uitwatering Galgenweel bij 0.2 m regenwater boven de overlaats. Verschil tussen starten bij springtij of doottij.



3.6 Debieten door oude uitwateringsconstructie zonder overlaat, maar met getij aan Schelde zijde

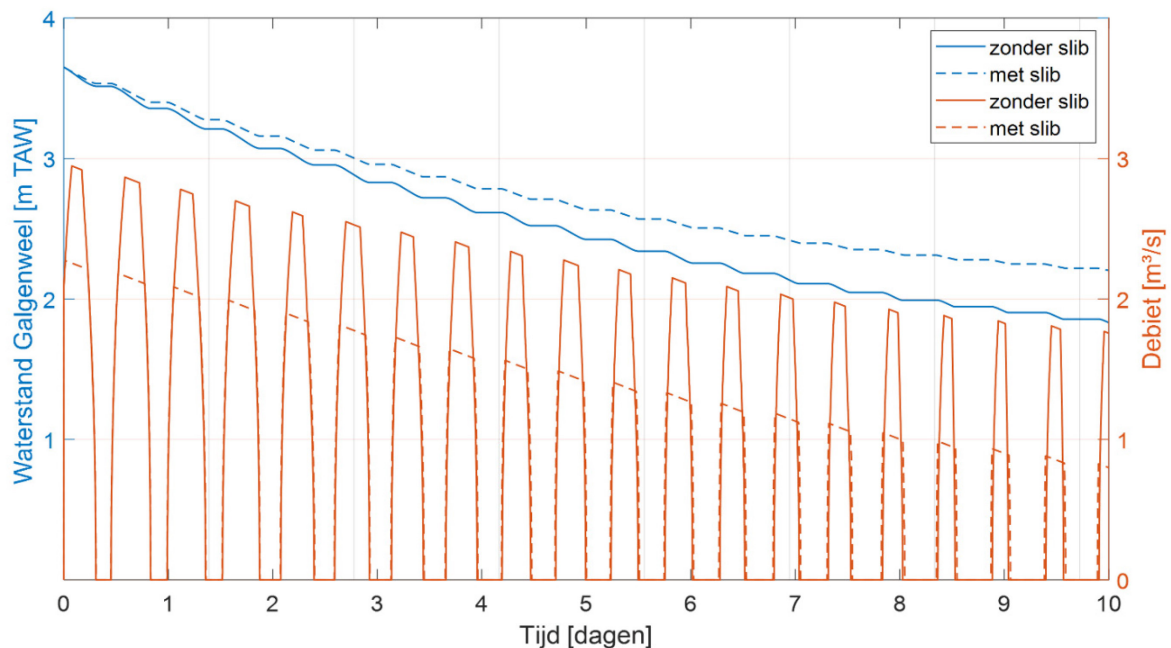
Bij de vorige oefeningen merkten we dat het debiet steeds gelimiteerd werd door de overlaat over de damplanken. Daarom deze oefening waarbij we veronderstellen dat de damplanken van de overlaat ofwel eruit worden getrokken ofwel afgebrand worden. Dit is enkel een denkoefening, want in realiteit zou het Galgenweel dus leeglopen, het geeft inzicht welke debieten gehaald kunnen worden desgevallende de damplanken geen limiterende factor zouden zijn. In deze oefening vergelijken we ook twee situaties: de eerste is wanneer we geen rekening zouden houden met het slib dat in de uitwateringssleuf ligt; de tweede houdt hier wel rekening mee. De berg slib kan hier aan- of afwezig zijn al naargelang het scenario. Figuur 23 schematiseert de situatie waarbij het slib aanwezig is en het water in de Schelde onder de 2 m TAW zakt. Er blijft dan water achter het slib tegen de uitwateringsconstructie aanwezig en deze zal een invloed hebben op het debiet. Het debiet zal lager liggen dan wanneer de uitstroom volledig vrij zou zijn. Er werd in deze oefening ook geen rekening gehouden met het in 2014 geplaatste afdichtingsschot aan Galgenweelzijde.

Figuur 23 – Schematische voorstelling uitwatering zonder overlaat en met laag Schelde getij met slib



Indien er geen slib in de uitwateringssleuf aanwezig is, kan het waterpeil in Galgenweel op 10 dagen tijd een kleine 2 m zakken. De debieten liggen nu wel hoog, net onder de 3 m³/s. Wanneer het slib blijft liggen, zal de uitwatering trager verlopen zoals te zien is in Figuur 24. In de oefening zonder slib ligt het waterpeil van het Galgenweel na 1 dag op 3.35 m TAW en is er dus 0.3 m ofwel 141500 m³ water weggelopen. De hogere debieten die in deze oefening gehaald worden, zullen ook grotere stroomsnelheden genereren in de uitwateringssleuf en dus sneller/gemakkelijker slib eroderen. We onthouden van deze oefening vooral dat de debieten doorheen de oude uitwateringsconstructie veel hoger kunnen zonder de overlaat als limiterende factor.

Figuur 24 – Verloop uitwatering Galgenweel zonder overlaat.
Start bij doottij. Verschil tussen slib aanwezig en niet aanwezig.



3.7 Vullen Galgenweel door oude uitwateringsconstructie

Het opsparen van regenwater om peilen tot 0.2 à 0.3 m boven de overlaat te verkrijgen, is misschien niet zo'n goed idee. Om deze stijging te verkrijgen is 300 mm neerslag nodig (geen rekening houdend met eventuele evaporatie). Dit zou enkele weken kunnen duren. Gedurende die weken zal er dan geen uitwatering mogelijk zijn en dat zou kunnen leiden tot nog meer sedimentatie van de uitwateringssleuf.

In tijden van droogte wordt het Galgenweel bijgevuld met Schelde water en dat zou in dit vraagstuk ook een goede oplossing kunnen zijn. In deze sectie maken we de oefening waarbij we de terugslagkleppen van de oude uitwateringsconstructie openen. Op dit moment zijn de kabels die de terugslagkleppen kunnen openen, doorgeroest. Indien deze oefening een goede oplossing lijkt, moeten die dus eerst hersteld worden. Er wordt in deze oefening geen rekening gehouden met het in 2014 geplaatste afdichtingsschot aan Galgenweelzijde.

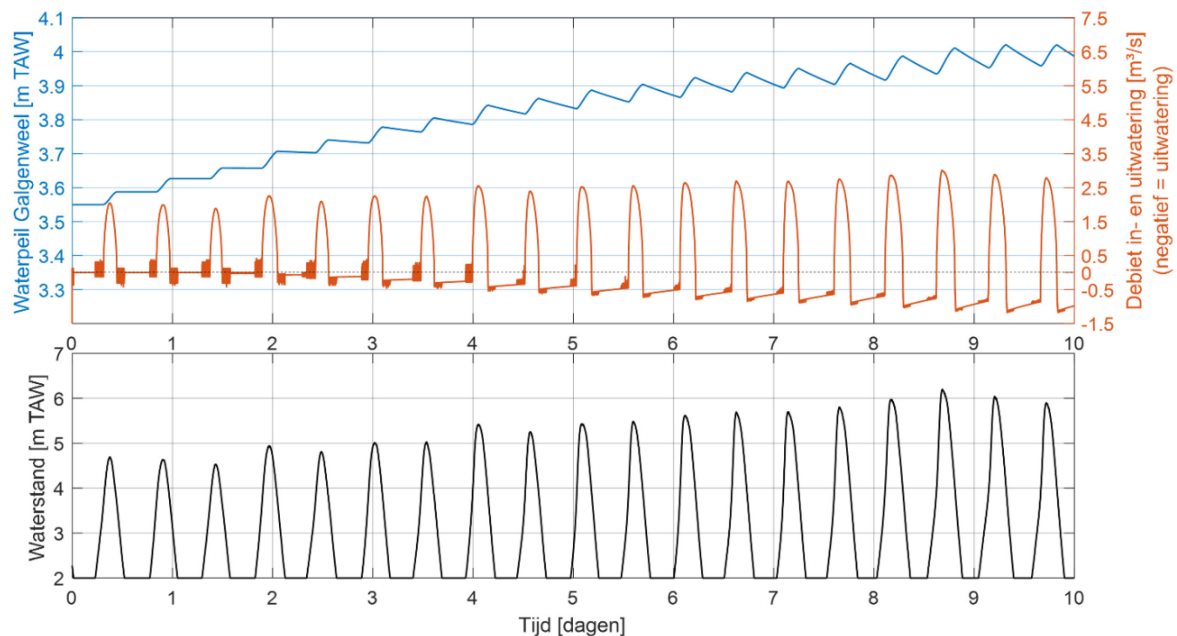
De simulatie houdt rekening met het getij in de Schelde (zelfde getij als voorgaande oefening). Er wordt rekening gehouden met het slib dat in de uitwateringssleuf ligt en dat dus voor een iets tragere uitstroom instroom zal zorgen. De overlaat wordt behouden zoals deze is, i.e. op 3.65 m TAW en 2.8 m breed. Het initieel waterpeil in Galgenweel werd op 3.55 m TAW gezet om te zien hoe lang het zou duren om 0.1 m waterpeil aan te vullen. Figuur 25 toont in het blauw het verloop van het waterpeil in Galgenweel en in het oranje de debieten door de uitwateringsconstructie. Positieve debieten zijn debieten die het Galgenweel in stromen; negatieve debieten geven aan dat het water naar buiten stroomt. We zien dat het waterpeil bij elk nieuw hoogwater stijgt. Na anderhalve dag of drie hoogwaters (er is hier wel gestart vanaf een doottij) is het peil in Galgenweel reeds 0.1 m gestegen en is het niveau van de overlaat bereikt. De vele kleine piekjes in het debiet die zichtbaar zijn in de figuur zijn het gevolg van de berekeningen in matlab waarbij een discrete tijdstap wordt aangehouden. Hoewel deze tijdstap klein is (1 seconde), veroorzaken kleine verschillen in waterstanden, verschillende debieten op korte tijd. Naarmate het waterpeil verder stijgt boven de overlaat, merken we ook op dat het uitwateringsdebiet steeds groter wordt. Wanneer het water in Galgenweel tot 0.3 m boven de overlaat komt, halen we debieten tot 1 m³/s. Nog steeds is de overlaat samen met het volume van de kokerput hier de debiet limiterende factor. Op tien dagen tijd stijgt het waterpeil in Galgenweel tot boven 4 m TAW. Op dat moment bereiken we ook aan Schelde zijde springtij. Er is hier wel enkel rekening gehouden met de huidige overlaat van 2.8 m breed. Op de foto in Figuur 4 is echter te zien dat de overige

