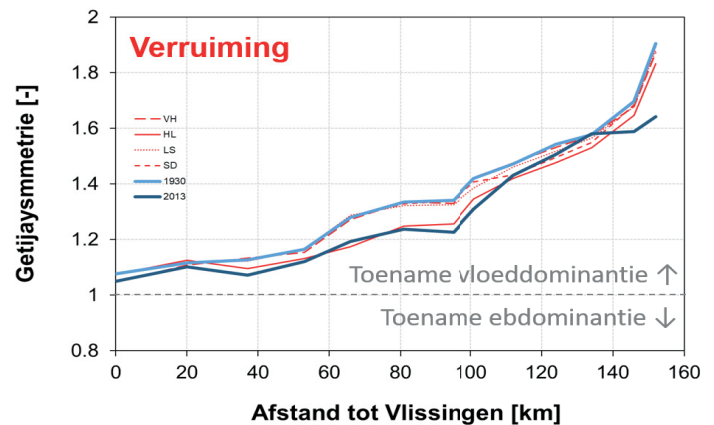
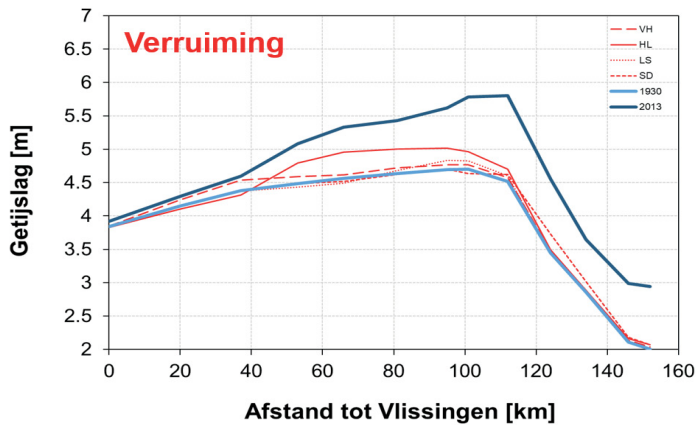




Vlaanderen
is wetenschap



14_147_5
WL rapporten

Agenda voor de Toekomst – Schelde estuarium, Historische evolutie getij en morfologie

Deelrapport 5
Synthese

Agenda voor de Toekomst – Historische evolutie getij en morfologie Schelde estuarium

Deelrapport 5 – Synthese

Vandenbruwaene, W.; Stark 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/2020/3241/33

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vandenbruwaene, W.; Stark J.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2020). Agenda voor de Toekomst – Historische evolutie getij en morfologie Schelde estuarium: Deelrapport 5 – Synthese. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_147_5. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.


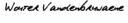
Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Oprachtgever:	Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie (VNSC)	Ref.:	WL2020R14_147_5
Keywords (3-5):	Evolutie getij, morfologie, verruiming, inpoldering, Schelde estuarium		
Tekst (p.):	12	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vandenbruwaene, W.
------------	--------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Plancke, Y.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2020-03-26 09:55:00 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed 
Projectleider:	Vandenbruwaene, W.	Getekend door: Wouter Vandenbruwaene (S) Getekend op: 2020-02-17 12:19:29 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed 

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2020-02-17 12:54:36 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed 
-----------------	--------------	---



Abstract

De studie “Historische evolutie getij en morfologie Schelde estuarium” werd uitgevoerd binnen het onderzoeksprogramma Agenda voor de Toekomst. De studie brengt de langjarige evolutie van het getij in beeld voor het volledige Schelde estuarium over de periode 1888-2017, en dit met speciale aandacht voor de tijdsgerelateerde getijparameters. Langjarige trends in getij worden vervolgens gelinkt aan menselijke ingrepen, en er werd onderzocht of de resulterende morfologische wijzigingen de trends in getij kunnen verklaren.

Data-analyse en modelsimulaties tonen aan dat sedimentonttrekkingen in combinatie met vaargeulverruiming en de bijhorende toename in geuldiepte resulteren in een toename van de getijslag. De grote geuldieptetoename in het segment Hansweert-Liefkenshoek (tot 30%) zorgt hierbij voor de grootste toename in getijslag, niet enkel binnen het segment zelf maar ook tot ver opwaarts het estuarium. Daarnaast resulteert een grote toename in geuldiepte in een toename van de celeriteit van het laagwater, en dus een afname van de vloeddominantie en de getij-asymmetrie. Historische inpolderingen langsheen het Schelde estuarium leiden tot een toename van de vloeddominantie en de getij-asymmetrie. Voornamelijk de inpolderingen langsheen het segment Hansweert-Liefkenshoek en Schelle-Dendermonde zijn hierbij belangrijk. Voorliggend rapport vormt het syntheserapport binnen de studie “Historische evolutie getij en morfologie Schelde estuarium”.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
1.1 Situering.....	1
1.2 Doelstelling.....	1
1.3 De deelrapporten	1
2 Methodologie	2
2.1 Dagelijkse hoog- en laagwaterstanden	2
2.2 Topo-bathymetrieën	3
2.3 Numerieke modellering.....	4
2.3.1 Het aangepaste Scaldis model.....	4
2.3.2 Morfologische scenario's.....	5
3 Resultaten.....	6
3.1 Evolutie getij	6
3.1.1 De periode 1888-1969	6
3.1.2 De periode 1970-2017	6
3.2 Effect van onttrekkingen en vaargeulverruiming.....	8
3.3 Effect van inpoldering.....	9
4 Conclusies en aanbevelingen	11
5 Referenties	12

Lijst van de figuren

Figuur 1 – (links) Voorbeeld van getabelleerde hoog- en laagwaters voor de post Hingene, februari 1907. (rechts) Tijkromme voor Antwerpen, 2000	2
Figuur 2 – Ligging van de getijposten waarvoor de jaargemiddelde getijkaracteristieken werden berekend. 3	
Figuur 3 – Topo-bathymetrie van het Schelde estuarium representatief voor het jaar 1930, met aanduiding van de beschouwde getijposten.....	4
Figuur 4 – Modeldomein.	5
Figuur 5 – Overzicht van de verschillende scenario’s waarin de 2013 bathymetrie geïmplementeerd wordt in de 1930 situatie, en dit voor de afzonderlijke segmenten opgesplitst in subtidaal en intertidaal.....	5
Figuur 6 – Lineaire component λ van de langjarige evolutie in hoogwaterstand onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes.....	7
Figuur 7 – Lineaire component λ van de langjarige evolutie in laagwaterstand onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes.....	7
Figuur 8 – Trend getij-asymmetrie onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes.....	8
Figuur 9 – Relatieve verandering in geuldiepte ten opzichte van 1930 over de periode 1930-2011 voor de verschillende segmenten.....	9
Figuur 10 – Modelsimulaties waarin voor afzonderlijke segmenten van het Schelde estuarium het subtidaal van 2013 is geïmplementeerd in de 1930 topo-bathymetrie (effect toename geuldiepte).....	9
Figuur 11 – Ingepolderd areaal ten opzichte van de 1930 situatie over de periode 1930-2011 voor de verschillende segmenten.....	10
Figuur 12 – Modelsimulaties waarin voor afzonderlijke segmenten het intertidaal van 2013 is geïmplementeerd in de 1930 topo-bathymetrie (effect inpoldering)	10

1 Inleiding

1.1 Situering

In de periode 2014-2017 werd het vier jaar durend onderzoeksprogramma “Agenda voor de Toekomst” van het Schelde-estuarium uitgevoerd. Deze Agenda voor de Toekomst kwam tot stand in het kader van de eerste evaluatie van het Verdrag gemeenschappelijk Beleid en Beheer. De Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie heeft met deze Agenda ingestemd op de najaarsvergadering van 2013.

