



**Vlaanderen**  
is wetenschap



14\_147\_2  
WL rapporten

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

Deelrapport 2  
Data-analyse morfologie en getij

DEPARTEMENT  
MOBILITEIT &  
OPENBARE  
WERKEN

[waterbouwkundiglaboratorium.be](http://waterbouwkundiglaboratorium.be)

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

## Deelrapport 2 – Data-analyse morfologie en getij

Vandenbruwaene, W.; Beullens, J.; Meire, D.; 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/2020/3241/32

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

**Vandenbruwaene, W.; Beullens, J.; Meire, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2020). Agenda voor de Toekomst – Schelde estuarium, Historische evolutie getij en morfologie: Deelrapport 2 – Data-analyse morfologie en getij. Versie 4.0. WL Rapporten, 14\_147\_2. 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_2
Keywords (3-5):	Morfologie, inpoldering, verruiming, Schelde estuarium, lange termijn		
Tekst (p.):	32	Bijlagen (p.):	3
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vandenbruwaene, W.; Beullens, J.
------------	----------------------------------

### Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Meire, D.	Getekend door: Dieter Meire (Signature) Getekend op: 2020-03-02 11:12:57 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Dieter Meire</i>
Projectleider:	Vandenbruwaene, W.	Getekend door: Wouter Vandenbruwaene (S) Getekend op: 2020-03-02 12:35:55 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Wouter Vandenbruwaene</i>

### Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2020-02-26 07:48:38 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



## Abstract

De morfologische evolutie van het Schelde estuarium wordt in belangrijke mate bepaald door menselijke ingrepen. Op basis van data (topo-bathymetrieën en getijgegevens) werd nagegaan wat de invloed is van deze morfologische wijzigingen op de evolutie van het getij. In de periode van 1900 tot recent vormen inpoldering (afname in intertidaal areaal) en verruiming (toename in geuldiepte) de belangrijkste menselijke ingrepen. *Verruiming* zorgt er voor dat er een daling is van de (extreme) laagwaterstanden indien de geuldieptetoename voldoende groot is. Dit is het geval voor de zone Hansweert-Dendermonde (vanaf 1960), waarbij zelfs een geuldieptetoename tot 30 % wordt waargenomen in het segment Hansweert-Liefkenshoek. Daarnaast zorgt geuldieptetoename voor een toename van de celeriteit laagwater, wat op zijn beurt resulteert in een daling van de getij-asymmetrie. De invloed van *inpoldering* is moeilijker na te gaan op basis van data-analyse. Dit omdat de periode van inpoldering (1900-1970) gekenmerkt wordt door simultane veranderingen in geuldiepte. De data-analyse suggereert dat inpoldering leidt tot een toename van de celeriteit hoogwater, en een toename van de getij-asymmetrie.



# Inhoudstafel

Abstract .....	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de figuren .....	VI
1 Inleiding .....	1
1.1 Situering.....	1
1.2 Leeswijzer .....	1
2 Methodologie .....	2
2.1 Historische getijgegevens.....	2
2.2 Aanmaak historische topo-bathymetrieën.....	3
2.3 Afleiden morfologische parameters.....	4
2.3.1 Geuldiepte en geulvolume .....	4
2.3.2 Habitatareaal .....	4
3 Evolutie getij .....	5
4 Morfologische evolutie.....	8
4.1 Geuldiepte (ten opzichte van GLW) .....	8
4.2 Geulvolume .....	9
4.3 Habitatareaal .....	11
4.3.1 Ruimtelijke patronen.....	11
4.3.2 Historische evolutie .....	13
5 Analyse morfologie en getij.....	18
5.1 Verruiming en inpoldering.....	18
5.1.1 Wanneer vonden welke ingrepen plaats?.....	18
5.1.2 De verschillende segmenten .....	19
5.2 Effect van verruiming op getij .....	22
5.2.1 Laagwater .....	22
5.2.2 Celeriteit .....	24
5.2.3 Getij-asymmetrie .....	27
5.3 Effect inpoldering op getij .....	28
6 Conclusies .....	30
7 Referenties .....	31
Bijlage Topo-bathymetrieën .....	B1

## Lijst van de figuren

Figuur 1 – Ligging van de getijposten waarvoor de jaargemiddelde getijkarakteristieken werden berekend in Vandenbruwaene et al. (2019).....	2
Figuur 2 – Langjarige evolutie van het jaargemiddeld hoogwater voor de getijposten Vlissingen, Hansweert, Lillo, Hingene, Dendermonde en Melle.....	5
Figuur 3 – Langjarige evolutie van het jaargemiddeld laagwater voor de getijposten Vlissingen, Hansweert, Lillo, Hingene, Dendermonde en Melle.....	6
Figuur 4 – Langjarige evolutie van de celeriteit hoogwater voor de segmenten Vlissingen-Hansweert, Hansweert-Liefkenshoek, Liefkenshoek-Schelle, Schelle-Dendermonde en Dendermonde-Melle.....	6
Figuur 5 – Langjarige evolutie van de celeriteit laagwater voor de segmenten Vlissingen-Hansweert, Hansweert-Liefkenshoek, Liefkenshoek-Schelle, Schelle-Dendermonde en Dendermonde-Melle.....	7
Figuur 6 – Langjarige evolutie van de getij-asymmetrie voor de getijposten Vlissingen, Hansweert, Lillo, Hingene, Dendermonde en Melle .....	7
Figuur 7 – Evolutie gemiddelde geuldiepte (ten opzichte van GLW) over de periode 1930-2011 voor de verschillende segmenten.....	8
Figuur 8 – Relatieve verandering in geuldiepte ten opzichte van 1930 over de periode 1930-2011 voor de verschillende segmenten.....	9
Figuur 9 – Evolutie geulvolume over de periode 1930-2011 voor de verschillende segmenten.....	10
Figuur 10 – Relatieve verandering in geulvolume ten opzichte van 1930 over de periode 1930-2011 voor de verschillende segmenten.....	11
Figuur 11 – Habitatareaal per segment voor het jaar 2011. ....	12
Figuur 12 – Habitatareaal per segment voor het jaar 1930. ....	12
Figuur 13 – Habitatareaal segment Vlissingen - Hansweert per tijdsperiode.....	13
Figuur 14 – Habitatareaal segment Hansweert - Liefkenshoek per tijdsperiode.....	14
Figuur 15 – Habitatareaal segment Liefkenshoek-Schelle per tijdsperiode.....	15
Figuur 16 – Habitatareaal segment Hingene - Dendermonde per tijdsperiode.....	16
Figuur 17 – Habitatareaal segment Dendermonde - Melle per tijdsperiode .....	17
Figuur 18 – Inpoldering (ha) en verandering in gemiddelde geuldiepte (tov mGLW) voor de periode 1900-2011, segment Vlissingen-Hansweert.....	19
Figuur 19 – Inpoldering (ha) en verandering in gemiddelde geuldiepte (tov mGLW) voor de periode 1900-2011, segment Hansweert - Liefkenshoek.....	20
Figuur 20 – Inpoldering (ha) en verandering in gemiddelde geuldiepte (tov mGLW) voor de periode 1900-2011, segment Liefkenshoek - Schelle. ....	20
Figuur 21 – Inpoldering (ha) en verandering in gemiddelde geuldiepte (tov mGLW) voor de periode 1900-2011, segment Schelle - Dendermonde.....	21
Figuur 22 – Inpoldering (ha) en verandering in gemiddelde geuldiepte (tov mGLW) voor de periode 1900-2011, segment Dendermonde - Melle .....	21
Figuur 23 – Relatie tussen de geuldiepte en het laagwater voor de verschillende segmenten. ....	23

Figuur 24 – Relatie tussen de geuldiepte en de celeriteit laagwater voor de verschillende segmenten. ....	25
Figuur 25 – Relatie tussen de geuldiepte en de celeriteit hoogwater voor de verschillende segmenten.....	26
Figuur 26 – Relatie tussen de geuldiepte en de getijasymmetrie voor de verschillende segmenten. ....	27
Figuur 27 – Inpoldering (ha) en verandering celeriteit van de laagwater- en hoogwatergolf voor het segment Hansweert-Liefkenshoek. ....	28
Figuur 28 – Inpoldering (ha) en verandering getijasymmetrie voor het segment Hansweert-Liefkenshoek.	29
Figuur 29 – Topo-bathymetrie van het Schelde estuarium representatief voor het jaar 1930. ....	B1
Figuur 30 – Topo-bathymetrie van het Schelde estuarium representatief voor het jaar 1960. ....	B2
Figuur 31 – Topo-bathymetrie van het Schelde estuarium representatief voor het jaar 1980. ....	B2
Figuur 32 – Topo-bathymetrie van het Schelde estuarium representatief voor het jaar 2001. ....	B3
Figuur 33 – Topo-bathymetrie van het Schelde estuarium representatief voor het jaar 2011. ....	B3





# 1 Inleiding

## 1.1 Situering

Voorliggend rapport vormt deelrapport 2 binnen de AvdT studie ‘historische evolutie getij en morfologie Schelde estuarium’. Deelrapport 2 focust op de relatie tussen morfologie en getij in het Schelde estuarium, en gebruikt hiervoor historische data. Het effect van morfologische wijzigingen in het Schelde estuarium op het getijregime is vanuit beheerdersoogpunt immers van cruciaal belang. Menselijke ingrepen (bv. inpoldering, rechtekkingen, sedimentonttrekkingen, verruiming,...) veranderen direct of indirect de morfologie van het estuarium en leiden tot een belangrijke wijziging in getijkenmerken, wat zijn implicaties heeft voor de verschillende estuariene functies. Er is een directe relatie met de veiligheid tegen overstromingen langsheen het estuarium, maar ook de toegankelijkheid en de natuurlijkheid worden hierdoor beïnvloed.

De historische data gebruikt in deze studie zijn jaargemiddelde getijparameters over de periode 1888-2017 (Vandenbruwaene et al., 2019), en historische topo-bathymetrieën van de jaartallen 1930, 1960, 1980, 2001 en 2011. Op basis van data-analyse werden verbanden gelegd tussen veranderingen in morfologie en de evolutie van getijkenmerken zoals waterstand, celeriteit en getij-asymmetrie.

## 1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bespreekt de methodologie om historische topo-bathymetrieën aan te maken, morfologische parameters af te leiden en jaargemiddelde getijparameters te berekenen.

Hoofdstuk 3 geeft een summier overzicht van de langjarige evolutie van het getij. Voor een uitgebreid overzicht wordt verwezen naar het eerste deelrapport binnen deze studie (Vandenbruwaene et al., 2019).

In hoofdstuk 4 wordt dieper ingegaan op de morfologische evolutie van het Schelde estuarium. De morfologie wordt gekenmerkt aan de hand van de geuldiepte, het geulvolume, hypsometrische curves en habitatarealen. De morfologische parameters werden bepaald voor de afzonderlijke segmenten Vlissingen-Hansweert, Hansweert-Lillo, Lillo-Hingene, Hingene-Dendermonde en Dendermonde-Melle. Het mondingsgebied wordt buiten beschouwing gelaten.

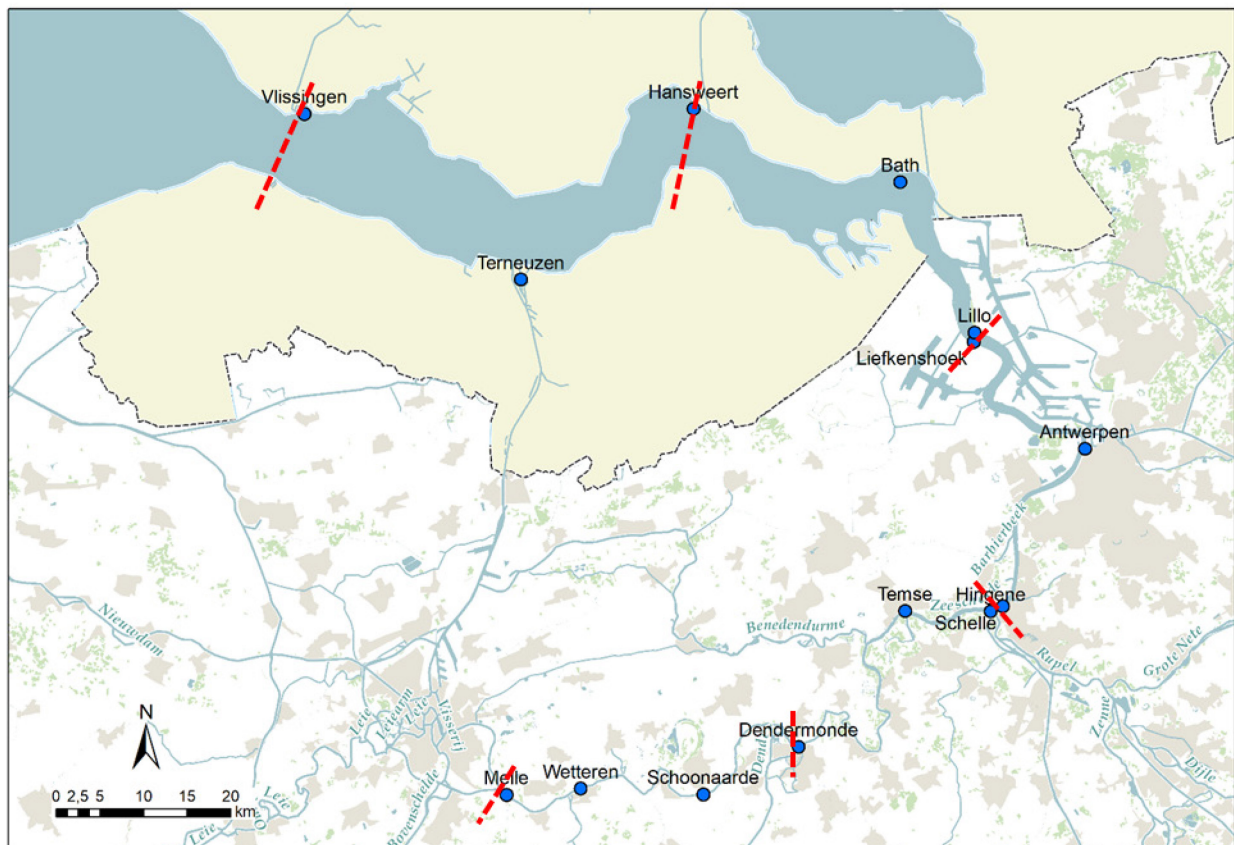
De link tussen morfologie en getij wordt gelegd in hoofdstuk 5. Hier wordt nagegaan wat het effect is van inpoldering (periode 1900-1970) en verruiming (periode 1970-recent) op de beschouwde getijparameters. De conclusies tenslotte worden in hoofdstuk 6 gegeven.

## 2 Methodologie

### 2.1 Historische getijgegevens

Binnen deeltaak 1 van de AvdT studie “historische evolutie getij en morfologie Schelde estuarium” (Vandenbruwaene et al., 2019) en de getijstudie uitgevoerd binnen “integraal plan Boven-Zeeschelde” (Vandenbruwaene et al., 2016) werden historische hoog- en laagwaterstanden gedigitaliseerd en gevalideerd voor verschillende getijposten in de Beneden- en Boven-Zeeschelde, en dit over de periode van 1888 tot 2017. Gebruik makende van R scripts werden jaargemiddelde getijparameters zoals celeriteit, getij-asymmetrie en extrema afgeleid, en werd de langjarige evolutie bestudeerd voor zowel getijposten in de Zeeschelde als in de Westerschelde (zie Figuur 1). In dit deelrapport werden de getijdata gebruikt van de posten gelegen aan de randen van de beschouwde morfologische segmenten (rode lijnen in Figuur 1, zie ook §2.3).

Figuur 1 – Ligging van de getijposten waarvoor de jaargemiddelde getijkarakteristieken werden berekend in Vandenbruwaene et al. (2019). De koppels Lillo/Liefkenshoek en Hingene/Schelle worden respectievelijk als éénzelfde locatie beschouwd. De rode lijnen duiden de randen van de beschouwde segmenten aan (zie §2.3).



## 2.2 Aanmaak historische 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. Voor de Westerschelde werden de topo-bathymetrische gegevens opgeleverd door Rijkswaterstaat, voor de Zeeschelde door Maritieme Toegang. De topo-bathymetrische gegevens werden opgeleverd als gridbestanden met een respectievelijke resolutie voor beide deelgebieden van 20x20m en 5x5m. Topo-bathymetrische gegevens 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 peilgegevens (bathymetrie) en LIDAR-gegevens (topografie). Voor de tijdstippen 1930, 1960 en 1980 zijn er voor de Zeeschelde enkel bathymetrische gegevens beschikbaar en diende het intertidaal (slik en schor) opgebouwd te worden aan de hand van een aantal aannames (methodologie hieronder beschreven). Voor de Westerschelde is de hoogte van het intertidaal voor de betreffende jaren wel gekend door topografische inmetingen op het terrein.