damwandplanken niet veel verder boven de overlaat uitsteken. Het water kan dan in principe over alle damwandplanken stromen en de overlaat zal dan geen limiterende factor meer zijn.

Deze oefening toont aan dat het mogelijk is om het openen van de terugslagkleppen te gebruiken om grote watervolumes in en uit het Galgenweel te laten lopen. Initieel zorgen deze wel niet voor de grootste debieten (daarvoor is het peil boven de overlaat niet hoog genoeg) en zal de stroomsnelheid dus ook evenredig zijn. Toch zouden deze kleinere debieten als ze langere tijd worden aangehouden mogelijks grote hoeveelheden sediment verplaatsen. Deze laatste stelling kan getest worden door de terugslagkleppen voor bijvoorbeeld 1 dag (twee hoogwaters) te openen en te monitoren wat het effect hiervan is.

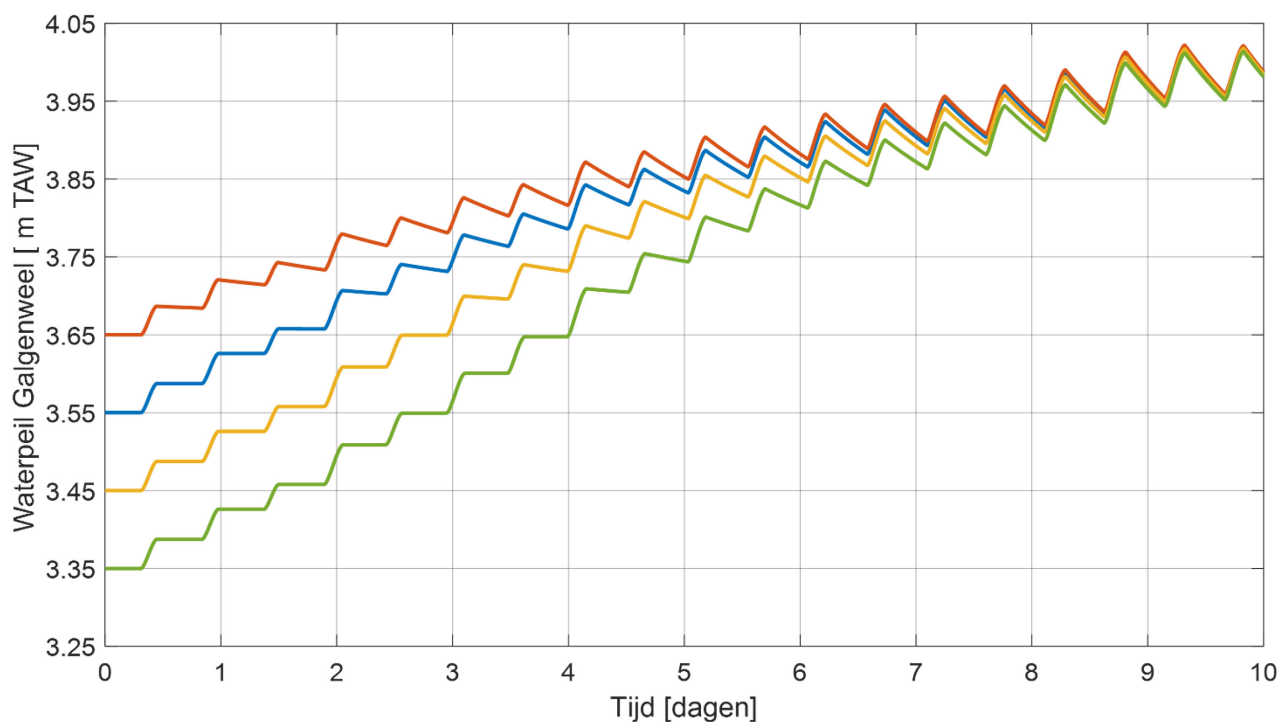
Het water dat via de oude uitwateringsconstructie het Galgenweel binnenstroomt zal wel zeer veel cohesief sediment bevatten (zowel van het Scheldewater, als een deel dat ogenomen wordt van het slib dat in de uitwateringssleuf ligt) en eens aangekomen in het Galgenweel zal de stroomsnelheid snel tot nul herleid worden, waardoor bezinking in het Galgenweel zal optreden.

Figuur 25 – Terugslagklep oude uitwateringsconstructie wordt opengezet en simulatie gestart bij doodtij: waterpeil Galgenweel en debieten door de kokers.



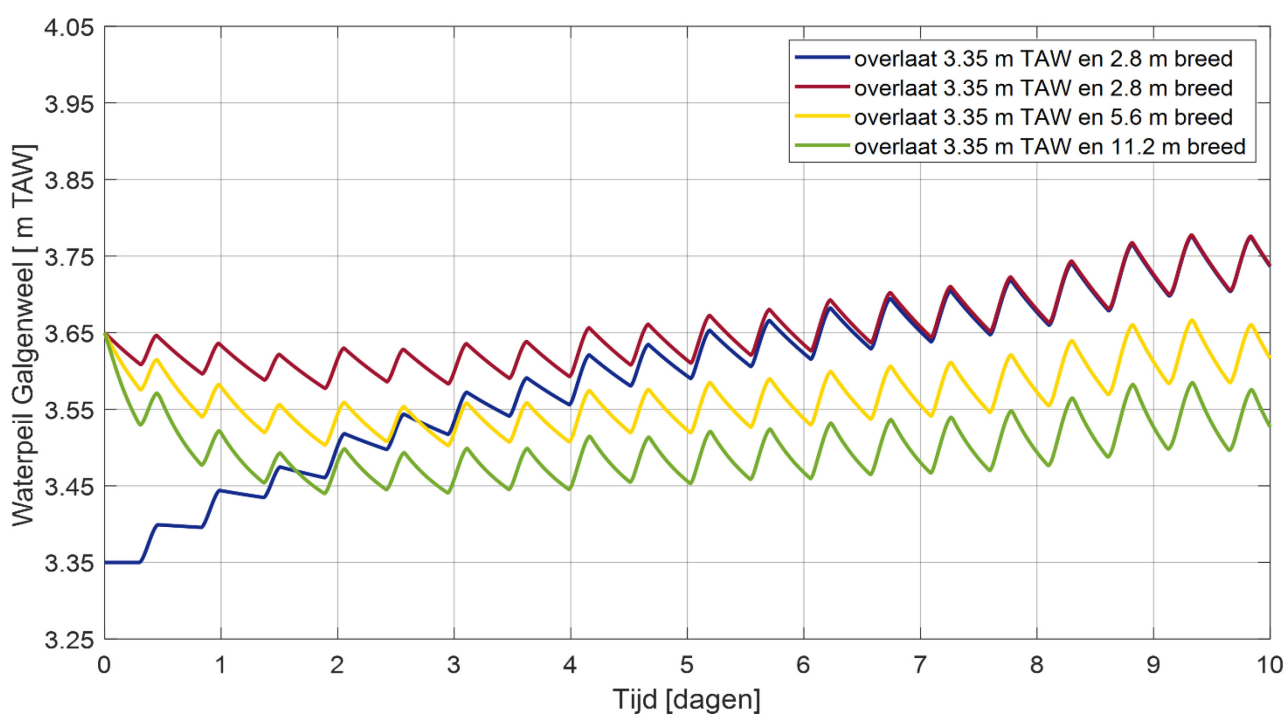
Figuur 26 toont de waterstanden in Galgenweel bij het vullen startende vanaf verschillende peilen onder de overlaat. Vanaf dat het waterpeil in Galgenweel het peil van de overlaat bereikt heeft zal er ook uitwatering plaatsvinden. Figuur 27 geeft de waterpeilen in Galgenweel weer bij het vullen en geeft daarbij de invloed van de breedte van de overlaat. Deze breedte wordt tot tweemaal verdubbeld, i.e. 2.8 m, 5.6 m en 11.2 m breed. Het peil van de overlaat wordt hierbij op 3.35 m TAW gelegd ofwel 0.3 m onder het standaard peil van het Galgenweel. Deze optie zou van toepassing kunnen zijn, wanneer het niet mogelijk of wenselijk is het waterpeil in Galgenweel hoger te laten stijgen dan het huidige niveau van 3.65 m TAW. In dat geval zou het afbranden of verlagen van de overlaat in de vorm van damwandplanken, een oplossing kunnen zijn. De figuur toont dat het waterpeil sneller zakt bij een bredere overlaat, maar ook dat voor alle geteste breedtes een soort evenwichtssituatie wordt gevonden waarbij voor de breedste overlaat (11.2 m) het waterpeil in Galgenweel niet verder zakt dan 3.45 m TAW. Figuur 28 geeft de bijhorende debieten. De breedste overlaat, heeft de hoogste debieten ondanks de lagere peilen boven de overlaat.

