



Vlaanderen
is wetenschap



14_147_1
WL rapporten

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

Deelrapport 1
Evolutie van het getij over de periode 1888-2017

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

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

Deelrapport 1 – Evolutie van het getij over de periode 1888-2017

Vandenbruwaene, W.; Pauwaert, Z.; Meire, D.; Plancke, Y.; Deschamps, M.; 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 2019
D/2019/3241/230

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

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.

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

Documentidentificatie

Oprachtgever:	Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie (VNSC)	Ref.:	WL2019R14_147_1
Keywords (3-5):	Getij, lange termijn evolutie, Schelde estuarium		
Tekst (p.):	38	Bijlagen (p.):	5
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vandenbruwaene, W.; Pauwaert, Z.
------------	----------------------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Meire, D.; Plancke, Y.	Getekend door: Dieter Meire (Signature) Getekend op: 2020-01-29 14:00:58 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Dieter Meire</i> Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2020-01-29 08:54:46 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>
Projectleider:	Vandenbruwaene, W.	Getekend door: Wouter Vandenbruwaene (€) Getekend op: 2020-01-13 12:11:26 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Wouter Vandenbruwaene</i>

Goedkeuring

Verantwoordelijke (Steunpunt) HIC:	Deschamps, M.	Getekend door: Maarten Deschamps (Signa) Getekend op: 2020-01-07 11:24:21 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Maarten Deschamps</i>
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2020-01-07 11:01:30 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>



Abstract

Het beeld van de historische evolutie getij Zeeschelde was tot hiertoe onvolledig door het beperkt digitaal beschikbaar zijn van historische getijgegevens. Binnen deze studie werden dagelijkse hoog- en laagwaterstanden gedigitaliseerd voor 10 getijposten in de Zeeschelde, en dit vanaf 1888. Deze data werden gebruikt om jaargemiddelde getijkenmerken zoals waterstand, getijvertraging en getij-asymmetrie af te leiden. Daarnaast werden jaargemiddelde waarden berekend voor 4 getijposten in de Westerschelde, om op die manier de langjarige evolutie van het volledige Schelde estuarium in beeld te brengen. Lange termijn trends in getijkenmerken werden berekend voor twee verschillende deelperiodes, elk met hun eigen morfologische evolutie (inpoldering versus verruiming). In de periode 1888-1969 (voornamelijk gekenmerkt door inpoldering) stijgt het jaargemiddeld hoogwater overal in het estuarium (0.3-1.1 cm/jaar), waarbij de extreme hoogwaters sterker stijgen in het meest opwaartse deel. Het jaargemiddeld laagwater stijgt eveneens in deze periode, maar in hoofdzaak in de zone Vlissingen-Lillo en in beperktere mate (0.1-0.3 cm/jaar). Voor de tijdsgerelateerde parameters is de getijvertraging HW in de zone Vlissingen-Antwerpen sterker afgenomen dan de getijvertraging LW. Dit leidt tot een toename van de getij-asymmetrie in een groot deel van de Beneden-Zeeschelde. In de periode 1970-2017 (gekenmerkt door verruiming) stijgt het jaargemiddeld hoogwater met 0.3-1.4 cm/jaar, waarbij de stijging toeneemt in opwaartse richting. Het jaargemiddeld laagwater daarentegen daalt opwaarts Hansweert, waarbij de daling groter wordt in opwaartse richting. Tenslotte neemt opwaarts Hansweert de getijvertraging LW sterker af dan de getijvertraging HW, wat resulteert in een afname van de getij-asymmetrie over bijna het volledige estuarium.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Methodiek	3
2.1 Metingen	3
2.1.1 Westerschelde.....	3
2.1.2 Zeeschelde.....	3
2.2 Digitalisatie en validatie van historische hoog- en laagwaterstanden.....	3
2.3 Ontbrekende data	5
2.4 Berekening jaargemiddelde getijparameters.....	6
2.5 Lange termijn trends	6
2.5.1 De periode pré- en post-1970	6
2.5.2 Waterstand.....	8
2.5.3 Getijvertraging en getij-asymmetrie	10
3 Jaargemiddelde getijparameters.....	11
3.1 Hoogwaterstanden.....	11
3.2 Laagwaterstanden	16
3.3 Getijslag.....	21
3.4 Getijvertraging ten opzichte van Vlissingen.....	22
3.5 Stijgings- en dalingsduur.....	24
4 Analyse	27
4.1 Waterstanden.....	27
4.1.1 Langjarige waterstandstrend voor gemiddelde tijcondities.....	27
4.1.2 Analyse extremen	28
4.2 Getijvertraging.....	32
4.3 Getij-asymmetrie.....	33
5 Conclusies.....	35
5.1 De periode 1888-1969.....	35
5.2 De periode 1970-2017.....	35
5.3 Relatie getij en morfologie	36
6 Referenties	37
Bijlage 1 – Dagelijkse hoog- en laagwaterstanden.....	B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht van het aantal geanalyseerde jaren per getijpost.....	4
Tabel 2 – Overzicht van menselijke ingrepen in de periode 1888-2017 (niet exhaustief), langsheen de Zeeschelde, Durme en Rupel.....	7
Tabel 3 – R ² - en p-waardes van de lineaire regressiemodellen opgesteld voor de analyse hoogwater.....	31
Tabel 4 – R ² - en p-waardes van de lineaire regressiemodellen opgesteld voor de analyse laagwater	31
Tabel 5 – Aantal hoogwaters per jaar met kwaliteitslabel goed.....	B1
Tabel 6 – Aantal laagwaters per jaar met kwaliteitslabel goed.	B3

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Ligging van de getijposten waarvoor de jaargemiddelde getijkarakteristieken werden berekend. 2	
Figuur 2 – (links) Voorbeeld van getabelleerde hoog- en laagwaters voor de post Hingene, februari 1907. (rechts) Tijkromme voor Antwerpen, 2000.....	4
Figuur 3 – De continue waterstandsregistratie omgezet naar grafiekvorm, hier Wetteren januari 1898.	5
Figuur 4 – De berekende trend voor het jaargemiddeld hoogwater te Vlissingen (rode lijn), met weergave van de jaargemiddelde hoogwaters (bolletjes) en extreme hoogwaters (p99, kruisjes).....	9
Figuur 5 – Evolutie van het jaargemiddeld hoogwater voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).....	12
Figuur 6 – Evolutie van het jaargemiddeld hoogwater bij springtij voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).....	13
Figuur 7 – Evolutie van het jaargemiddeld hoogwater bij doodtij voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).....	14
Figuur 8 – Evolutie van het jaargemiddeld extreem hoogwater (99 ^{ste} percentiel) voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).....	15
Figuur 9 – Evolutie van het jaargemiddeld laagwater voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).....	17
Figuur 10 – Evolutie van het jaargemiddeld laagwater bij springtij voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).....	18
Figuur 11 – Evolutie van het jaargemiddeld laagwater bij doodtij voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).....	19
Figuur 12 – Evolutie van het jaargemiddeld extreem laagwater (1 ^{ste} percentiel) voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).....	20
Figuur 13 – Evolutie van de getijslag bij gemiddelde tijcondities voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).....	21
Figuur 14 – Evolutie van de getijvertraging hoogwater ten opzichte van Vlissingen voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).....	22
Figuur 15 – Evolutie van de getijvertraging laagwater ten opzichte van Vlissingen voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).....	23
Figuur 16 – Evolutie van de stijgingsduur voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).	24
Figuur 17 – Evolutie van de dalingsduur voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).	25
Figuur 18 – Evolutie van de getij-asymmetrie voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).	26
Figuur 19 – Lineaire component λ van de langjarige evolutie in hoogwaterstand onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes.....	27
Figuur 20 – Lineaire component λ van de langjarige evolutie in laagwaterstand onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes.....	28

Figuur 21 – Analyse extreme waarden hoogwater voor de deelperiodes 1888-1969 en 1970-recent.	29
Figuur 22 – Analyse extreme waarden laagwater voor de deelperiodes 1888-1969 en 1970-recent.....	30
Figuur 23 – Trend getijvertraging HW onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes.....	32
Figuur 24 – Trend getijvertraging LW onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes.....	33
Figuur 25 – Conceptuele voorstelling van de invloed van relatieve wijzigingen in getijvertraging HW en LW op de stijgingsduur en dalingsduur	34
Figuur 26 – Trend getij-asymmetrie onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes.....	34

1 Inleiding

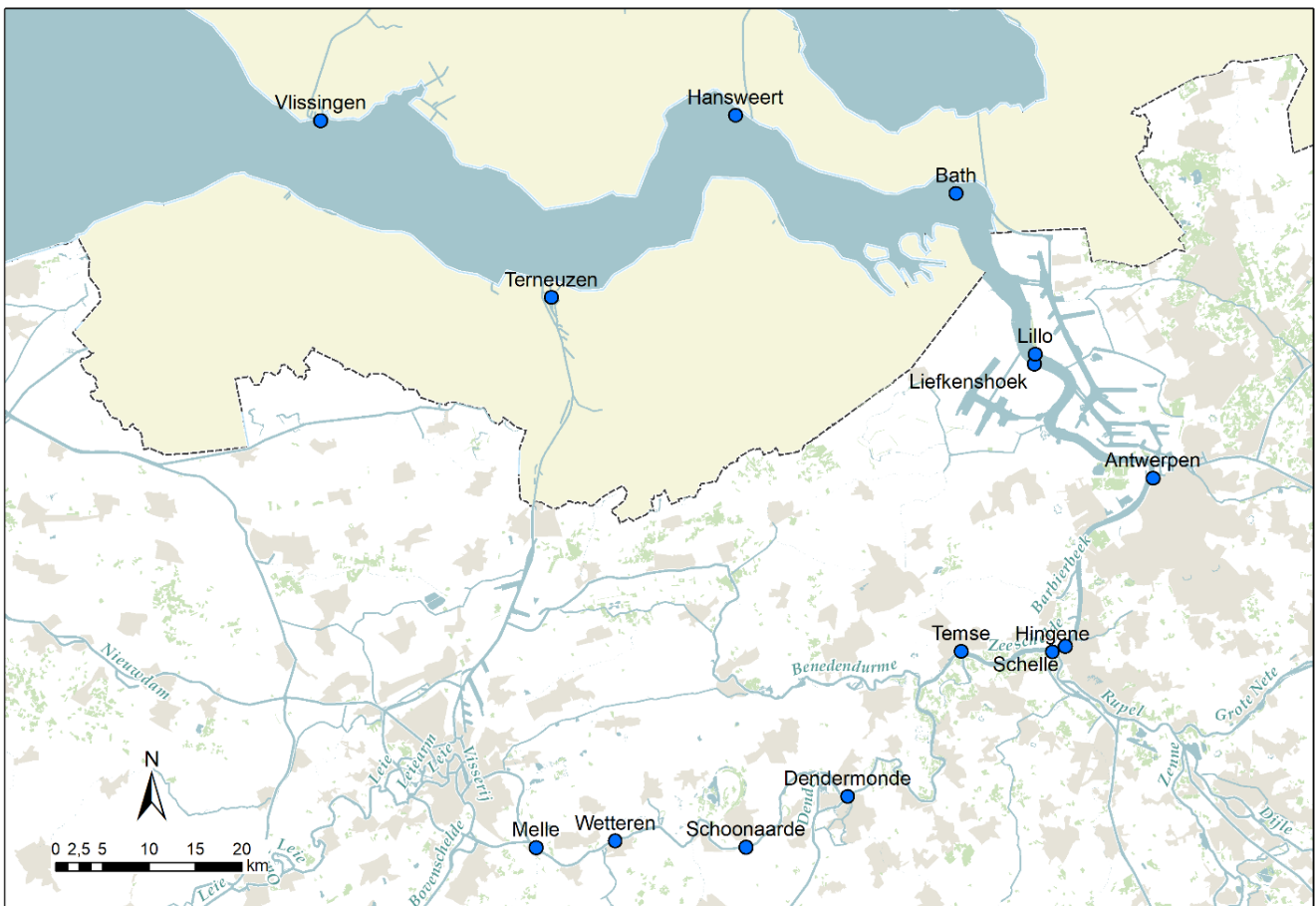
Het effect van morfologische wijzigingen op het getijregime in het Schelde estuarium is vanuit beheerdersoogpunt van cruciaal belang. Menselijke ingrepen (e.g. inpoldering, rechttrekkingen, sedimentonttrekkingen, verruiming,...) veranderen direct of indirect de morfologie van het estuarium en leiden tot een belangrijke wijziging in getijkarakteristieken, wat zijn implicaties heeft voor de verschillende estuariene functies. Sowieso is er een directe relatie met de veiligheid tegen overstromingen langsheen het estuarium, maar ook de toegankelijkheid en de natuurlijkheid worden hierdoor beïnvloed.

Eerdere studies onderzochten reeds de historische evolutie van het getij en legden al dan niet de link met morfologische wijzigingen in het estuarium (Barneveld et al., 2018; Depreiter et al., 2014; Kuijper, 2013a; Kuijper, 2013b; Levy et al., 2014; Plancke et al., 2012; Vandenbruwaene et al., 2016; Wang, 2013). Deze studies behandelen al dan niet het volledige Schelde estuarium. In het geval het volledige Schelde estuarium werd beschouwd, werden een aantal belangrijke getijkarakteristieken (bv., stijgingsduur, dalingsduur, percentielwaardes hoogwater) niet behandeld, omwille van het niet (volledig) digitaal beschikbaar zijn van dagelijkse hoog- en laagwaterstanden voor de getijposten in de Zeeschelde. De verhouding van stijgingsduur en dalingsduur bijvoorbeeld bepaalt de getij-asymmetrie langsheen het estuarium wat een belangrijke parameter is in het onderzoek naar het risico op regime shift. Percentielwaardes van hoogwaters zijn dan weer belangrijk voor de veiligheid langsheen het estuarium. Eerder onderzoek rond de wijziging van het gedrag van hoogwater gebeurde noodgedwongen op basis van jaargemiddelde waardes. Voor veiligheid is echter vooral de *staart van de verdeling* van belang, zijnde de hoogwaters die slechts zelden worden overschreden.

De digitalisatie van de historische hoog- en laagwaterstanden, werd in het kader van “Integraal plan Boven-Zeeschelde – deelrapport 2” (Vandenbruwaene et al., 2016) reeds uitgevoerd voor de getijposten in de Boven-Zeeschelde over de periode 1930-1980. Hierbij werden jaargemiddelde getijparameters berekend op basis van dagelijkse hoog- en laagwaterstanden gebruik makende van scripting (R). Voor dit rapport werd de dataset nog uitgebreid met gedigitaliseerde gegevens vanaf 1888 en dit zowel voor getijposten in de Beneden-Zeeschelde, als in de Boven-Zeeschelde.

Voorliggend rapport bespreekt de jaargemiddelde getijkarakteristieken voor 14 locaties (zie Figuur 1) langsheen de Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde over de periode 1888-2017 (Hoofdstuk 3). In hoofdstuk 4 wordt dieper ingegaan op trendwijzigingen in het getij, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen de periode 1888-1969 (gedomineerd door inpolderingen), en de periode 1970-2017 (gedomineerd door verruiming). Er worden specifieke analyses uitgevoerd op de waterstanden, getijvertraging en getij-asymmetrie. De belangrijkste bevindingen worden samengevat in hoofdstuk 5.

Figuur 1 – Ligging van de getijposten waarvoor de jaargemiddelde getijkarakteristieken werden berekend. De koppels Lillo/Liefkenshoek en Hingene/Schelle worden respectievelijk als éénzelfde locatie beschouwd (zie §2.3).



2 Methodiek

2.1 Metingen

2.1.1 Westerschelde

De getijposten in de Westerschelde worden beheerd door Rijkswaterstaat. Voor deze studie werden de dagelijkse hoog- en laagwaterstanden geanalyseerd voor de locaties Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath. Voor meer informatie omtrent de Rijkswaterstaatdata over de periode 1888-2017 wordt verwezen naar Kuijper (2013b).

2.1.2 Zeeschelde

De getijposten in de Zeeschelde worden beheerd door het Waterbouwkundig Laboratorium. Gedurende de beschouwde tijdsperiode (1888-2017) werden een aantal veranderingen in meet- en validatiemethodiek doorgevoerd.