De opbouw van de intertidale gebieden werd reeds eerder toegepast in Vandenbruwaene et al. (2013). Deze methodologie werd ontwikkeld in GIS en koppelt ecotopengrenzen aan gemiddeld laagwater (GLW) en gemiddeld hoogwater (GHW). De volgende stappen werden in GIS uitgevoerd om te komen tot een digitaal hoogtemodel van het intertidaal voor de jaren 1930, 1960 en 1980:

- (1) Interpolatie van een GLW raster en GHW raster voor de tijdstippen 1930, 1960 en 1980 gebaseerd op de GLW en GHW gegevens van diverse tijposten langsheen het estuarium, gemiddeld over de respectievelijke periodes 1925-1935, 1955-1965 en 1975-1985.
- (2) Aanmaken van station points (elke 100 meter) langsheen de grenslijnen subtidaal-slik en slik-schor. Voor de tijdstippen 1930 en 1960 zijn deze grenslijnen beschikbaar op basis van de ecotopenkaarten voor 1930 en 1960 (Van Braeckel et al., 2012). Voor het jaar 1980 is er geen ecotopenkaart beschikbaar en werden de ecotopenkaarten van 1960 en 2010 gebruikt om de grenslijnen van 1980 te reconstrueren. De 1980 grenslijnen werden hierbij vastgelegd op een afstand die 2/5 bedraagt van de totale afstand tussen de 1960 en 2010 grenslijnen. Bij deze aanname wordt er van uit gegaan dat tussen 1960 en 2010 de ecotopengrenzen lineair verschoven zijn.
- (3) Toekennen van de GLW rasterwaarden aan de station points van de grens subtidaal-slik.
- (4) Toekennen van de GHW rasterwaarden  $\pm$  een bepaalde hoogte aan de station points van de grens slik-schor. Deze bepaalde hoogte is afhankelijk van de hoogteligging van het schor ten opzichte van GHW, en is verschillend voor de tijdstippen 1930, 1960 en 1980 gezien de asymptotische hoogteliggingsevolutie van een schor op lange termijn (bv., Temmerman et al., 2003). Voor 1930 werd het schorniveau vastgelegd op GHW - 0,05 m. Deze hoogteligging werd afgeleid op basis van voormalige schorren die ingepolderd werden rond 1930 (Van Braeckel, 2016). Voor 1960 werd het schorniveau vastgelegd op GHW + 0,05 m op basis van een paleoreconstructie voor de periode 1960 (Temmerman et al., 2003). Voor 1980 was het niet mogelijk om de schorhoogte af te leiden op basis van afgeleide gegevens. De schorhoogte van 1980 werd bepaald door lineair te interpoleren tussen de schorhoogte van 1960 (GHW + 0,05 m) en 2001 (GHW + 0,30 m) wat overeenstemt met een schorhoogte van GHW + 0,17 m. Tenslotte merken we op dat volgende ecotopen tot het ecotoop 'schor' werden gerekend: schor, bedijkt schor, vloeisysteem en open water vloeisysteem. Ecotopen zoals gecontroleerd vloeisysteem en GOG's werden niet meegenomen in de reconstructie van de topo-bathymetrieën.
- (5) Aanmaken van een interpolatiegrid (Inverse Distance Weighting) op basis van de hoogteliggingwaardes van de station points gelegen langsheen de subtidaal-slik en slik-schor grenslijnen. Dit interpolatiegrid stelt de hoogteligging van het slik voor.

- (6) Aanmaken van een constant hoogteligging raster voor het schor op basis van het GHW  $\pm$  een bepaalde hoogte. Deze bepaalde hoogte is vastgelegd zoals hierboven beschreven in punt (4).
- (7) Aanmaak van de volledige topo-bathymetrie door het samenvoegen van het subtidaal raster (wat reeds beschikbaar was) met de aangemaakte slik en schor rasters.

## 2.3 Afleiden morfologische parameters

We beschouwen in deze studie de morfologische parameters geuldiepte, geulvolume en habitatareaal. De morfologische parameters werden afgeleid voor de segmenten Vlissingen-Hansweert, Hansweert-Liefkenshoek, Liefkenshoek-Schelle, Schelle-Dendermonde, en Dendermonde-Melle. De grenzen van de gekozen segmenten liggen voldoende ver uit elkaar zodat de celeriteit nauwkeurig genoeg kon bepaald worden. Daarnaast is er voldoende verschil in morfologische evolutie tussen de beschouwde segmenten, wat het interessant maakt om hun verschillende invloed op de evolutie van het getij na te gaan.

### 2.3.1 Geuldiepte en geulvolume

Gebruik makende van de 'surface volume' tool in ArcGIS 10 en de bathymetrische gegevens werd het geulareaal en het geulvolume bepaald onder het GLW vlak voor elk van de segmenten en elk van de tijdstippen. Vervolgens werd het geulvolume gedeeld door het geulareaal om op die manier de segment-gemiddelde geuldiepte te bekomen.

### 2.3.2 Habitatareaal

Op basis van de topo-bathymetrieën werden 5 verschillende habitats afgeleid: diep subtidaal, matig diep subtidaal, ondiep subtidaal, slik en schor.

De classificatie van deze habitats is gebaseerd op volgende aannames (Vandenbruwaene et al., 2013):

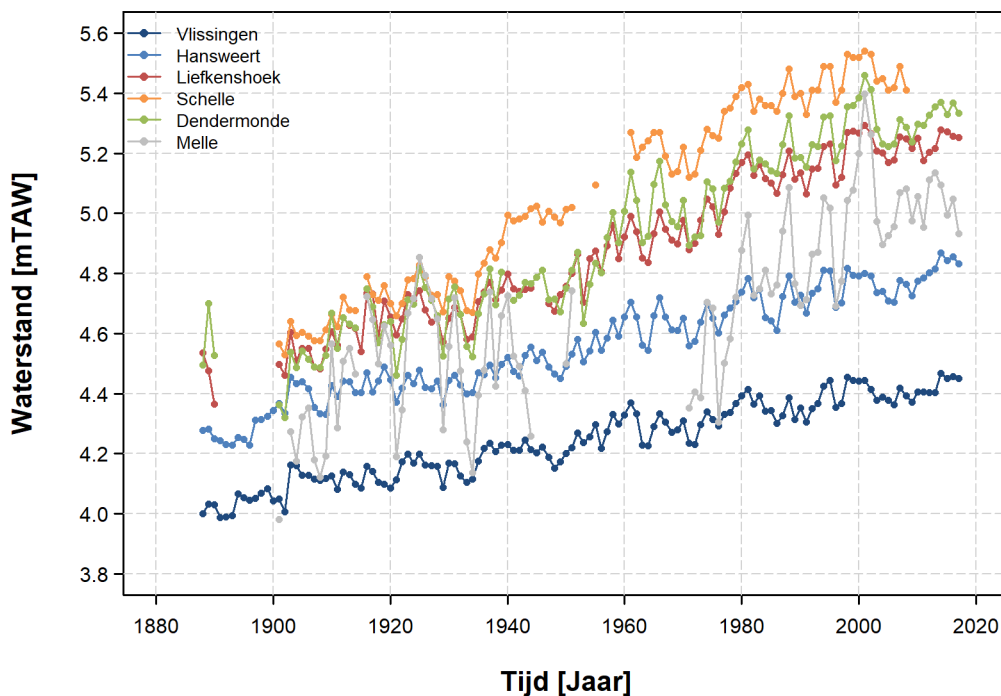
- Diep subtidaal:  $> -5$  m GLW (= Gemiddeld Laag Water)
- Matig diep subtidaal:  $-5$  tot  $-2$  m GLW
- Ondiep subtidaal:  $-2$  m tot  $0$  m GLW
- Slik: GLW tot GHW (=Gemiddeld Hoog Water)
- Schor:  $> GHW \pm$  bepaalde hoogte (zie ook §2.2)

De bijhorende habitatarealen werden in GIS berekend.

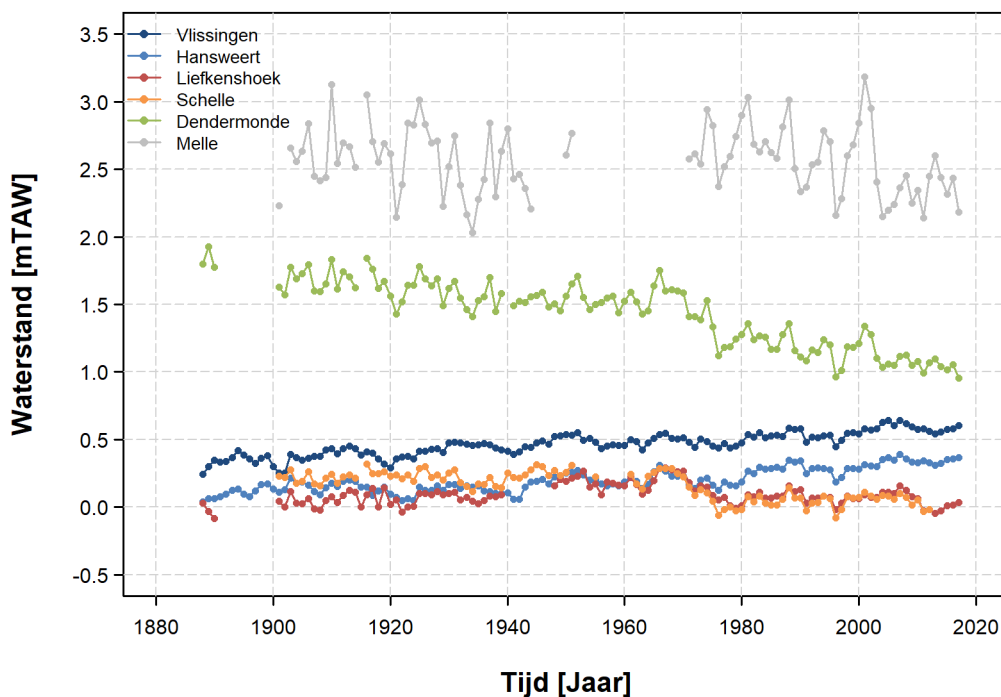
### 3 Evolutie getij

Over het volledige Schelde estuarium wordt over de periode 1888-recent een toename in jaargemiddelde hoogwaterstand waargenomen (Figuur 2). Deze toename is aan de afwaartse rand (Vlissingen) in hoofdzaak het gevolg van zeespiegelstijging, terwijl opwaarts het estuarium de combinatie van zeespiegelstijging, convergentie, en morfologische ingrepen leidt tot een sterkere toename dan aan de afwaartse rand. In Vlissingen en Hansweert nemen de laagwaterstanden toe net zoals de hoogwaterstanden. Opwaarts Hansweert is er in de periode 1970-1980 echter een duidelijke daling in laagwaterstand (Figuur 3). Deze daling is een gevolg van de eerste verruiming in de jaren '70, en is waarneembaar tot in de Boven-Zeeschelde. Wat betreft de celeriteit is er over het algemeen een toename over de afzonderlijke segmenten heen, en dit voornamelijk vanaf de jaren '70 (Figuur 4 en Figuur 5). De som van de celeriteitswijzigingen afwaarts een beschouwde tijpost zal uiteindelijk de stijgingsduur, dalingsduur en de getij-asymmetrie van de post bepalen. *Veranderingen* in getij-asymmetrie worden bepaald door de relatieve veranderingen in celeriteit van de laagwatergolf ten opzichte van de hoogwatergolf. Zo wordt er in Liefkenshoek een toename in getijasymmetrie waargenomen pré-1970, gevolgd door een afname vanaf 1970 (Figuur 6). Over het algemeen wordt de Zeeschelde vanaf 1970 gekenmerkt door een afname in getij-asymmetrie. Voor meer informatie omtrent de historische evolutie van het getij wordt er verwezen naar deelrapport 1 binnen deze studie (Vandenbruwaene et al., 2019).

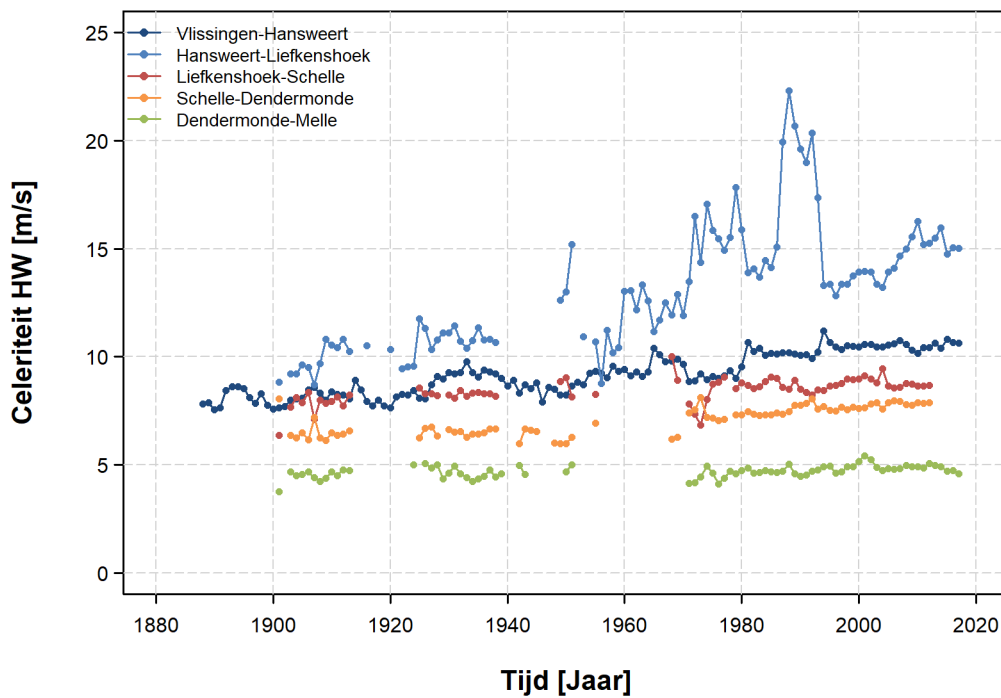
Figuur 2 – Langjarige evolutie van het jaargemiddeld hoogwater voor de getijposten Vlissingen, Hansweert, Lillo, Hingene, Dendermonde en Melle



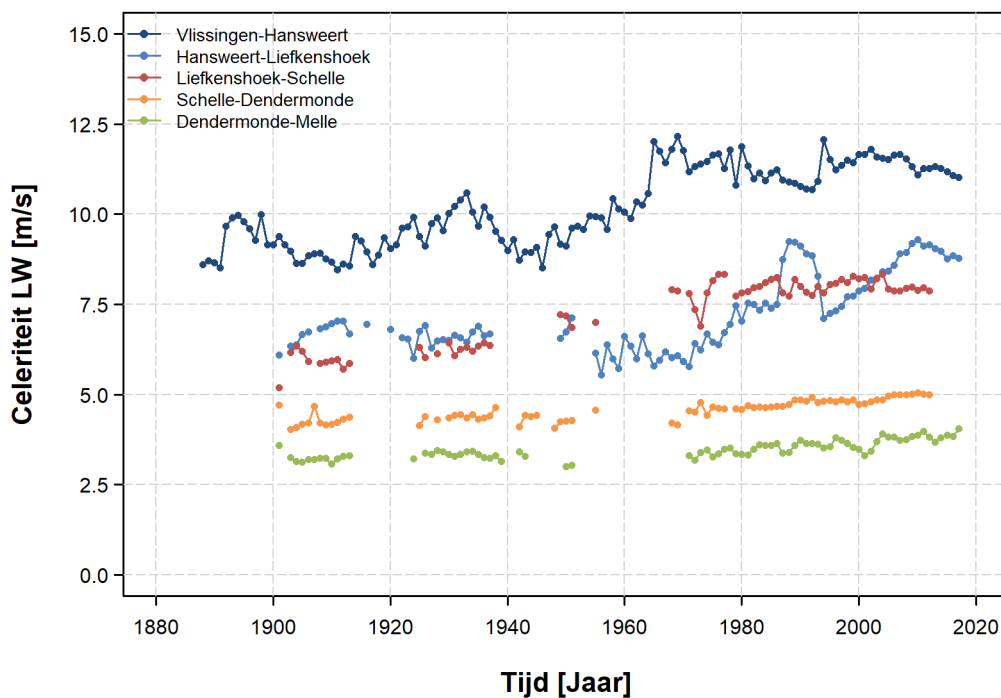
Figuur 3 – Langjarige evolutie van het jaargemiddeld laagwater voor de getijposten  
Vlissingen, Hansweert, Lillo, Hingene, Dendermonde en Melle



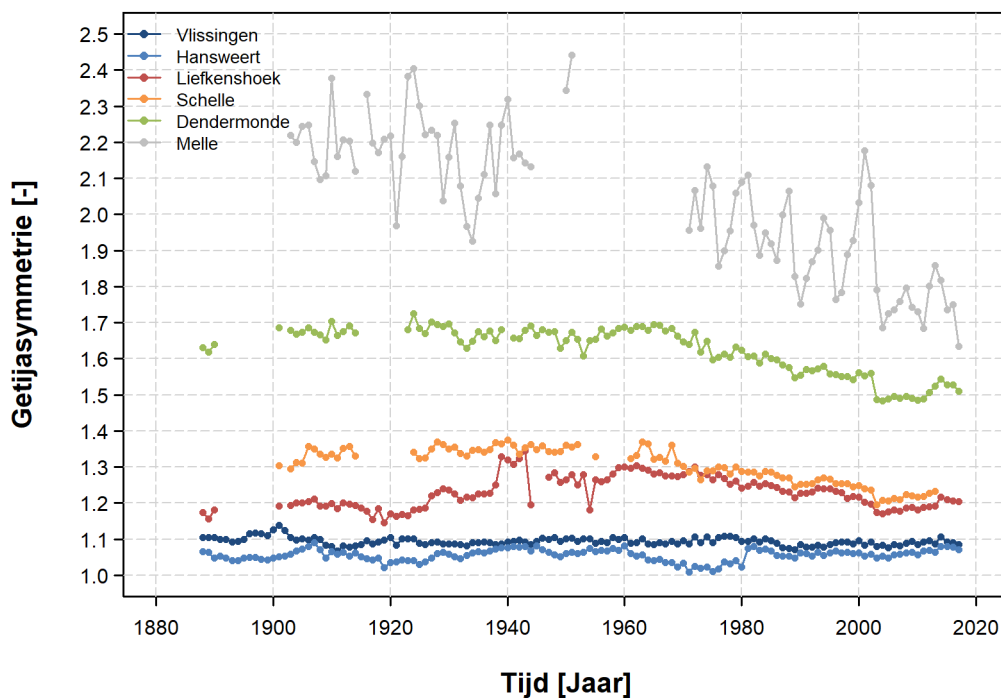
Figuur 4 – Langjarige evolutie van de celeriteit hoogwater voor de segmenten  
Vlissingen-Hansweert, Hansweert-Liefkenshoek, Liefkenshoek-Schelle, Schelle-Dendermonde en Dendermonde-Melle.