Figuur 26 – Waterstanden Galgenweel bij openen terugslagklep oude uitwateringsconstructie. De overlaat ligt op 3.65 m TAW. De verschillende kleuren geven het verloop weer bij verschillende startwaarden van het waterpeil in Galgenweel.

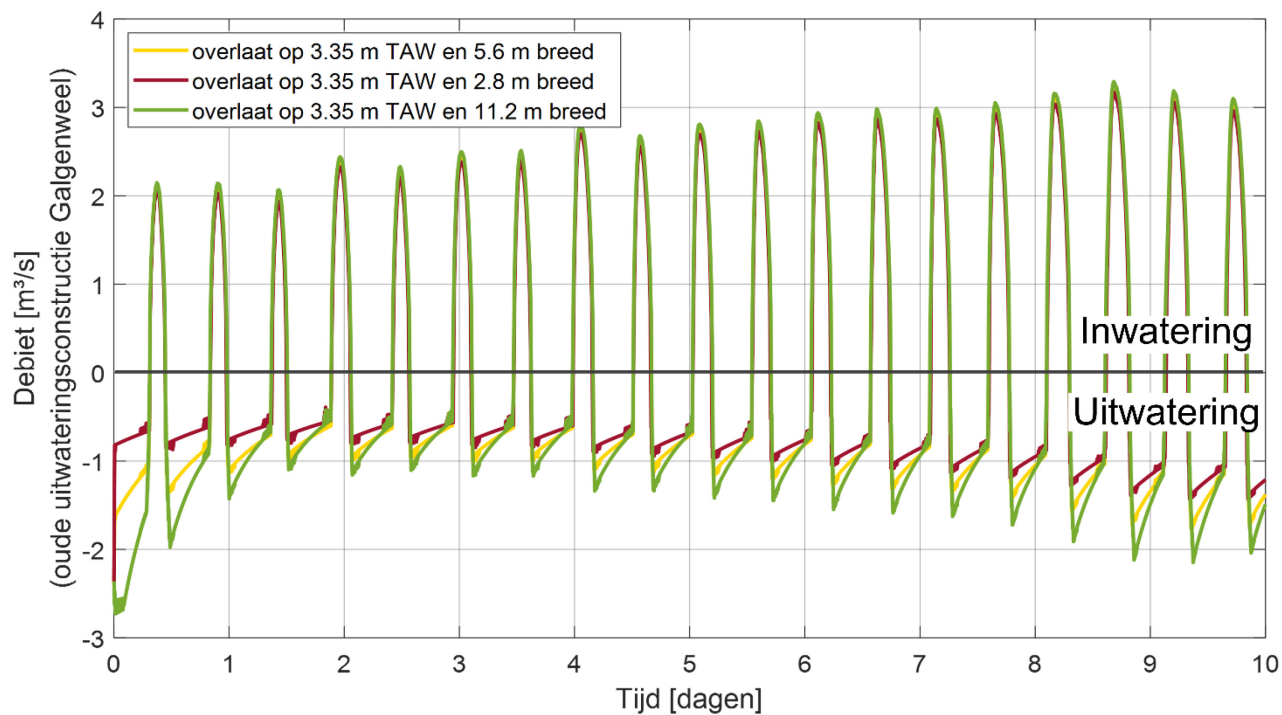


Figuur 27 – Waterstanden Galgenweel bij openen terugslagklep oude uitwateringsconstructie. Overlaat verlaagt tot 3.35 m TAW en verschillende breedtes van de overlaat.

Er werd ook gevarieerd met de startwaarde van het peil in Galgenweel (rood en blauw).



Figuur 28 – Debieten door de oude uitwateringsconstructie bij openen terugslagkleppen bij verlaagde overlaat (3.35 m TAW) en verschillende breedtes.

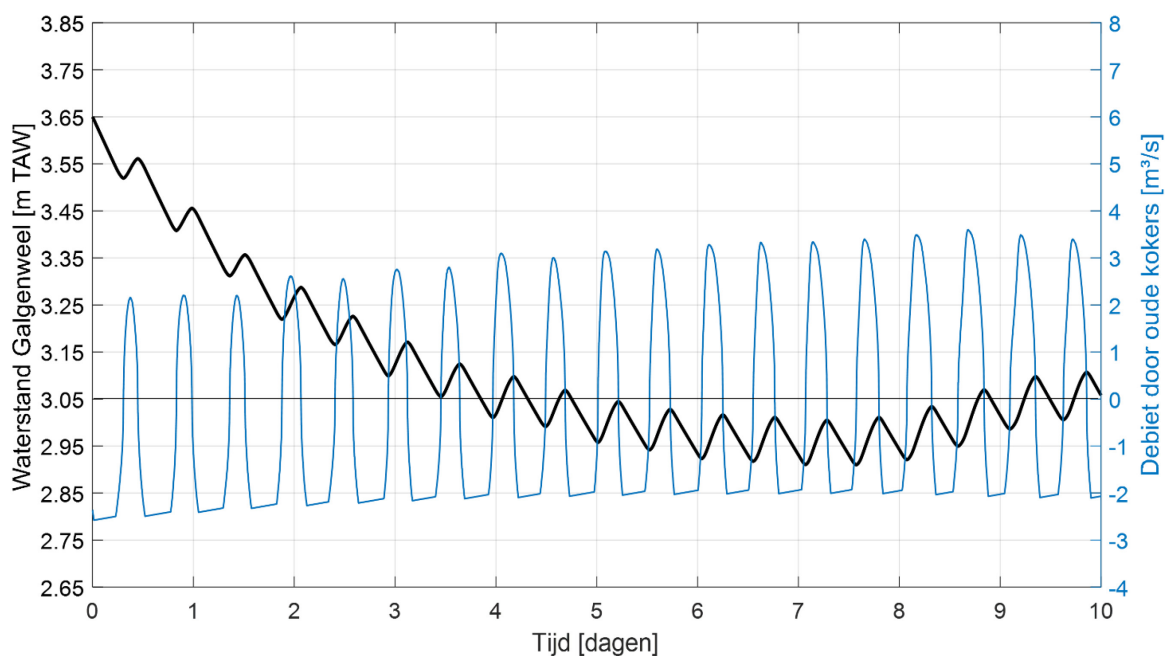


3.8 Verwijderen overlaat; Galgenweel in open verbinding met de Schelde

De vorige oefening toonde aan dat het waterpeil in het Galgenweel niet volledig zakt tot aan de verlaagde overlaat. Er wordt een soort evenwicht gevonden. Geldt dit ook nog indien we alle damwandplanken zouden verwijderen en er dus een open verbinding ontstaat met de Schelde. Er is dus geen overlaat meer. De terugslagkleppen staan open en het start waterpeil in Galgenweel bedraagt 3.65 m TAW. Er wordt in deze oefening geen rekening gehouden met het in 2014 geplaatste afdichtingsschot aan Galgenweelzijde.