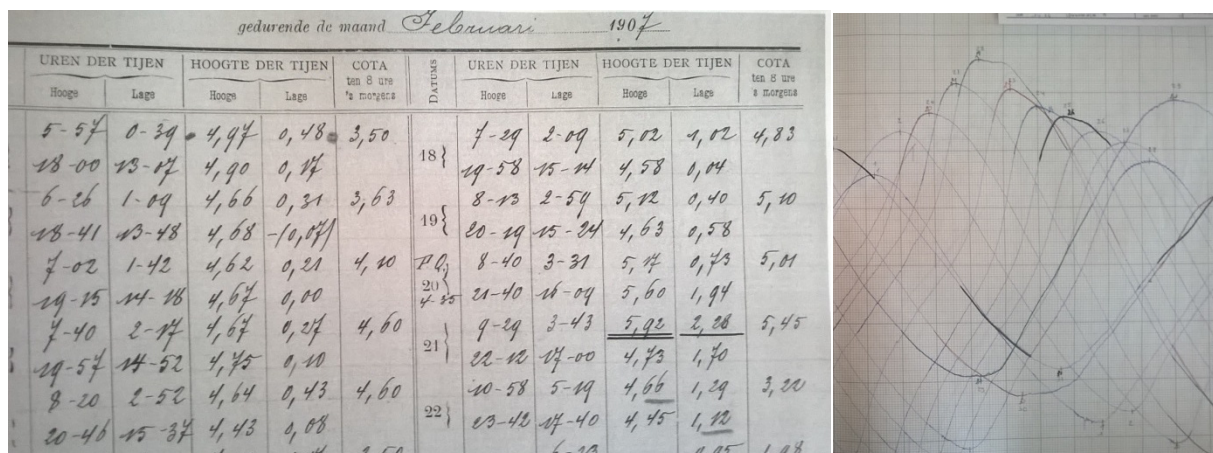
Over de periode 1888-2004 werden de waterstanden analoog bemeten gebruik makende van mechanische/pneumatische toestellen. De waterstanden werden continu geregistreerd op millimeterpapier, wat de basis vormde om de dagelijkse hoog- en laagwaters handmatig te digitaliseren (zie onder meer Vanlierde et al., 2016). Vanaf 2005 werden mechanische/pneumatische toestellen stelselmatig vervangen door radartoestellen. Deze toestellen registreren de waterstand digitaal en sturen de waarden telemetrisch door naar een databank. Daar worden de hoog- en laagwaters bepaald gebruik makende van een algoritme, waardoor geen handmatige tussenkomst noodzakelijk is. We merken op dat de periode 2005-2008 als een overgangperiode kan beschouwd worden waarbij nog deels gewerkt werd met prikdata.

Een inschatting van de nauwkeurigheid van de waterstandsmetingen wordt in verschillende, tienjarige, rapporten aangehaald (e.g., Taverniers en Mostaert, 2009). Voor de metingen van de waterstanden wordt een foutenmarge van ± 2 cm aangehaald op de meting. Men kan veronderstellen dat de werkelijke foutenmarge hoger is, door de onzekerheid op de nivellering van de meetstations. De foutenmarge op de tijdstippen wordt op ca. 2 min geschat. Voor meer informatie over de modernisering van het getijmeetnet en de nauwkeurigheid van de waterstandsdata wordt verwezen naar Vandenbruwaene et al. (2019b).

2.2 Digitalisatie en validatie van historische hoog- en laagwaterstanden

In het kader van deze studie en een eerdere studie (Vandenbruwaene et al., 2016) werden historische hoog- en laagwaterstanden gedigitaliseerd en gevalideerd voor verschillende getijposten in de Zeeschelde. De digitalisatieoefening bestond erin om hoogwaters en laagwaters getabelleerd in tijoverzichten over te typen (Figuur 2, links), of digitaal te registreren (met behulp van digitaliseerpen en -tafel) op basis van de analoge continue waterstandsgegevens (Figuur 2, rechts). Vanaf 2005 worden HW en LW's automatisch afgeleid in de databank op basis van de continue telemetrische meetreeksen.

Figuur 2 – (links) Voorbeeld van getabelleerde hoog- en laagwaters voor de post Hingene, februari 1907.
(rechts) Tijkromme voor Antwerpen, 2000



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. Een overzicht van het aantal hoog- en laagwaterstanden met kwaliteitsvlag 'Goed' wordt weergegeven in Appendix (Tabel 5 en Tabel 6). In onderstaande tabel (Tabel 1) wordt een overzicht gegeven van het aantal geanalyseerde jaren per getijpost.

Tabel 1 – Overzicht van het aantal geanalyseerde jaren per getijpost.

Getijpost	Analyseperiode ¹	Aantal jaren meetperiode	Aantal jaren weerhouden analyse
Vlissingen	1888-2017	130	130
Terneuzen	1888-2017	130	130
Hansweert	1888-2017	130	130
Bath	1888-2017	130	128
Lillo	1888-1944	57	44
Liefkenshoek	1947-2017	71	69
Antwerpen	1888-2017	130	92
Schelle	1965-2013	49	48
Hingene	1900-1965	65	45
Temse	1901-2017	117	102
Dendermonde	1888-2017	130	109
Schoonaarde	1897-2017	121	108
Wetteren	1901-2017	117	112
Melle	1900-2017	118	87

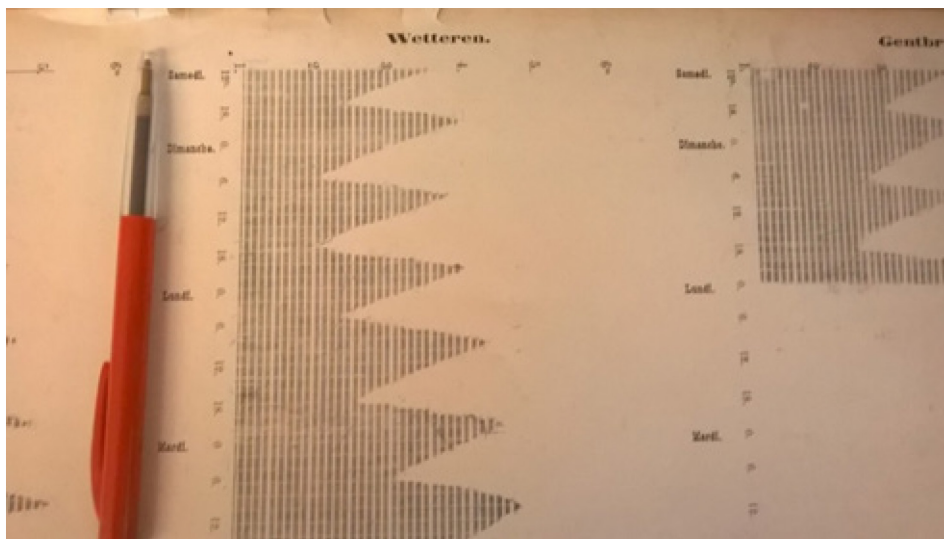
¹ Het jaar 1888 werd als startjaar gekozen voor analyse omdat dit het eerste jaar is dat er dagelijkse hoog- en laagwaterstanden beschikbaar zijn voor een aantal getijposten in de Zeeschelde. Voor de getijposten in de Westerschelde zijn er al dagelijkse hoog- en laagwaterstanden beschikbaar pré-1888.

2.3 Ontbrekende data

Tabel 1 toont aan dat voor de getijposten in de Zeeschelde het aantal jaren weerhouden voor analyse vaak lager ligt dan het aantal jaren meetperiode. Een jaargemiddelde getijparameter werd niet berekend indien het aantal “goede” hoog/laagwaters voor een jaar lager ligt dan 50% van het totaal aantal te verwachten hoog/laagwaters per jaar. Een overzicht van het aantal beschikbare hoog/laagwaters per getijpost wordt gegeven in Tabel 5 en Tabel 6 in Bijlage 1 – Dagelijkse hoog- en laagwaterstanden. Er zijn twee belangrijke oorzaken voor het ontbreken van hoog- en laagwaters:

- 1) De getijpost was actief maar de papieren registraties van het continue waterstandssignaal zijn niet bruikbaar om hoog- en laagwaterstanden af te leiden. Zo zijn voor de periode 1891-1900 de ruwe getijcurves omgezet naar grafiekvorm (Figuur 3). De grootte van deze grafiek is echter te klein om hoog/laagwaterstanden nauwkeurig af te leiden (prikken met digitaliseerpennen en -tafel). Zo is er voor de waterstand (y-as grafiek) al gauw een fout van een tiental centimeters, en voor de tijd (x-as) een fout van een tiental minuten. De oorspronkelijke getijcurves zijn voor deze periode niet terug te vinden, en ook getabelleerde waardes (zie Figuur 2, links) zijn niet beschikbaar.
- 2) De getijpost was niet actief. Dit was bijvoorbeeld het geval tijdens de oorlogsperiodes.

Figuur 3 – De continue waterstandsregistratie omgezet naar grafiekvorm, hier Wetteren januari 1898.



We merken op dat de posten Lillo/Liefkenshoek en Hingene/Schelle niet actief waren gedurende de volledige analyseperiode (1888-2017). Na stopzetten van Lillo werd Liefkenshoek opgestart, na het stopzetten van Hingene werd Schelle opgestart (Tabel 1). Gezien de nabijgelegen ligging van enerzijds de getijposten Lillo/Liefkenshoek en anderzijds Hingene/Schelle (Figuur 1) werden deze posten respectievelijk samen beschouwd in de analyse.

Om voor de Zeeschelde getijposten een zo volledig mogelijk overzicht te hebben werden de ontbrekende jaren aangevuld met de jaargemiddelde waardes uit de 10-jarige overzichten. In deze 10-jarige overzichten worden jaargemiddelde waardes in tabelvorm gerapporteerd, ook voor de jaren waar er geen dagelijkse hoog- en laagwaters beschikbaar zijn. Het gaat hier echter enkel om jaargemiddelde hoog- en laagwaters. Tijdsgerelateerde getijparameters (vertraging, stijgsduur, dalingsduur) of extreme waardes zijn niet beschikbaar voor de ontbrekende jaren. Een overzicht van de jaartallen waarvoor de jaargemiddelde hoog- en laagwaterstanden uit de 10-jarige overzichten mee zijn opgenomen in de resultatensectie (§3) wordt weergegeven in Tabel 5 en Tabel 6 in Bijlage 1 – Dagelijkse hoog- en laagwaterstanden (groen omlijnde cellen). Voor een overzicht van de waardes uit de 10-jarige overzichten wordt verwezen naar Levy et al.

(2014). We merken hierbij op dat het verschil tussen de berekende jaargemiddelde hoog- en laagwaters uit deze studie, en deze gerapporteerd in de 10-jarige overzichten maximaal 1 cm is.

2.4 Berekening jaargemiddelde getijparameters

De berekening van de jaargemiddelde getijparameters werd geautomatiseerd in R en werd toegepast voor alle meetposten. We merken op dat een jaargemiddelde getijparameter enkel berekend werd indien meer dan 50% van de dagelijkse hoog/laagwaters beschikbaar was (zie §2.3 en Bijlage 1 – Dagelijkse hoog- en laagwaterstanden). De methodiek om jaargemiddelde getijparameters te berekenen is grotendeels gebaseerd op de methodiek toegepast in Vandenbruwaene et al. (2016).

Op basis van de dagelijkse hoog- en laagwaterstanden werd de jaargemiddelde hoog- en laagwaterstand berekend. Ook het minimum en het maximum, en de percentielwaardes (1% en 99%) werden per jaar en per getijpost berekend. Tenslotte werd ook de waterstand berekend representatief voor springtij- en doortijcondities. Springtij wordt hierbij gedefinieerd als het eerste hoog- of laagwater te Antwerpen, na de vijfde maandoorgang te Ukkel na volle of nieuwe maan. Doortij is dan het eerste hoog- of laagwater te Antwerpen, na de vijfde maandoorgang te Ukkel na eerste of laatste kwartier. Op die manier werd een selectie gemaakt van hoog- en laagwaters waaruit de jaargemiddelde springtij en doortijkarakteristieken werden berekend.

Naast jaargemiddelde waterstanden werden ook jaargemiddelde getijparameters berekend gerelateerd aan het *tijdstip* van hoogwater en laagwater. Het gaat over de stijgingsduur, de dalingsduur, de getij-asymmetrie en de getijvertraging voor laagwater en hoogwater. Stijgingsduur en dalingsduur worden respectievelijk gedefinieerd als het tijdsverschil tussen laagwater en het daaropvolgende hoogwater (voor eenzelfde locatie), en het tijdsverschil tussen hoogwater en het daaropvolgende laagwater. De verhouding van de dalingsduur en de stijgingsduur geeft de getij-asymmetrie. De getijvertraging is de tijd die nodig is voor een laagwatergolf of een hoogwatergolf om van de ene locatie in het estuarium naar een andere locatie te gaan. Voor elk van deze parameters werd per jaar en per locatie een gemiddelde waarde berekend.

2.5 Lange termijn trends

De berekening van jaargemiddelde getijparameters over de periode 1888 tot en met 2017 laat toe om lange termijn trends in de getij-evolutie te bepalen. Trends werden berekend voor de waterstand (§2.5.2), de getijvertraging en de getij-asymmetrie (§2.5.3). Er werd een onderscheid gemaakt tussen de periode 1888-1969 en de periode 1970-2017. In de eerste periode onderging het Schelde estuarium vooral inperking, als gevolg van inpoldering, rechttrekking en bedijking. In de tweede periode werden drie grote verruimingsprojecten uitgevoerd (zie §2.5.1). We gaan na of deze twee verschillende type ingrepen (inpoldering vs. verruiming) een verschillende invloed hebben op de evolutie van het getij. Om deze hypothese te testen werden analyses uitgevoerd op de afzonderlijke deelperiodes. De lange termijn morfologische evolutie wordt meer in detail besproken in het volgende deelrapport binnen deze studie.

2.5.1 De periode pré- en post-1970

Tabel 2 geeft een overzicht van de menselijke ingrepen, uitgevoerd langsheen het Schelde estuarium over de periode 1888 - 2017. Deze ingrepen werden eerder opgelijst en gelinkt aan veranderingen in getij in o.a. Van Braeckel et al. (2012), Jeuken et al. (2012), Meyvis (1977) en Taverniers (1979).

Tot 1969 zijn de belangrijkste menselijk ingrepen in Schelde estuarium inpolderingen en rechttrekkingen. De inpolderingen situeren zich hoofdzakelijk langsheen de Westerschelde (Tabel 2) en leidden tot een belangrijke afname in intergetijdengebied. De rechttrekkingen komen voor langsheen de Zeeschelde en

resulteerden in een verkorting van de rivierloop (Jeuken et al, 2012). De algemene tendens in de periode 1888 – 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 wordt het estuarium gedomineerd door verruiming en zandwinning (Tabel 2). We vermelden hierbij specifiek 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 eerste verruiming werd het gebaggerde sediment uit het estuarien systeem verwijderd, tijdens de tweede en derde verruiming werd het sediment elders in het systeem teruggestort. Algemeen wordt de periode 1970 tot recent gekenmerkt door een toename van de waterbergingscapaciteit in het subtidaal deel van het estuarium.

Er wordt verwacht dat deze tweedeling in inpoldering-rechttrekking vóór 1970, en verruiming-zandwinning vanaf 1970 zijn invloed zal hebben op de evolutie van het getij. Deze hypothese wordt verder onderzocht in hoofdstuk 4 waar de evolutie van het getij geanalyseerd voor de 2 afzonderlijke deelperiodes.

Tabel 2 – Overzicht van menselijke ingrepen in de periode 1888-2017 (niet exhaustief), langsheen de Zeeschelde, Durme en Rupel (Jeuken et al, 2012 en Van Braeckel et al, 2012).