Figuur 5 – Langjarige evolutie van de celeriteit laagwater voor de segmenten Vlissingen-Hansweert, Hansweert-Liefkenshoek, Liefkenshoek-Schelle, Schelle-Dendermonde en Dendermonde-Melle.



Figuur 6 – Langjarige evolutie van de getij-asymmetrie voor de getijposten Vlissingen, Hansweert, Lillo, Hingene, Dendermonde en Melle





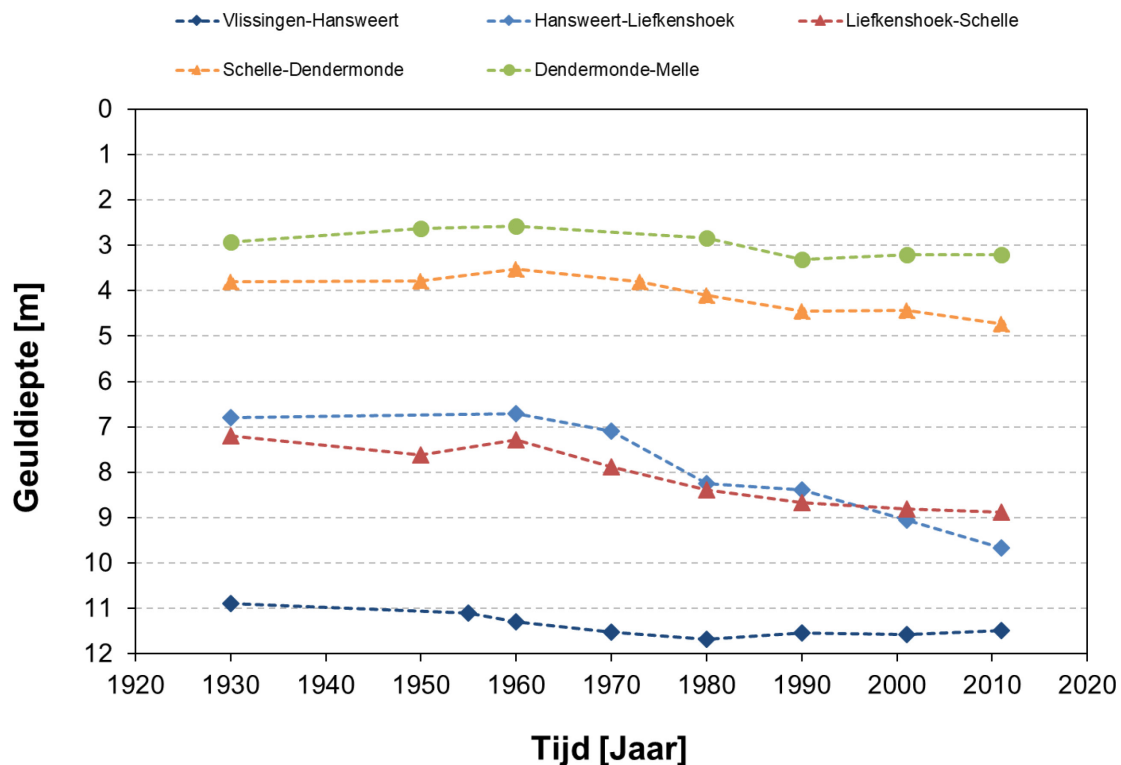
## 4 Morfologische evolutie

Vanaf 1930 zijn er voor het volledige Schelde estuarium bathymetrische gegevens beschikbaar (Bijlage 1 – Topo-bathymetrieën). Deze data laten toe om verschillende morfologische parameters af te leiden (zie §2.3).

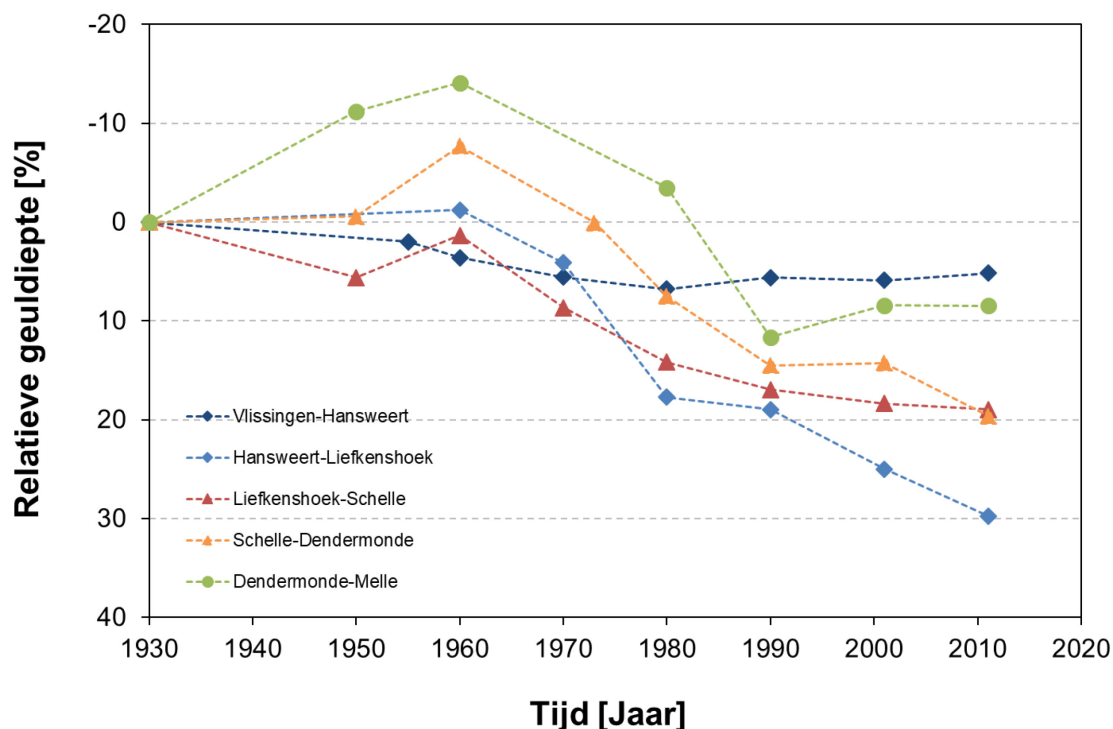
### 4.1 Geuldiepte (ten opzichte van GLW)

In de periode 1930-1960 is er een verondieping in het opwaartse deel van het estuarium tot ongeveer 15% (segment Dendermonde-Melle, zie Figuur 7 en Figuur 8). In het afwaartse deel (Vlissingen-Hansweert) is er een geleidelijke toename in geuldiepte met ongeveer 5%. De overige segmenten vertonen geen éénduidige trend. Hierbij zijn de veranderingen beperkt (Hansweert-Liefkenshoek), of wisselen verdieping en verondieping elkaar af (bv. Liefkenshoek-Schelle). Voor de periode 1960-1970 tot recent is er een algemene tendens van geuldieptetoename (Figuur 7 en Figuur 8). Voor de zone Hansweert tot Dendermonde vindt deze toename plaats over de volledige periode 1960-recent. De toename is hierbij het sterkst voor het segment Hansweert-Liefkenshoek (tot 30%, zie Figuur 8). In het meest afwaartse segment (Vlissingen-Hansweert) doet de geuldieptetoename zich hoofdzakelijk voor in de periode 1960-1970, waarna de geuldiepte min of meer constant blijft. Voor het opwaartse segment Dendermonde-Melle is de geuldieptetoename gespreid over de periode 1960 tot 1990. Erna is er weinig verandering in geuldiepte.

Figuur 7 – Evolutie gemiddelde geuldiepte (ten opzichte van GLW) over de periode 1930-2011 voor de verschillende segmenten.



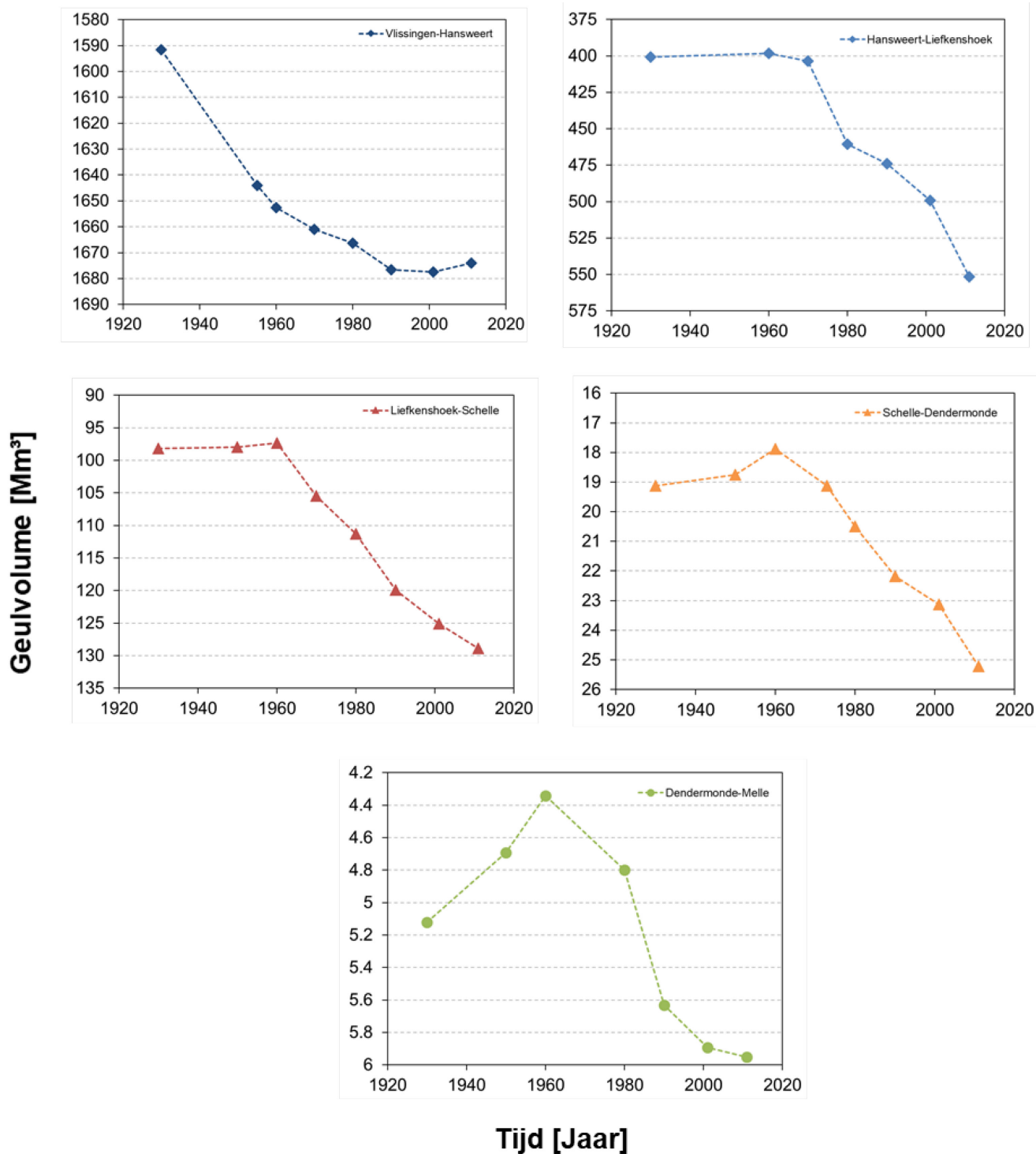
Figuur 8 – Relatieve verandering in geuldiepte ten opzichte van 1930 over de periode 1930-2011 voor de verschillende segmenten.



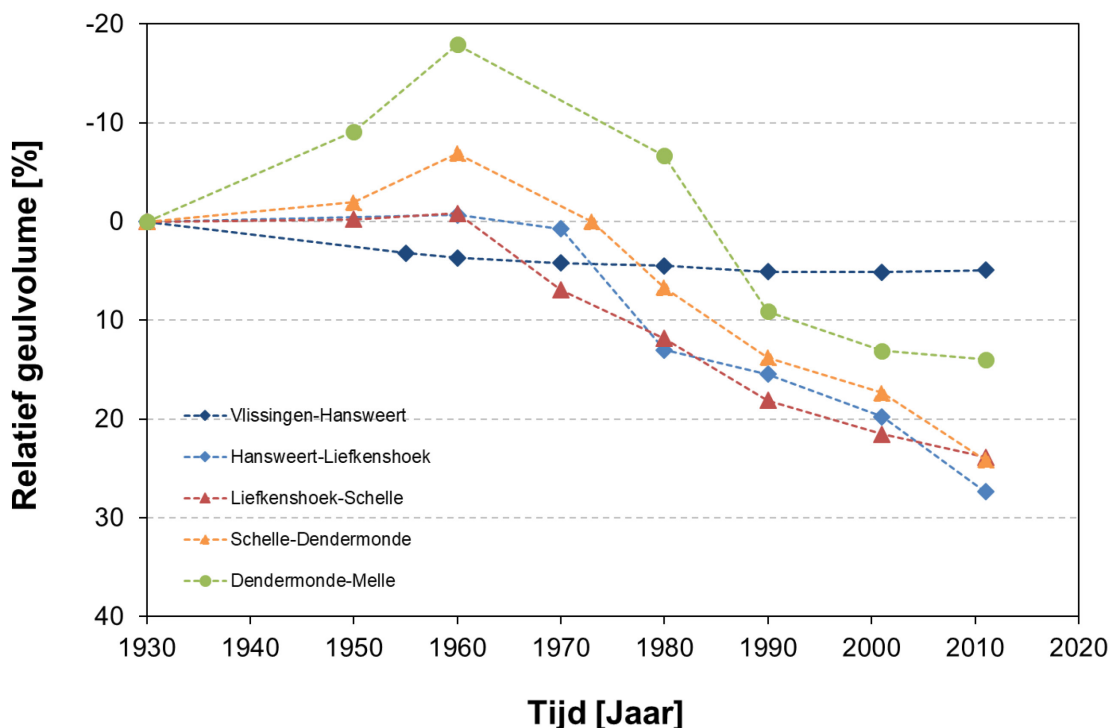
## 4.2 Geulvolume

Over het algemeen worden voor de evolutie van het geulvolume dezelfde trends waargenomen als voor de evolutie van de geuldiepte (cf. Figuur 7 en Figuur 9, cf. Figuur 8 en Figuur 10). Een toename in geulvolume wil echter niet noodzakelijkerwijs zeggen dat er een toename in *diepte* van de geul is. De geuldiepte werd immers berekend als de segment-gemiddelde geuldiepte (zie §2.3.1) en bijgevolg kan een geuldiepte toename ook te wijten zijn aan het verruimen van de geul, wat leidt tot een toename in geulvolume. Het geulvolume is dus het product van de gemiddelde geuldiepte en het geulareaal. Een toename van bijvoorbeeld 1 meter geuldiepte zal in de afwaartse segmenten (met grote geularealen, zie ook §4.3) leiden tot grote toenames in geulvolume (Figuur 9). Of met andere woorden, zal leiden tot een sterke toename in het volume water dat het estuarium kan binnendringen (i.e. het getijprisma).

Figuur 9 – Evolutie geulvolume over de periode 1930-2011 voor de verschillende segmenten



Figuur 10 – Relatieve verandering in geulvolume ten opzichte van 1930 over de periode 1930-2011 voor de verschillende segmenten.