Figuur 29 toont de resultaten. Het waterpeil in Galgenweel zakt in enkele dagen tijd zo'n 0.7 m, maar daarna stijgt het terug een beetje. Naar het einde van de 10 dagen simulatie komen we dicht bij springtij en zien we de waterstanden en debieten terug stijgen.

Figuur 29 – Scenario weghalen damwandplanken.
Galgenweel in open contact met de Schelde: waterstanden en debieten



3.9 Nieuwe uitwateringsconstructie als extra inwatering

Het openen van de terugslagkleppen van de oude constructie heeft twee nadelen: (1) grote input van sediment in Galgenweel en (2) de kabels naar de kleppen moeten eerst hersteld worden. Wanneer we echter zouden wachten totdat de nieuwe constructie klaar is, zou deze kunnen dienen om het water in Galgenweel bij te vullen terwijl het door de oude constructie met de gesloten terugslagkleppen enkel kan uitstromen. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 30. Op deze manier zou het water in Galgenweel aangevuld kunnen worden met water uit de Schelde hoger in de waterkolom en dus een hogere kans heeft om minder sediment te bevatten. Er kan ook geen slib dat nu in de oude uitwateringssleuf ligt, mee tot in Galgenweel genomen worden.

In deze oefening voegen we de nieuwe constructie toe aan de Matlab simulatie routines. We rekenen twee scenario's door: (1) het peil van de overlaat van de oude constructie blijft zoals hij is en er moet eerst water toegevoegd worden om uitstroom te krijgen. Het waterpeil in Galgenweel zal dan boven de 3.65 m TAW moeten stijgen; of (2) De oude overlaat wordt verlaagd tot 3.35 m TAW. Er wordt in deze oefening geen rekening gehouden met het in 2014 geplaatste afdichtingsschot aan Galgenweelzijde.

Hieronder worden kort de fysische kenmerken van de nieuwe uitwateringsconstructie opgesomd:

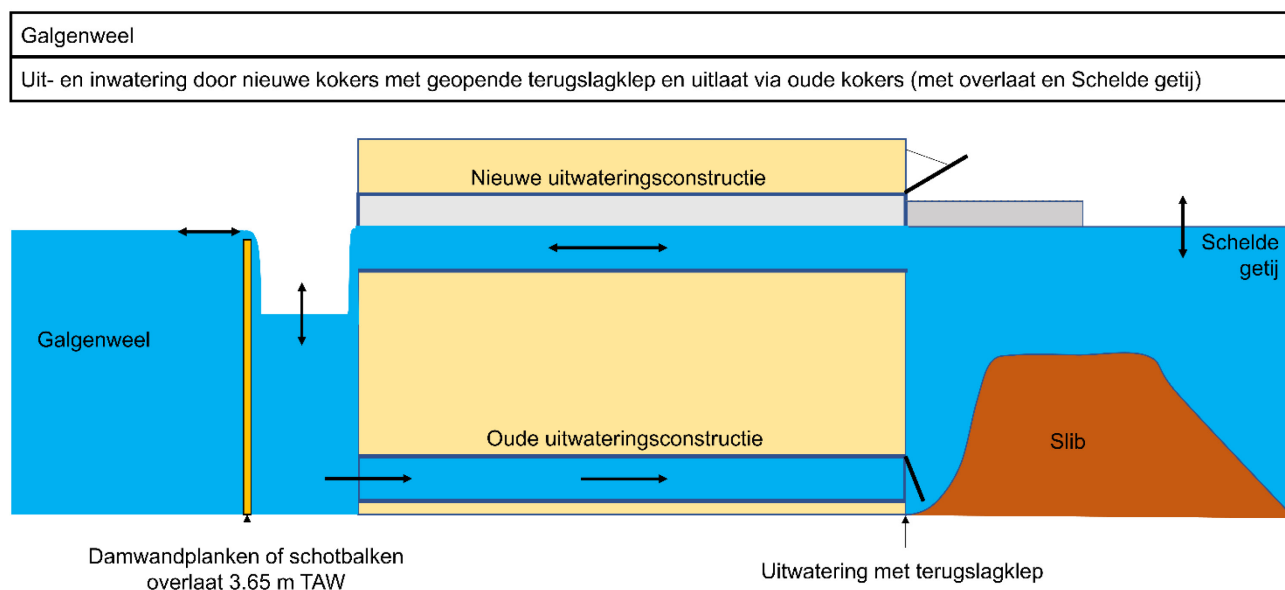
- lengte kokers = 45 m
- diameter kokers = 0.9 m
- er zijn twee naast elkaar liggende kokers
- bodem kokers Galgenweel zijde ligt op 3.2 m TAW
- bodem kokers Schelde zijde ligt op 3.2 m TAW
- Manning coëfficiënt voor betonbuis met biofilm = $0.015 \text{ s/m}^{1/3}$
- aanname dat de terugslagkleppen volledig open kunnen
- er is aan Galgenweelzijde een vuilrooster aanwezig
- overlaat met schotbalken aan zijde Galgenweel met breedte $2 \times 1.5 \text{ m}$ en overlaatpeil 3.65 m TAW.

In eerste instantie houden we het peil van de overlaat van de oude constructie op 3.65 m TAW. De overlaat van de nieuwe constructie wordt verhoogd tot 3.80 m TAW om te vermijden dat ook langs deze zijde water terug naar de Schelde loopt. Op deze manier moet al het binnengestroomde water via de oude uitwatering terug naar de Schelde stromen. De terugslagkleppen van beide kokers van de nieuwe uitwateringsconstructie worden opengezet. De blauwe lijn in Figuur 31 geeft aan dat er op deze manier meer water het Galgenweel binnenstroomt via de nieuwe constructie dan dat er via de oude constructie kan buitenstromen. Aangezien het niet de bedoeling is dat het waterpeil in Galgenweel al te veel stijgt, werd een nieuwe simulatie uitgevoerd waarbij slechts 1 koker van de nieuwe constructie werd opengezet. De waterstanden in Galgenweel van die simulatie worden weergegeven door de oranje lijn Figuur 31. Ook nu nog blijft het peil in Galgenweel stijgen, maar minder snel. Vervolgens werd besloten om de inwatering via de nieuwe constructie slechts 2 getijden of 1 dag te laten duren. Op die manier stijgt het waterpeil in Galgenweel bijna 0.14 m. Voor de uitwatering worden dan weer drie verschillende breedtes van de overlaat aan de oude constructie getest. Zoals verwacht zal met de breedste overlaat het snelst het waterpeil in Galgenweel weer zakken. Voor deze laatste drie simulaties worden de debieten over de overlaat en door de oude constructie gegeven in Figuur 32. Bij de breedste overlaat worden debieten door de kokers gehaald tot $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$.

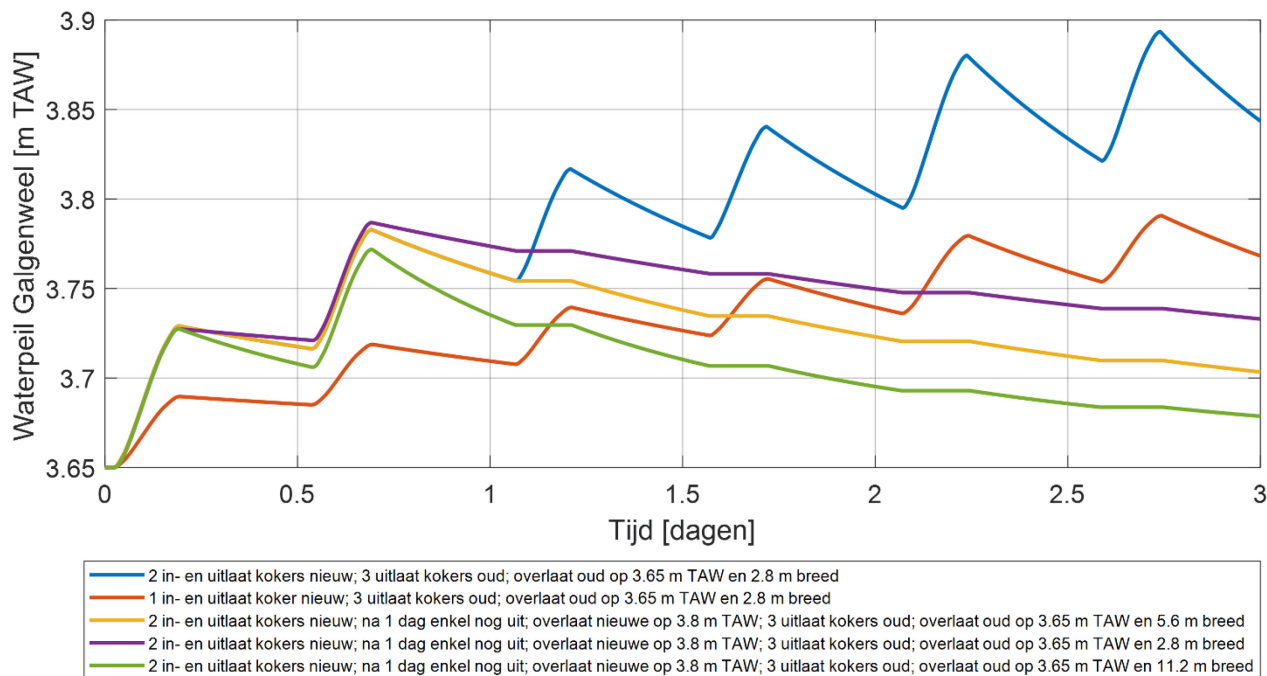
Wanneer uit testen zou blijken dat dergelijke hoge debieten nodig zijn om het sediment in de oude uitwateringssleuf in beweging te krijgen, dan kunnen de terugslagkleppen van de nieuwe constructie regelmatig weer opengezet worden om het peil in Galgenweel weer kort tot bijna 3.80 m TAW te laten stijgen.