Jaar	Wat?	Locatie	Rivier
1894-1900	Inpoldering	Antwerpen	Beneden-Zeeschelde
1878-1904	Rechttrekking	Tussen Dendermonde en Gent	Boven-Zeeschelde
1850-1907	Inpoldering	tussen Bath en Antwerpen	Beneden-Zeeschelde
1867-1904	Inpoldering	afwaarts Bath	Westerschelde
1878-1904	rechttrekking	Punt van Melsele	Beneden-Zeeschelde
1902	rechttrekking	Driegoten	Beneden-Zeeschelde
1901-1910	Verbeteringswerken	Rupelmonding	Rupel
1923	Inpoldering	Kreekrakpolder	Westerschelde
1926	Inpoldering	Hellegatpolder	Westerschelde
1925	Aanleg winterdijk	Scheldebroeken Zele/Berlare	Boven-Zeeschelde
1925-1928	Normalisatie	tussen Schoonaarde en Appels	Boven-Zeeschelde
1931 - 1934	rechttrekking	Durme	Durme
1933-1939	Baggerwerken	Opwaarts Lokeren	Durme
1935 - 1937	rechttrekking	tussen Hamme en Waasmunster	Boven-Zeeschelde
1935	rechttrekking	Tielrode	Beneden-Zeeschelde
1936	rechttrekking	Dendermonding	Boven-Zeeschelde
1938	Aanleg potpolders	Durme	Durme
1942-1960	Inpoldering	Westerschelde opwaarts Bath	Westerschelde
1946-1948	Baggerwerken	Opwaarts Lokeren	Durme
1946-1950	Bouw sluis	Boudewijnsluis	Beneden-Zeeschelde
1949	Inpoldering	Quarlespolder	Westerschelde
1950	opsputting	Wijtvlietpolder	Beneden-Zeeschelde
1950	Vloeisystemen raken in onbruik, evolutie naar natuurlijk schor	Temse tot Dendermonde	Boven-Zeeschelde
1953	Inpoldering	Braakmanpolder	Westerschelde
1960	Bedijking	Kalkense meersen	Boven-Zeeschelde

1960	Inpoldering	Schor van Ossendrecht	Westerschelde
1961-1962	Inpoldering	Zuidsløe en havengebied	Westerschelde
1966-1970	Inpoldering en aanleg strekdammen	Afwaarts Antwerpen	Beneden-Zeeschelde
1967	Inpoldering	Schor van Hoboken	Beneden-Zeeschelde
1968-1975	Ophoging schor	Ballooi/Schouselbroek	Beneden-Zeeschelde
1967-1969	Bouw sluis	Zandvlietsluis	Beneden-Zeeschelde
1969	Aanleg Ringvaart en schutsluis	Gent	Boven-Zeeschelde
1970 - 1976	Verruiming	Zeeschelde en Westerschelde	Beneden-Zeeschelde en Westerschelde
1971	Bouw sluis	Kallosluis	Beneden-Zeeschelde
1976	Inpoldering	afwaarts Bath	Westerschelde
1977	Afsluiting (start Sigmaplan)	Vliet	Boven-Zeeschelde
1981	Zandontginning	Schaar van Ouden Doel	Beneden-Zeeschelde
1981-1990	Bouw sluis	Berendrechtsluis	Beneden-Zeeschelde
1989	Zandwinning	Liefkenshoek	Beneden-Zeeschelde
1985-1986	Dijkversterking	Galgenschoor	Beneden-Zeeschelde
1990	Ontpoldering	Selenapolder	Beneden-Zeeschelde
1990	Bouw terminal	Europa Terminal	Beneden-Zeeschelde
1997 - 1998	Verruiming	Zeeschelde en Westerschelde	Beneden-Zeeschelde en Westerschelde
1997	Bouw terminal	Noordzee Terminal	Beneden-Zeeschelde
1999	Bouw dok	Deurganckdok	Beneden-Zeeschelde
2008 - 2011	Verruiming	Zeeschelde en Westerschelde	Beneden-Zeeschelde en Westerschelde

2.5.2 Waterstand

Jaargemiddelde waterstand

Zeespiegelstijging en de 18.6 jarige nodale cyclus zorgt er voor dat ter hoogte van de afwaartse rand van het estuarium (getijpost Vlissingen) bepaalde lange termijn trends worden waargenomen in de jaargemiddelde waterstanden. Meer opwaarts het estuarium zullen ook nog andere factoren (bijvoorbeeld bovenafvoer) een invloed hebben. Ter hoogte van Vlissingen kan de langjarige waterstandtrend beschreven worden aan de hand van onderstaande vergelijking:

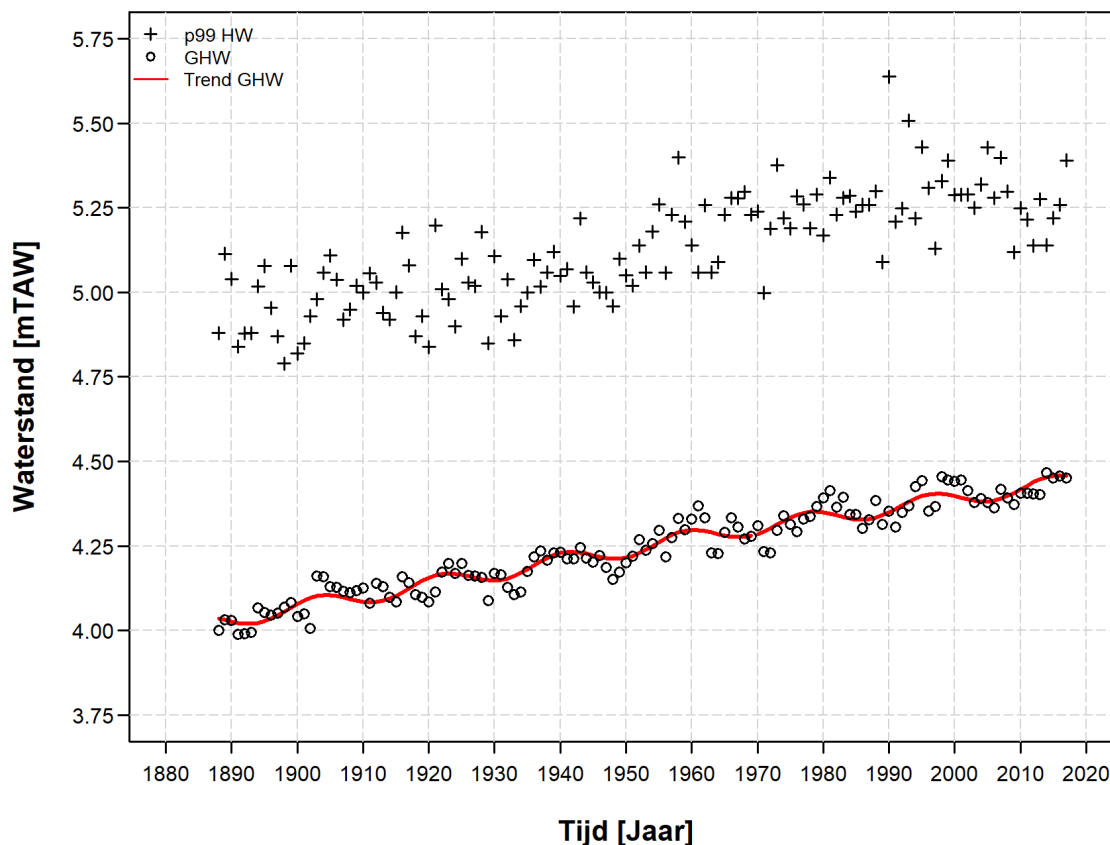
$$WL = \mu + \lambda t + \alpha \sin (\omega t - \phi)$$

Hierbij is WL de geschatte waterhoogte [m], t de tijd [jaar], μ het snijpunt van de rechte [m], λ de helling van de rechte [m/jaar], α de amplitude van de 18.6 jarige cyclus [m], ω de frequentie van de 18.6 jarige cyclus [1/jaar], en ϕ het faseverschil [rad].

De eerste twee termen beschrijven het effect van de zeespiegelstijging (lineaire trend) op de waterhoogte, de laatste term beschrijft het effect van de 18.6 jarige nodale cyclus. Deze 18.6 jarige cyclus is een gevolg van de positie van de aardas t.o.v. de maanbaan en de aardbaan, en heeft dus een astronomische oorsprong. Het faseverschil ϕ van deze 18.6 jarige cyclus kan dan ook berekend worden op basis van de maanculminaties (Van Cauwenberghe, 1977). Het is echter ook mogelijk om het faseverschil te berekenen op basis van de meetgegevens ter hoogte van Vlissingen (Depreiter et al., 2014; Levy et al., 2014).

Ook voor de opwaartse getijposten kan de langjarige waterstand beschreven worden aan de hand van bovenstaande vergelijking. Hierbij wordt aangenomen dat het faseverschil constant is over het volledige estuarium. Voor de berekening van bovenstaande vergelijking werden de waarden voor ω en ϕ overgenomen uit Vandenbruwaene et al. (2016) en vastgelegd op $2 \cdot \pi / 18,613$ (voor ω), en 0,3088 en 3,450393 voor het faseverschil hoogwater en het faseverschil laagwater (zie ook Van Cauwenberghe, 1977). Vervolgens werd voor iedere getijpost bovenstaande vergelijking opgelost waarbij een schatting bekomen werd van de coëfficiënten μ , λ , en α . De berekende trend in deze studie voor GHW te Vlissingen wordt weergegeven in Figuur 4. We merken op dat de gevonden lineaire component ter hoogte van Vlissingen kan gelijk gesteld worden aan de zeespiegelstijging, terwijl dit voor de opwaartse getijposten het gecombineerd effect is van zeespiegelstijging en morfologische wijzigingen in het estuarium. De schatting van de lineaire component (λ) wordt verder besproken in §4.1.1.

Figuur 4 – De berekende trend voor het jaargemiddeld hoogwater te Vlissingen (rode lijn), met weergave van de jaargemiddelde hoogwaters (bolletjes) en extreme hoogwaters (p99, kruisjes).



Extrema

Voor de extrema werd nagegaan of de langjarige evolutie verschilt met deze van de jaargemiddelde waterstanden. Voor hoogwater werd het jaarlijkse extremum gedefinieerd aan de hand van het 99^{ste} percentiel. Voor laagwater aan de hand van het 1^{ste} percentiel. Voor elk jaar werd het verschil berekend tussen de langjarige trend in jaargemiddelde waterstand en de extreme waarde (zie Figuur 4 voor HW Vlissingen, dit is het verschil tussen de rode lijn en de kruisjes). Indien dit verschil een significante toename of afname kent over de beschouwde deelperiode, kan gesteld worden dat de langjarige evolutie van de extreme waardes verschillend is van de langjarige evolutie van de jaargemiddelde waardes. De langjarige evolutie van de extreme waardes wordt besproken in §4.1.2.

2.5.3 Getijvertraging en getij-asymmetrie

Trends in getijvertraging en getij-asymmetrie werden bepaald door het opstellen van lineaire regressiemodellen over de twee deelperiodes. De getijvertraging en getij-asymmetrie wordt bepaald door de voorplantingssnelheid van hoogwater- en laagwatergolf. De getijgolf gedraagt zich als een ondiep watergolf waarbij de voortplantingssnelheid of celeriteit wordt gedefinieerd als:

$$c = \sqrt{gd}$$

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

g = de gravitatieversnelling = 9.81 m/s²

d = de diepte [m]

Bij de trendbepaling van de tijdsgerelateerde parameters werd aangenomen dat het effect van de 18.6 jarige verwaarloosbaar is aangezien de amplitude van deze cyclus (tot ± 5 cm invloed op waterstand, bijvoorbeeld Levy et al., 2014) heel klein is ten opzichte van de totale waterdiepte, en bijgevolg weinig invloed heeft op de celeriteit. De lange termijn trends voor de getijvertraging en de getij-asymmetrie worden verder besproken in §4.2 en §4.3.

3 Jaargemiddelde getijparameters

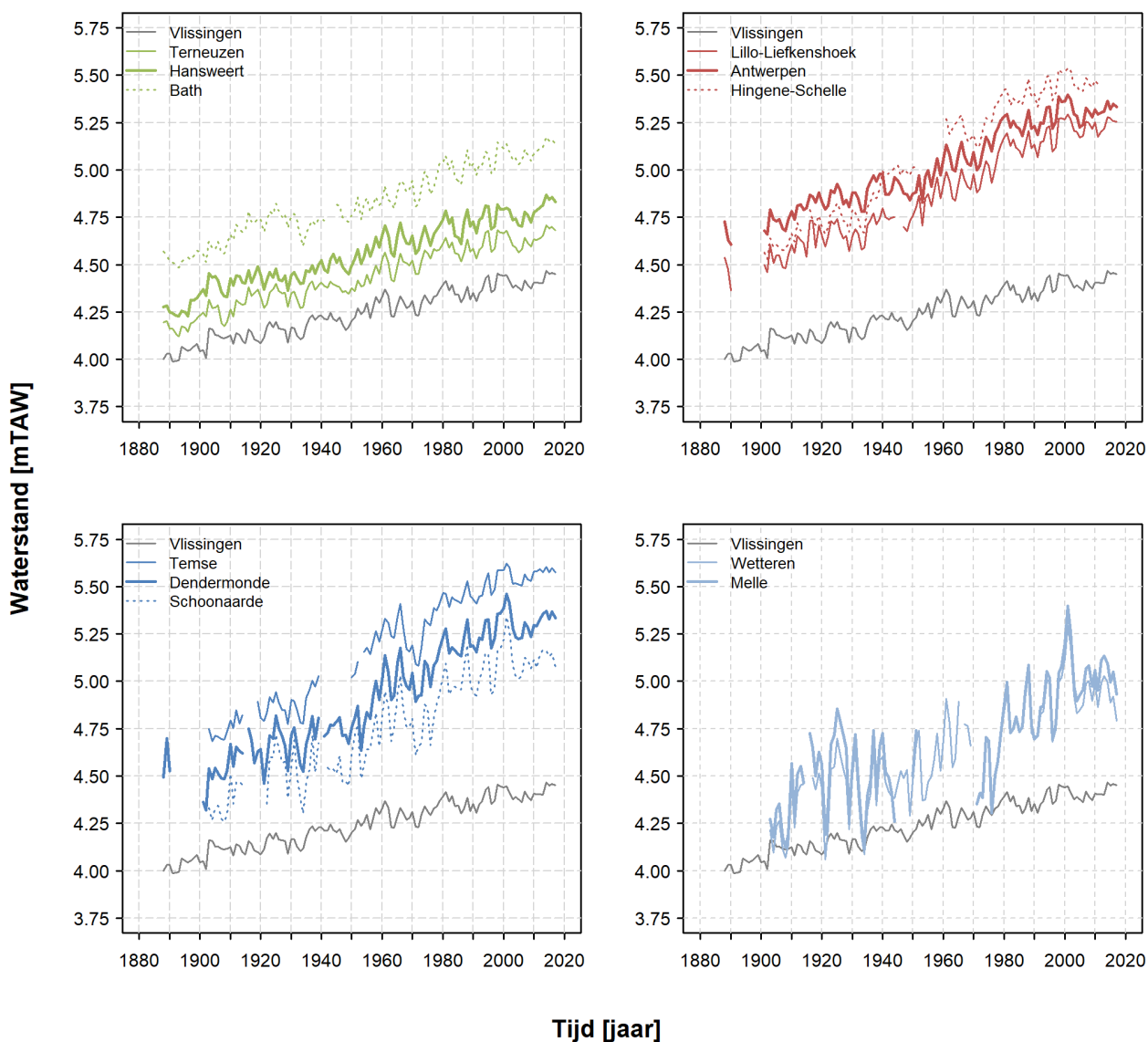
3.1 Hoogwaterstanden

Over het volledige Schelde estuarium wordt over de periode 1888-recent een toename in jaargemiddelde hoogwaterstand waargenomen (Figuur 5). Deze toename is aan de afwaartse rand (Vlissingen) in hoofdzaak het gevolg van zeespiegelstijging, terwijl opwaarts het estuarium de combinatie van zeespiegelstijging en morfologische evoluties leidt tot een sterkere toename dan aan de afwaartse rand. Deze sterkere toename is het meest uitgesproken in de Beneden-Zeeschelde en het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde (Figuur 5, figuren rechtsboven en linksonder). De verschillen tussen de getijposten onderling en de invloed van de verschillende type morfologische ingrepen wordt verder besproken in §4.1.1. Naast zeespiegelstijging en morfologische ingrepen wordt de jaargemiddelde hoogwaterstand ook beïnvloed door de 18.6 jarige cyclus en variaties in bovenafvoer. Bovenafvoer beïnvloedt de waterstand in het opwaartse deel van het estuarium en resulteert in een sterkere variabiliteit in jaargemiddeld hoogwater. Dit effect is duidelijk zichtbaar vanaf Dendermonde en neemt toe in opwaartse richting. De invloed van bovenafvoer op de waterstanden werd reeds eerder besproken in Vandenbruwaene et al. (2016).