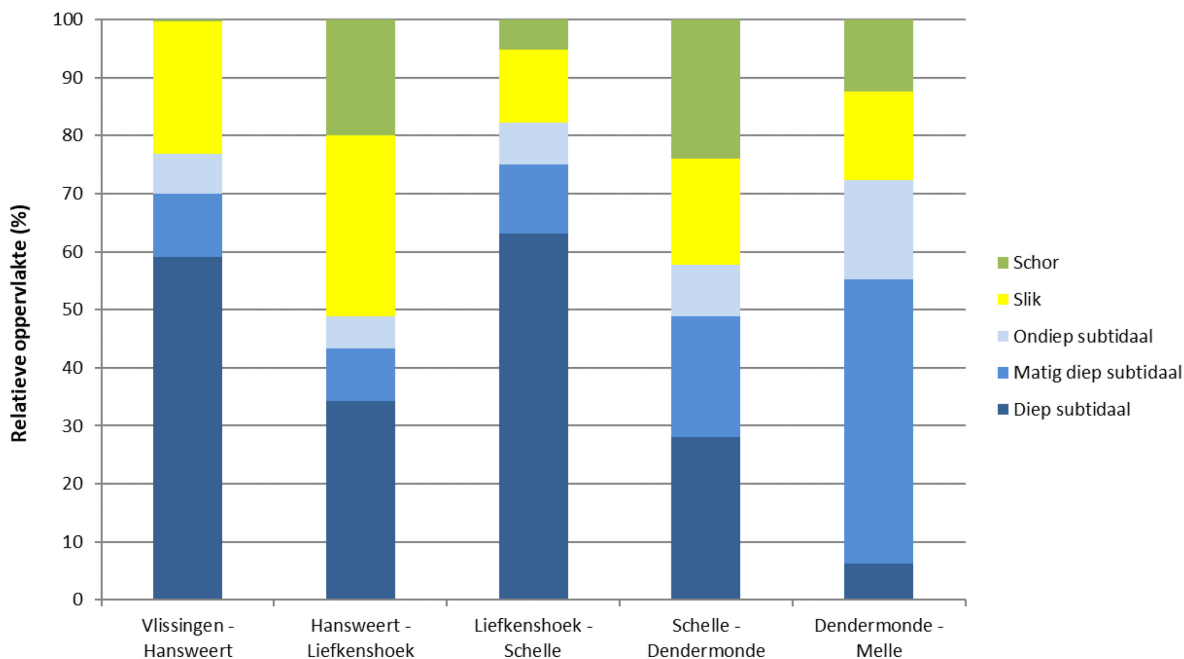


## 4.3 Habitatareaal

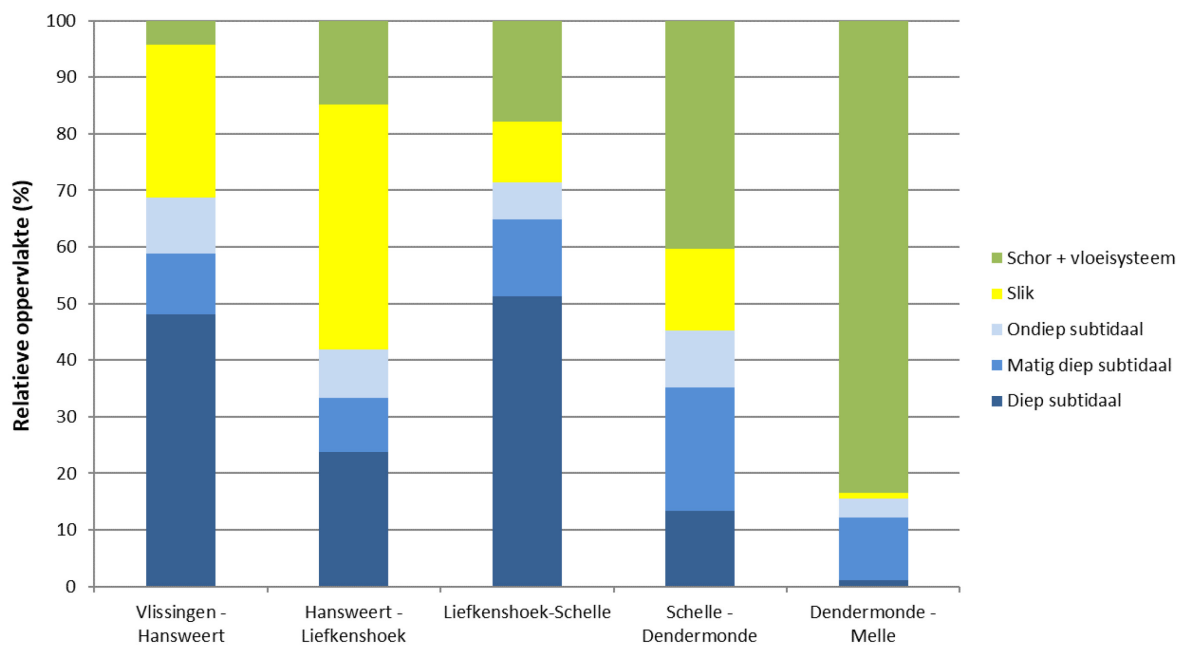
### 4.3.1 Ruimtelijke patronen

De huidige Schelde wordt gedomineerd door de subtidale habitats, en dit over de volledige lengte van het estuarium. Enkel voor het segment Hansweert-Liefkenshoek blijft het relatieve aandeel subtidaal onder de 50%, ten gevolge de aanwezigheid van een aantal platen en het Verdrongen Land van Saeftinghe (Figuur 11). Binnen de subtidale habitats is het habitat diep subtidaal dominant van monding tot aan Schelle. Voor de segmenten Vlissingen-Hansweert en Liefkenshoek-Schelle bedraagt het aandeel diep subtidaal zelfs om en bij de 60%. Opwaarts Schelle (Boven-Zeeschelde) neemt het areaal diep subtidaal af door de verondieping van het estuarium. In deze zone zijn de ondiepere subtidale habitats, en de habitats slik en schor relatief belangrijker. De huidige Schelde verschilt in habitatareaal duidelijk van de historische Schelde. In 1930 waren de subtidale habitats minder dominant aanwezig, en was het aandeel slik en schor (inclusief vloesystemen) belangrijker (cf. Figuur 11 en Figuur 12). De historische evolutie van de habitats wordt in detail besproken in §4.3.2.

Figuur 11 – Habitatareaal per segment voor het jaar 2011.



Figuur 12 – Habitatareaal per segment voor het jaar 1930.

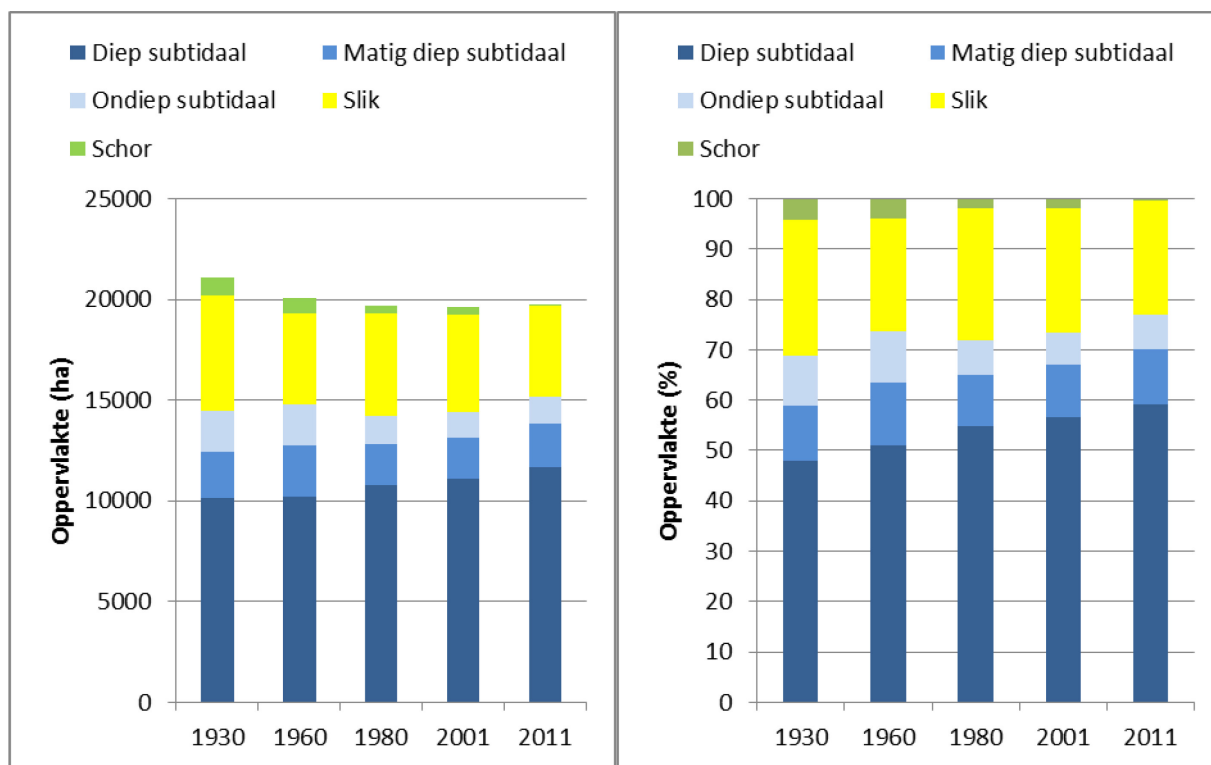


#### 4.3.2 Historische evolutie

##### Vlissingen-Hansweert

Figuur 13 toont de oppervlakte in ha en de relatieve oppervlakte van de verschillende habitats voor de vijf tijdsperiodes. Tussen 1930 en 2001 is er een daling van het totale habitatareaal. Deze daling is het gevolg van verschillende inpolderingen gedurende deze periode. Tussen 1930 en 1960 is de daling het sterkst, in belangrijke mate ten gevolge de Braakman inpoldering. Het dominante habitat voor het segment Vlissingen-Hansweert is het diep subtidaal, gevolgd door het slik (voor de Westerschelde wordt dit habitattype ook wel plaat genoemd). Tussen 1930 en 2011 kan er een toename vastgesteld worden van het aandeel diep subtidaal. Zo omvat in 1930 het diep subtidaal 48% van de totale oppervlakte, in 2011 is dit al 59%. Een andere opvallende vaststelling is dat er een afname waargenomen wordt van het schor. In 1930 werd 4% van de totale oppervlakte ingenomen door schor, in 2011 is dit < 1%.

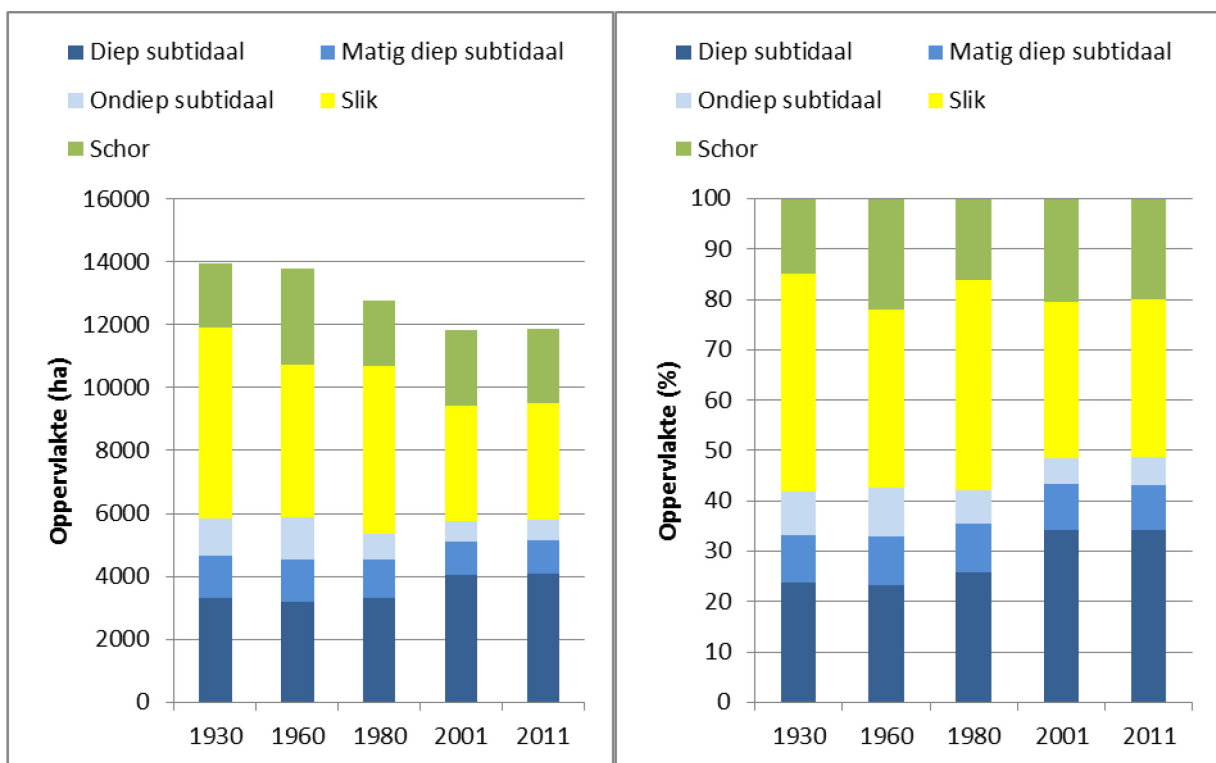
Figuur 13 – Habitatareaal segment Vlissingen - Hansweert per tijdsperiode (links absoluut; rechts relatief).



### Hansweert-Liefkenshoek

Het meest voorkomende habitattype in het segment Hansweert-Liefkenshoek is het habitattype slik, gevolgd door het habitattype diep subtidaal en dit voor elke tijdsperiode (Figuur 14). Tussen 1930 en 2011 is er net als bij het segment Vlissingen-Hansweert een sterke toename van het diep subtidaal. In 1930 behoort 24% van de totale oppervlakte tot het diep subtidaal, in 2011 is dit 34%. Tussen 1980 en 2011 neemt het habitattype diep subtidaal toe met 800 ha. Tussen 1930 en 1960 is er een toename van het aandeel schor (in belangrijke mate door kolonisatie met vegetatie van Saeftinghe), waarna dit habitattype een licht dalende trend inzet tot 1980. Deze dalende trend gaat gepaard met grote arealen die na 1960 werden ingepolderd. Na 1980 kan er weer een toename worden vastgesteld tot 20% van het totale habitatareaal.

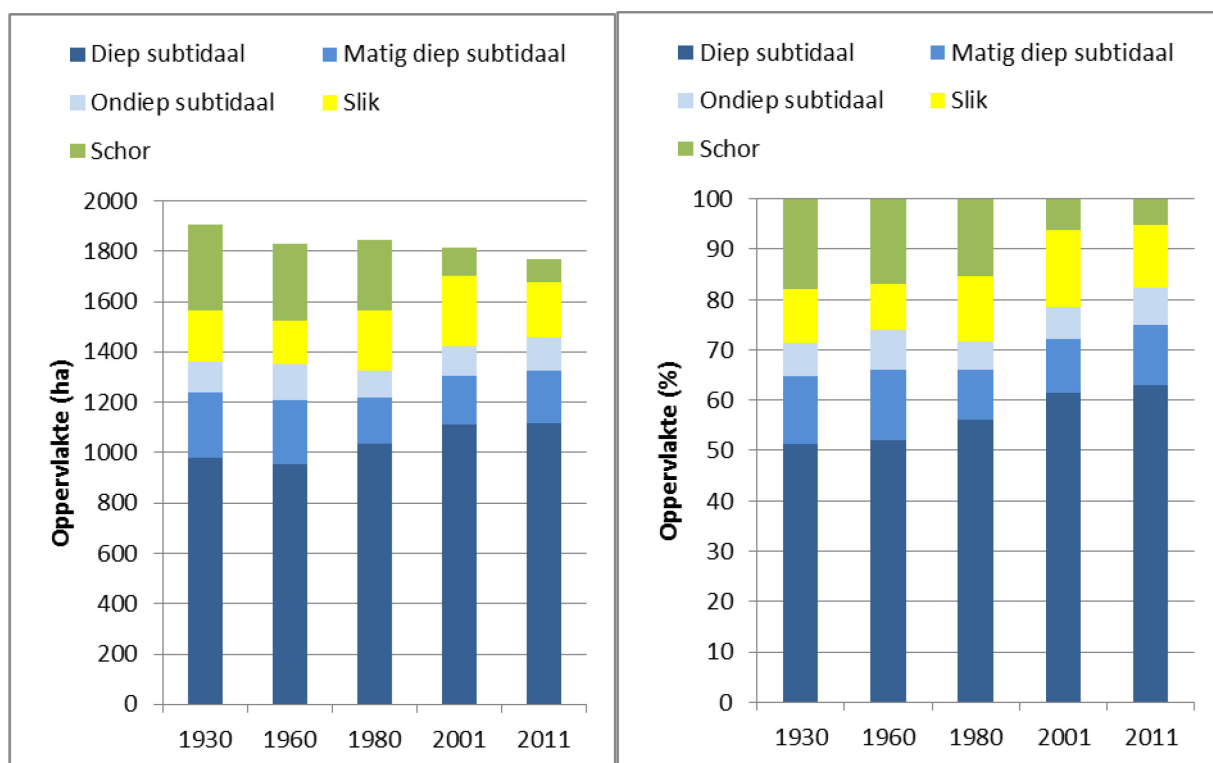
Figuur 14 – Habitatareaal segment Hansweert - Liefkenshoek per tijdsperiode (links absoluut; rechts relatief).



## Liefkenshoek-Schelle

Voor het segment Liefkenshoek-Schelle worden dezelfde veranderingen waargenomen als voor de afwaarts gelegen segmenten Vlissingen-Hansweert en Liefkenshoek-Schelle. Zo wordt voor elke tijdsperiode een toename waargenomen in het habitatype diep subtidaal (51 % van de totale oppervlakte in 1930 t.o.v. 63% van de totale oppervlakte in 2011) en een afname in het habitatype schor (18% van de totale oppervlakte in 1930 t.o.v. 5% van de totale oppervlakte in 2011). De andere drie habitattypes variëren lichtelijk doorheen de tijd.

Figuur 15 – Habitatareaal segment Liefkenshoek-Schelle per tijdsperiode (links absoluut; rechts relatief).