Hierop volgend werd een plan van aanpak opgemaakt (Beirinckx et al., 2014), dat de leidraad werd voor het onderzoek 2014-2017. Op basis hiervan werden deelstudies gedefinieerd die onder te brengen zijn in verschillende thema’s. De deelstudie “Historische evolutie getij en morfologie Schelde estuarium” is onder te brengen in thema 5 (maatregelen toename getijslag), maar linkt ook met thema 6 (slibhuishouding en risico systeemomslag) en thema 7 (morfologische effecten sedimentstrategie).

1.2 Doelstelling

Het effect van morfologische wijzigingen op het getijregime in het Schelde estuarium is vanuit beheerdersoogpunt van cruciaal belang. Menselijke ingrepen (bv. inpoldering, rechttrekkingen, sedimentonttrekkingen, verruiming,...) veranderen direct of indirect de morfologie van het estuarium en leiden tot een belangrijke wijziging in getijkarakteristieken, wat zijn implicaties heeft voor de verschillende estuariene functies. Voorliggende studie heeft volgende doelstellingen:

- Evolutie van het getij voor het volledige Schelde estuarium in beeld brengen, met nadruk op de tijdsgelateerde getijparameters (celeriteit, getij-asymmetrie).
- Invloed van morfologische wijzigingen ten gevolge menselijke ingrepen (verruiming, inpoldering) op de evolutie van het getij nagaan.
- De segmenten in het estuarium identificeren waar de uitgevoerde menselijke ingrepen de grootste impact hebben op de evolutie van het getij.

1.3 De deelrapporten

De studie is onderverdeeld in 5 deelrapporten:

- DR 1. Evolutie van het getij over de periode 1888-2017 (Vandenbruwaene et al., 2019)
- DR 2. Data-analyse morfologie en getij (Vandenbruwaene et al., 2020a)
- DR 3. Calibration and validation of historical hydrodynamic models (Stark et al., 2020a)
- DR 4. Hydrodynamic modelling of morphological scenarios (Stark et al., 2020b)
- DR 5. Synthese (Vandenbruwaene et al., 2020b)

Deelrapporten 1 en 2 baseren zich op data-analyse om de evolutie van het getij in beeld te brengen, en de invloed van de morfologische wijzigingen op de evolutie van het getij te onderzoeken. Deelrapporten 3 en 4 onderzoeken deze relatie aan de hand van numerieke modellering. De numerieke modellering laat onder meer toe om de morfologische wijzigingen van elkaar te scheiden in een scenario analyse. De resultaten van de verschillende deelrapporten worden samengevat in deelrapport 5.

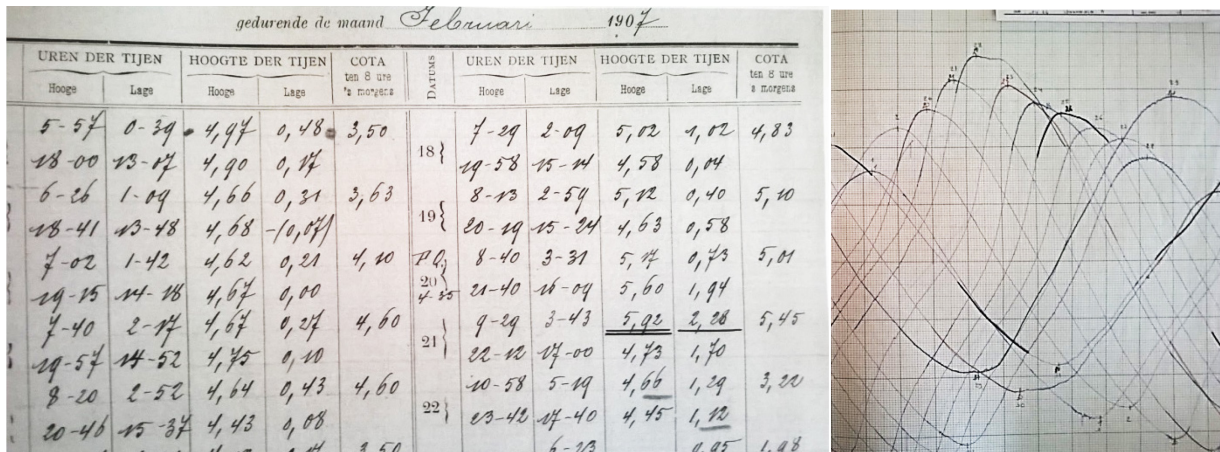
2 Methodologie

Om de relatie tussen getij en morfologie te onderzoeken werd gebruik gemaakt van data en numerieke modellering. De data omvatten de dagelijkse hoog- en laagwaterstanden en topo-bathymetrische gegevens, voor de modellering werd het Scaldis model gebruikt (Smolders et al., 2016) dat aangepast werd aan verschillende historische situaties, en ingezet werd voor scenario-analyse.

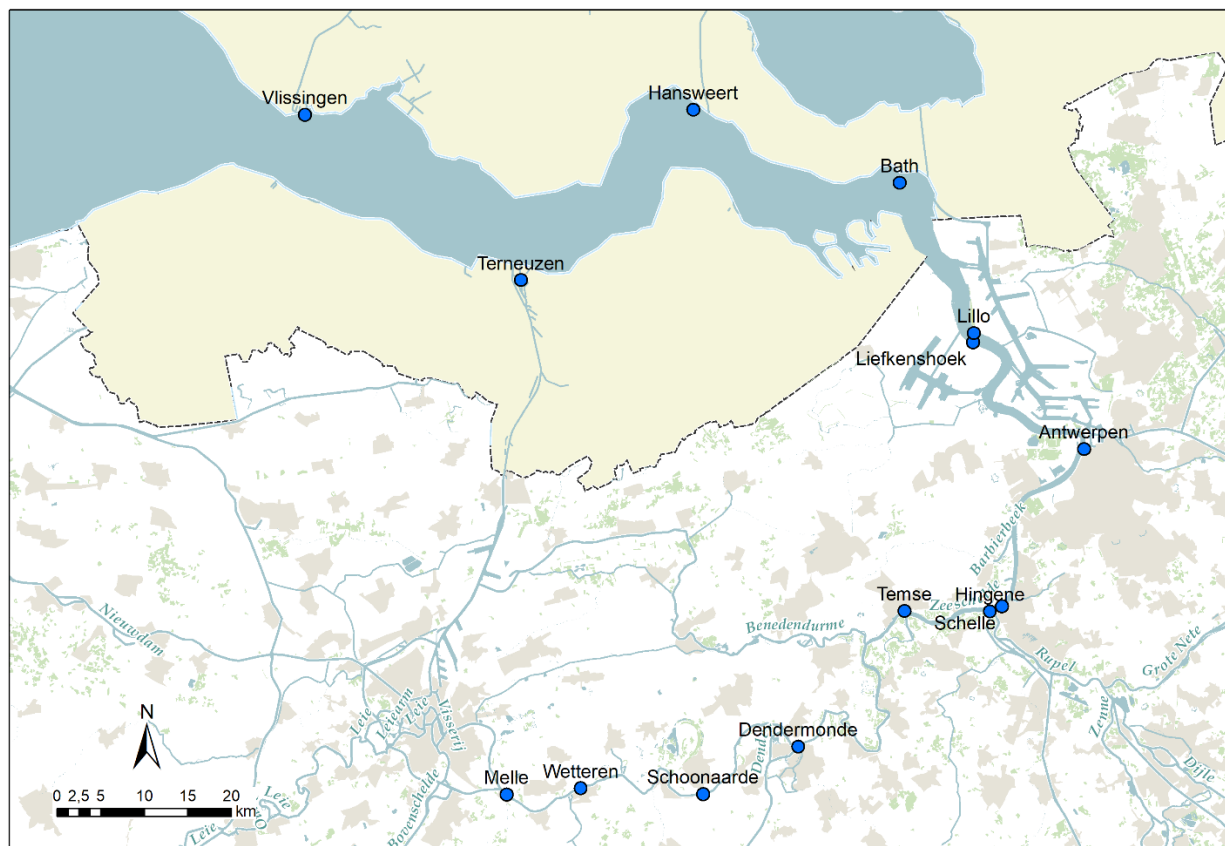
2.1 Dagelijkse hoog- en laagwaterstanden