Wanneer de overlaat aan de oude constructie verbreed zou worden naar 11.2 m, kan de inwatering door de nieuwe constructie tot 10 dagen aangehouden worden zonder dat het waterpeil in het Galgenweel boven de 3.80 m TAW komt. De debieten door de oude uitwatering halen dan waarden tot $1 \text{ m}^3/\text{s}$ gedurende meerdere getijden. Op deze manier kan er gedurende meerdere dagen een groot debiet over het slib in de oude uitwateringssleuf gestuurd worden.

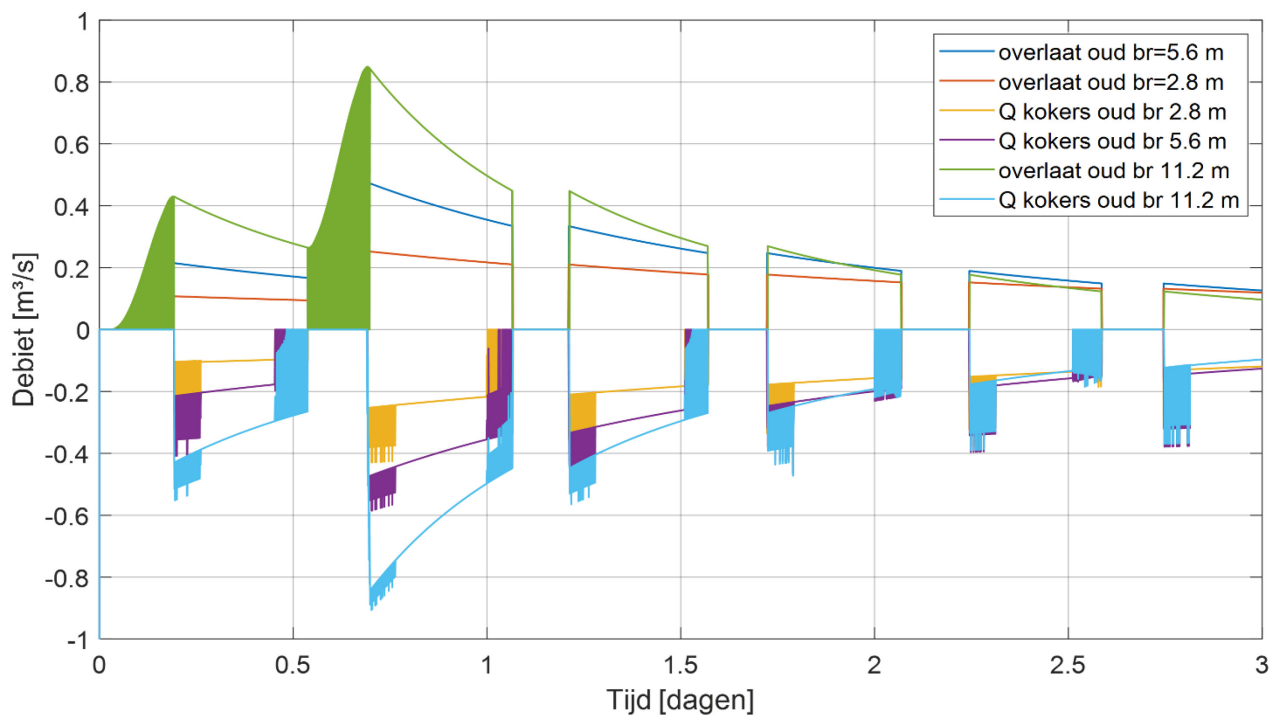
Figuur 30 – Schematische voorstelling in- en uitwatering nieuwe constructie + uitwatering door oude constructie. Beide met overlaat en met opgelegd getij langs Schelde zijde.



Figuur 31 – Waterstanden Galgenweel bij verschillende variaties in opening kokers en breedtes van de overlaat van de oude constructie.

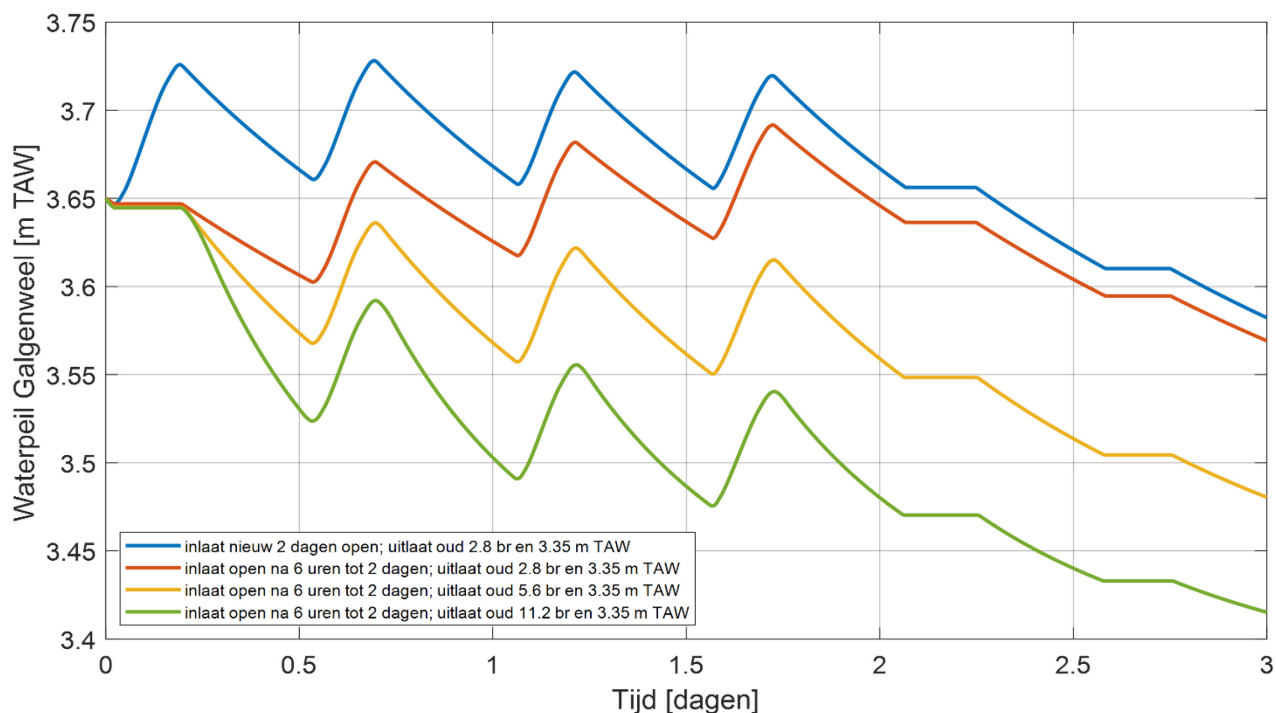


Figuur 32 – Debieten door de oude constructie en over de oude overlaat bij verschillende breedtes van de overlaat.