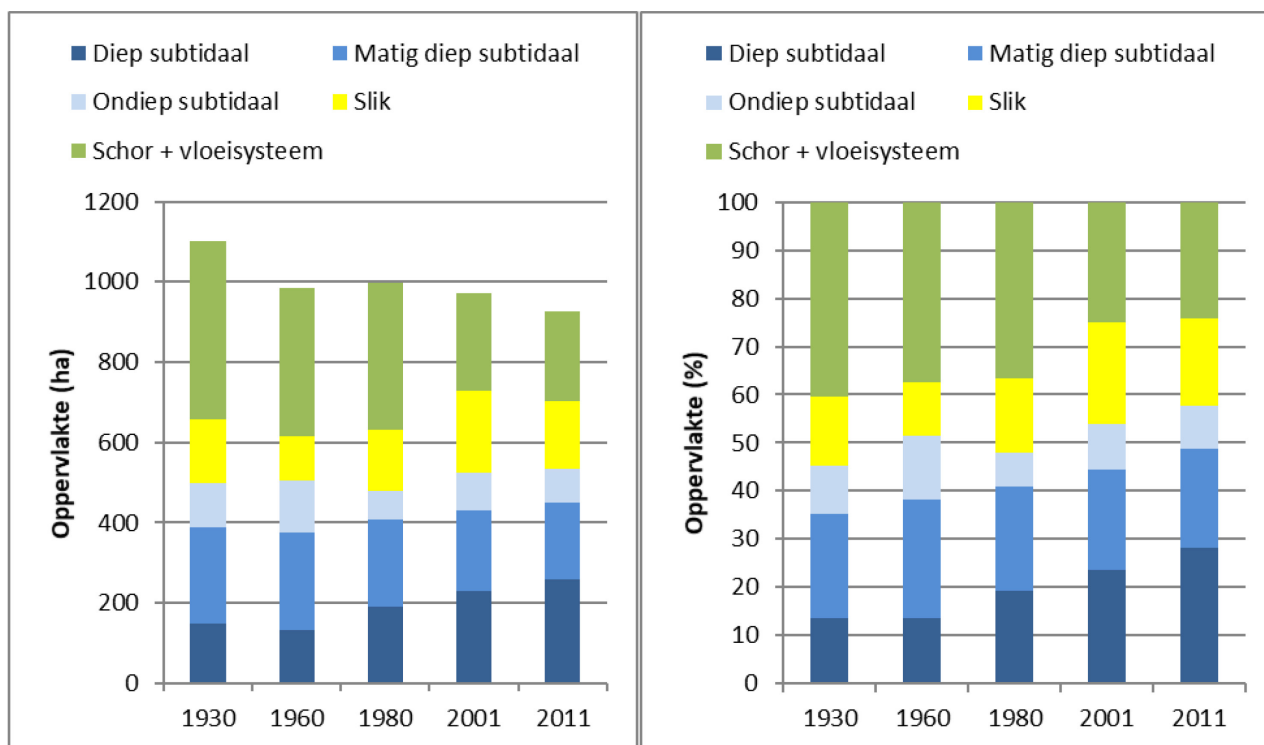




### Schelle-Dendermonde

In 1930 is in het segment Schelle-Dendermonde het dominante habitattype schor (inclusief vloeisystemen), gevolgd door het matig diep subtidaal (Figuur 16). In 2011 is het dominante habitattype diep subtidaal, gevolgd door schor. Ook voor dit segment worden dezelfde evoluties in habitatareaal waargenomen als voor de vorige segmenten. Het totale habitatareaal daalt het sterkst tussen 1930 en 1960, wat gelinkt kan worden aan de inpolderingen in deze periode. Verder is er een toename in het aandeel diep subtidaal (13% van de totale oppervlakte in 1930 t.o.v. 28% van de totale oppervlakte in 2011), een afname in het aandeel schor + vloeisysteem (40% van de totale oppervlakte in 1930 t.o.v. 24% van de totale oppervlakte in 2011), en geen trend in de habitattypes matig diep subtidaal, ondiep subtidaal en slik.

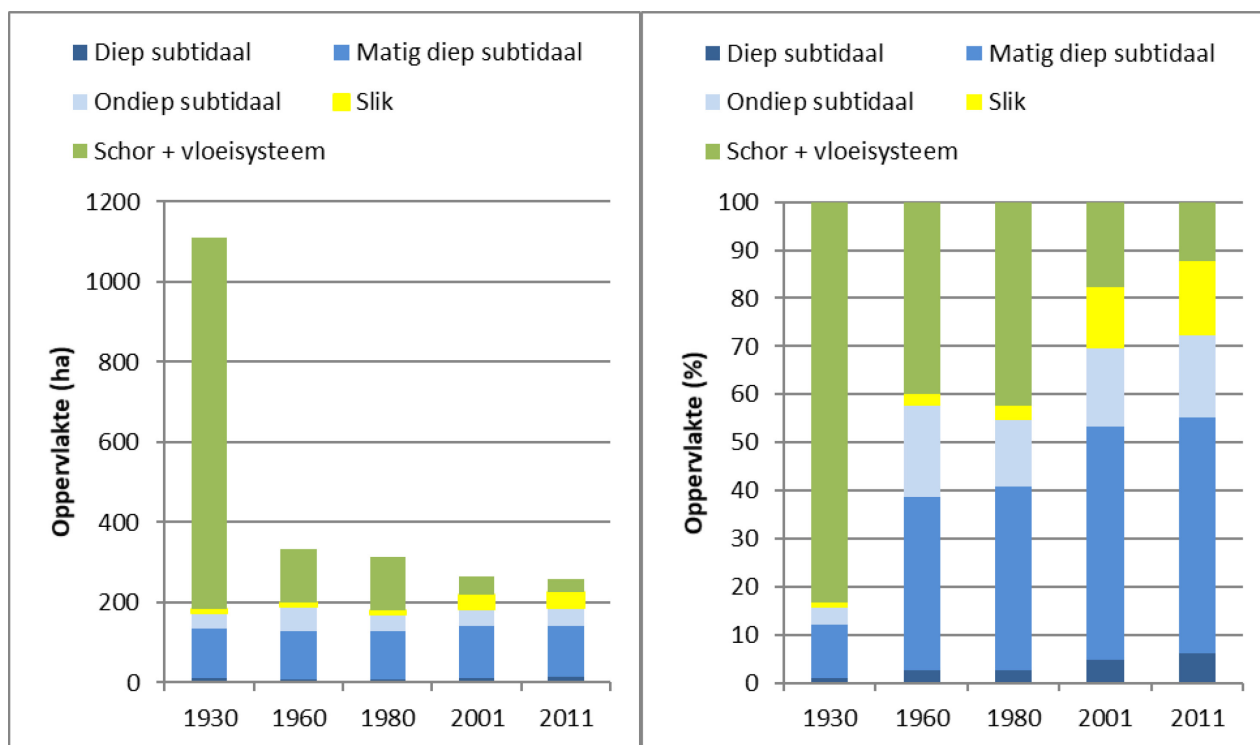
Figuur 16 – Habitatareaal segment Hingene - Dendermonde per tijdperiode (links absoluut; rechts relatief)



## Dendermonde-Melle

In 1930 is het dominante habitatype in het segment Dendermonde-Melle duidelijk schor-vloeisysteem. In de volgende tijdperiodes zijn de dominante habitatypes voornamelijk schor en matig diep subtidaal. Opvallend is de daling van het aandeel aan schor-vloeisysteem. Zo heeft het habitatype schor-vloeisysteem in 1930 83% van de totale oppervlakte ingenomen, in 2011 neemt dit habitatype nog maar 12% van de totale oppervlakte in. Uit Figuur 17 is af te leiden dat de sterkste afname gebeurt tussen 1930 en 1960. Dit heeft in belangrijke mate te maken met het verdwijnen van het vloeisysteem van de Kalkense Meersen in die periode. Toch blijft ook daarna het aandeel schor afnemen, zij het wel aan een trager tempo. De andere habitatypes blijven nagenoeg even groot, buiten het habitatype slik dat tussen 1980 en 2011 toeneemt.

Figuur 17 – Habitatareaal segment Dendermonde - Melle per tijdperiode (links absoluut; rechts relatief)



## 5 Analyse morfologie en getij

In dit hoofdstuk wordt nagegaan wat het effect is van twee belangrijke morfologische ingrepen in het estuarium (inpoldering en verruiming) op de evolutie van de celeriteit, getij-asymmetrie en de waterstandsextrema. Inpoldering wordt hierbij gekarakteriseerd door een afname in intergetijdengebied, terwijl verruiming gekarakteriseerd wordt door een toename in gemiddelde geuldiepte. De moeilijkheid bij dergelijke analyses is dat beide morfologische wijzigingen simultaan kunnen optreden in de tijd, of dat de morfologische wijzigingen verschillend zijn tussen de segmenten. Bovendien is een toename in geuldiepte niet altijd een gevolg van verruiming. Zo kan inpoldering bijvoorbeeld op lange termijn leiden tot wijzigingen in geuleigenschappen, tot er een morfologisch evenwicht is bereikt (Nnafie et al., 2018). In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven wanneer inpoldering en verruiming hebben plaatsgevonden en welke verschillen er zijn tussen de segmenten (§5.1). Vervolgens wordt voor een aantal beschouwde deelperiodes de invloed van verruiming (§5.2) en inpoldering (§5.3) op de beschouwde getijparameters nagegaan.

### 5.1 Verruiming en inpoldering

#### 5.1.1 Wanneer vonden welke ingrepen plaats?

De belangrijkste menselijke ingrepen in het Schelde estuarium zijn inpolderingen en geulveranderingen (rechttrekkingen en verruiming) (bv. Jeuken et al., 2007; Van Braeckel et al., 2012). Zowel inpoldering als verruiming hebben hierbij een grote impact op de morfologie van het systeem. Inpoldering zorgt er enerzijds voor dat het areaal aan intergetijdengebied wordt gereduceerd, en anderzijds dat de sectie-gemiddelde geuldiepte bij gemiddeld hoogwater afneemt. In het geval van verruiming is er een toename in de gemiddelde geuldiepte.

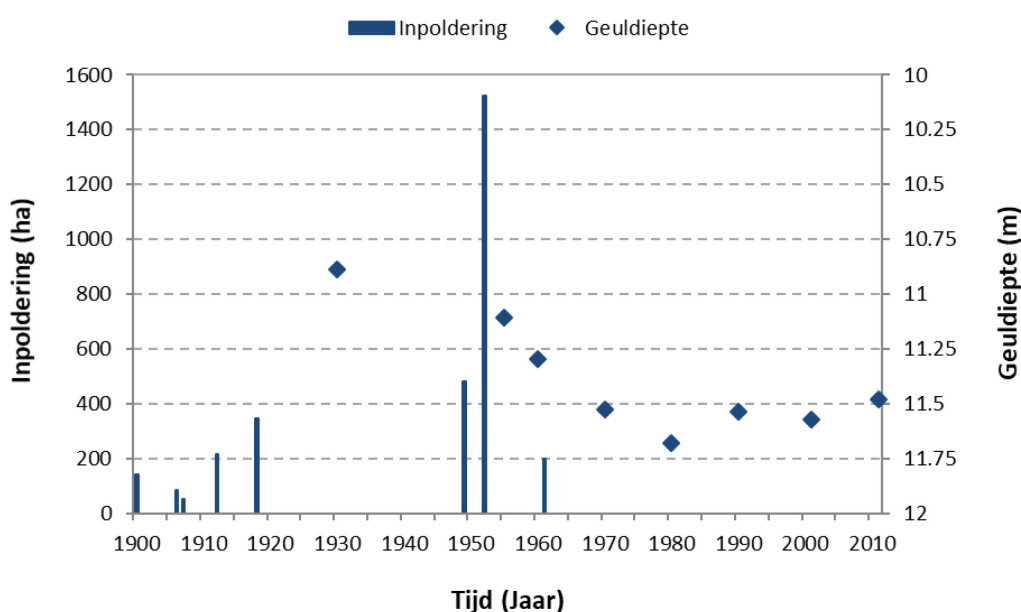
In de periode 1900-1969 vonden er in de Westerschelde hoofdzakelijk inpolderingen plaats. Dit leidt tot een belangrijke afname in het areaal slik tussen 1930 en 1960 (Figuur 13 en Figuur 14). De Zeeschelde wordt in deze periode gekenmerkt door inpolderingen en in mindere mate door rechttrekkingen. De rechttrekkingen resulteren in een verkorting van de rivierloop (Van Braeckel et al., 2012). Deze werden vooral uitgevoerd voor 1900. De algemene tendens in de periode 1900-1969 is er dus één van horizontale inperking waarbij er een afname is van waterbergingscapaciteit in zowel het subtidaal (rechttrekkingen) als in het intertidaal (inpolderingen en rechttrekkingen).

Vanaf 1970 tot recent zijn de belangrijkste ingrepen verruiming en zandwinning (bv. Van Braeckel et al., 2012). Er vonden drie grote verruiming plaats, de eerste (1970-1976), tweede (1997-1998) en derde verruiming (2008-2011), waarbij grote hoeveelheden sediment gebaggerd werden uit het geulsysteem van zowel de Westerschelde als Beneden-Zeeschelde. Tijdens de tweede en derde verruiming werd het gebaggerde sediment quasi volledig in het estuarium teruggestort. Dit in tegenstelling tot de eerste verruiming waarbij dit niet gebeurde. Algemeen wordt de periode 1970 tot recent dus gekenmerkt door een toename van de waterbergingscapaciteit in het subtidaal deel van het estuarium. Deze toename in waterbergingscapaciteit werd reeds geïllustreerd aan de hand van de toename in geuldiepte en geulvolume (§4.1 en 4.2), en de toename in areaal aan subtidaal habitats (§4.3).

### 5.1.2 De verschillende segmenten

Figuur 18 toont voor de periode 1900-2011 hoeveel ha land ingepolderd werd per jaar voor het segment Vlissingen-Hansweert<sup>1</sup>, en daarnaast ook de verandering in gemiddelde geuldiepte bij GLW. In de periode 1900-1920 werd een groot aantal gebieden ingepolderd in het segment. Een voorbeeld is de inpoldering van Braakman in 1918, waarbij een gebied van 344 ha werd ingepolderd. Tussen 1920 en 1940 vonden er geen inpolderingen plaats. Na 1940 zijn enkele grote inpolderingen vast te stellen, waarvan opnieuw de inpoldering van de Braakman polder (1525 ha) in 1952 de grootste is. Voor dit segment valt op dat er gedurende de inpolderingen ook een toename is van de gemiddelde geuldiepte. Deze toename in geuldiepte loopt door tot en met 1980 en daarna te stagneren.

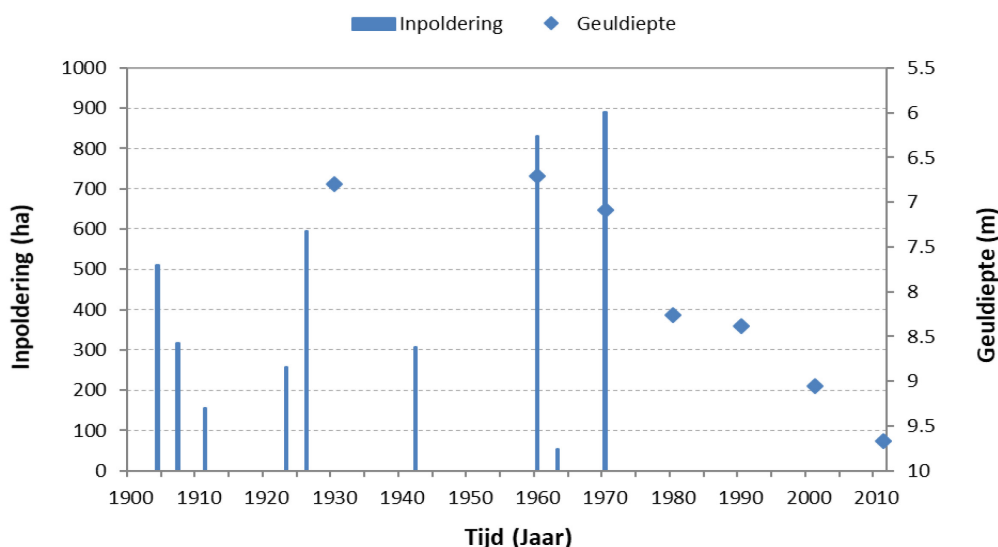
Figuur 18 – Inpoldering (ha) en verandering in gemiddelde geuldiepte (tov mGLW) voor de periode 1900-2011, segment Vlissingen-Hansweert.



Voor het segment Hansweert-Liefkenshoek (Figuur 19) vonden er in het eerste kwartaal van de 20<sup>ste</sup> eeuw verschillende inpolderingen plaats. De inpoldering van Saeftinghe (316 ha) is hiervan een voorbeeld. Tussen 1930 en 1960 vonden er dan weer nauwelijks inpolderingen plaats en is er bijna geen wijziging in gemiddelde geuldiepte. De twee grootste inpolderingen werden in 1960 en 1970 uitgevoerd in de omgeving van Lillo en Bath. Vanaf 1960 neemt de gemiddelde geuldiepte in dit segment sterk toe als gevolg van de uitgevoerde verruimingen.

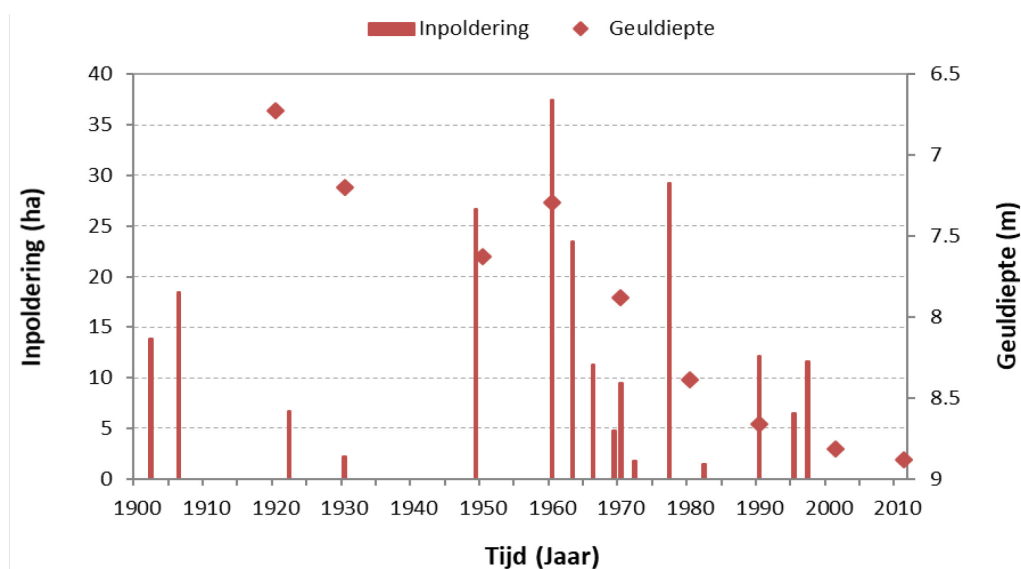
<sup>1</sup> Het ingepolderde areaal per segment is gebaseerd op de waardes vermeld in Jeuken et al. (2007) en Van Braeckel et al. (2012), en de ecotopenkaarten.