In het kader van deze studie werden historische hoog- en laagwaterstanden gedigitaliseerd en gevalideerd voor verschillende getijposten in de Zeeschelde. De digitalisatieoefening bestond erin om hoogwaters en laagwaters getabelleerd in tijverzichten over te typen (Figuur 1, links), of digitaal te registeren (met behulp van digitaliseerpen en -tafel) op basis van de analoge continue waterstandsgegevens (Figuur 1, rechts). Vanaf 2005 worden HW en LW's automatisch afgeleid in de databank op basis van de continue telemetrische meetreeksen. Na digitalisatie werden de data gevalideerd en werd aan elke hoog- en laagwaterstand een kwaliteitsvlag toegekend. Een jaargemiddelde getijparameter werd berekend en weerhouden indien meer dan 50% van de hoog- en laagwaterstanden een kwaliteitsvlag 'G' (Goed) had. Voor de getijposten in de Westerschelde werd gebruikt gemaakt van de dagelijkse hoog- en laagwaterstanden opgeleverd door Rijkswaterstaat om de jaargemiddelde waarden te berekenen. Een overzicht van de beschouwde getijposten wordt gegeven in Figuur 2.

Figuur 1 – (links) Voorbeeld van getabelleerde hoog- en laagwaters voor de post Hingene, februari 1907. (rechts) Tijkromme voor Antwerpen, 2000



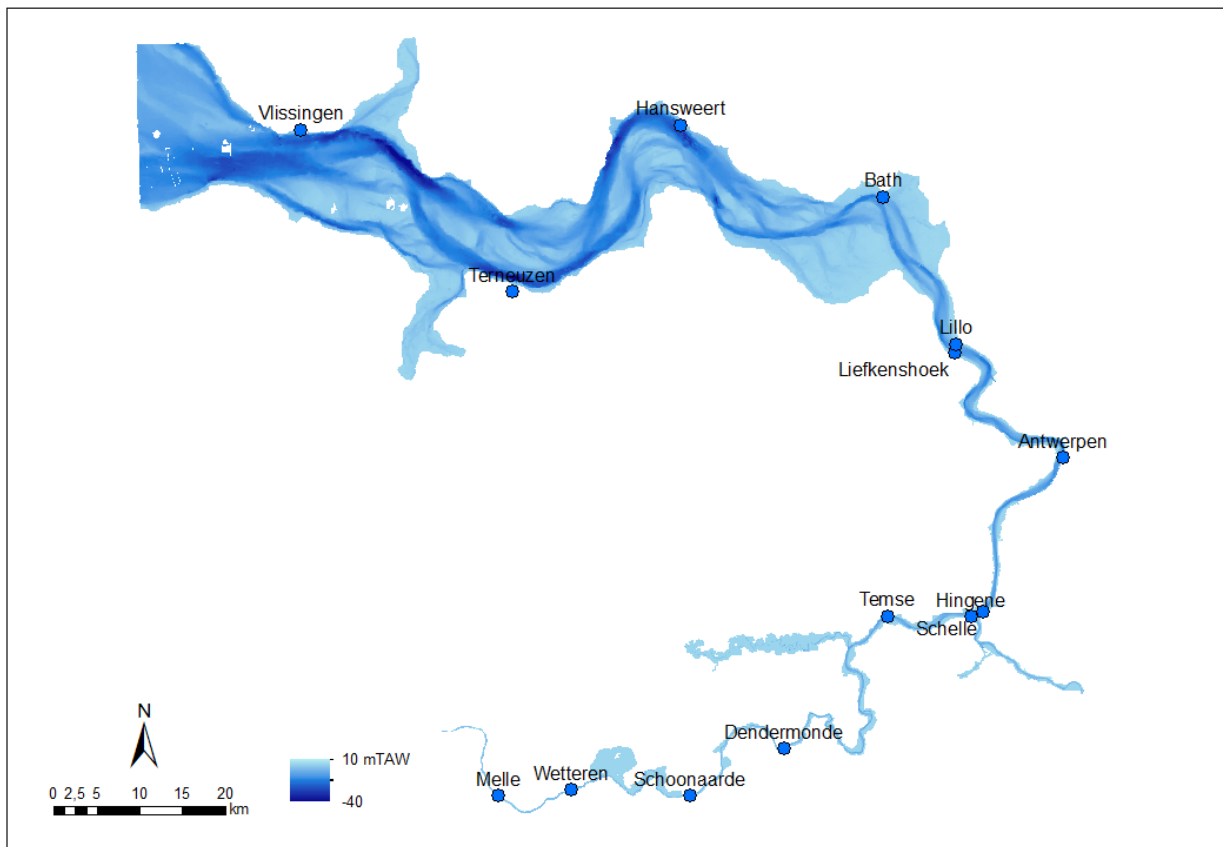
Figuur 2 – Ligging van de getijposten waarvoor de jaargemiddelde getijkarakteristieken werden berekend. De koppels Lillo/Liefkenshoek en Hingene/Schelle worden respectievelijk als éénzelfde locatie beschouwd.