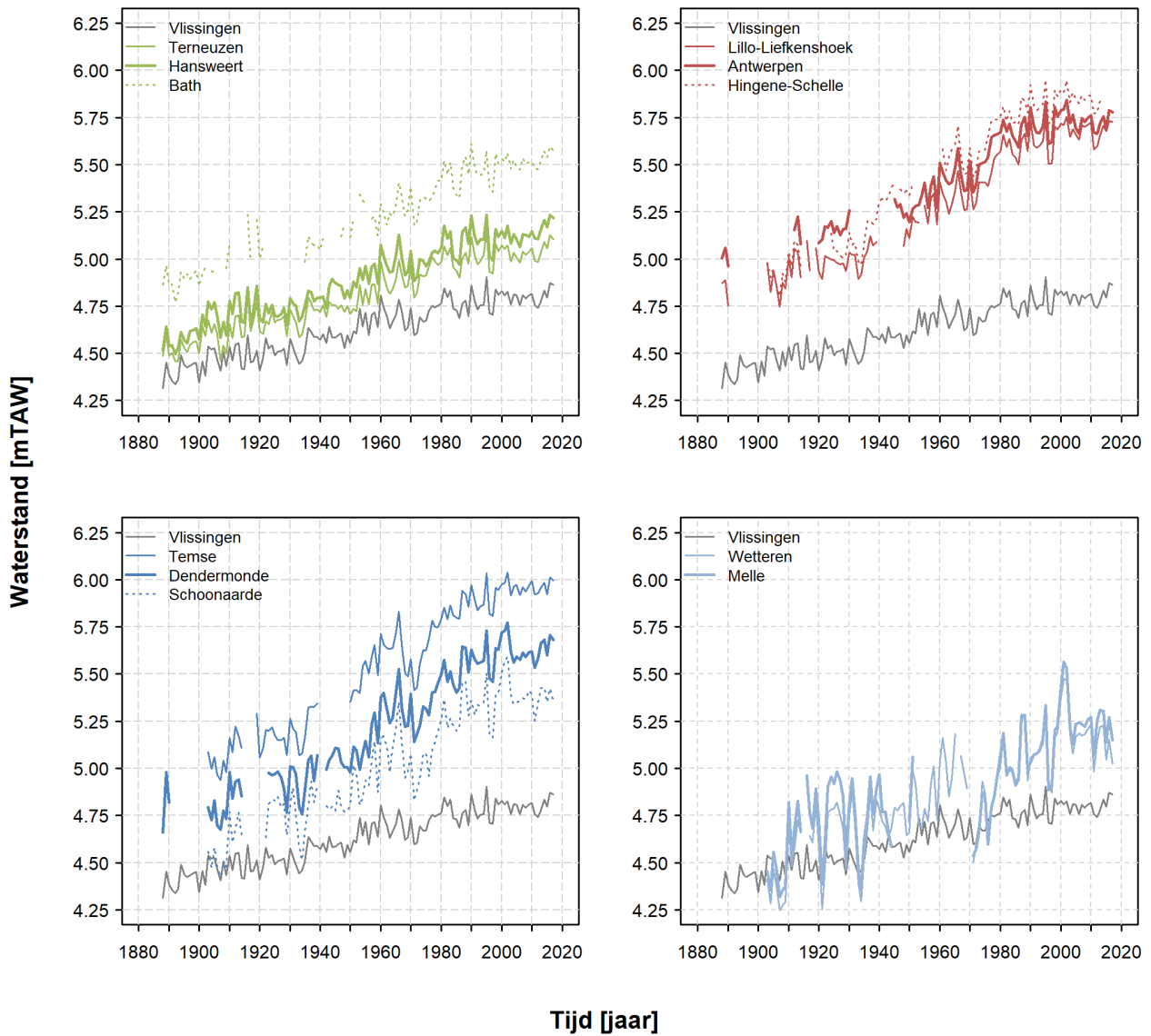
De lange termijn evolutie van de jaargemiddelde hoogwaterstanden bij springtij- en doortijcondities (Figuur 6 en Figuur 7) is in grote mate vergelijkbaar met de evolutie van de jaargemiddelde hoogwaterstanden. Over het volledige estuarium is er een toename in jaargemiddelde waterstand, waarbij de toename het sterkst is in de Beneden-Zeeschelde en het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde. Waar de trend bij gemiddelde- en doortijcondities eerder constant is doorheen de tijd in deze zone van het estuarium, vertoont de trend bij springtijcondities meer variabiliteit. Zo is de stijging in jaargemiddelde waterstand bij springtijcondities in de periode 1950-2000 groter dan de periode ervoor. Vanaf 2000 is er dan weer nauwelijks een toename in de jaargemiddelde waarden (vergelijk Figuur 6 met Figuur 5 en Figuur 7).

De extreme hoogwaterstanden worden in deze studie gedefinieerd aan de hand van de 99^{ste} percentielwaarden. Of met andere woorden het is de waarde die door 1% of dus 7 van de hoogwaters in een jaar overschreden wordt. Dergelijke hoogwaterstanden zijn het gevolg van een stormopzet in combinatie met springtij. Dit verklaart meteen de hogere variabiliteit tussen de opeenvolgende jaren (Figuur 8). Net zoals bij de andere hoogwaterparameters wordt op lange termijn over het volledige estuarium een toename in de extreme hoogwaterstanden waargenomen. Toch is deze toename niet constant doorheen de tijd. Net zoals bij springtijcondities is de toename het sterkst in de periode 1950-2000, is deze minder uitgesproken in de periode pré-1950, en nagenoeg afwezig vanaf 2000. In tegenstelling tot de springtijcondities is deze waarneming geldig voor alle getijstations (ook de afwaartse rand te Vlissingen). Dit suggereert het voorkomen van langdurige periodes met meer of minder extreme windopzet. De piekwaarden in de jaren '90 vallen samen met het meer frequent voorkomen van stormvloed. Voor een overzicht van het aantal stormvloed te Antwerpen vanaf de jaren '70 wordt verwezen naar het meest recente MONEOS jaarboek (Vandenbruwaene et al., 2019a).

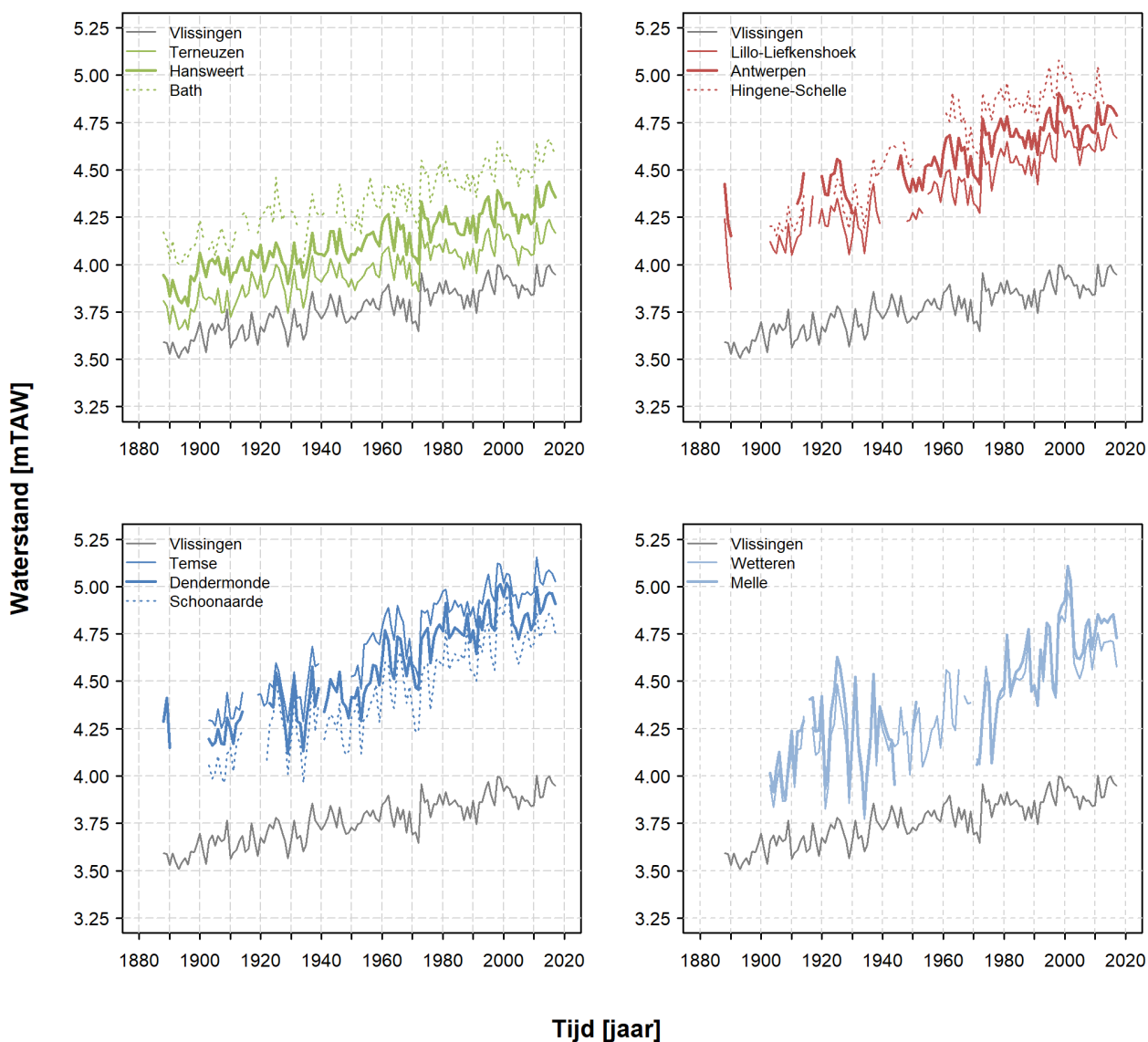
Figuur 5 – Evolutie van het jaargemiddeld hoogwater voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw). Vlissingen wordt ter referentie in het grijs weergegeven.



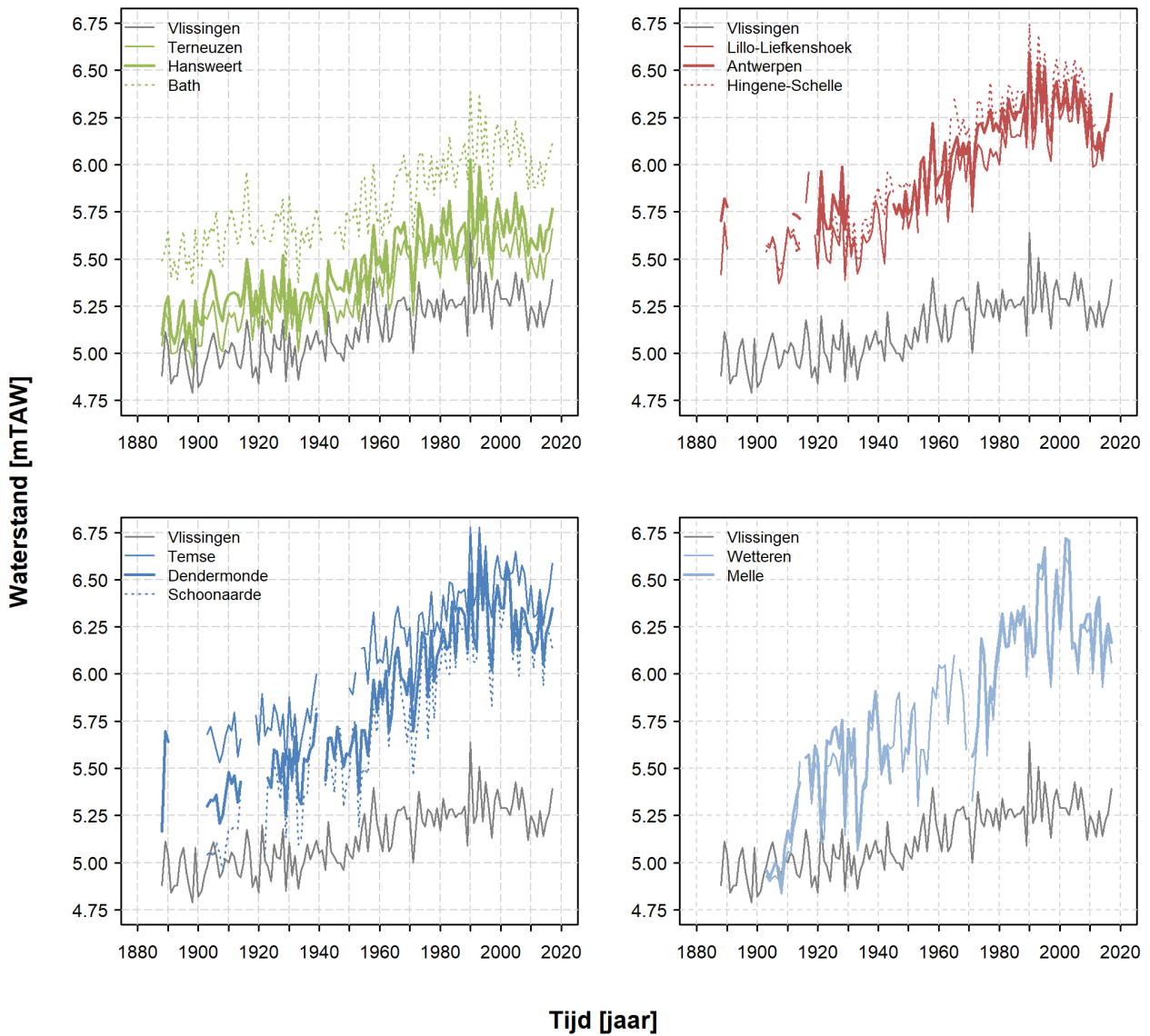
Figuur 6 – Evolutie van het jaargemiddeld hoogwater bij springtij voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw). Vlissingen wordt ter referentie in het grijs weergegeven.



Figuur 7 – Evolutie van het jaargemiddeld hoogwater bij doortij voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw). Vlissingen wordt ter referentie in het grijs weergegeven.



Figuur 8 – Evolutie van het jaargemiddeld extreem hoogwater (99^{ste} percentiel) voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw). Vlissingen wordt ter referentie in het grijs weergegeven.