Figuur 19 – Inpoldering (ha) en verandering in gemiddelde geuldiepte (tov mGLW) voor de periode 1900-2011, segment Hansweert - Liefkenshoek.

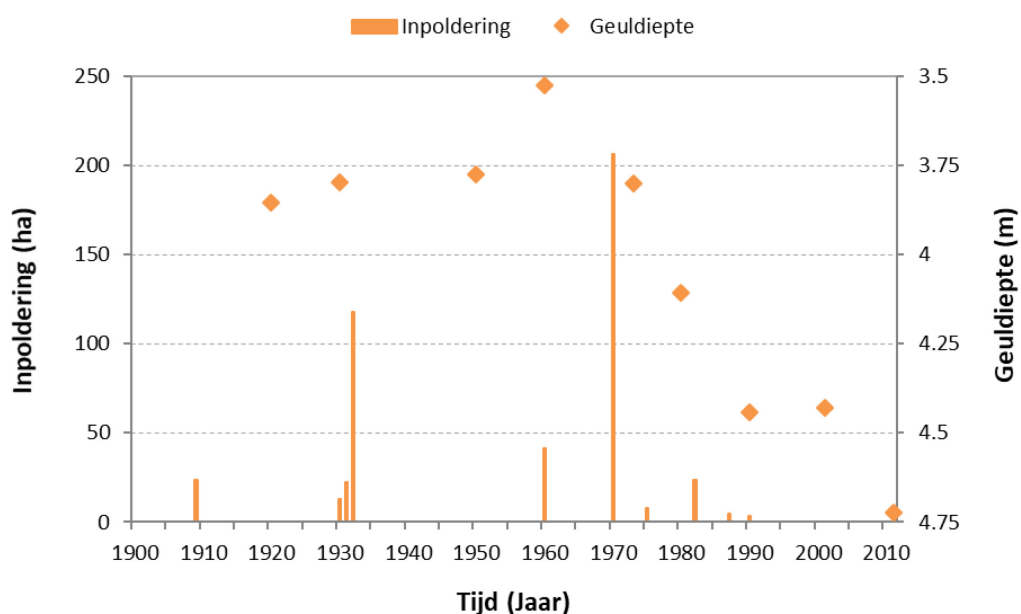


De grootte van de inpolderingen langsheen de Zeeschelde is aanzienlijk kleiner dan deze in de Westerschelde. Toch zijn ze relatief gezien zeker van belang (zie ook §4.3). Langsheen het segment Liefkenshoek-Schelle vonden frequent kleinere inpolderingen plaats (Figuur 20) en dit vooral sinds 1960. Vanaf 1960 wordt ook een sterke toename in gemiddelde geuldiepte waargenomen. Ook pré-1950 was er reeds een belangrijke toename in geuldiepte. Langsheen het segment Schelle-Dendermonde is het areaal aan inpolderingen beduidend groter (cf. Figuur 20 en Figuur 21). Inpoldering (inclusief verdwijnen van vloeisystemen) vond hoofdzakelijk plaats in de periode 1900-1970 en ging gepaard met het verondiepen van het geulsysteem (Figuur 21). Vanaf 1970 wordt ook dit segment gekenmerkt door een sterke toename in gemiddelde geuldiepte. Het segment Dendermonde-Melle tenslotte wordt gekenmerkt door verondieping in de periode pré-1970 (Figuur 22). Rond 1960 vinden een aantal belangrijke inpolderingen plaats met onder meer het verdwijnen van het vloeisysteem van de Kalkense meersen. Tussen 1960 en 1990 is er een sterke toename in gemiddelde geuldiepte, vanaf 1990 blijft de geuldiepte min of meer gelijk.

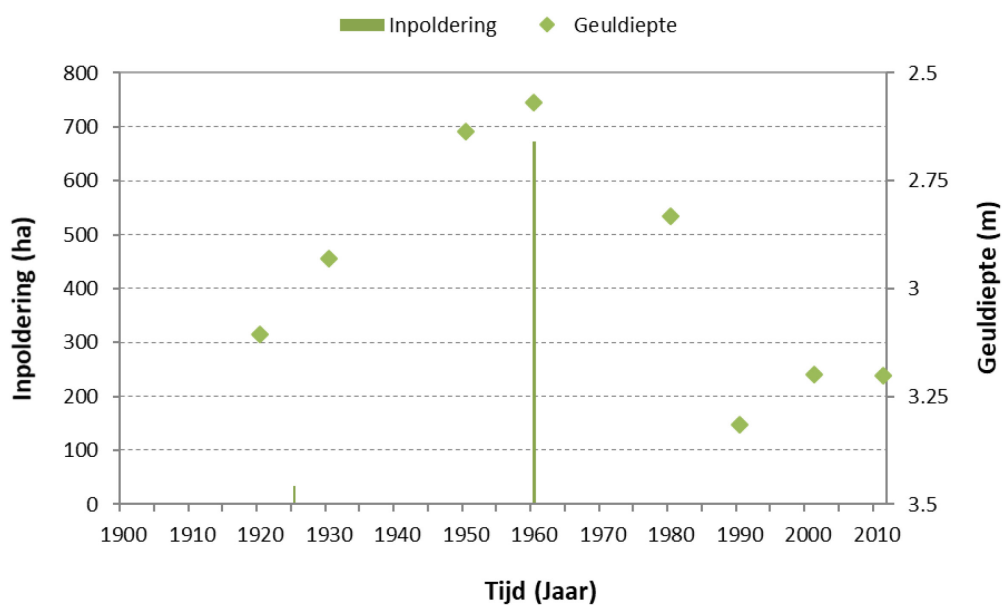
Figuur 20 – Inpoldering (ha) en verandering in gemiddelde geuldiepte (tov mGLW) voor de periode 1900-2011, segment Liefkenshoek - Schelle.



Figuur 21 – Inpoldering (ha) en verandering in gemiddelde geuldiepte (tov mGLW) voor de periode 1900-2011, segment Schelle - Dendermonde.



Figuur 22 – Inpoldering (ha) en verandering in gemiddelde geuldiepte (tov mGLW) voor de periode 1900-2011, segment Dendermonde - Melle



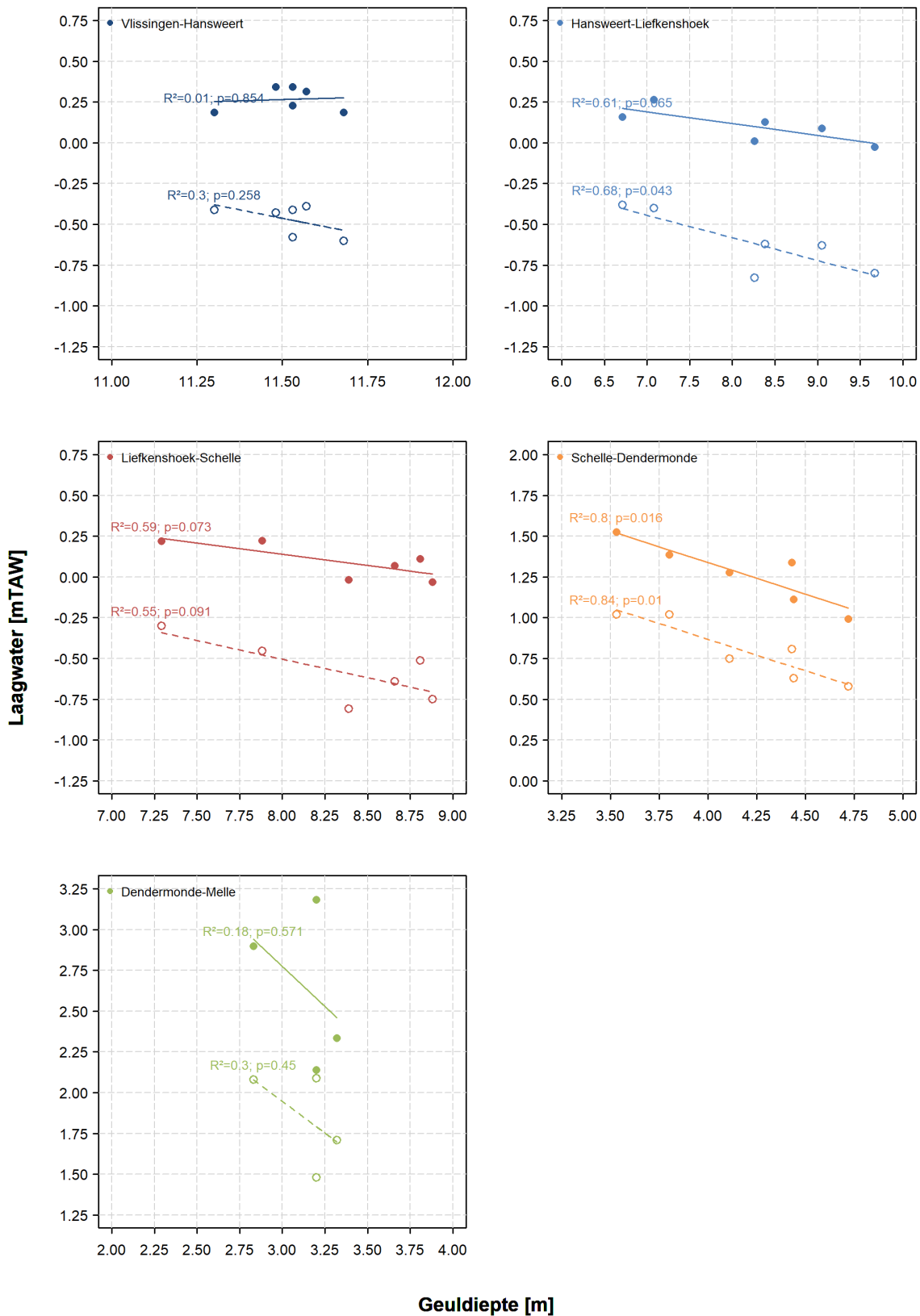
## 5.2 Effect van verruiming op getij

Het effect van verruiming wordt nagegaan door de toename in gemiddelde geuldiepte te linken aan de veranderingen in het getij. We beschouwen de periode 1970-recent omdat er in deze periode enkel verruimingswerkzaamheden hebben plaatsgevonden (met dus een toename in gemiddelde geuldiepte), en geen andere ingrepen zoals inpoldering. Het jaar 1960 wordt mee opgenomen in de analyse omdat het representatief is voor de situatie pré eerste verruiming.

### 5.2.1 Laagwater

Er wordt verwacht dat een toename in gemiddelde geuldiepte zal leiden tot een daling van de laagwaterstanden. In Vandenbruwaene et al. (2019) werd reeds een daling vastgesteld van de laagwaterstanden vanaf 1970 voor alle getijposten opwaarts Hansweert. Voor de segmenten Hansweert-Liefkenshoek en Schelle-Dendermonde is er een significant verband tussen de toename in gemiddelde geuldiepte en de daling van het (extreem) laagwater (Figuur 23). Deze segmenten worden beide gekenmerkt door een sterke toename in gemiddelde geuldiepte (Figuur 8). Voor de overige segmenten is er een zwakke tot matige correlatie maar is er geen significant verband. We kunnen dus concluderen dat een voldoende toename van de gemiddelde geuldiepte zal leiden tot een daling van het (extreem) laagwater.

Figuur 23 – Relatie tussen de geuldiepte en het laagwater voor de verschillende segmenten.  
Volle bolletjes en lijnen stellen de relatie voor met het gemiddeld laagwater,  
niet-gevulde bolletjes en streepjeslijn stellen de relatie voor met het extreem laagwater (1<sup>ste</sup> percentiel).





### 5.2.2 Celeriteit

De getijgolf gedraagt zich als een ondiep water golf waarbij de voortplantingsnelheid of celeriteit wordt gedefinieerd als:

$$c = \sqrt{gd}$$

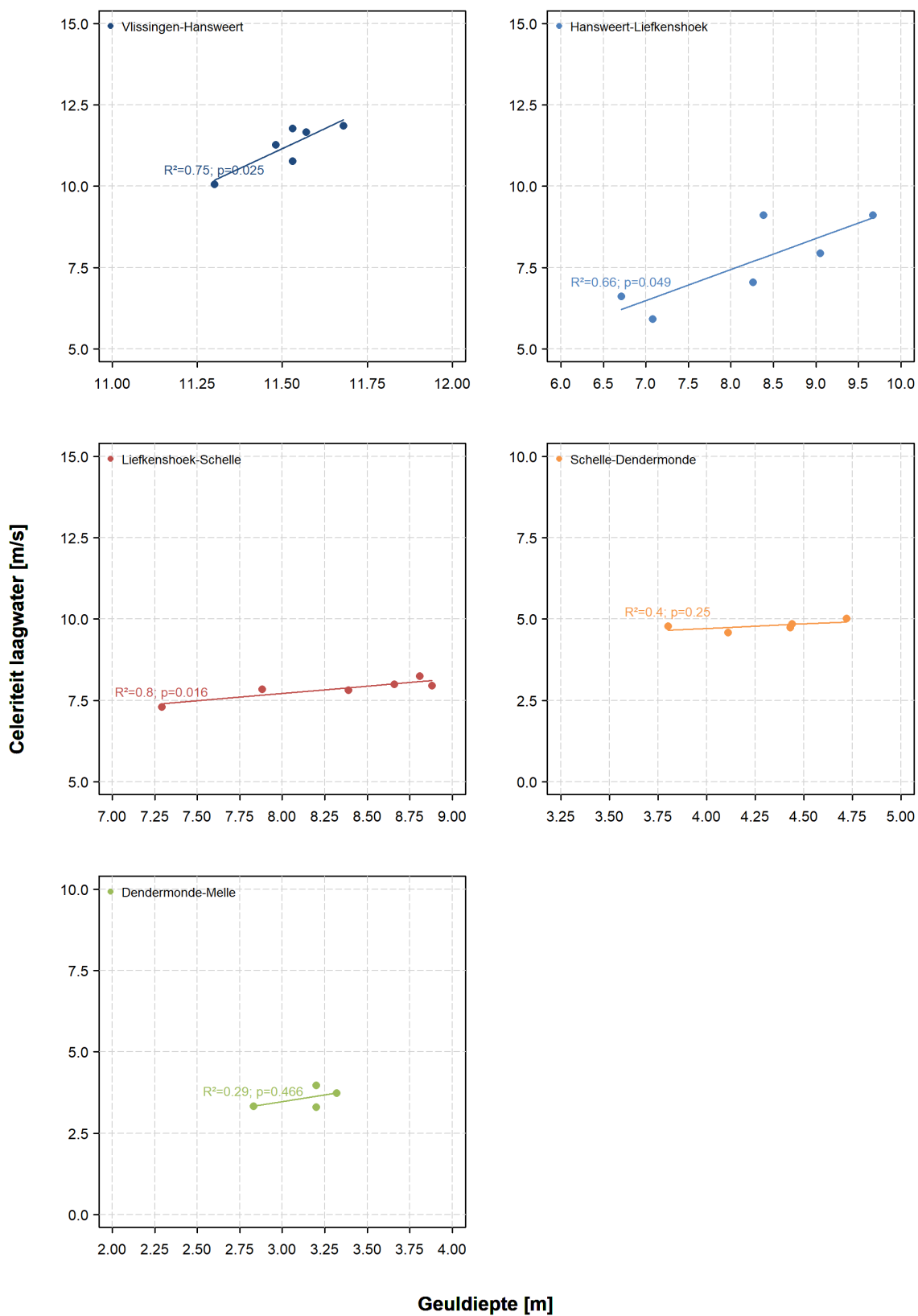
met:  $c$  = de celeriteit of voortplantingsnelheid [m/s]

$g$  = de gravitatieversnelling = 9.81 m/s<sup>2</sup>

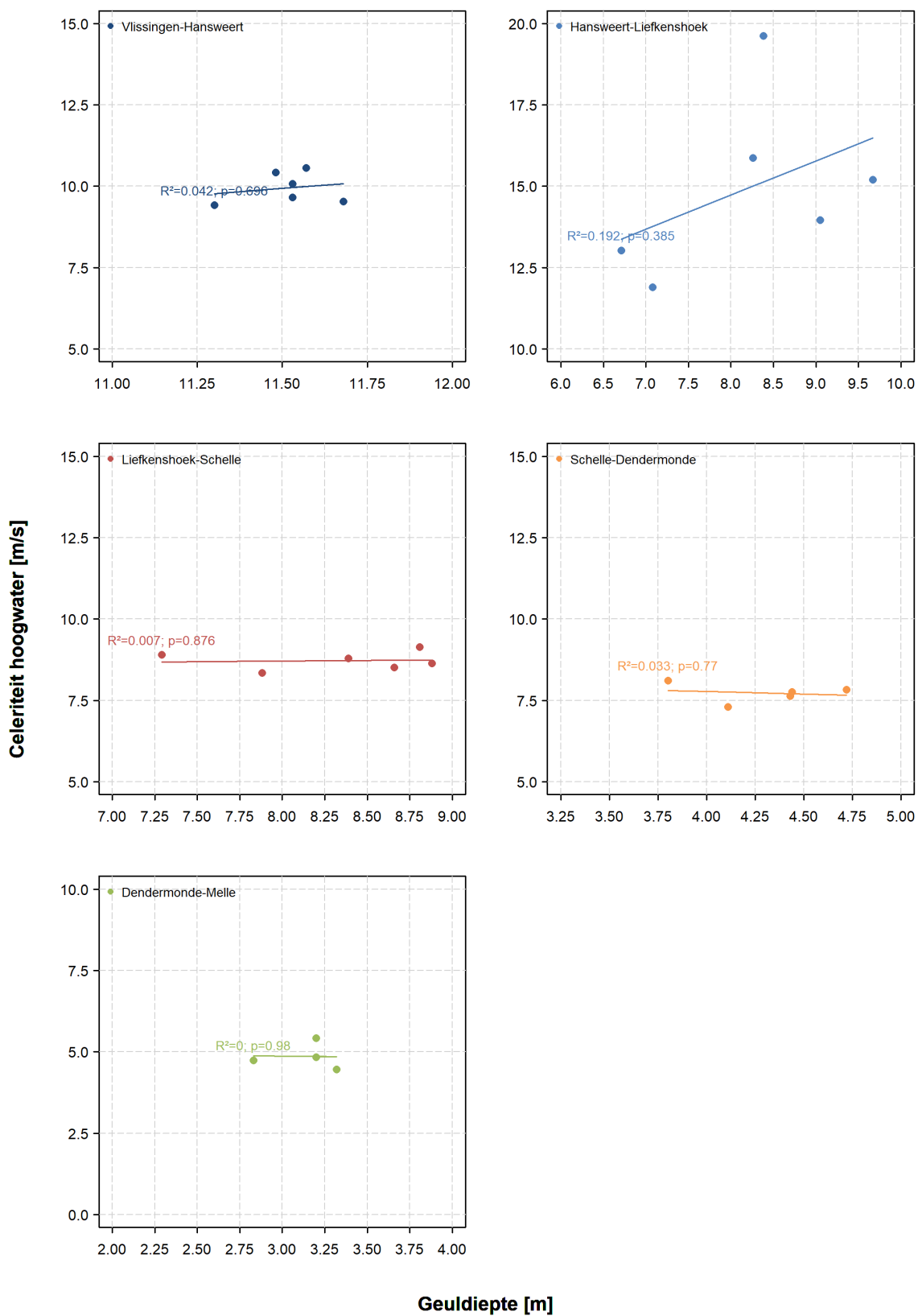
$d$  = de diepte [m]

Op basis van bovenstaande formule kunnen we veronderstellen dat een toename in gemiddelde geuldiepte vooral invloed zal hebben op de celeriteit laagwater. De geuldiepte zal immers bij laagwater relatief gezien sterker toenemen dan bij hoogwater. We observeren inderdaad een duidelijke correlatie tussen de geuldiepte en de celeriteit, waarbij een toename in geuldiepte leidt tot een toename van de celeriteit laagwater (Figuur 24). Deze relatie is significant voor de segmenten in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde, maar niet voor deze in de Boven-Zeeschelde. Voor de celeriteit hoogwater is er duidelijk geen verband met de gemiddelde geuldiepte (Figuur 25). Verruiming of een toename in geuldiepte zorgt er dus voor dat de laagwatergolf zich sneller voortplant doorheen het estuarium, maar heeft geen invloed op de celeriteit van de hoogwatergolf.