Wanneer het waterpeil in Galgenweel niet boven de 3.65 m TAW kan/mag stijgen, kan ook nog de overlaat aan de oude constructie verlaagd worden. In deze oefening verlagen we deze tot 3.35 m TAW; een 0.3 m lager. De overlaat van de nieuwe constructie blijft in deze oefening op 3.65 m TAW zoals ontworpen. Aangezien het opgemeten getij dat opgelegd wordt aan Schelde zijde begint met een hoogwater, zal het waterpeil in Galgenweel meteen stijgen en dat was niet de bedoeling. Dit wordt weergegeven door de blauwe lijn in Figuur 33. Na twee dagen worden de terugslagkleppen weer gesloten en zien we het waterpeil snel zakken. Om die eerste stijging van het waterpeil te vermijden, worden de terugslagkleppen pas geopend na dat eerste hoogwater. In Figuur 33 zien we bij de oranje lijn dat zolang het waterpeil in de Schelde boven het peil in Galgenweel blijft, er geen uitwatering is. Daarna zien we het peil zakken waarna al snel een nieuw hoogwater volgt met deze keer inwatering via de nieuwe constructie. Ook bij deze configuratie stijgt het waterpeil in het Galgenweel boven 3.65 m TAW, maar dit blijft beperkt tot 0.04 m. Na twee dagen worden de terugslagkleppen weer gesloten en zien we het waterpeil in Galgenweel terug zakken. Deze simulatie is ook weer uitgevoerd voor drie verschillende breedtes van de overlaat voor de oude constructie. Ook hier geldt dat hoe breder de overlaat, hoe sneller het waterpeil zal zakken. In het geval van een overlaat van 1.2 m breed op 3.35 m TAW zal het waterpeil in Galgenweel al na iets meer dan drie dagen zakken tot aan de overlaat. De debieten door de oude uitwateringsconstructie halen bij deze oefening een grootteorde van twee tot drie keer die van de vorige oefening: tot bijna 3 m³/s. In deze oefening is bij dezelfde breedte van overlaat (11.2 m) de waterstand boven de overlaat veel groter en dat verklaart de veel grotere debieten.

Figuur 33 – Waterstanden Galgenweel bij inwatering door nieuwe constructie en verlagen overlaat oude constructie



3.10 Zal oude uitwateringsconstructie na spoelen vrij blijven van slib?

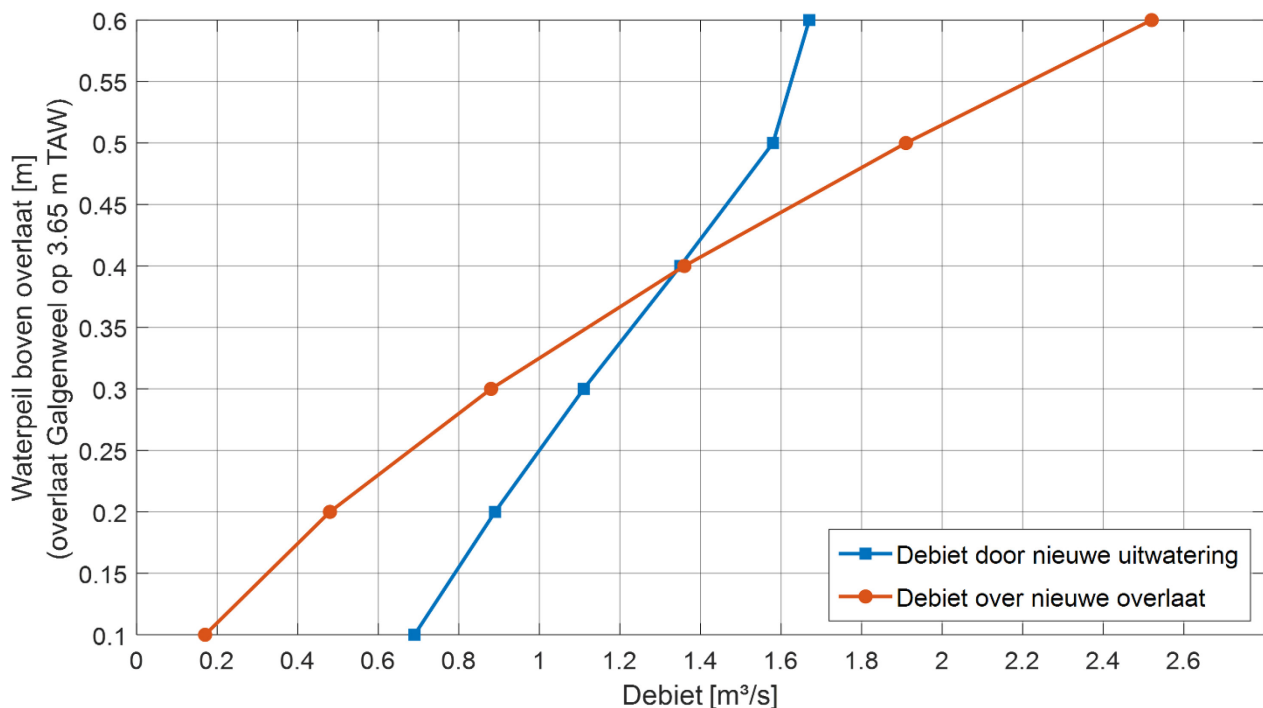
Aangezien de oude uitwateringssleuf de jaren voor de aanslibbing vrij bleef van slib door enkel uitwatering van regenwater. In vergelijking met de laatste oefeningen ligt het debiet van uitwatering na een zware regenbui, beduidend minder. Dit zou erop kunnen wijzen dat slechts een klein debiet voldoende is om de sleuf vrij van slib en open te houden.

4 Bij welk waterpeil in Galgenweel wordt de diameter van de buizen in de nieuwe uitwateringsconstructie de limiterende factor om water afgevoerd te krijgen?

De debieten over een scherpe overlaat met de eigenschappen van de nieuwe uitwateringsconstructie werden voor verschillende waterpeilen boven de overlaat berekend volgens vergelijking 2. De resultaten worden in Figuur 34 door de oranje lijn weergegeven. Vervolgens werd het debiet door de nieuwe uitwateringsconstructie berekend bij het peil in Galgenweel zonder overlaat en bij waterstanden in de Schelde die lager dan het niveau van de uitstroom waren. Deze resultaten zijn in Figuur 34 weergegeven door de blauwe lijn. Waar beide lijnen elkaar kruisen, ligt het waterpeil waarbij de debieten door de uitwateringsconstructie kleiner worden dan het debiet over de overlaat. Dit waterpeil ligt op 4.05 m TAW ofwel 0.4 m boven de overlaat.

Het lijkt onmogelijk voor regenbuien om dit peil in Galgenweel te veroorzaken. Dan moet er op zeer korte tijd 400 mm neerslag vallen.

Figuur 34 – Debiet versus waterpeil boven overlaat voor debieten over overlaat en debieten door de nieuwe uitwatering



5 Conclusies

Bij een intense regenbui of bij langdurig regenweer, kan het waterpeil in Galgenweel enkele centimeters stijgen. Indien het regenwater het peil in het Galgenweel doet stijgen tot boven de overlaat, zal er water overstorten en naar de Schelde afgevoerd worden tot het peil van de overlaat terug bereikt wordt. Dit kan enkele dagen tot weken duren, maar de debieten die gehaald worden zijn klein: grootteorde 1 – 40 L/s.

Tot voor kort hielden die kleine debieten de betonnen sleuf aan Schelde zijde van de oude uitwateringsconstructie wel vrij van slib. Recent is in die sleuf twee meter slib terechtgekomen. Dit rapport toont aan dat zelfs met kleine stroomsnelheden (en dus lage debieten door de uitwateringsconstructie), i.e. vanaf 0.14 -0.23 m/s, al slib kan geërodeerd worden.

Er werden enkele oefeningen gesimuleerd om een redelijk debiet door de oude uitwateringsconstructie te bekomen om zo dit slib uit te spoelen. Twee mogelijke oplossingen werden gevonden, waarvan één de duidelijke voorkeur draagt. Enerzijds kan men de terugslagkleppen van de oude uitwateringsconstructie open zetten zodat er water van de Schelde naar het Galgenweel kan stromen. Dit water zal bij laagwater dan ook weer naar buiten stromen en slib eroderen. Bij deze oplossing verwachten we echter dat er ook veel slib in het Galgenweel zal terechtkomen en dat is ecologisch gezien minder gewenst. Een tweede oplossing bestaat erin te wachten tot de nieuwe uitwateringsconstructie klaar is en deze dan te gebruiken om water uit de Schelde in het Galgenweel te laten stromen. Twee hoogwaters kunnen het waterpeil in het Galgenweel op die manier met bijna 0.1 m doen stijgen. Dit water kan dan door de oude uitwateringskokers terug naar de Schelde stromen bij laagwater en het slib in de uitwateringssleuf eroderen.

De voorgestelde oplossingen werden theoretisch berekend met heel wat aannames van parameters. De eventueel gekozen oplossing kan in praktijk best kort getest en gemonitord worden, voordat deze langdurig zou worden toegepast.