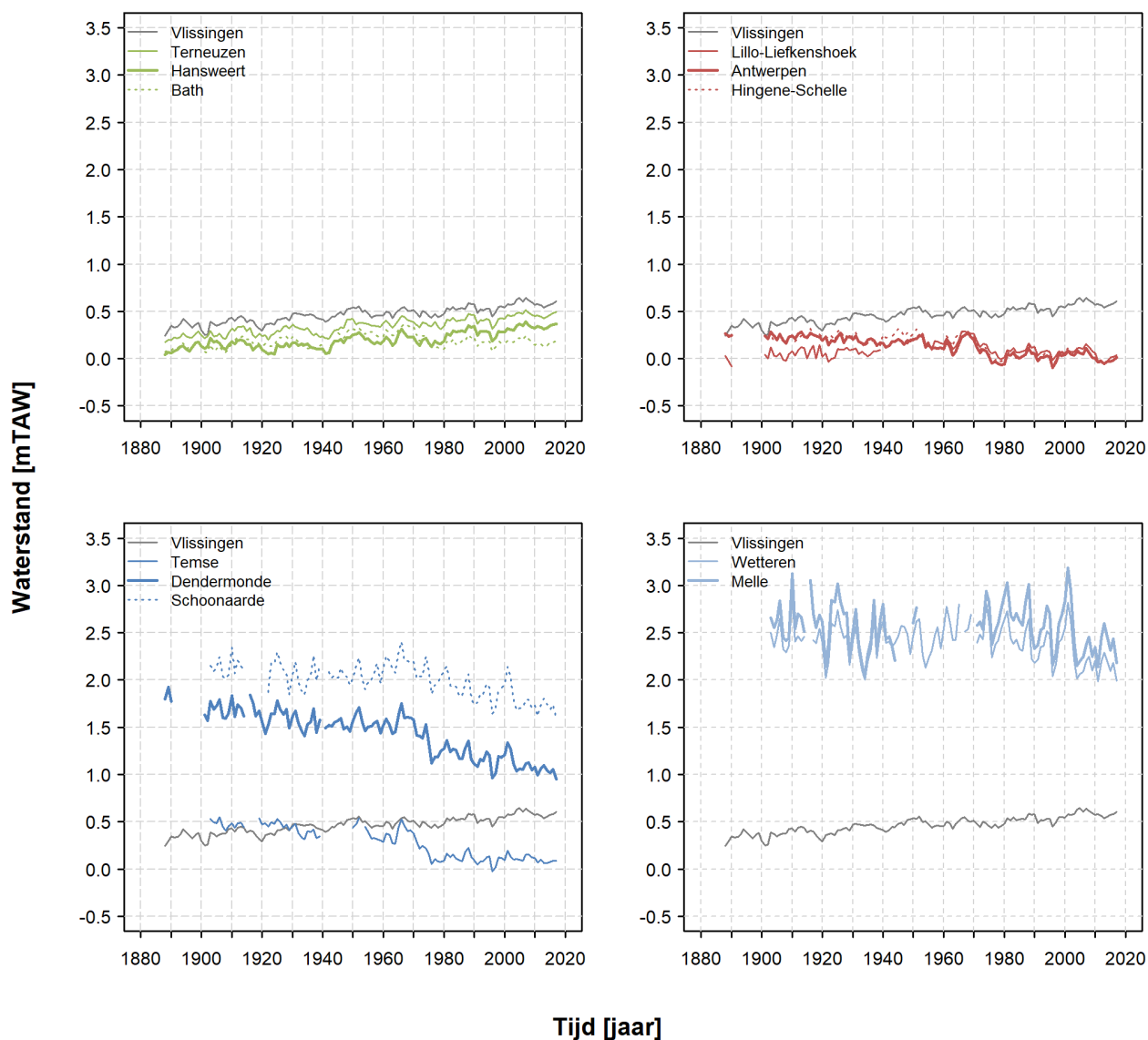
3.2 Laagwaterstanden

Voor de Westerschelde getijposten Vlissingen, Terneuzen en Hansweert wordt onder invloed van de zeespiegelstijging een toename in jaargemiddeld laagwater waargenomen over de periode 1888-2017 (Figuur 9, figuur linksboven). De post Bath daarentegen kent in de periode 1970-1980 een duidelijke afname in jaargemiddeld laagwater. Deze daling wordt ook waargenomen voor de getijposten in de Beneden-Zeeschelde en het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde (Figuur 9, figuur rechtsboven en linksonder). De plotse daling in jaargemiddeld laagwater kan toegeschreven worden aan de geulverruiming in de jaren '70, waarbij sediment uit het systeem werd verwijderd. Pré-1970 wordt ter hoogte van Lillo-Liefkenshoek net zoals in de Westerschelde een toename in jaargemiddeld laagwater waargenomen over de periode 1888-1969. Vanaf Antwerpen in opwaartse richting is er echter een afname of geen wijziging in jaargemiddelde laagwaterstanden. In de periode na de eerste verruiming (1980-recent) blijven de jaargemiddelde waterstanden in de zone Bath tot Temse min of meer constant. De verschillen in trends tussen de posten onderling wordt verder besproken in §4.1.1. Net zoals bij de hoogwaterstanden worden de jaargemiddelde waterstanden beïnvloed door de 18.6 jarige cyclus en bovenafvoer. Vergelijkbaar met de hoogwaterstanden worden de opwaartse posten gekenmerkt door een verhoogde variabiliteit in jaargemiddelde laagwaterstand ten gevolge de invloed van bovenafvoer.

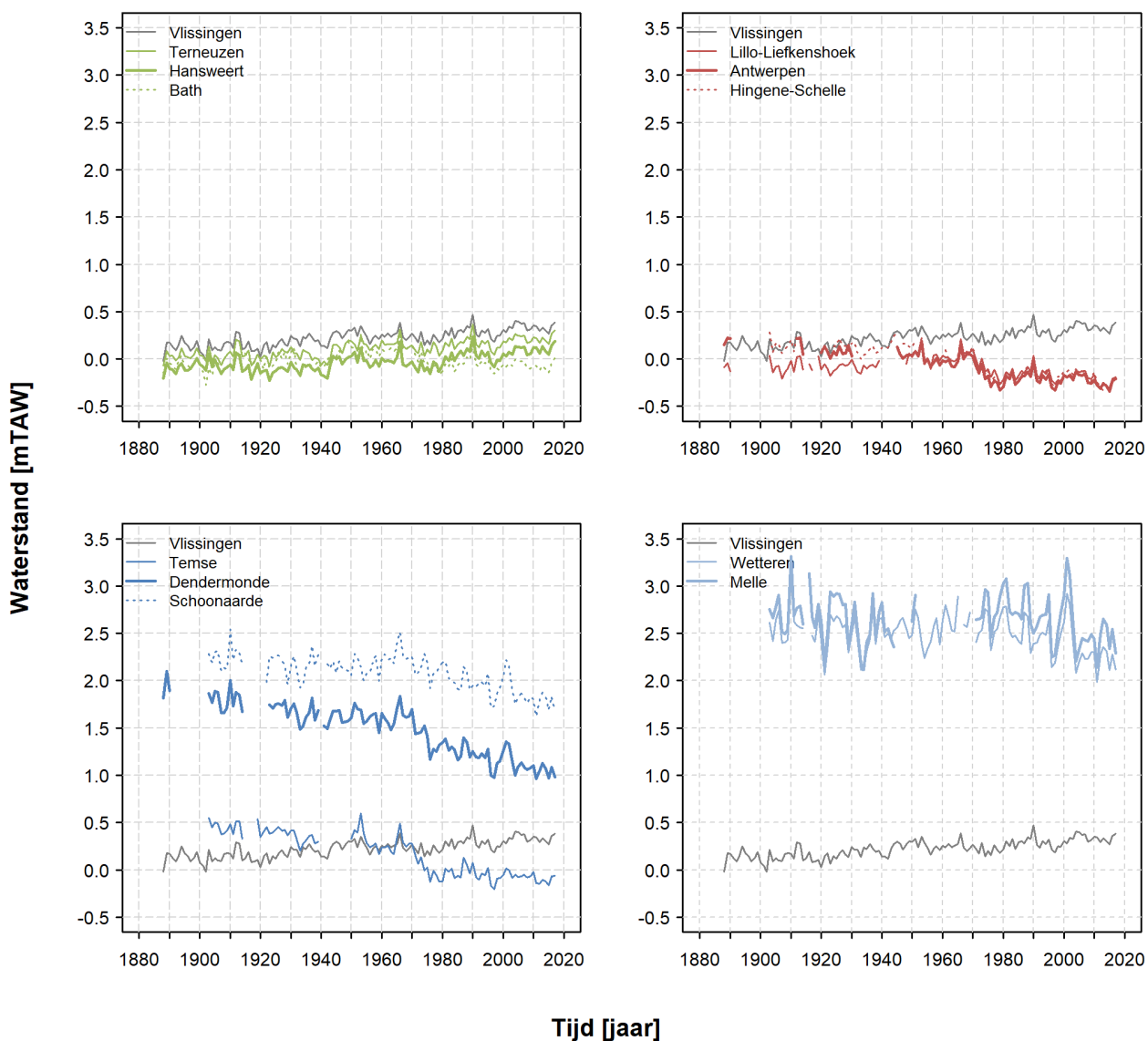
De waarnemingen voor de jaargemiddelde laagwaters bij springtij (Figuur 10) en de extreme laagwaters (Figuur 12) zijn voor de periode 1970-recent vergelijkbaar met de laagwaters bij gemiddelde tijcondities. Vanaf Bath tot de getijposten in het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde wordt eveneens de sterke daling in laagwaterstand waargenomen in de periode 1970-1980, gevolgd door een mindere daling of constante laagwaterstand over de periode 1980 tot recent. In de periode 1888-1969 is het beeld minder vergelijkbaar. Waar onder gemiddelde tijcondities nog een min of meer constante stijging werd waargenomen (onder invloed van zeespiegelstijging en 18.6 jarige cyclus) in de zone Vlissingen tot Lillo-Liefkenshoek, is de toename bij de lagere waterstanden minder constant.

De jaargemiddelde waterstanden bij doortijcondities vertonen in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde een toename over de periode 1888-1969 (Figuur 11). Er is dus tot meer opwaarts in het estuarium een stijging van de hogere laagwaterstanden bij doortij, in vergelijking met de lagere laagwaterstanden onder gemiddelde- en springtijcondities. Onder doortijcondities is de daling in laagwater voor de periode 1970-1980 minder duidelijk in de Beneden-Zeeschelde in vergelijking met de gemiddelde- of springtijcondities. Voor de afwaartse posten in de Boven-Zeeschelde is deze daling wel duidelijk (Figuur 11, figuur linksonder). Tenslotte is de evolutie van het laagwater bij doortij voor de periode 1980 tot recent vergelijkbaar met de evolutie van het laagwater bij gemiddelde- en springtijcondities.

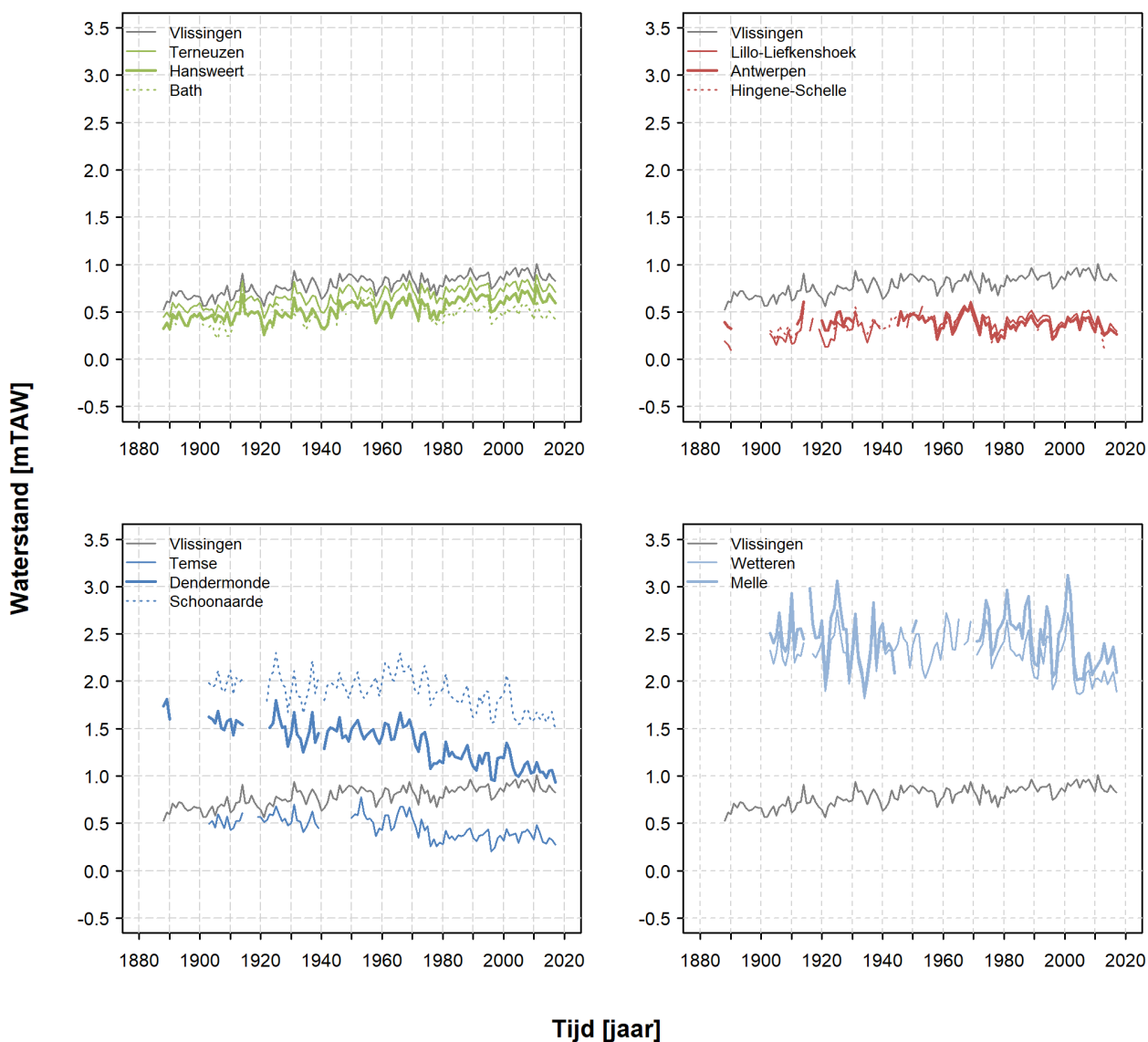
Figuur 9 – Evolutie van het jaargemiddeld laagwater voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw). Vlissingen wordt ter referentie in het grijs weergegeven.



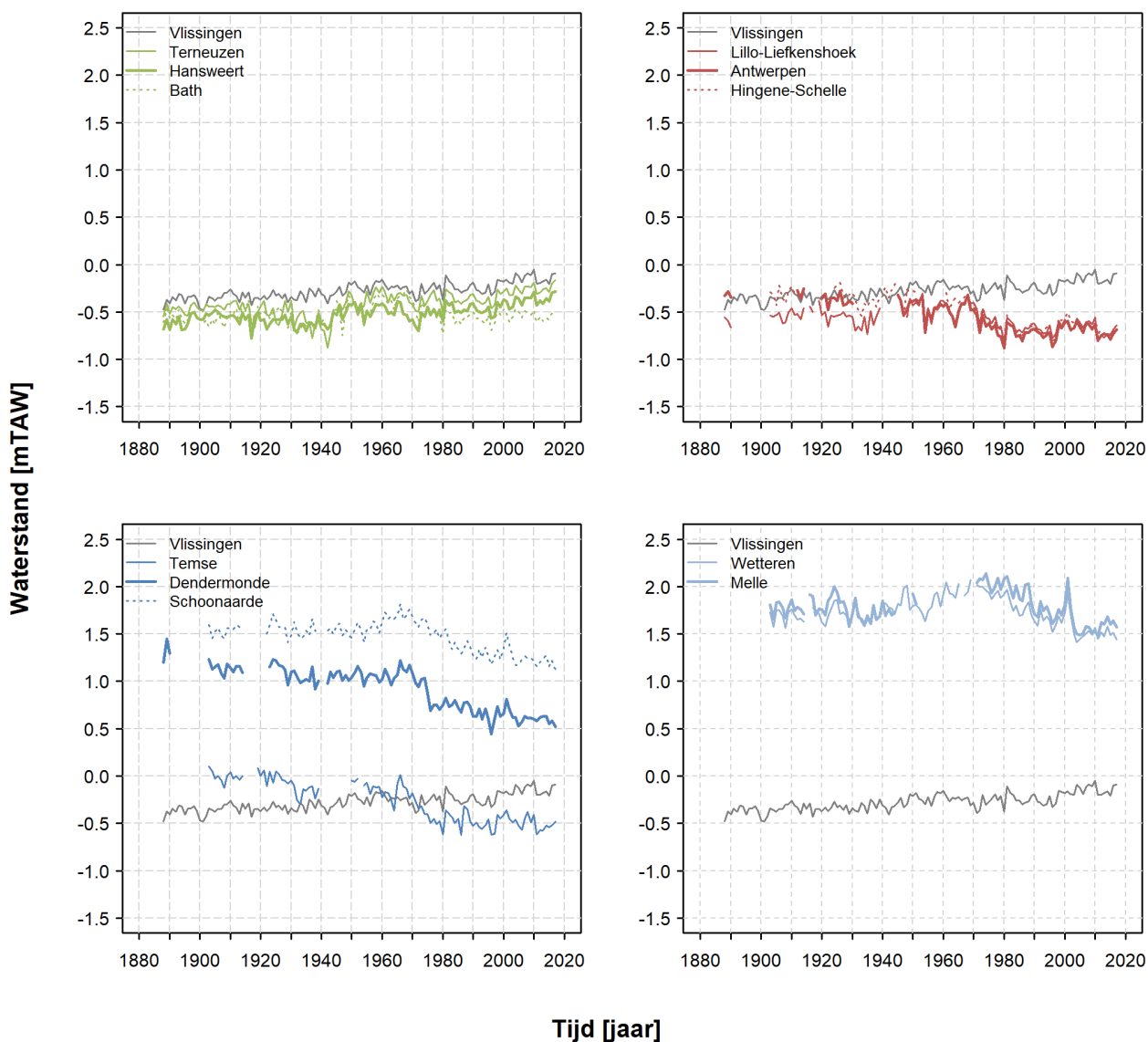
Figuur 10 – Evolutie van het jaargemiddeld laagwater bij springtij voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw). Vlissingen wordt ter referentie in het grijs weergegeven.