2.2 Topo-bathymetrieën

Om de morfologische veranderingen in het Schelde estuarium te karakteriseren werd gebruik gemaakt van historische topo-bathymetrieën uit de jaren 1930, 1960, 1980, 2001 en 2011. Topo-bathymetrische gegevens (Figuur 3) laten toe om morfologische parameters zoals breedte, diepte, dwarsdoorsnede, volume en habitatareaal af te leiden. Voor de jaartallen 2001 en 2011 is de volledige topo-bathymetrie voorhanden op basis van singlebeam en multibeam peilgegevens (bathymetrie) en LIDAR-gegevens (topografie). Voor de tijdstippen 1930, 1960 en 1980 zijn er voor de Zeeschelde enkel bathymetrische gegevens beschikbaar, gedigitaliseerd van papieren kaarten, en diende het intertidaal (slik en schor) opgebouwd te worden aan de hand van een aantal aannames. Deze methodiek wordt meer in detail toegelicht in deelrapport 2 (Vandenbruwaene et al., 2020a). Morfologische parameters werden bepaald voor verschillende segmenten van het estuarium (met uitzondering van de monding), die telkens een gebied van ca. 30 km bestrijken: Vlissingen-Hansweert, Hansweert-Liefkenshoek, Liefkenshoek-Schelle, Schelle-Dendermonde en Dendermonde-Melle. Elk van deze segmenten wordt gekenmerkt door een specifieke morfologische evolutie.

Figuur 3 – Topo-bathymetrie van het Schelde estuarium representatief voor het jaar 1930, met aanduiding van de beschouwde getijposten.



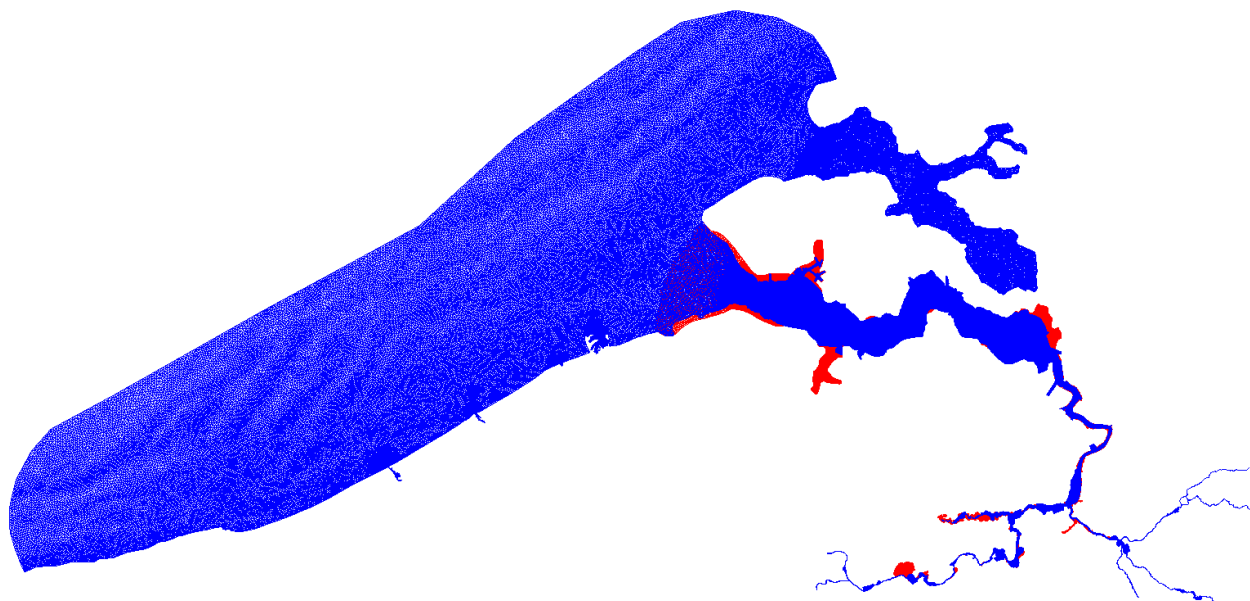
2.3 Numerieke modellering

2.3.1 Het aangepaste Scaldis model

Het hydrodynamische Scaldis model gebruikt in deze studie werd ontwikkeld in de TELEMAC software (versie V7P2). TELEMAC is een eindige-elementen model, opgebouwd uit een ongestructureerd grid van driehoekige elementen. Het gebruikte Scaldis modelgrid is grotendeels afkomstig van het Scaldis model dat gekalibreerd werd door Smolders et al. (2016) voor het jaar 2013. Het verschil is echter dat alle intergetijdengebieden en zijtakken die deel uitmaakten van het historische Schelde estuarium (in de periode 1930 tot 2013) werden toegevoegd aan het grid (Figuur 4). Op die manier werd hetzelfde grid gebruikt voor de verschillende beschouwde historische tijdstippen. In totaal werden er voor 5 historische tijdstippen (1930, 1960, 1980, 2001 en 2013) hydrodynamisch modellen gekalibreerd en gevalideerd (zie deelrapport 3, Stark et al. (2020a)).

Figuur 4 – Modeldomein.

(blauw is het originele Scaldis model, rood is het aangepaste grid volgens de historische situatie over de periode 1930-2013)



2.3.2 Morfologische scenario's

Verschillende morfologische scenario's werden doorgerekend door de 1930 situatie stapsgewijs te laten over gaan naar de toestand in 2013 (Figuur 5). De bathymetrische aanpassingen werden gedaan voor de afzonderlijke deelsegmenten, en er werd een onderscheid gemaakt tussen subtidaal en intertidaal. Het subtidaal in de 1930 bathymetrie aanpassen aan de 2013 situatie simuleert het effect van verruiming en sedimentonttrekkingen (door een toename in geuldiepte), terwijl het intertidaal aanpassen aan de 2013 situatie het effect van inpoldering simuleert (door afname in areaal aan intergetijdengebied). De uiteindelijke bedoeling van de morfologische scenario's is om de segmenten te identificeren waar de opgetreden morfologische veranderingen de grootste impact hebben op de evolutie van het getij.

Figuur 5 – Overzicht van de verschillende scenario's waarin de 2013 bathymetrie geïmplementeerd wordt in de 1930 situatie, en dit voor de afzonderlijke segmenten opgesplitst in subtidaal en intertidaal.

BC	Bathy	VLIS-HANS		HANS-LIEF		LIEF-SCHE		SCHE-DEND		
		subtid.	intertid.	subtid.	intertid.	subtid.	intertid.	subtid.	intertid.	
1930	1930	1930	1930	1930	1930	1930	1930	1930	1930	Referentierun
1930	1930	1930	2013	1930	1930	1930	1930	1930	1930	Scenarios intertidaal (Inpoldering)
1930	1930	1930	1930	1930	2013	1930	1930	1930	1930	
1930	1930	1930	1930	1930	1930	1930	2013	1930	1930	
1930	1930	1930	1930	1930	1930	1930	1930	1930	2013	
1930	1930	2013	1930	1930	1930	1930	1930	1930	1930	Scenarios subtidaal (Verruiming)
1930	1930	1930	1930	2013	1930	1930	1930	1930	1930	
1930	1930	1930	1930	1930	1930	2013	1930	1930	1930	
1930	1930	1930	1930	1930	1930	1930	1930	2013	1930	

3 Resultaten

3.1 Evolutie getij

Op basis van de menselijke ingrepen in het estuarium werd een onderscheid gemaakt tussen de deelperiodes 1888-1969 en 1970-2017. De eerste periode wordt gedomineerd door inpolderingen en rechttrekkingen, terwijl de tweede periode wordt gedomineerd door verruiming en zandwinning. De impact van deze ingrepen op de morfologie is duidelijk verschillend en leidt tot een verschil in getij evolutie. De impact van de ingrepen wordt besproken in §3.2 en §3.3.