Figuur 24 – Relatie tussen de geuldiepte en de celeriteit laagwater voor de verschillende segmenten.



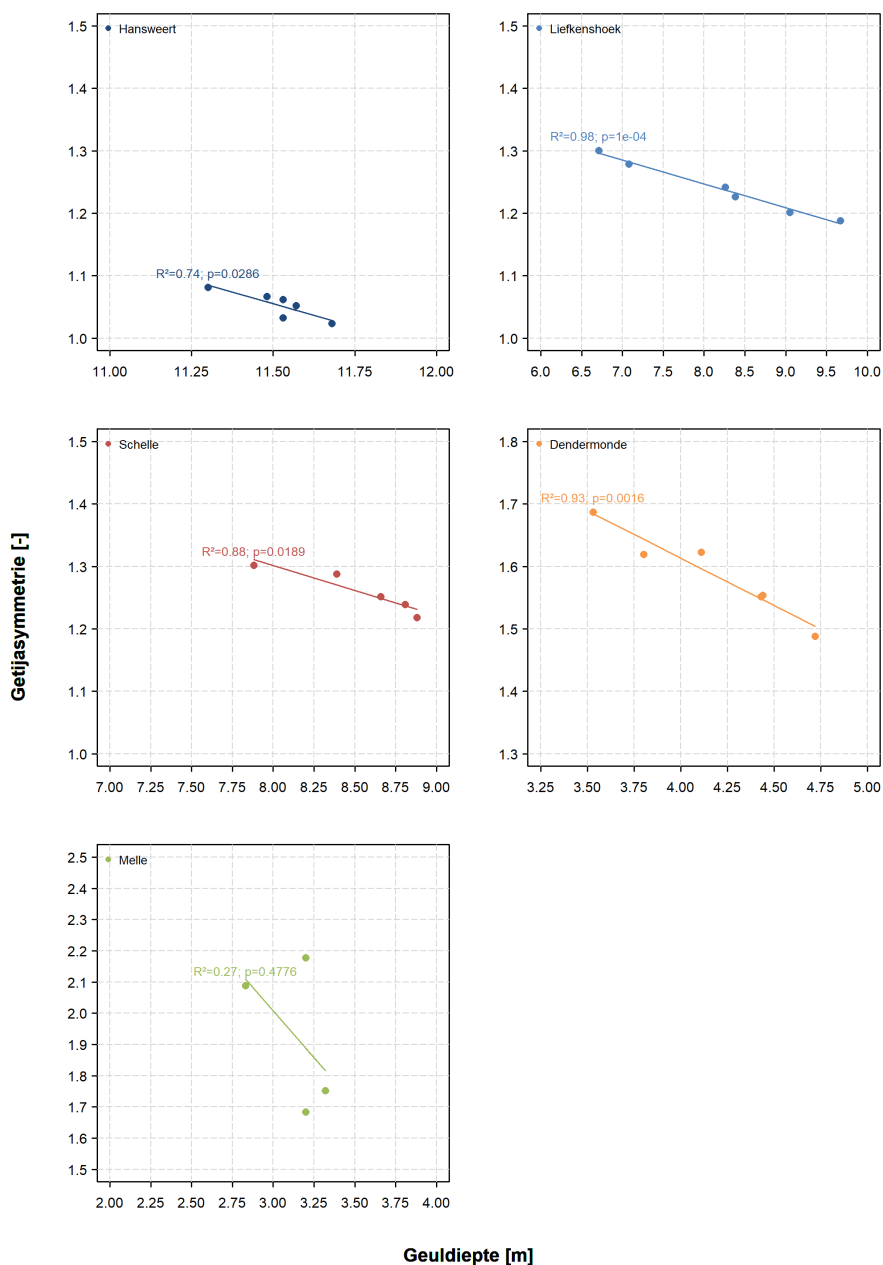
Figuur 25 – Relatie tussen de geuldiepte en de celeriteit hoogwater voor de verschillende segmenten.



### 5.2.3 Getij-asymmetrie

De analyse tussen geuldiepte en celeriteit werd uitgevoerd voor de segmenten afzonderlijk (§5.2.2). Voor de getij-asymmetrie wordt algemeen de relatie gelegd tussen de getij-asymmetrie aan de opwaartse rand van het segment en de geuldiepte van het segment. In werkelijkheid wordt de getij-asymmetrie bepaald door de som van alle geuldiepteveranderingen en celeriteitsveranderingen afwaarts de beschouwde tijpost. In §5.2.2 werd reeds aangetoond dat een toename in gemiddelde geuldiepte leidt tot een toename van de celeriteit laagwater, en geen invloed heeft op de celeriteit hoogwater. Bijgevolg komt de laagwatergolf relatief gezien sneller toe bij een getijpost dan de hoogwatergolf, wat leidt tot een afname van de getij-asymmetrie (dalingsduur wordt korter en stijgingsduur langer). Er is dus een duidelijke correlatie tussen de geuldiepte en getij-asymmetrie, waarbij verruiming (of een toename in geuldiepte) leidt tot een toename van de getij-asymmetrie (Figuur 26).

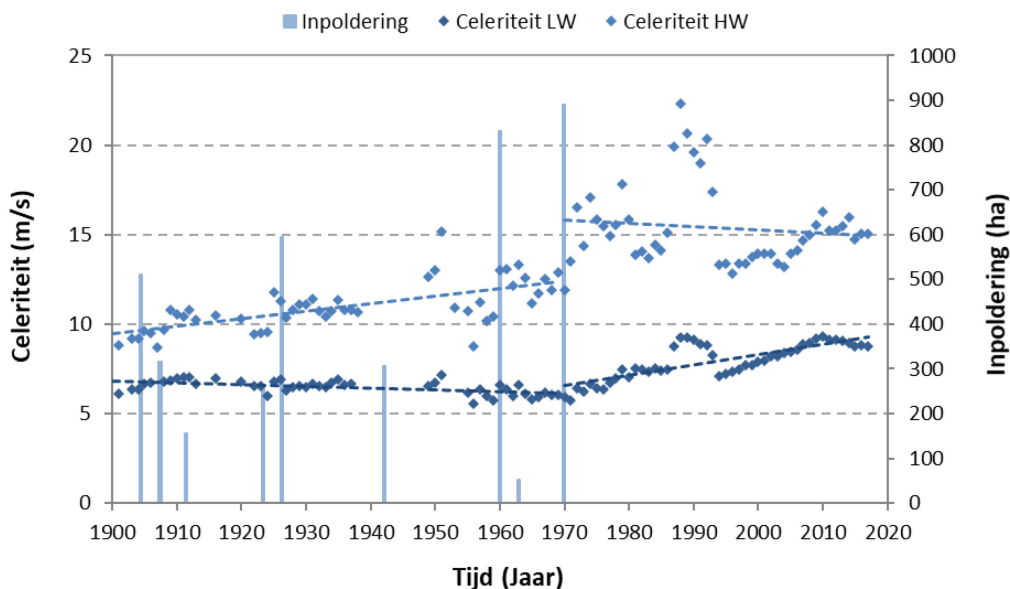
Figuur 26 – Relatie tussen de geuldiepte en de getijasymmetrie voor de verschillende segmenten.



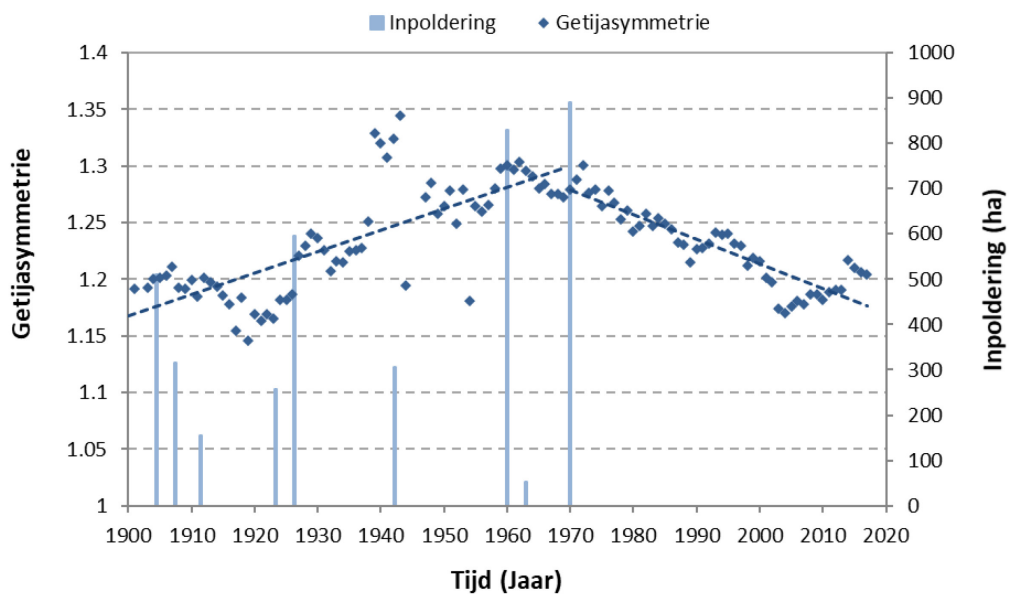
### 5.3 Effect inpoldering op getij

Inpoldering leidt tot een afname in areaal van de intertidale zone. Als hypothese kunnen we dan ook naar voor brengen dat belangrijke inpolderingen voornamelijk de hoogwater gerelateerde getijparameters beïnvloeden. Voor het segment Hansweert-Liefkenshoek observeren we gedurende de periode met inpolderingen een duidelijke toename in de celeriteit HW, terwijl de celeriteit LW een lichte daling kent (Figuur 27, periode 1900-1970). Dit zorgt er voor dat de hoogwatergolf relatief gezien sneller toekomt in Liefkenshoek, waardoor de stijgingsduur korter wordt (de dalingsduur langer) en de getij-asymmetrie toeneemt (Figuur 28). We kunnen dus veronderstellen dat inpoldering leidt tot een toename van de celeriteit HW en een afname van de getij-asymmetrie. Dit is echter moeilijk aan te tonen aan de hand van data-analyse. De getij-asymmetrie in Liefkenshoek wordt ook bepaald door de veranderingen in morfologie en celeriteit die plaatsvinden afwaarts Hansweert-Liefkenshoek (i.e. in het segment Vlissingen-Hansweert). Daar is er naast inpoldering ook een belangrijke toename in geuldiepte (Figuur 18, de periode pré-1970), wat ook zijn invloed heeft op de getij-asymmetrie te Liefkenshoek. Over het algemeen zijn er in het Schelde estuarium gedurende de periode van inpolderingen (pré-1970) ook belangrijke wijzigingen in geuldiepte (zie ook §4.1). Dit maakt het moeilijk om op basis van data-analyse na te gaan wat de invloed is van inpoldering op het getij. Om hieraan tegemoet te komen werden er historische modellen opgemaakt voor het Schelde estuarium (Deelrapport 3) en scenario's doorgerekend (Deelrapport 4). De scenario's implementeren onder meer de uitgevoerde inpolderingen in een 1930 topo-bathymetrie, en dit voor de verschillende segmenten. Op die manier kan het effect van inpoldering worden nagegaan op verschillende getijparameters zoals celeriteit, getij-asymmetrie en getijslag.

Figuur 27 – Inpoldering (ha) en verandering celeriteit van de laagwater- en hoogwatergolf voor het segment Hansweert-Liefkenshoek.



Figuur 28 – Inpoldering (ha) en verandering getij asymmetrie voor het segment Hansweert-Liefkenshoek.



## 6 Conclusies

De morfologische evolutie van het Schelde estuarium wordt in belangrijke mate bepaald door menselijke ingrepen. In de periode 1900-1970 gaat het voornamelijk over inpolderingen die resulteren in een belangrijke afname aan areaal intertidaal (bv. Figuur 13 en Figuur 14). Simultaan zijn er in deze periode ook belangrijke wijzigingen in geuldiepte/geulvolume. In het afwaartse deel van het estuarium (Vlissingen-Hansweert) gaat het over een toename in geuldiepte, in het opwaartse deel gaat het over verondieping (Figuur 8). Vanaf 1970 tot recent wordt het Schelde estuarium dan weer gedomineerd door verruiming. Dit leidt tot een belangrijke toename in geuldiepte over het volledige estuarium, waarbij de belangrijkste toename wordt waargenomen voor het segment Hansweert-Liefkenshoek (tot 30%, Figuur 8). Daarnaast is er in deze periode een duidelijke toename in het areaal subtidaal (§4.3).

*Verruiming* leidt tot een belangrijke toename in geuldiepte, wat zijn invloed heeft op de evolutie van het getij. Data-analyse toont aan dat er een daling is van de laagwaterstanden indien de geuldieptetoename voldoende groot is (Figuur 23). Dit is het geval voor de zone Hansweert-Dendermonde (vanaf 1960). Daarnaast zorgt geuldieptetoename voor een toename van de celeriteit laagwater (Figuur 24), wat op zijn beurt resulteert in een daling van de getij-asymmetrie (Figuur 26). De invloed van geuldieptetoename op de celeriteit laagwater wordt waargenomen voor de segmenten in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde, maar niet voor deze in Boven-Zeeschelde.

*Inpoldering* zorgt voor een afname aan areaal in de intertidale zone, en zal dus hoofdzakelijk een effect hebben op de hoogwater gerelateerde getijparameters. Zo suggereert data-analyse dat inpoldering leidt tot een toename van de celeriteit hoogwater, en dus een toename in getij-asymmetrie. De periode van inpoldering wordt echter ook gekenmerkt door belangrijke wijzigingen in geuldiepte waardoor de invloed op het getij het gecombineerde effect is van zowel inpoldering als geuldiepteverandering. Data-analyse is dan ook moeilijk bruikbaar indien verschillende morfologische wijzigingen simultaan hebben plaatsgevonden. Om hieraan tegemoet te komen worden binnen deze studie historische modellen opgemaakt (deelrapport 3) en scenario's doorgerekend (deelrapport 4). In de scenario's kunnen de verschillende morfologische ingrepen van elkaar worden gescheiden, om op die manier de respectievelijke invloed op het getij na te gaan.

## 7 Referenties

**Depreiter, D.; Cleveringa, J.; van der Laan, T.; Maris, T.; Ysebaert, T.; Wijnhoven, S.** (2014). T2009-rapport Schelde-estuarium. IMDC/Arcadis/Universiteit Antwerpen/Imares/NIOZ: [s.l.]. 522 + 2 bijlagen pp.

**Jeuken, C.; Hordijk, D.; Ides, S.; Kuijper, C.; Peeters, P.; de Sonnevile, B.; Vanlede, J.** (2007). Koploperproject LTV-O&M – Thema Veiligheid – Deelproject 1: Inventarisatie historische ontwikkeling van de hoogwaterstanden in het Schelde estuarium. Version 1.1. Delft Hydraulics, Delft i.s.m. het Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen. 82 + annex pp.

**Kuijper, K.; Lescinski, J.** (2013). Data-analysis water levels ebb and flood volumes and bathymetry Western Scheldt. International Marine & Dredging Consultants/Deltares/Svašek Hydraulics BV/ARCADIS Nederland BV: Antwerp. 190 pp.

**Mol, G.** (1995). De Westerschelde: een resultaat van menselijke ingrepen. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee Middelburg. Project OOSTWEST, Rapport RIKZ-95.030, 102pp.