Figuur 11 – Evolutie van het jaargemiddeld laagwater bij doortij voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw). Vlissingen wordt ter referentie in het grijs weergegeven.



Figuur 12 – Evolutie van het jaargemiddeld extreem laagwater (1^{ste} percentiel) voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw). Vlissingen wordt ter referentie in het grijs weergegeven.



3.3 Getijslag

De getijslag wordt bepaald door het verschil tussen hoogwater en laagwater. Over het volledige Schelde estuarium wordt voor gemiddelde tijcondities een toename in getijslag waargenomen over de periode 1888-2017 (Figuur 13). Gesuperponeerd op deze lange termijn toename is het signaal van de 18.6 jarige cyclus duidelijk zichtbaar. In opwaartse richting wordt dit signaal minder duidelijk en wordt de invloed van bovenafvoer belangrijker. Voor de Westerschelde posten Vlissingen, Terneuzen en Hansweert wordt de toename in getijslag bepaald door een sterkere stijging van het jaargemiddeld hoogwater, in vergelijking met de stijging in jaargemiddeld laagwater (zie ook §4.1.1). Opwaarts Hansweert neemt de toename in getijslag duidelijk toe. Enerzijds zorgt inpoldering en verruiming voor een versterkte amplificatie van de hoogwaters, anderzijds zorgt de verruiming voor een afname in laagwaterstand en dus een versterkte toename in getijslag. Dit is duidelijk zichtbaar tijdens de eerste verruiming (1970-1980) waar de daling in laagwaterstanden zorgt voor een duidelijke toename in getijslag in de zone Bath tot opwaartse rand estuarium. Voor een meer doorgedreven analyse van de langjarige evolutie van de laag- en hoogwaterstanden wordt verwezen naar §4.1.1.

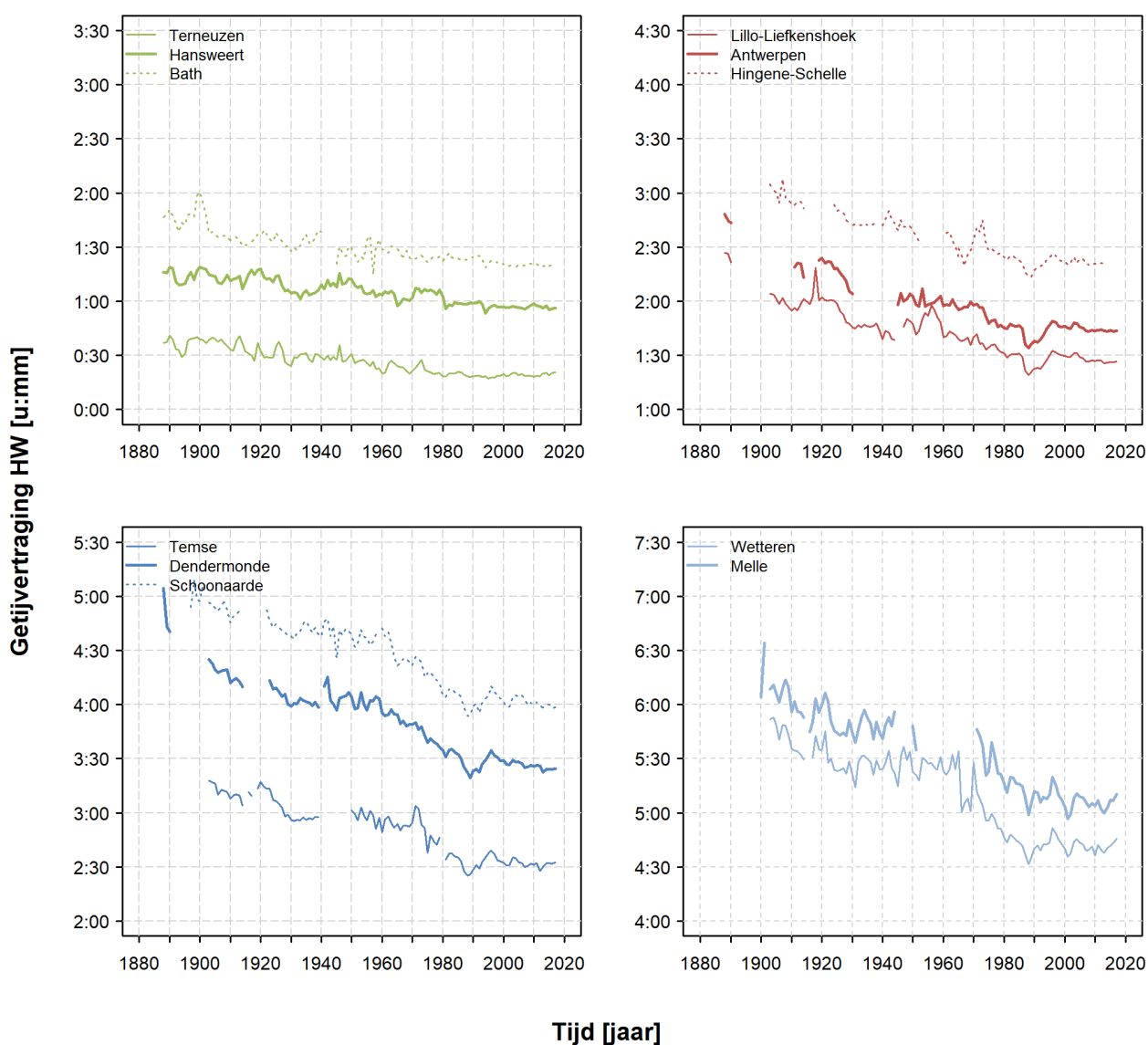
Figuur 13 – Evolutie van de getijslag bij gemiddelde tijcondities voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw). Vlissingen wordt ter referentie in het grijs weergegeven.



3.4 Getijvertraging ten opzichte van Vlissingen

Zowel de getijvertraging hoogwater als de getijvertraging laagwater kent een dalende trend over de periode 1888-recent. De voorplantingssnelheid van de getijgolf is dus met andere woorden groter geworden doorheen de tijd. Toch zijn er een aantal verschillen tussen de evolutie in de getijvertraging hoogwater versus laagwater, is de dalende trend niet constant doorheen de tijd, en zijn er ruimtelijk verschillen tussen de getijposten. Zo is er in de Zeeschelde een sterke afname in de getijvertraging laagwater vanaf 1970, terwijl dit voor de hoogwatergolf veel minder uitgesproken is. Deze verschillen worden meer in detail besproken in §4.2.

Figuur 14 – Evolutie van de getijvertraging hoogwater ten opzichte van Vlissingen voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).



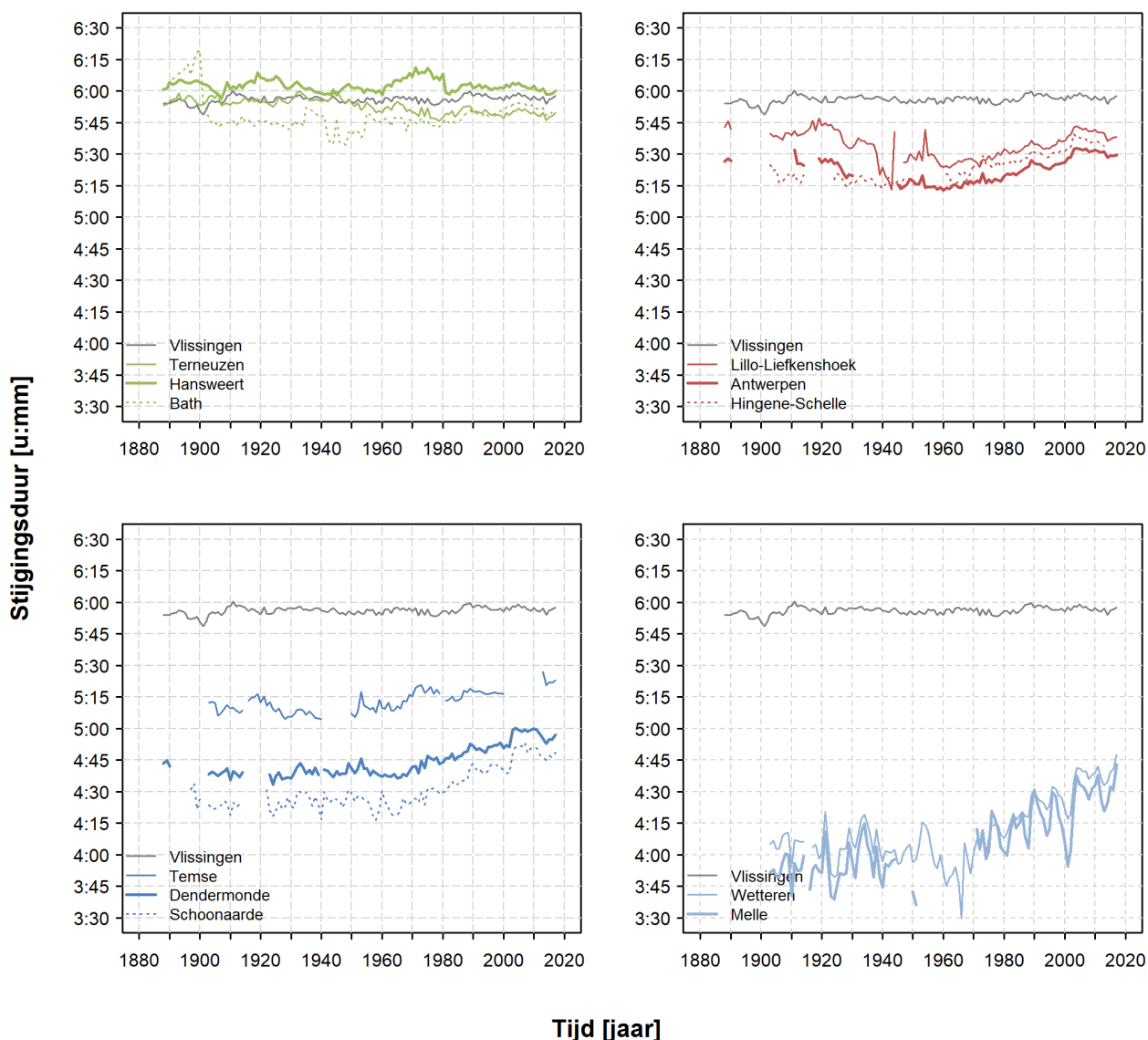
Figuur 15 – Evolutie van de getijvertraging laagwater ten opzichte van Vlissingen voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).



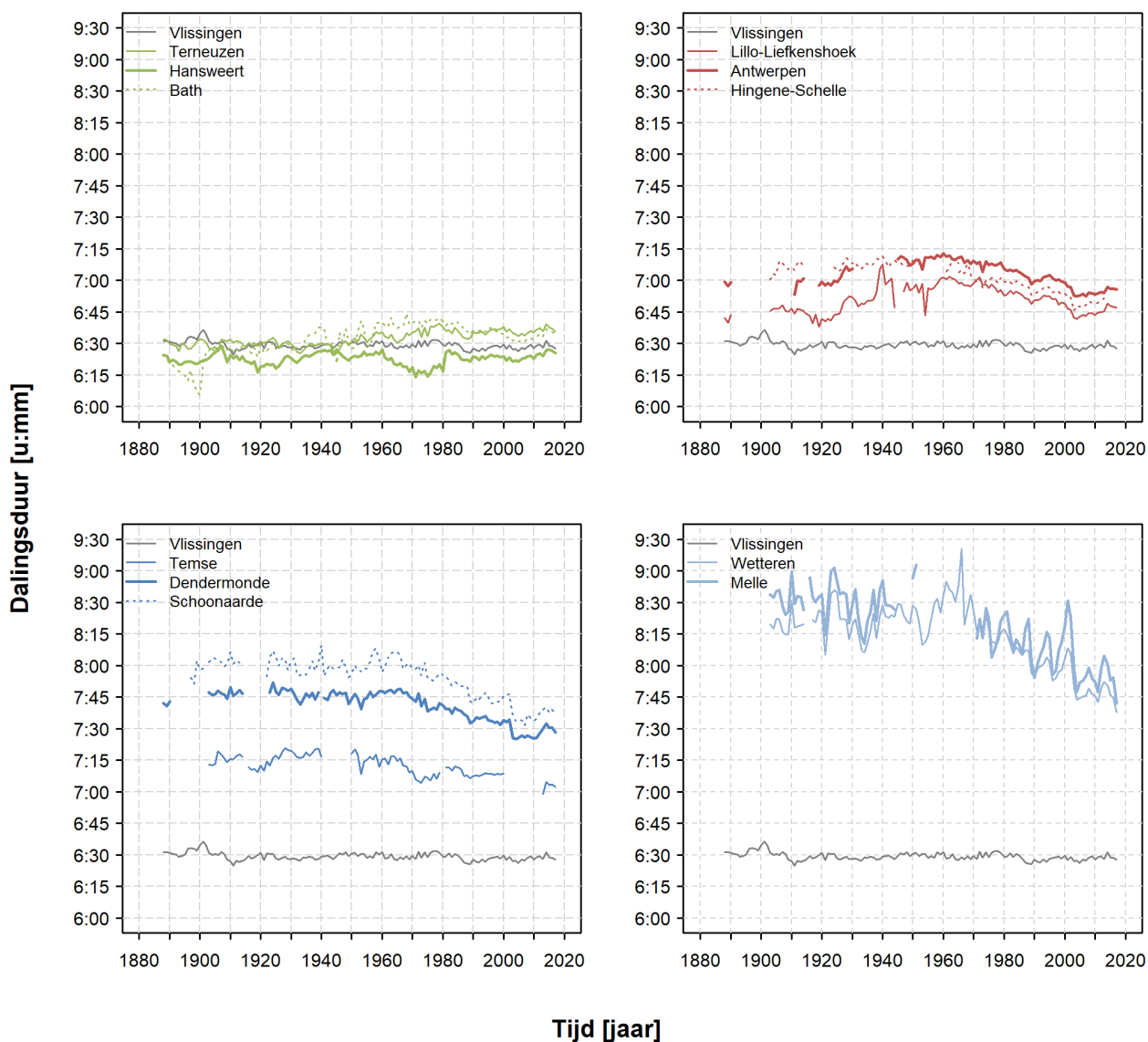
3.5 Stijgings- en dalingsduur

Waar er in de Westerschelde op lange termijn geen belangrijke wijzigingen in stijgingsduur worden waargenomen is dit in de Zeeschelde duidelijk wel het geval (Figuur 16). In de Beneden-Zeeschelde is er in de periode 1888-1969 een afname in stijgingsduur gevolgd door een toename in stijgingsduur vanaf 1970. In de Boven-Zeeschelde worden tot 1970 geen belangrijke wijzigingen in stijgingsduur waargenomen. Vanaf 1970 daarentegen is er net zoals in de Beneden-Zeeschelde een toename in de stijgingsduur. Evoluties in stijgingsduur en dalingsduur zijn gelinkt aan elkaar aangezien de tijdsduur van een individuele getijcyclus om en bij de 12u25 minuten bedraagt. Een afname in stijgingsduur zal dus leiden tot een toename in dalingsduur en vice versa (cf. Figuur 16 en Figuur 17). De getij-asymmetrie tenslotte wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de dalingsduur en de stijgingsduur. Een toename in dalingsduur zal dus leiden tot een afname van de stijgingsduur, en een toename van de getij-asymmetrie (cf. Figuur 16, Figuur 17 en Figuur 18).