3.1.1 De periode 1888-1969

In de periode 1888-1969 is er over het volledige estuarium een stijging in jaargemiddeld hoogwater (GHW) waarbij de grootte van stijging varieert tussen 0,3 en 1,1 cm/jaar (rode lijn Figuur 6). De extreme hoogwaters volgen deze trend, enkel in het opwaartse deel van estuarium (vanaf Schoonaarde) stijgen de extreme hoogwaters significant sterker dan de gemiddelde trend.

Voor de jaargemiddelde laagwaters (GLW) wordt in de zone Vlissingen tot Lillo-Liefkenshoek een stijging waargenomen van 0,1 tot 0,3 cm/jaar (Figuur 7). Verder opwaarts het estuarium varieert de evolutie van het GLW tussen een lichte stijging of een lichte daling. De extreme laagwaters evolueren significant verschillend van de gemiddelde laagwatertrend in het meest opwaartse deel van het estuarium (vanaf Schoonaarde), en in het afwaartse deel van de Beneden-Zeechelde (Lillo-Liefkenshoek en Antwerpen).

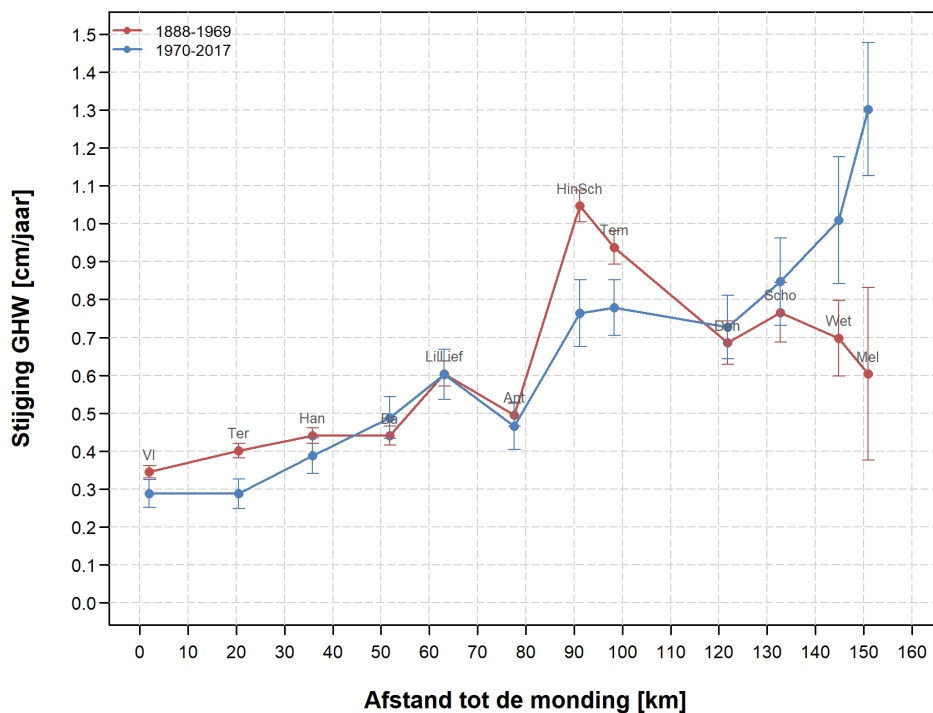
Voor de tijdsgerateerde parameters is de celeriteit HW sterker toegenomen dan de celeriteit LW in de zone Vlissingen-Antwerpen (Vandenbruwaene et al., 2019). Dit leidt in de posten Lillo-Liefkenshoek en Antwerpen tot een afname van de stijgingsduur, een toename van de dalingsduur, en een toename van de getij-asymmetrie (Figuur 8).

3.1.2 De periode 1970-2017

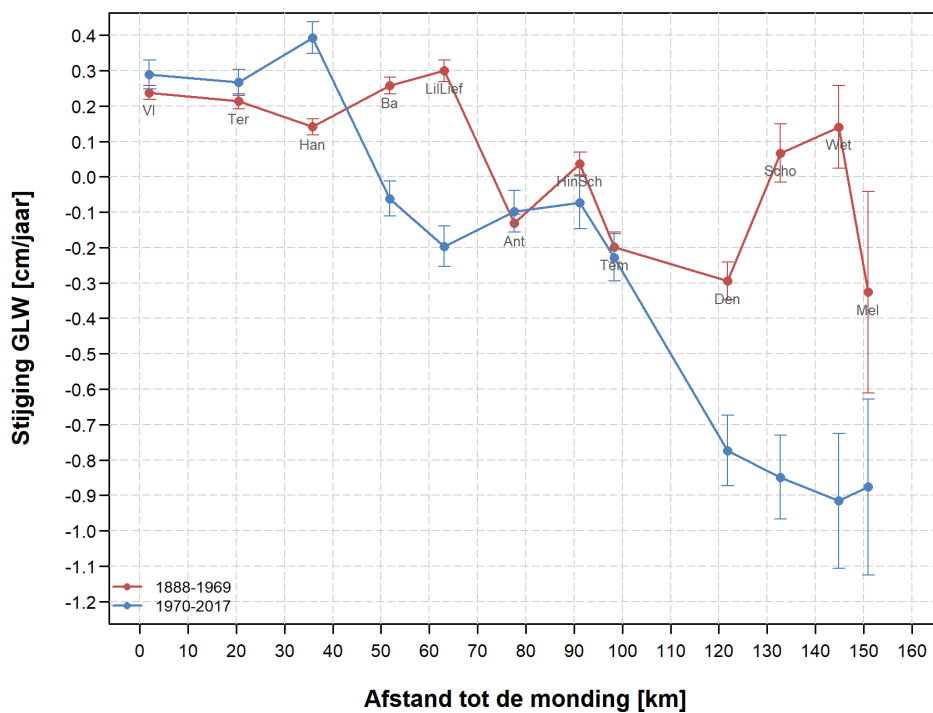
De periode 1970-2017 wordt gekenmerkt door een stijging in jaargemiddeld hoogwater over het volledige estuarium, waarbij de grootte van stijging in opwaartse richting toeneemt (0,3 - 1,4 cm/jaar, blauwe lijn Figuur 6). Opvallend is dat de stijging in jaargemiddeld hoogwater groter is geworden in het opwaartse deel van het estuarium in vergelijking met de periode 1888-1969, terwijl deze in het afwaartse deel ongeveer gelijk blijft. De extreme hoogwaters stijgen in de periode 1970-2017 niet meer dan de jaargemiddelde hoogwaters.

Het jaargemiddeld laagwater stijgt in het westelijk deel van de Westerschelde nog steeds in de periode 1970-2017. Opwaarts Hansweert is er echter uitsluitend een daling in GLW, waarbij de daling in opwaartse richting toeneemt (Figuur 7), en de daling (tot en met Temse) hoofdzakelijk bepaald wordt door een afname in GLW in de periode 1970-1980. De extreme laagwaters dalen enkel meer dan het GLW in de meest opwaartse posten Wetteren en Melle. In de periode 1970-2017 is opwaarts Hansweert de celeriteit LW sterker toegenomen dan de celeriteit HW. Dit zorgt er voor dat voor het grootste deel van het estuarium (opwaarts Hansweert) de stijgingsduur toeneemt, de dalingsduur afneemt, en bijgevolg de getij-asymmetrie afneemt (Figuur 8).