**Nnafie, A.; Van Oyen, T.; De Maerschallck, B.; van der Vegt, M.; van der Wegen, M.** (2018). Estuarine channel evolution in response to closure of secondary basins: An observational and morphodynamic modeling study of the Western Scheldt Estuary. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 123. <https://doi.org/10.1002/2017JF004364>.

**Pauwaert, Z.; Meire, D.; Plancke, Y.; Vandenbruwaene, W.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016). Historische evolutie getij en morfologie schelde estuarium: Evolutie van getij over de periode 1888-2013. Versie 1.0. WL Rapporten, 14\_147. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

**Plancke, Y.; Maximova, T.; Ides, S.; Peeters, P.; Taverniers, E.; Mostaert, F.** (2012). Werkgroep O&M - Projectgroep Veiligheid: Sub project 1: Data analysis and hypothesis - Lower Sea Scheldt. Version 4.0. WL Rapporten, 756/05. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

**Temmerman, S.; Govers, G.; Meire, P.; Wartel, S.** (2003). Modelling long-term tidal marsh growth under changing tidal conditions and suspended sediment concentrations, Scheldt estuary, Belgium. *Marine Geology* 193, 151-169.

**Vandenbruwaene, W.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2013). The long-term hydro-geomorphological evolution of the Schelde estuary: A comparison between 1951-1960 and 2000-2010. Version 2\_0. WL Rapporten, 00\_158. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

**Vandenbruwaene, W.; Meire, D.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Vanlierde, E.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016). Integraal Plan Boven-Zeeschelde: Deelrapport 2 – Getijrapport Boven-Zeeschelde, Rupel en Durme. Versie 6.0. WL Rapporten, 13\_131. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

**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.



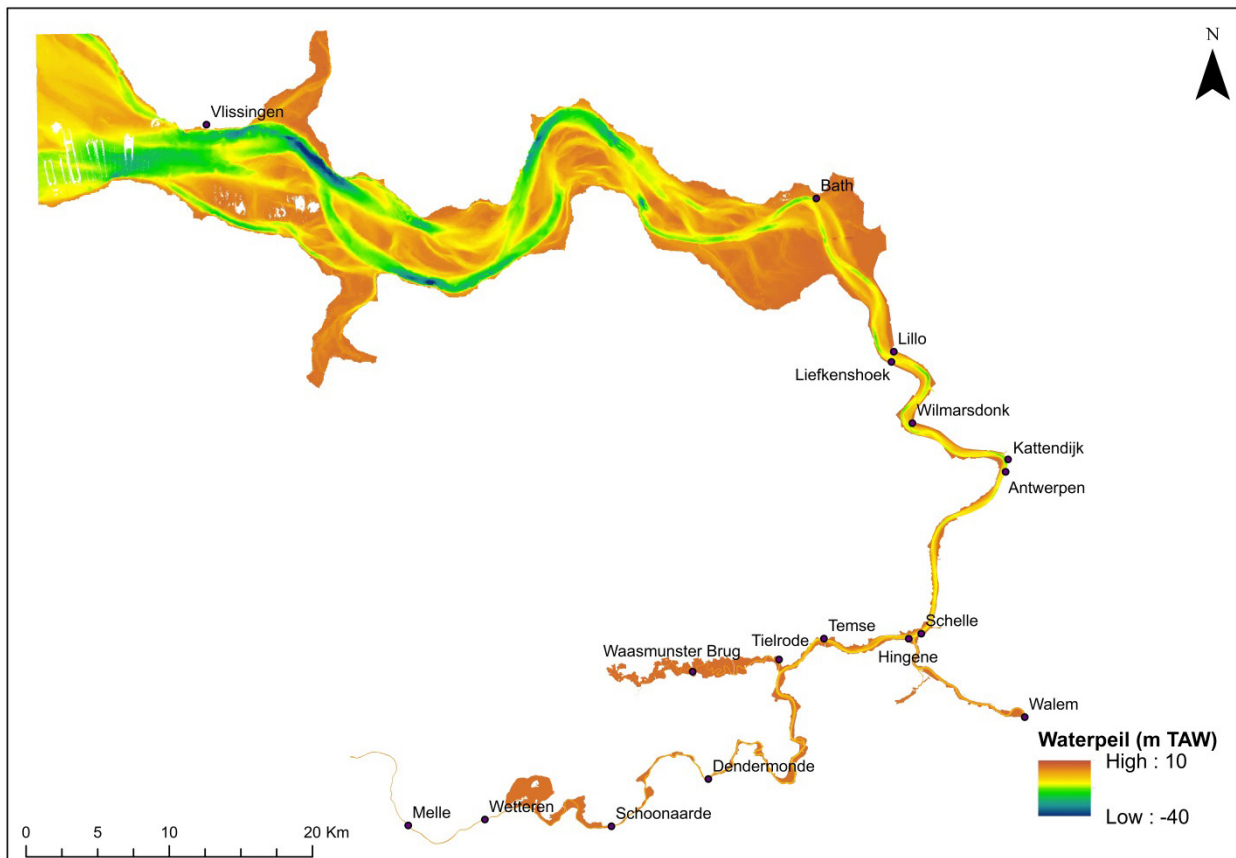
**Van Braeckel, A.; Coen, L.; Peeters, P.; Plancke, Y.; Mikkelsen, J.; Van den Bergh, E.** (2012). Historische evolutie van Zeescheldehabitats. Kwantitatieve en kwalitatieve analyse van invloedsfactoren. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2012 (59). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel i.s.m. het Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen.

**Van Braeckel, A.** (2016). Ondersteuning historische hoogtemodellen Zeeschelde (opdracht WL binnen Agenda van de Toekomst). INBO.E.2016.25.

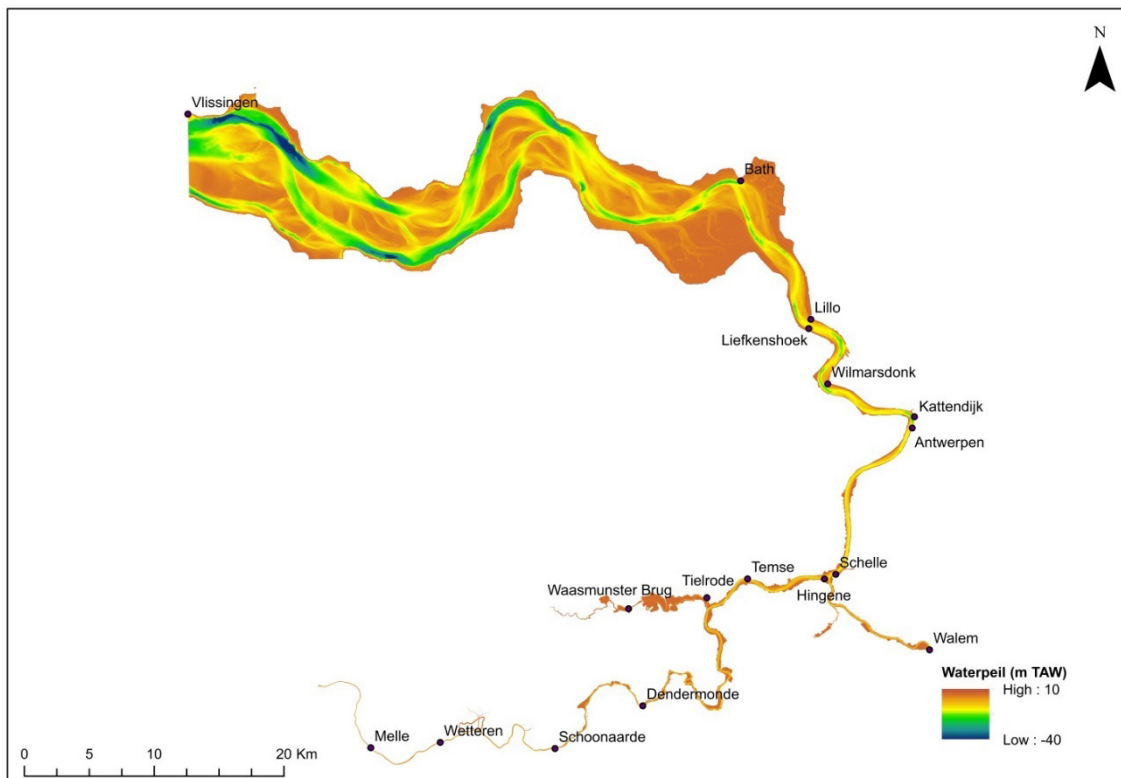
**Wang, Z.B.** (2013). Data-analyse waterstanden Westerschelde. International Marine & Dredging Consultants/Deltares/Svašek Hydraulics BV/ARCADIS Nederland BV: Antwerpen. 23 pp.

## Bijlage Topo-bathymetrieën

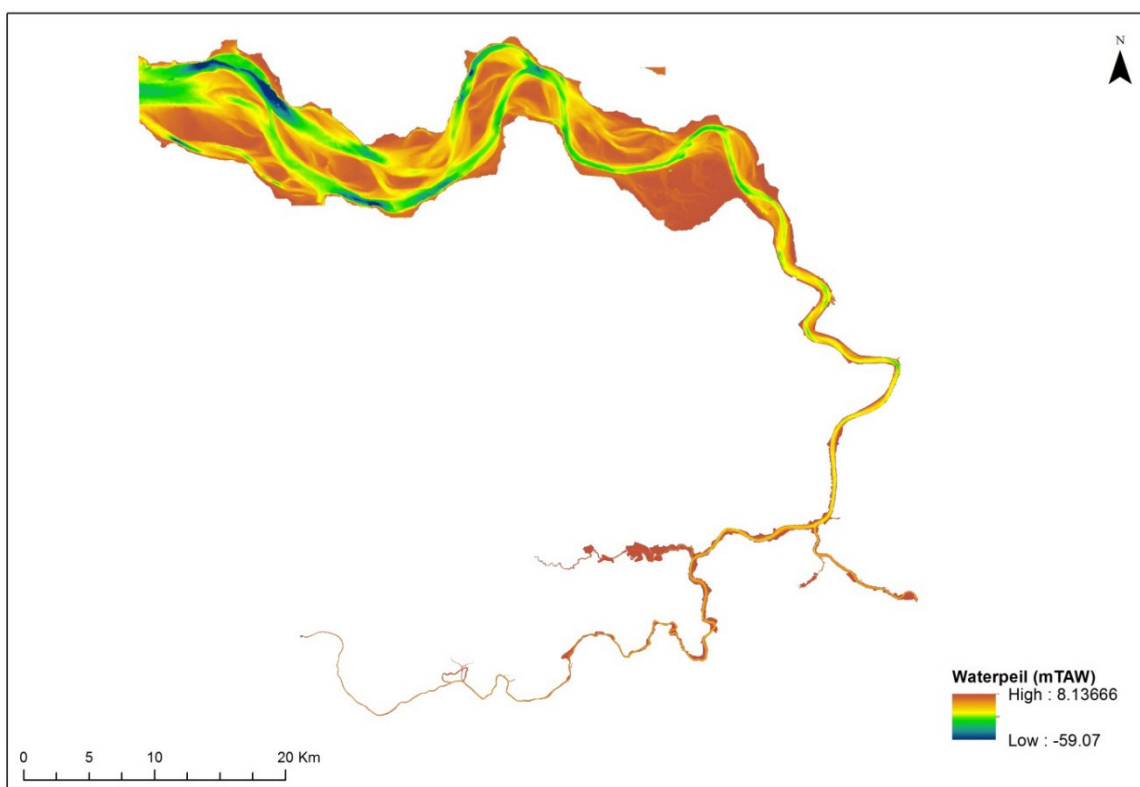
Figuur 29 – Topo-bathymetrie van het Schelde estuarium representatief voor het jaar 1930.



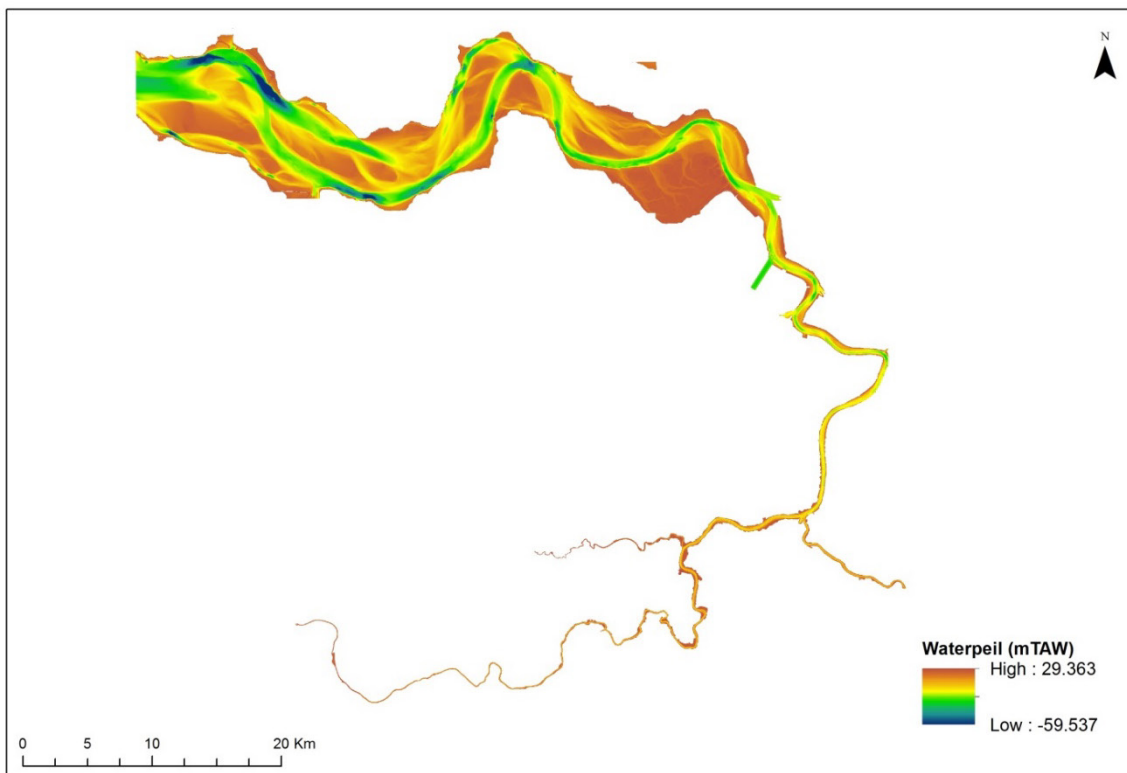
Figuur 30 – Topo-bathymetrie van het Schelde estuarium representatief voor het jaar 1960.



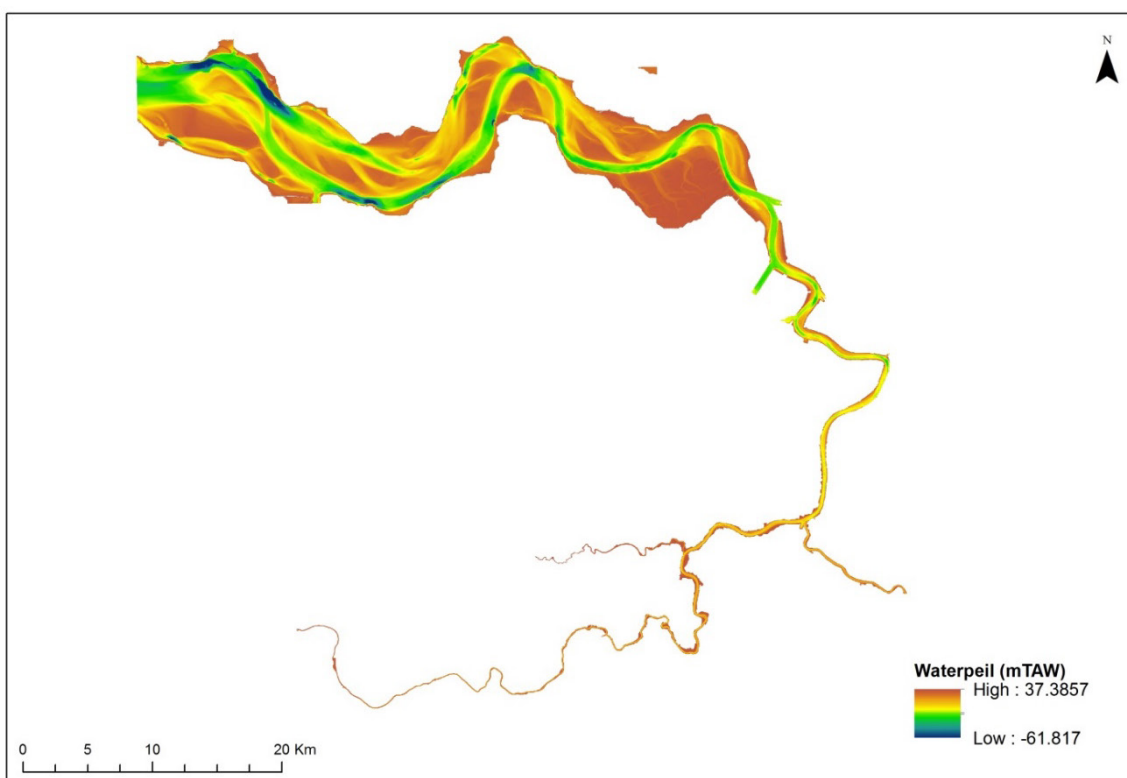
Figuur 31 – Topo-bathymetrie van het Schelde estuarium representatief voor het jaar 1980.



Figuur 32 – Topo-bathymetrie van het Schelde estuarium representatief voor het jaar 2001.



Figuur 33 – Topo-bathymetrie van het Schelde estuarium representatief voor het jaar 2011.



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](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)

[www.waterbouwkundiglaboratorium.be](http://www.waterbouwkundiglaboratorium.be)