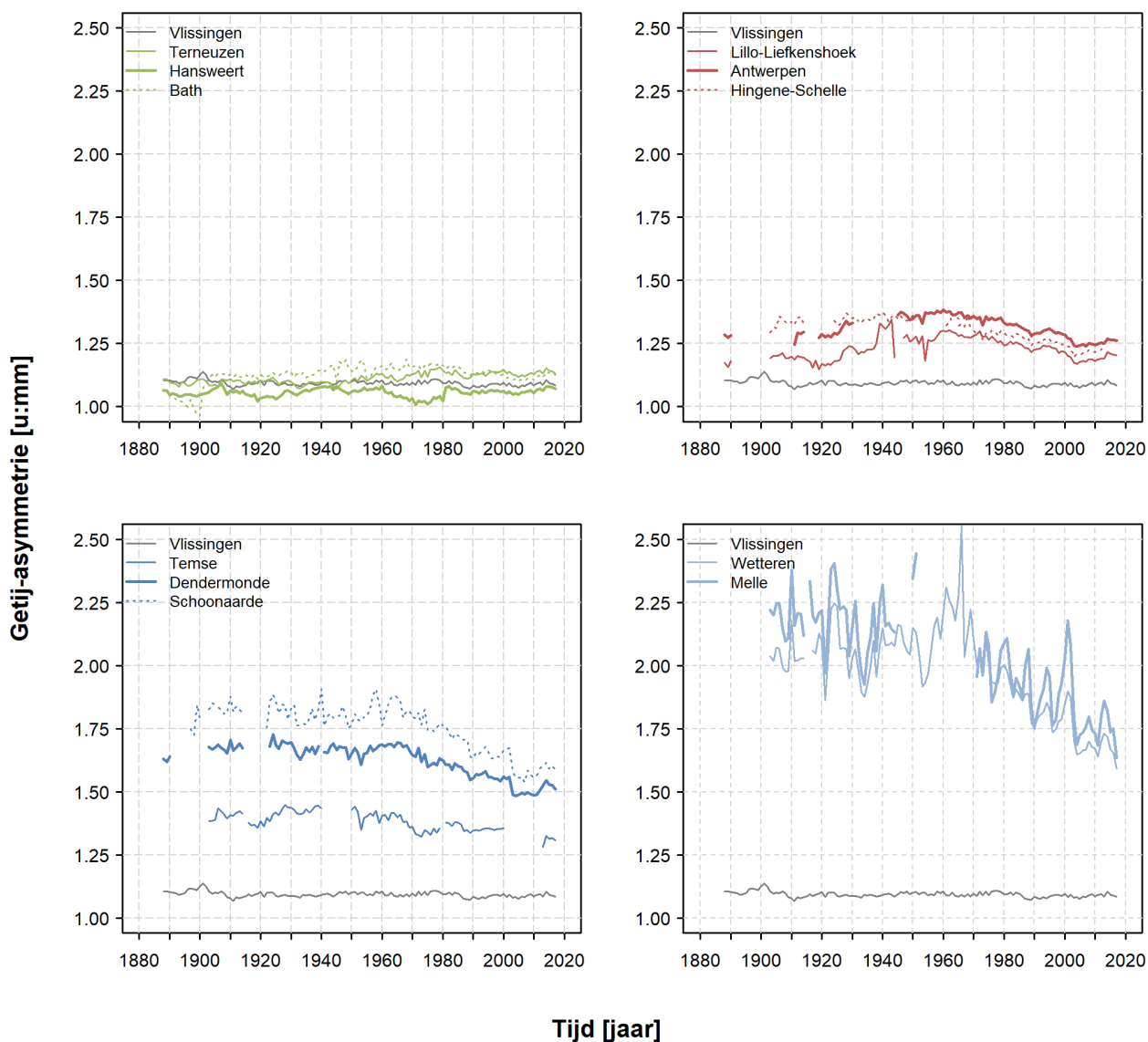
Figuur 16 – Evolutie van de stijgingsduur voor de getijposten in de Westerschelde (groen), Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).



Figuur 17 – Evolutie van de dalingsduur voor de getijposten in de Westerschelde (groen),
Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).



Figuur 18 – Evolutie van de getij-asymmetrie voor de getijposten in de Westerschelde (groen),
Beneden-Zeeschelde (rood), en Boven-Zeeschelde (blauw).



4 Analyse

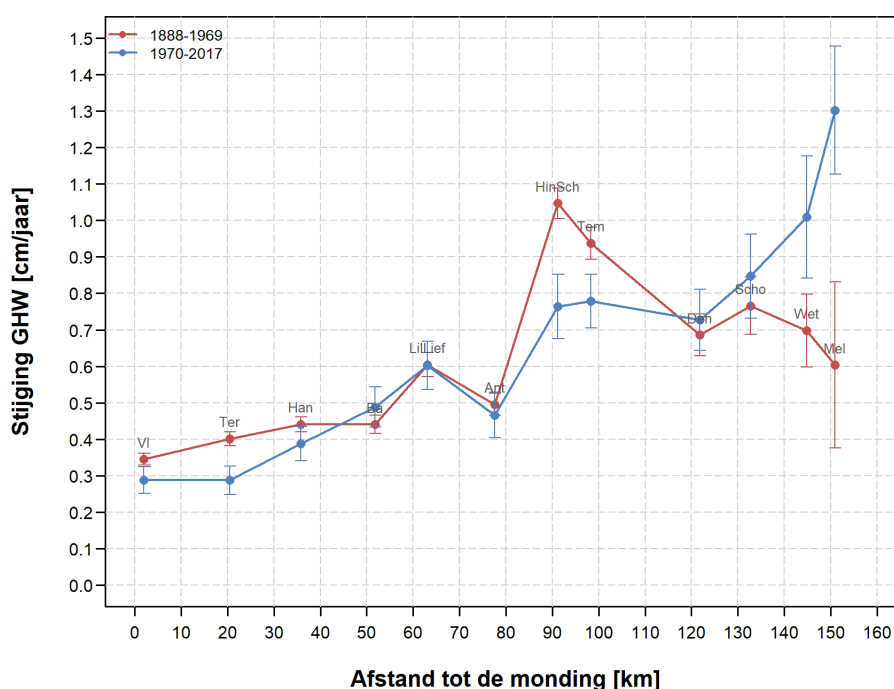
De periode 1888-1969 wordt qua morfologische ingrepen in belangrijke mate gekenmerkt door inpoldering, terwijl de periode 1970-recent gekenmerkt wordt door verruiming (zie ook §2.5.1). Om na te gaan of deze ingrepen (inpoldering vs. verruiming) een verschillende invloed hebben op de evolutie van het getij, werden trendanalyses uitgevoerd op de twee deelperiodes. Analyses werden uitgevoerd voor de waterstand (gemiddelde waardes en extrema), de getijvertraging en de getij-asymmetrie.

4.1 Waterstanden

4.1.1 Langjarige waterstandstrend voor gemiddelde tijcondities

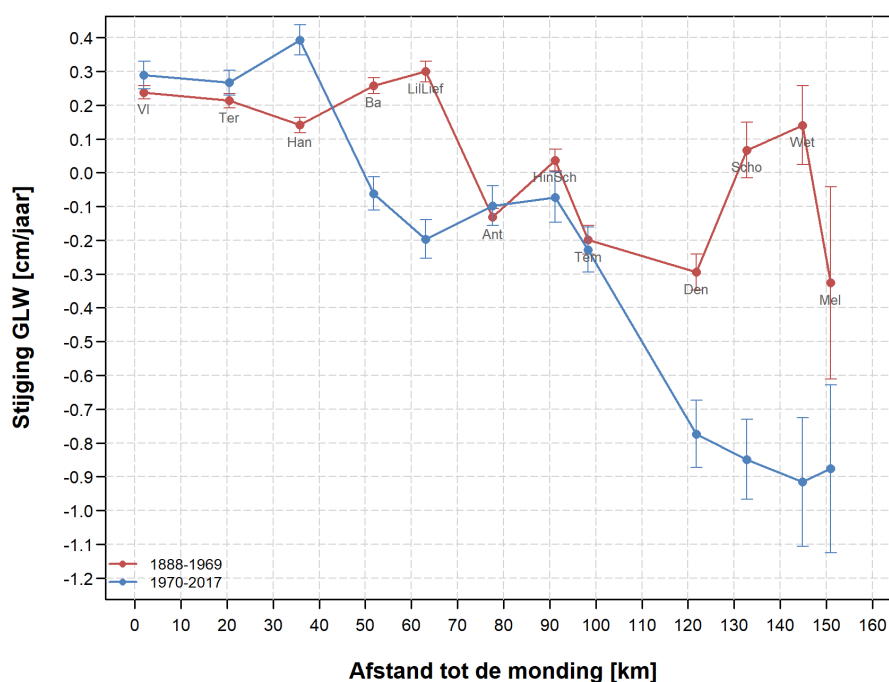
De lineaire component λ van de langjarige evolutie in hoogwater- en laagwaterstand is een maat voor de invloed van zeespiegelstijging in het estuarium (zie ook §2.5.2). In de periode 1888-1969 ligt in de Westerschelde de lineaire stijging in GHW tussen 0.35 en 0.45 cm/jaar, en neemt deze toe in opwaartse richting met piekwaardes rond 1 cm/jaar ter hoogte van Hingene-Schelle en Temse (Figuur 19). In de periode 1970-2017 is de stijging in GHW in het westelijk deel van de Westerschelde lager dan in de periode 1888-1969. De grotere stijging in GHW in de periode 1888-1969 is enerzijds toe te schrijven aan de grotere stijging ter hoogte van de afwaartse rand (Vlissingen), anderzijds kunnen inpolderingen in deze periode de stijging in GHW verder versterken. Mogelijks verklaren inpolderingen ook de sterke stijging in GHW ter hoogte van de zone Hingene-Schelle en Temse (periode 1888-1969). Opvallend in het opwaartse deel van de Boven-Zeeschelde is de sterke toename in stijging GHW over de periode 1970-2017. Ten gevolge de morfologische ingrepen in het systeem kan de getijgolf makkelijker tot opwaarts het estuarium doordringen.

Figuur 19 – 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 .



In de periode 1888-1969 wordt in de zone Vlissingen tot Lillo-Liefkenshoek een stijging in GLW waargenomen van 0.1 tot 0.3 cm/jaar (Figuur 20). Verder opwaarts het estuarium varieert de evolutie van het GLW tussen een lichte stijging of een lichte daling. In de periode 1970-2017 is er een duidelijke wijziging in de evolutie van GLW. In het westelijk deel van de Westerschelde is er nog steeds een stijging in GLW, echter in de zone tussen Hansweert en Antwerpen is er een duidelijke daling ten gevolge de eerste verruiming. Ook in het opwaartse deel van de Boven-Zeeschelde is er een duidelijke daling in GLW tot -0.9 cm/jaar. We merken op dat de dalende trend in GLW over de periode 1970-2017 voor sommige posten bepaald wordt door de scherpe daling in de periode 1970-1980, voor andere posten is de daling meer gradueel over de volledige periode (bijvoorbeeld Antwerpen versus Dendermonde, Figuur 9).

Figuur 20 – 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 .