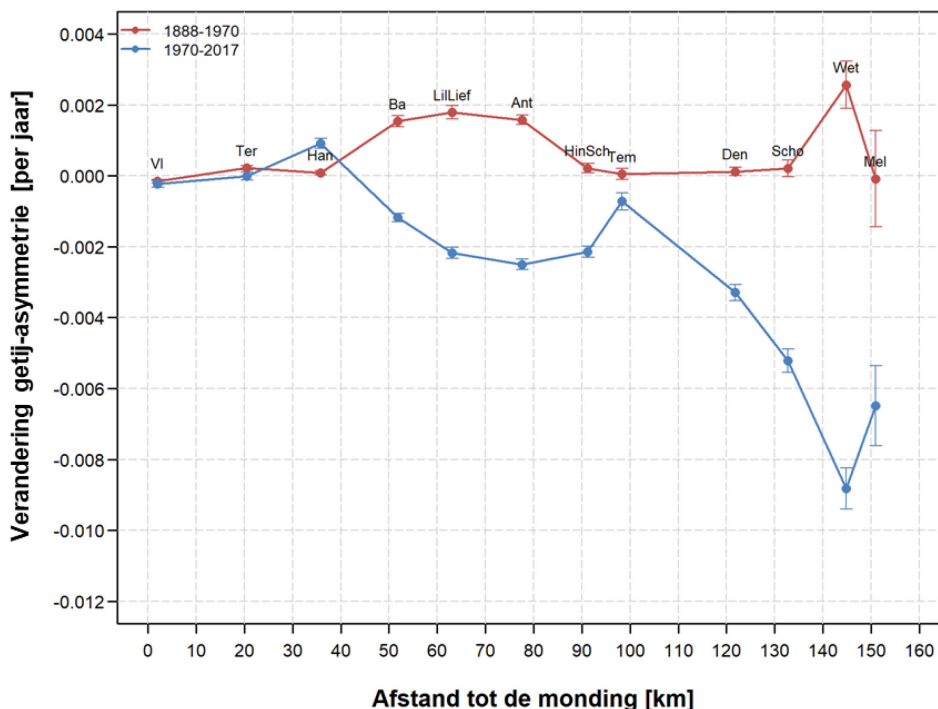
Figuur 6 – Lineaire component λ van de langjarige evolutie in hoogwaterstand onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes. De foutenvlaggen geven de standaardfout weer op de geschatte waarde λ .



Figuur 7 – Lineaire component λ van de langjarige evolutie in laagwaterstand onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes. De foutenvlaggen geven de standaardfout weer op de geschatte waarde λ .



Figuur 8 – Trend getij-asymmetrie onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes. De foutenvlaggen geven de standaardfout weer op de geschatte trendwaarde.

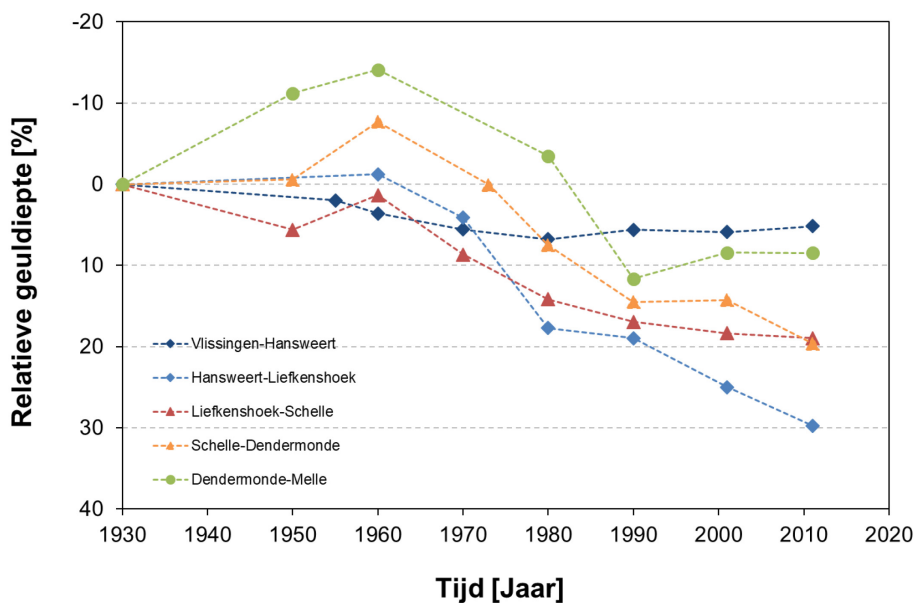


3.2 Effect van onttrekkingen en vaargeulverruiming

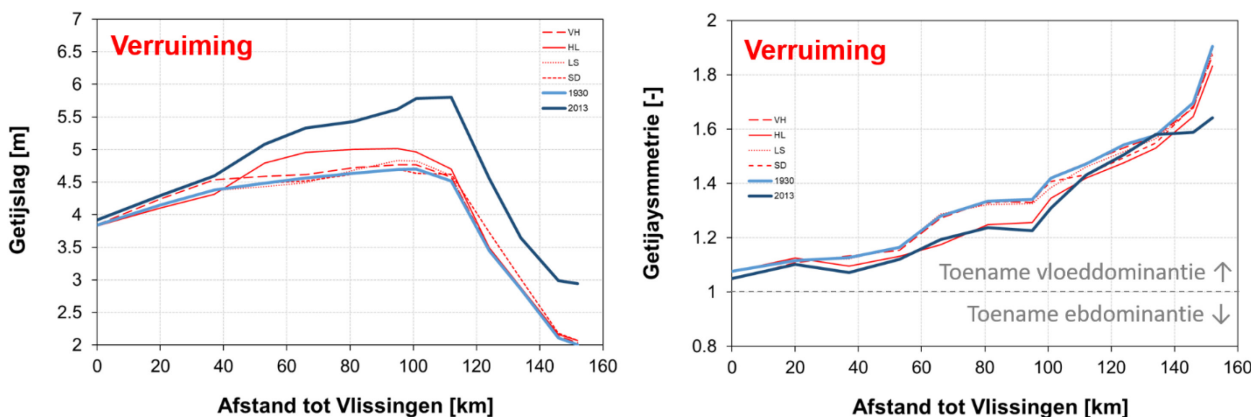
Vanaf 1970 werden er in het Schelde estuarium geen belangrijke inpolderingen meer uitgevoerd en vonden de belangrijkste morfologische wijzigingen plaats in het subtidaal. Met uitzondering van het segment Vlissingen-Hansweert is de geuldiepte in alle segmenten toegenomen (tot 30% tussen Hansweert en Liefkenshoek, Figuur 9). Enerzijds heeft de combinatie van continue sedimentonttrekkingen en de eerste verruiming gezorgd voor een directe toename van de geuldiepte, anderzijds is er het indirecte effect van het streven naar een morfologisch evenwicht wat op lange termijn kan leiden tot een toename in geuldiepte. Ook de eerdere inpolderingen kunnen nog steeds een invloed hebben op de geuldieptetoename (streven naar morfologisch evenwicht).