De nieuwe uitwateringsconstructie zal twee kokers met diameter 0.9 m bevatten daar waar de oude constructie drie kokers met diameter 0.6 m bevat. De nieuwe kokers zullen ook veel hoger (bodempkokers op 3.2 m TAW tegenover 0.6 m bij de oude constructie) in de dijk tussen het Galgenweel en de Schelde geplaatst worden. Een korte berekening leerde dat deze nieuwe kokers ruim genoegd berekend werden om regenwater dat het peil in Galgenweel doet stijgen, af te voeren. Er moet al 400 mm neerslag op zeer korte tijd vallen opdat de diameters van de nieuwe kokers limiterend zouden zijn voor het afgevoerde debiet aan regenwater. Bij normale regenval zal de nieuwe overlaat het Galgenweel op peil kunnen houden.

Tenslotte wordt hier nog opgemerkt dat er buiten de hier aangehaalde mogelijkheden om de oude uitwateringssleuf te spoelen, nog andere mogelijkheden zijn om het slib daar weg te krijgen. Zo kan er bijvoorbeeld gewerkt worden met grote pompen dit een enkele krachtige waterstraal genereren; er kan ook met jets gewerkt worden die het slib kunnen opwoelen en er kan ook vanop het water met jets gewerkt worden. Er zijn dus nog vele andere mogelijkheden.

6 Aanbevelingen

Om in de toekomst beter op dit soort vragen te kunnen antwoorden, is het voor het WL aangewezen om expertise op te bouwen rond cohesief sediment. Het is daarom interessant om het effectieve spoelen van de uitwateringssleuf van Galgenweel verder mee op te volgen en zelfs al op voorhand de karakteristieken van het aanwezig slib te gaan bepalen (bv. door middel van een Beeker-sampler). Verder kunnen samen met de evolutie van het slib in deze sleuf experimenten uitgevoerd worden om op labo schaal te testen bij welke snelheden dit slib (waarvan dan ook de karakteristieken bepaald zullen worden) zal eroderen.

Indien er na het spoelen van het slib in de sleuf nog een langere tijd geen werken uitgevoerd worden, i.e. het opvullen van de oude constructie met vulbeton, kan de evolutie van het slib (of geen slib) in de sleuf opgevolgd worden. Indien het probleem zich dan zou herhalen, kan dit al snel opgemerkt worden en is er meer informatie beschikbaar voor een meer specifiekere analyse van deze aanslibbing.

7 Referenties

- Bos, M.G.**, 1989. Discharge measurement structures. Wageningen, International Institute for Land Reclamation, ILRI.
- Darras, I.**, 2016. MER ontheffing dijkwerken Galgenweel. Tractebel Engineering n.v. in opdracht van Waterwegen en Zeekanaal – Afdeling Zeeschelde.
- De Ferraris, J.**, 1777. Kabinetskaart der Oostenrijkse Nederlanden, opgenomen op initiatief van graaf De Ferraris. Bruxelles : Pro Civitate, 1965-1974. Online te raadplegen via http://www.ngi.be/Common/ferraris_nl
- De Maerschalck, B.; Eloit, K.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2019). Advies Scheldebrug: Deelrapport 1 – Stroming en morfologie. Versie 4.0. WL Rapporten, 18_120_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.
- Havermans, R.**, 1959. De gedaantewisseling van de Borgerweertpolder. Antwerpen: tijdschrift der stad Antwerpen 5(2): 2-19.
- Leestmans, J.; Yseboodt, R.**, 1993. Visserijkundig Onderzoek en Voorstel voor een Planmatig Visstandbeheer van het Galgenweel. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Dienst Waters en Bossen.
- Mehta, A. J., Parchure, T. M., Dixit, J. G., and Ariathurai, R.**, 1982. Resuspension potential of deposited cohesive sediment beds. Estuarine comparisons, Academic, New York.
- Oosterlee, L., Cox, T., Temmerman, S., Meire, P.**, 2019. How restoration design affects sedimentation rates in restored tidal marshes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (submitted)
- Parchure, T. M., & Mehta, A. J.**, 1985. Erosion of soft cohesive sediment deposits. *Journal of hydraulic engineering*, 111(10), pp. 1308-1326.
- Partheniades, E.**, 1962. A study of erosion and deposition of cohesive soils in salt water. PhD thesis, University of California, Berkeley, Calif.
- Partheniades, E.**, 1964. A summary of the present knowledge of the behavior of fine sediment in estuaries. Technical Note No. 8, Hydrodynamics Lab., MIT, Cambridge, Mass.
- Rosenberry, D. O., Winter, T. C., Buso, D. C., Likens, G. E.**, 2007. Comparison of 15 evaporation methods applied to a small mountain lake in the northeastern USA. *Journal of Hydrology*. 340(3–4), pp. 149–166.
- Smolders, S., Leroy, A., Teles, M. J., Maximova, T., & Vanlede, J.**, 2016. Culverts modelling in TELEMAC-2D and TELEMAC-3D. In Proceedings of the XXIIIrd TELEMAC-MASCARET User Conference 2016, 11 to 13 October 2016, Paris, France (pp. 21-33).
- Smolders, S.; Plancke, Y.; Mostaert, F.**, 2019. Burchtse Weel: waterstanden en sediment: Toestand 2018. Versie 3.0. WL Rapporten, 19_026_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.
- Thorntwaite, C. W.**, 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*. 38(1), pp. 55-94.

TVSAM, 2005. Masterplan Antwerpen - Oosterweelverbinding - Linkeroever – Studierapport Habitatrichtlijn en Natuurstudie - Deel 2: Geohydrologische studie. BAM NV.

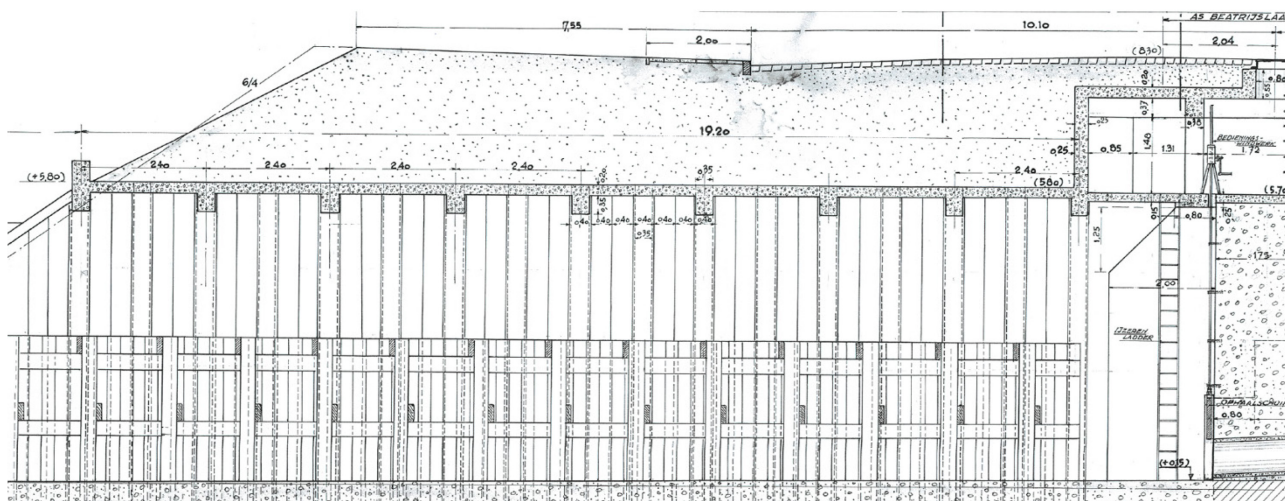
Van Ballaer, B., De Deckere, E., Muylaert, K. en Meire, P., 2008. Bepalen van het maximaal en het goed ecologisch potentieel, alsook de huidige toestand voor de zeventien Vlaamse (gewestelijke) waterlichamen die vergelijkbaar zijn met de categorie meren - partim Galgenweel. In opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij. Rapport Universiteit Antwerpen, Onderzoeksgroep Ecosysteembeheer in samenwerking met K.U. Leuven, ECOBE 08-R118

Verelst, D., 1997. "Geschiedenis van Zwijndrecht en Burcht, deel 1", gemeentebestuur Zwijndrecht , pp. 307.