Simultaan met de subtidaal wijzigingen wordt de periode 1970-recent gekenmerkt door een toename in getijslag. Deze wordt in belangrijke mate bepaald door de sterke afname in laagwaterstand over de periode 1970-recent (Figuur 7). De *sterkste* afname in laagwaterstand wordt hierbij waargenomen tijdens de eerste verruiming (periode 1970-1980) waarbij een groot deel van de specie uit het systeem onttrokken werd. Data-analyse toont aan dat er een significante daling is van de laagwaterstand indien de geuldieptetoename voldoende groot is (Vandenbruwaene et al., 2020a). Modelsimulaties tonen verder aan dat een toename in geuldiepte leidt tot een toename in getijslag (Stark et al., 2020b). De grote geuldieptetoename in het segment Hansweert-Liefkenshoek heeft hierbij de grootste invloed op de getijslag, niet enkel binnen het segment zelf maar ook tot ver opwaarts het estuarium (Figuur 10, links). Mogelijks zorgde deze toename in getijslag voor een toename van de geuldiepte in de opwaartse delen. Voor de getij-asymmetrie is er enkel een afname in getij-asymmetrie indien de toename in geuldiepte voldoende groot is (segment Hansweert-Liefkenshoek) (Figuur 10, rechts). Dit wordt mee ondersteund door de data-analyse waarin wordt aangetoond dat er een sterke correlatie is tussen toename geuldiepte en toename celeriteit laagwater in het segment Hansweert-Liefkenshoek. De toename in celeriteit laagwater zal hierbij leiden tot een toename van de stijgingsduur en bijgevolg een afname van de getij-asymmetrie.

Figuur 9 – Relatieve verandering in geuldiepte ten opzichte van 1930 over de periode 1930-2011 voor de verschillende segmenten.



Figuur 10 – Modellsimulaties waarin voor afzonderlijke segmenten van het Schelde estuarium het subtidaal van 2013 is geïmplementeerd in de 1930 topo-bathymetrie (effect toename geuldiepte). Het effect van de morfologische scenario's op de getijslag is links weergegeven, het effect op de getij-asymmetrie rechts.

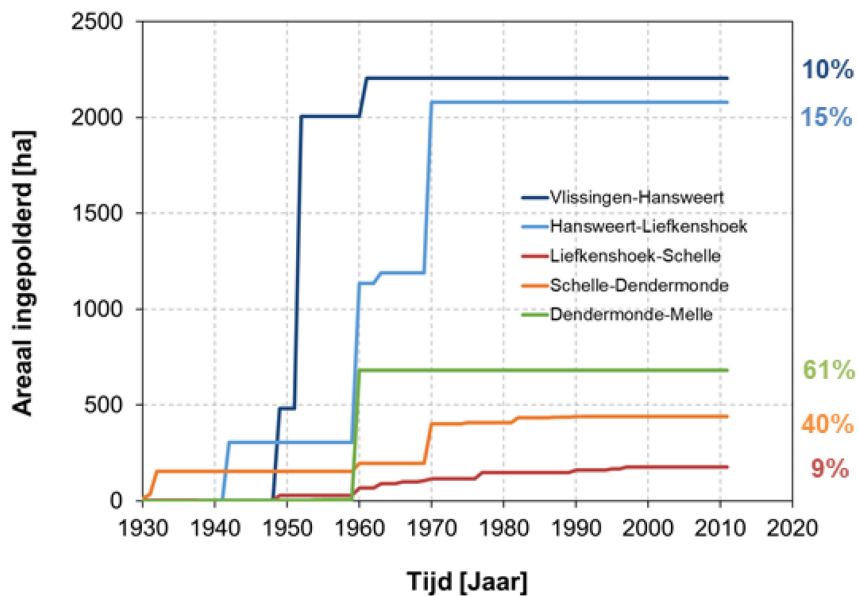


3.3 Effect van inpoldering

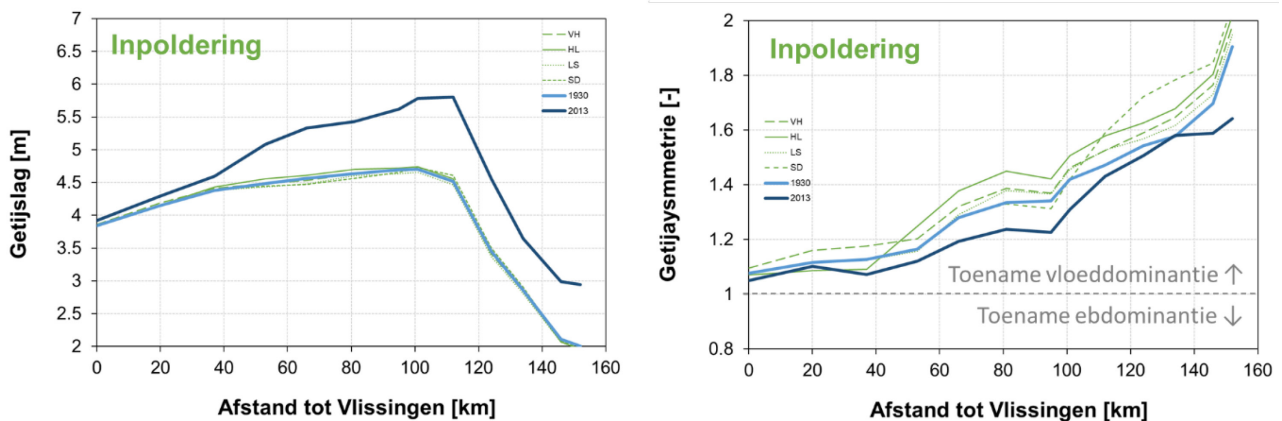
Analyse van topografische data en peilgegevens toont voor de periode 1930-1970 een afname in intergetijdgebied van 9-61% (Figuur 11). In het subtidale deel is er in het afwaartse segment Vlissingen-Hansweert een toename in geuldiepte, terwijl in de opwaartse delen er verondieping plaatsvindt (Figuur 9). Simultaan met deze morfologische veranderingen wordt een toename in getijslag waargenomen voor het volledige estuarium. Deze toename wordt deels bepaald door een stijging van het gemiddeld hoogwater aan de rand van het estuarium (Figuur 6), en niet door de inpolderingen langsheen het estuarium. Modellsimulaties tonen aan dat de inpolderingen langsheen de verschillende segmenten van het estuarium slechts een beperkte invloed hebben op de getijslag (Figuur 12, links). We merken hierbij op dat inpolderingen wel invloed hebben op het stromingsregime doorheen de geulen, wat op lange termijn kan leiden tot een wijziging van de geuleigenschappen (bv. geuldiepte), en bijgevolg de waterstanden. Naast een

toename in getijslag observeren we voor de afwaartse posten ook een toename in de getij-asymmetrie. Dit komt omdat de voorplantingssnelheid van de hoogwatergolf relatief gezien sterker is toegenomen dan deze van laagwatergolf. Modellsimulaties tonen aan dat inpolderingen inderdaad leiden tot een toename van de vloeddominantie (en dus toename in getij-asymmetrie) (Figuur 12, rechts). Voornamelijk de inpolderingen langsheen het segment Hansweert-Liefkenshoek zijn hierbij belangrijk geweest. Tevens is in dit segment veel bergingsvolume verloren gegaan ten gevolge de natuurlijke ophoging van Saeftinghe (Wang en Temmerman, 2013). Ook de inpolderingen langsheen het segment Schelle-Dendermonde leiden tot een belangrijke toename van de getij-asymmetrie.

Figuur 11 – Ingepolderd areaal ten opzichte van de 1930 situatie over de periode 1930-2011 voor de verschillende segmenten. Percentages geven het relatief ingepolderd areaal weer ten opzichte van het totale areaal in 1930 (per segment). Voor de Zeeschelde worden de ingepolderde vloeisystemen mee in rekening gebracht.



Figuur 12 – Modellsimulaties waarin voor afzonderlijke segmenten het intertidaal van 2013 is geïmplementeerd in de 1930 topo-bathymetrie (effect inpoldering) (VH = Vlissingen-Hansweert; HL=Hansweert-Liefkenshoek; LS=Liefkenshoek-Schelle; SD=Schelle-Dendermonde). Het effect van de morfologische scenario's op de getijslag wordt links weergegeven, het effect op de getij-asymmetrie wordt rechts weergegeven.



4 Conclusies en aanbevelingen

De continue onttrekkingen van sediment in combinatie met de doorgevoerde vaargeulverruiming in het Schelde estuarium (periode 1970-recent) resulteren in een belangrijke toename van de geuldiepte, en hebben bijgevolg invloed op de evolutie van het getij. De grote geuldieptetoename in het segment Hansweert-Liefkenshoek (tot 30%) zorgt voor de grootste toename in getijslag, niet enkel binnen het segment zelf maar ook tot ver opwaarts het estuarium. De toename in getijslag wordt in belangrijke mate bepaald door de daling van de laagwaterstanden. Een voldoende grote toename in geuldiepte leidt immers tot een verlaging van de laagwaterstanden. Daarnaast resulteert een grote toename in geuldiepte in een sterkere toename van de celeriteit van het laagwater dan van het hoogwater, en dus in een afname van de vloeddominantie en de getij-asymmetrie.

Historische inpolderingen langsheen het Schelde estuarium (1930-1970) leiden tot een toename van de vloeddominantie en de getij-asymmetrie. Voornamelijk de inpolderingen langsheen de segmenten Hansweert-Liefkenshoek (in combinatie met de ophoging van Saefthinghe) en Schelle-Dendermonde zijn hierbij belangrijk. De invloed van inpolderingen op de getijslag is dan weer beperkt. Dit sluit echter niet uit dat morfodynamische ontwikkelingen als gevolg van deze inpolderingen op lange termijn kunnen leiden tot veranderingen in geuldiepte en getijslag, tot een morfologisch evenwicht wordt bereikt.

De data-analyse en modelsimulaties tonen op een kwalitatieve manier de invloed van menselijke ingrepen op de evolutie van het getij. Een belangrijke lacune in de kennis blijft de goede inschatting van de morfologische respons van het estuarien systeem op de menselijke ingrepen. Zoals ook reeds in eerdere studies is aangegeven (o.a. Jeuken et al., 2004; Van Braeckel et al., 2012; Stark et al., 2017) blijkt de combinatie van het effect van de individuele ingrepen niet de totale ontwikkelingen te verklaren, wat wijst op het belang van de “menselijke geïnduceerde” respons van het systeem op de (middel)lange termijn.

Vanuit beheerdersstandpunt zijn de resultaten bruikbaar om de effecten van menselijke ingrepen in te schatten. Daarenboven identificeren de modelsimulaties de zones in het estuarium waar menselijke ingrepen een grote impact hebben op de evolutie van het getij. In die optiek strekt het tot de aanbeveling om de morfologische scenario's verder uit te breiden met implementatie van morfologische wijzigingen over meerdere segmenten heen.

5 Referenties

Beirinckx, K.; Taal, M.; Plancke, Y.; Van den Bergh, E. (2014). Plan van Aanpak Onderzoek Agenda voor de Toekomst (versie april 2014).

Jeuken, C.; Wang, Z.B.; van der Kaaij, T.; Van Helvert, M.; Van Ormondt, M.; Bruinsma, R.; Tanczos, I. (2004). Morfologische ontwikkelingen in het Schelde estuarium bij voortzetting van het huidige beleid en effecten van een verdere verdieping van de vaargeul en uitpoldering langs de Westerschelde. Deelovereenkomst 2 en 3. Morfologie. Arcadis/Technum/WL | Delft Hydraulics: Delft. 228 pp.

Smolders, S.; Maximova, T.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Integraal Plan Bovenzeeschede: Subreport 1 – SCALDIS: a 3D Hydrodynamic Model for the Scheldt Estuary. Version 5.0. WL Rapporten, 13_131. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

Stark, J.; Smolders, S.; Meire, P.; Temmerman, S. (2017). Impact of intertidal area characteristics on estuarine tidal hydrodynamics: A modelling study for the Scheldt Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 198PA: 138-155. doi:10.1016/j.ecss.2017.09.004

Stark, J.; Maximova, T.; Dujardin, A.; Smolders, S.; Vandenbruwaene, W.; Mostaert, F. (2020a). Agenda for the Future – Historical evolution of tides and morphology in the Scheldt Estuary: Subreport 3 – Calibration and validation of historical hydrodynamic models. Version 3.0. FHR Reports, 14_147_3. Flanders Hydraulics Research: Antwerp.

Stark, J.; Smolders, S.; Vandenbruwaene, W.; Mostaert, F. (2020b). Agenda for the Future – Historical evolution of tides and morphology in the Scheldt Estuary: Sub report 4 – Hydrodynamic modelling of morphological scenarios. Version 3.0. FHR Reports, 14_147_4. Flanders Hydraulics Research: Antwerp.

Vandenbruwaene, W.; Pauwaert, Z.; Meire, D.; Plancke, Y.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2019). Agenda voor de Toekomst – Historische evolutie getij en morfologie Schelde estuarium: Deelrapport 1 – Evolutie van het getij over de periode 1888-2017. Versie 5.0. WL Rapporten, 14_147_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vandenbruwaene, W.; Beullens, J.; Meire, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2020a). Agenda voor de Toekomst – Historische evolutie getij en morfologie Schelde estuarium: Deelrapport 2 – Data-analyse morfologie en getij. Versie 2.4. WL Rapporten, 14_147_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vandenbruwaene, W.; Stark J.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2020b). Agenda voor de Toekomst – Historische evolutie getij en morfologie Schelde estuarium: Deelrapport 5 – Synthese. Versie 1.1. WL Rapporten, 14_147_5. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Van Braeckel, A.; Coen, L.; Peeters, P.; Plancke, Y.; Mikkelsen, J.; Van den Bergh, E. (2012). Historische evolutie van Zeescheldehabitats: kwantitatieve en kwalitatieve analyse van invloedsfactoren. 111 pp.

Wang, C.; Temmerman, S. (2013). Does bio-geomorphic feedback lead to abrupt shifts between alternative landscape states?: an empirical study on intertidal flats and marshes. *J. Geophys. Res.* 118, 229-240. doi:10.1029/2012JF002474.

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