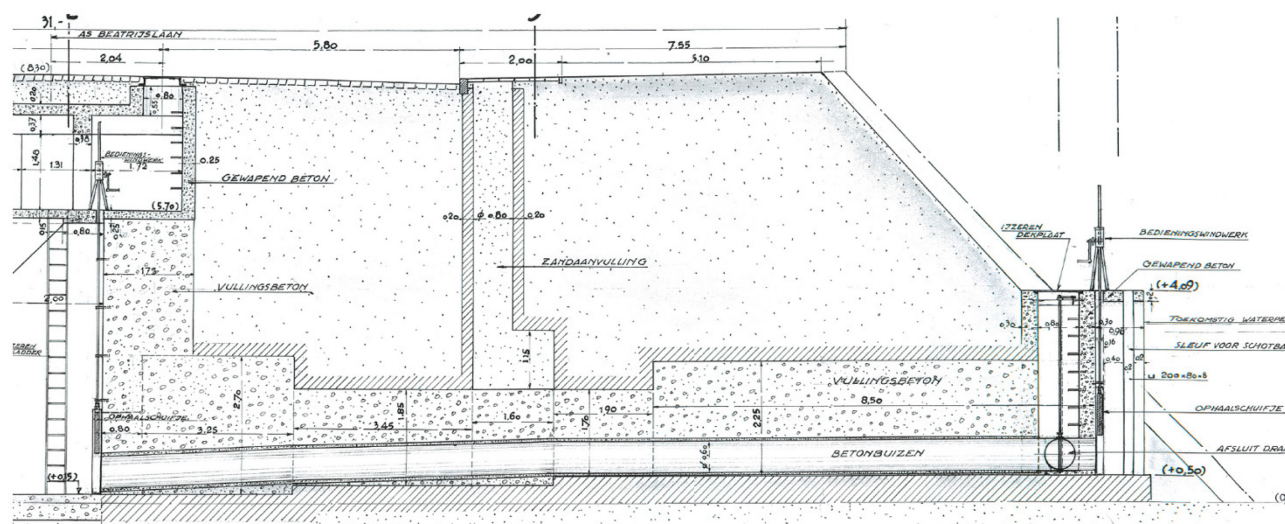
Vereycken, K; Vanlierde E.; Taverniers, E.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F., 2015. Over referentievlakken en peilschaalopmetingen in het Zeescheldebekken:. Versie 3.0. WL Rapporten, 12_058. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Bijlage 1 Bouwplannen oude en nieuwe in- en uitwateringsconstructie Galgenweel

Figuur 35 – Oude uitwateringsconstructie Galgenweel: detail zijaanzicht Schelde zijde.



Figuur 36 – Oude uitwateringsconstructie Galgenweel: detail zijaanzicht Galgenweel zijde



Bijlage 2 Inschatting evaporatie Galgenweel

In deze bijlage schatten we de evaporatie vanuit het oppervlak van Galgenweel in voor de maanden april en mei 2018. We doen dit aan de hand van de formule van Thornthwaite (1948). Deze formule geeft de potentiële evaporatie weer in mm/maand en deze wordt berekend op basis van de gemiddelde maandelijkse temperatuur en de breedtegraad. Deze berekening is een inschatting van de potentiële evaporatie vanuit Galgenweel. Rosenberry et al, (2007) vonden dat deze methode goed overeenkwam met gemeten open water evaporatie. De potentiële evaporatie (PE) wordt berekend volgens:

$$PE = 16b \left(\frac{10t}{I} \right)^a \quad (1)$$

met

$$I = \sum_1^{12} \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514} \quad (2)$$

waarbij PE wordt gegeven in mm/maand, b een correctiefactor is voor het aantal uren zon per maand en is afhankelijk van de breedtegraad, t de gemiddelde maandtemperatuur is (°C) en I de jaarlijkse warmte index en a een functie is van I volgens:

$$a = 6.75E^{-7} I^3 - 7.71E^{-5} I^2 + 1.79E^{-2} I + 0.49 \quad (3)$$

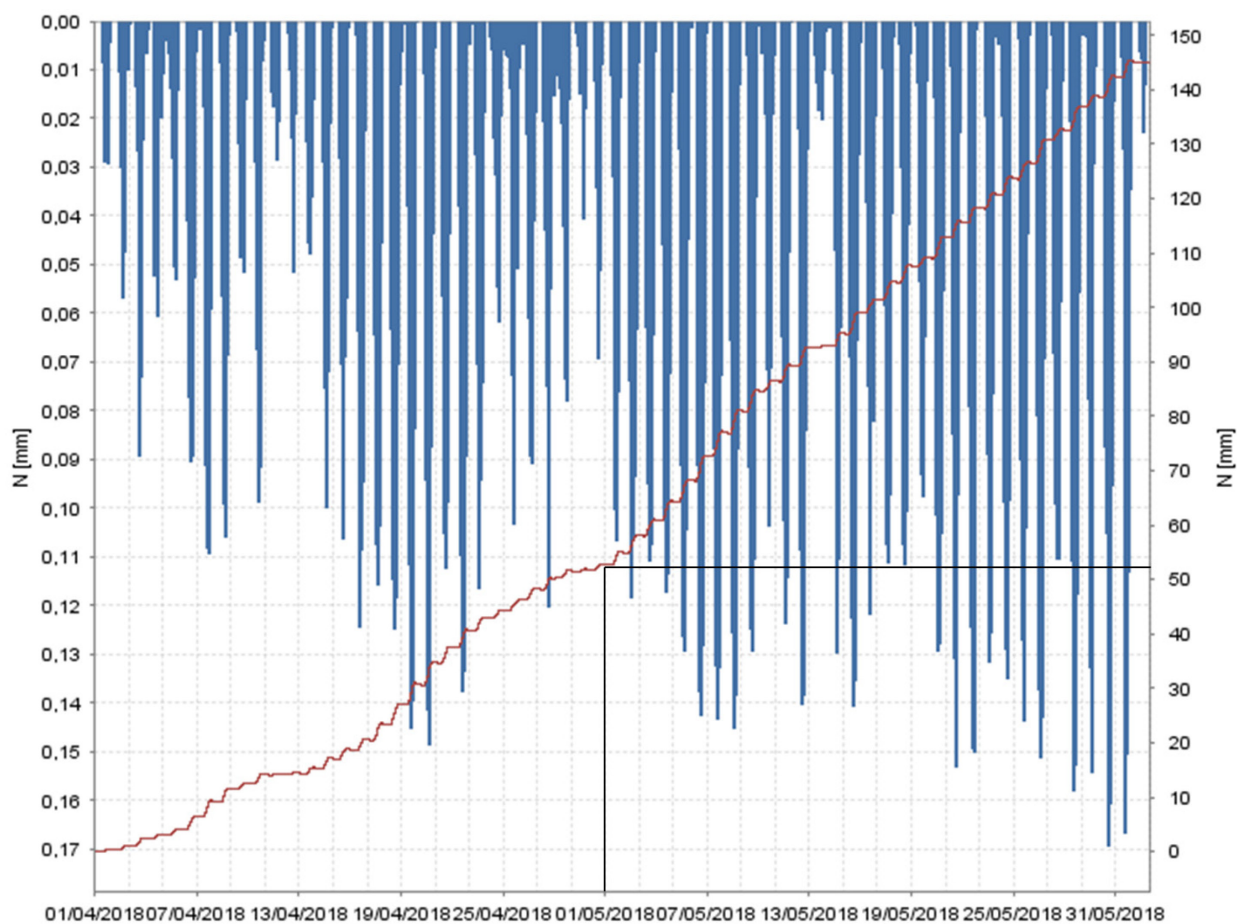
Voor de berekening van I werd gebruik gemaakt van de langjarig gemiddelde maandtemperaturen volgens het KMI (www.meteo.be). Voor de berekening van PE voor april en mei 2018 werd gebruik gemaakt van de gemiddelde maandelijkse temperatuur van die betreffende maanden (data van KMI; www.meteo.be). De waarden van t, b, a, I en de berekende PE voor april en mei 2018 zijn samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 – Berekening potentiële evaporatie Galgenweel in april en mei 2018

maand	t (°C) (gem 30 jaar)	I partieel	b voor 50°N (Thornthwaite, 1948)	t (°C) (gem maand 2018)	PE (mm/maand)
januari	3,3	0,53	0,74		
februari	3,7	0,63	0,78		
maart	6,8	1,59	1,02		
april	9,8	2,77	1,15	13	68,62
mei	13,6	4,55	1,33	16,3	102,73
juni	16,2	5,93	1,36		
juli	18,4	7,19	1,37		
augustus	18	6,95	1,25		
september	14,9	5,22	1,06		
oktober	11,1	3,34	0,92		
november	6,8	1,59	0,76		
december	3,9	0,69	0,7		
I = 41,00			a = 1,14		

Ter vergelijking werd de door de VMM berekende evaporatie te Herentals (metingen station Melsele waren oor deze periode niet beschikbaar) en beschikbaar op www.waterinfo.be voor de maanden april en mei 2018 opgevraagd (Figuur 39). Voor april bedroeg de cumulatieve evaporatie 52 mm en voor mei was dit 93 mm. Deze waarden komen zeer goed overeen met de hierboven berekende waarden.

Figuur 39 – Berekende evaporatie per dag en cumulatieve evaporatie voor 2019 voor station Herentals
(bron: www.waterinfo.be; station ME10_011)



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