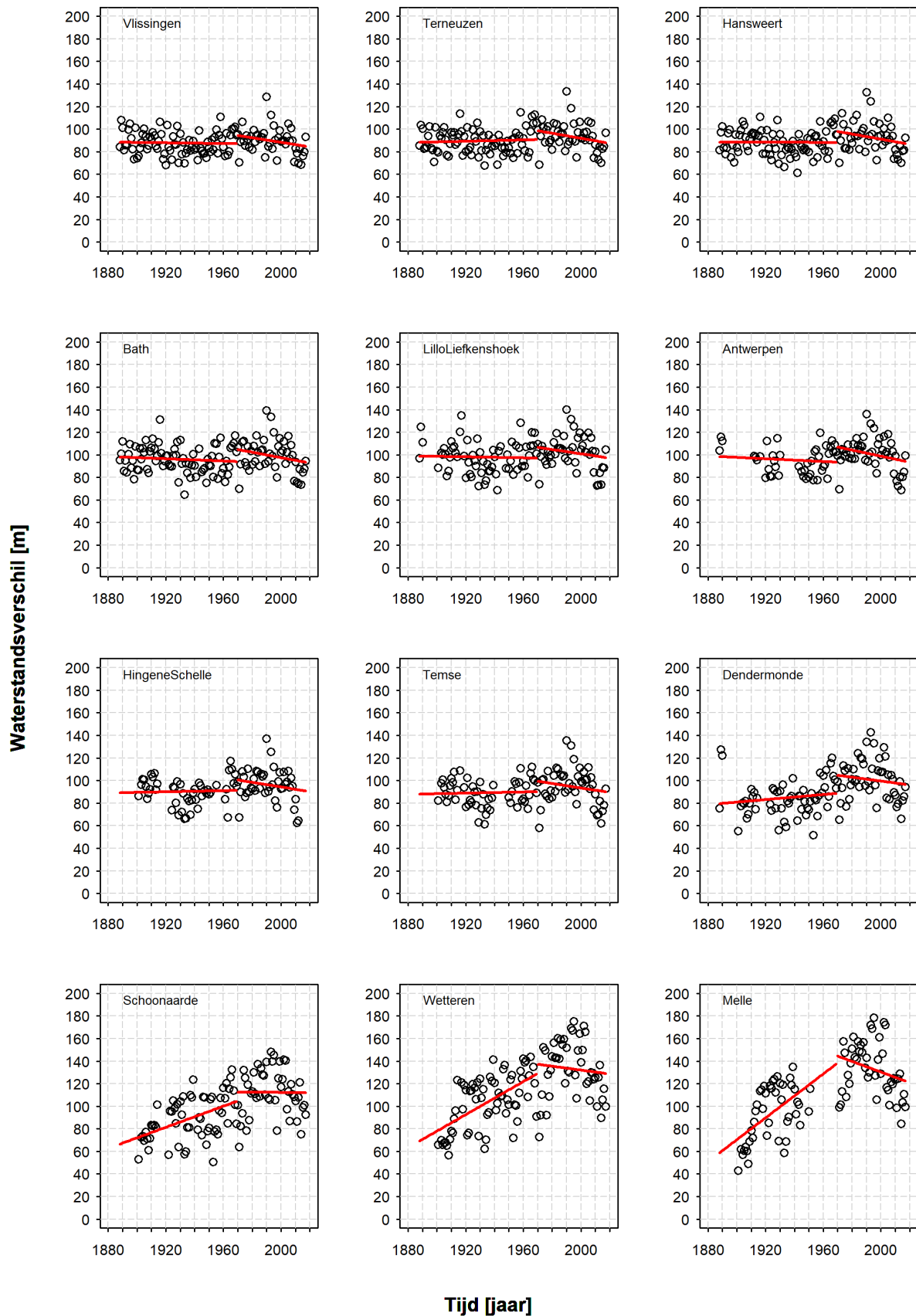


4.1.2 Analyse extremen

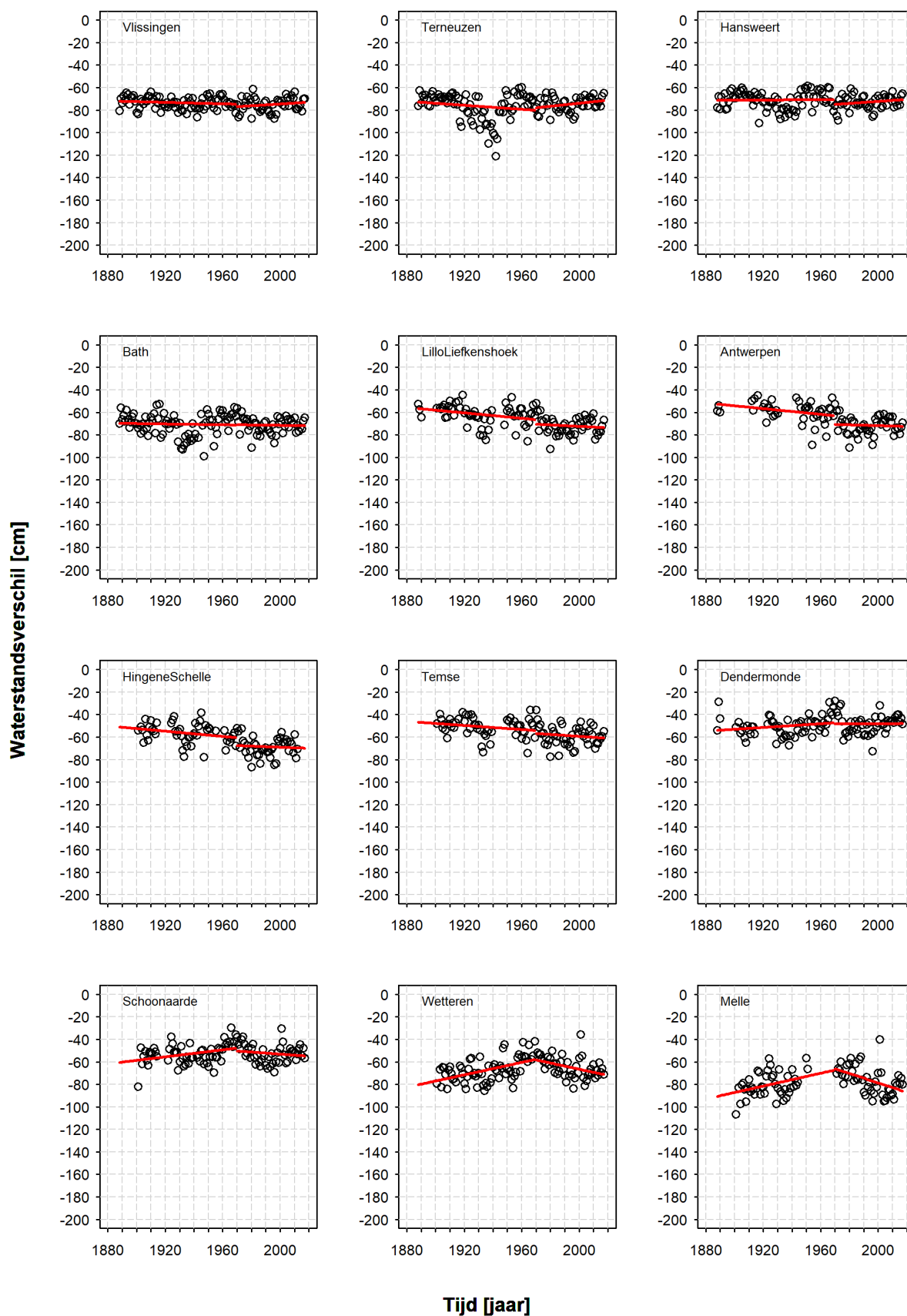
Om na te gaan of de langjarige evolutie in extreme waarden verschillend is van de langjarige trend onder gemiddelde getijcondities werd het verschil tussen de trend voor gemiddelde getijcondities en de extreme waarden geanalyseerd, en dit voor de deelperiodes 1888-1969 en 1970-recent (voor methodiek zie §2.5.2 en Figuur 4). De extreme waarden hoogwater vertonen voor de opwaartse posten Schoonaarde, Wetteren en Melle in de periode 1888-1969 een significant sterkere stijging dan de stijging in gemiddeld hoogwater (Figuur 21 en Tabel 3). Mogelijks spelen de grootschalige inpolderingen van schorren en vloeisystemen in deze zone van het estuarium een belangrijke rol (zie volgend deelrapport in deze studie). Daarnaast werden de bovenafvoerdebieten vanaf 1969 ook anders gestuurd door de aanleg van de Ringvaart rondom Gent. Voor de overige getijposten in de periode 1888-1969, en de volledige periode 1970-recent is de stijging in extreem hoogwater niet verschillend van de stijging in jaargemiddeld hoogwater.

Wat betreft de extreme waarden laagwater stijgen deze in de periode 1888-1969 sneller dan het gemiddeld laagwater voor de getijposten Schoonaarde, Wetteren en Melle (Figuur 22 en Tabel 4). Dit kan mogelijks toegeschreven worden aan het verondiepen van de geul in deze zone. Voor de getijposten Lillo-Liefkenshoek en Antwerpen daalt het extreem laagwater dan weer sterker in de periode 1888-1969. Tenslotte daalt het extreem laagwater in de periode 1970-2017 sterker voor de opwaartse posten Wetteren en Melle, dit in tegenstelling tot de periode 1888-2017.

Figuur 21 – Analyse extreme waarden hoogwater voor de deelperiodes 1888-1969 en 1970-recent. Bolletjes stellen het verschil voor tussen de extreme waardes hoogwater (p99) en de langjarige trend hoogwater onder gemiddelde getijcondities.



Figuur 22 – Analyse extreme waarden laagwater voor de deelperiodes 1888-1969 en 1970-recent. Bolletjes stellen het verschil voor tussen de extreme waarden laagwater (p1) en de langjarige trend laagwater onder gemiddelde getijcondities.



Tabel 3 – R²- en p-waardes van de lineaire regressiemodellen opgesteld voor de analyse hoogwater (zie Figuur 21)

Getijpost	1888 tot 1969		1970 tot 2017	
	R ²	p-waarde	R ²	p-waarde
Vlissingen	0.0015	0.73	0.06	0.08
Terneuzen	0.0045	0.55	0.06	0.08
Hansweert	0.0001	0.94	0.06	0.10
Bath	0.01	0.37	0.05	0.12
LilloLiefkenshoek	0.001	0.78	0.03	0.21
Antwerpen	0.01	0.46	0.07	0.07
HingeneSchelle	0.002	0.77	0.03	0.25
Temse	0.002	0.74	0.03	0.23
Dendermonde	0.03	0.22	0.02	0.36
Schoonaarde	0.23	<0.001	0.0001	0.96
Wetteren	0.35	<0.001	0.01	0.52
Melle	0.29	<0.001	0.07	0.06

Tabel 4 – R²- en p-waardes van de lineaire regressiemodellen opgesteld voor de analyse laagwater (zie Figuur 22)

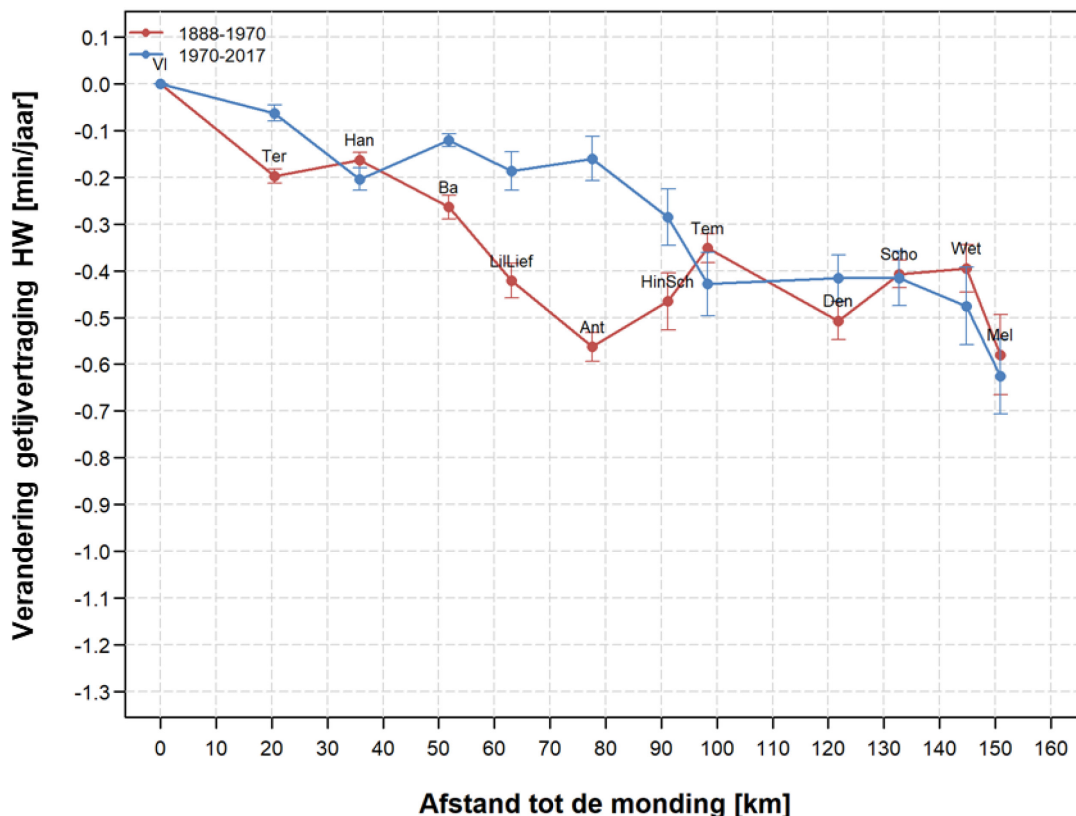
Getijpost	1888 tot 1969		1970 tot 2017	
	R ²	p-waarde	R ²	p-waarde
Vlissingen	0.02	0.19	0.03	0.24
Terneuzen	0.03	0.11	0.08	0.046
Hansweert	0.0001	0.94	0.04	0.16
Bath	0.002	0.69	0.00	0.81
LilloLiefkenshoek	0.09	0.02	0.01	0.43
Antwerpen	0.10	0.04	0.00	0.67
HingeneSchelle	0.07	0.06	0.01	0.65
Temse	0.05	0.09	0.02	0.36
Dendermonde	0.05	0.08	0.00	0.93
Schoonaarde	0.13	0.01	0.03	0.27
Wetteren	0.25	<0.001	0.17	0.004
Melle	0.13	0.02	0.23	<0.001

4.2 Getijvertraging

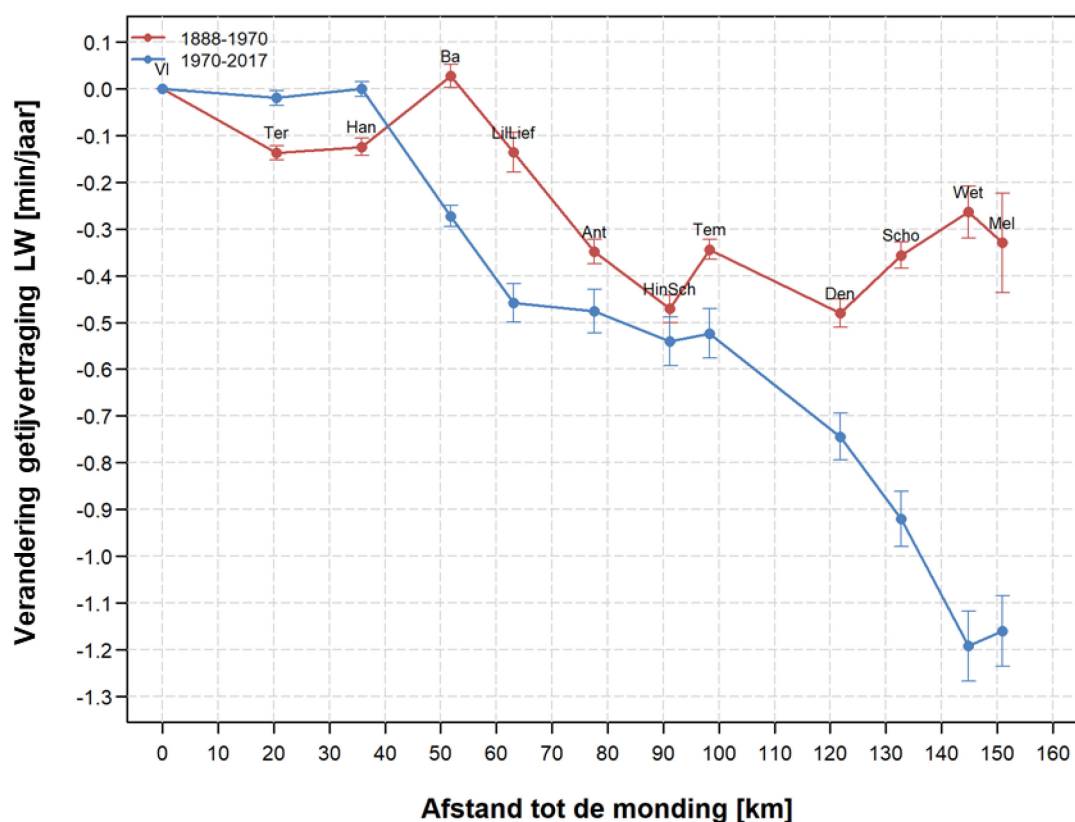
In de zones Vlissingen-Terneuzen en Hansweert-Antwerpen is er in de periode 1888-1969 een sterke toename in de voorplantingssnelheid van de hoogwatergolf, wat leidt tot een duidelijke afname in de getijvertraging HW (Figuur 23 en Figuur 14). We merken hierbij op dat een afname in getijvertraging HW in bijvoorbeeld de opwaartse post Dendermonde (Figuur 14), een gevolg is van de toename in voorplantingssnelheid van de hoogwatergolf in de afwaartse zones Vlissingen-Terneuzen en Hansweert-Antwerpen. Mogelijks leidden de inpolderingen in deze zones tot een toename van de celeriteit hoogwater. In de periode 1970-recent is er voornamelijk in de zone Vlissingen-Terneuzen en Antwerpen-Temse een toename in celeriteit hoogwater.

De belangrijkste afname in getijvertraging LW in de periode 1888-1969 wordt waargenomen tussen Bath en Hingene-Schelle (Figuur 24). De grootste afname in getijvertraging LW vindt echter plaats in de periode 1970-recent. In deze periode is er een sterke toename in celeriteit LW tussen Hansweert en Lillo-Liefkenshoek en tussen Temse en Wetteren. Deze sterke afname in de getijvertraging LW kan worden toegeschreven aan de toename in geuldiepte (zie ook volgend deelrapport in deze studie). Het effect van een toename in geuldiepte heeft relatief gezien een veel sterker effect op de celeriteit LW dan op de celeriteit HW (cf. Figuur 23 en Figuur 24, zie ook §2.5.3).

Figuur 23 – Trend getijvertraging HW onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes. De foutenvlaggen geven de standaardfout weer op de geschatte trendwaarde.



Figuur 24 – Trend getijvertraging LW onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes. De foutenvlaggen geven de standaardfout weer op de geschatte trendwaarde.

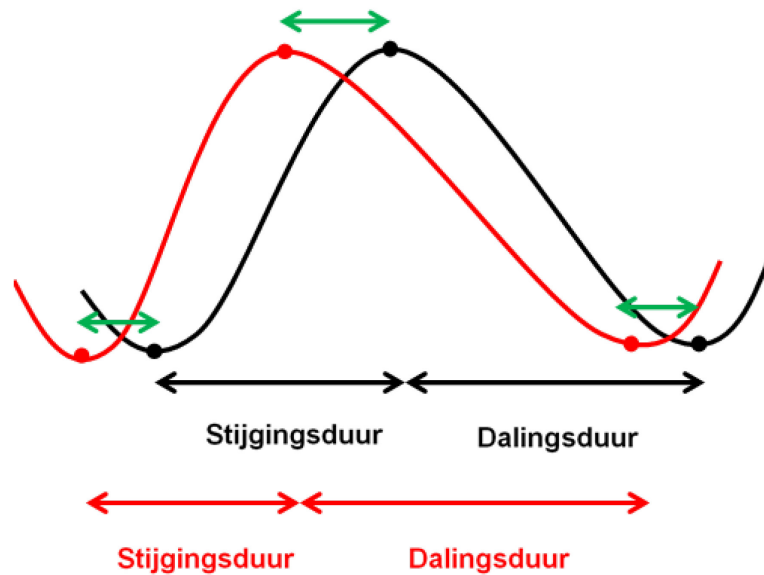


4.3 Getij-asymmetrie

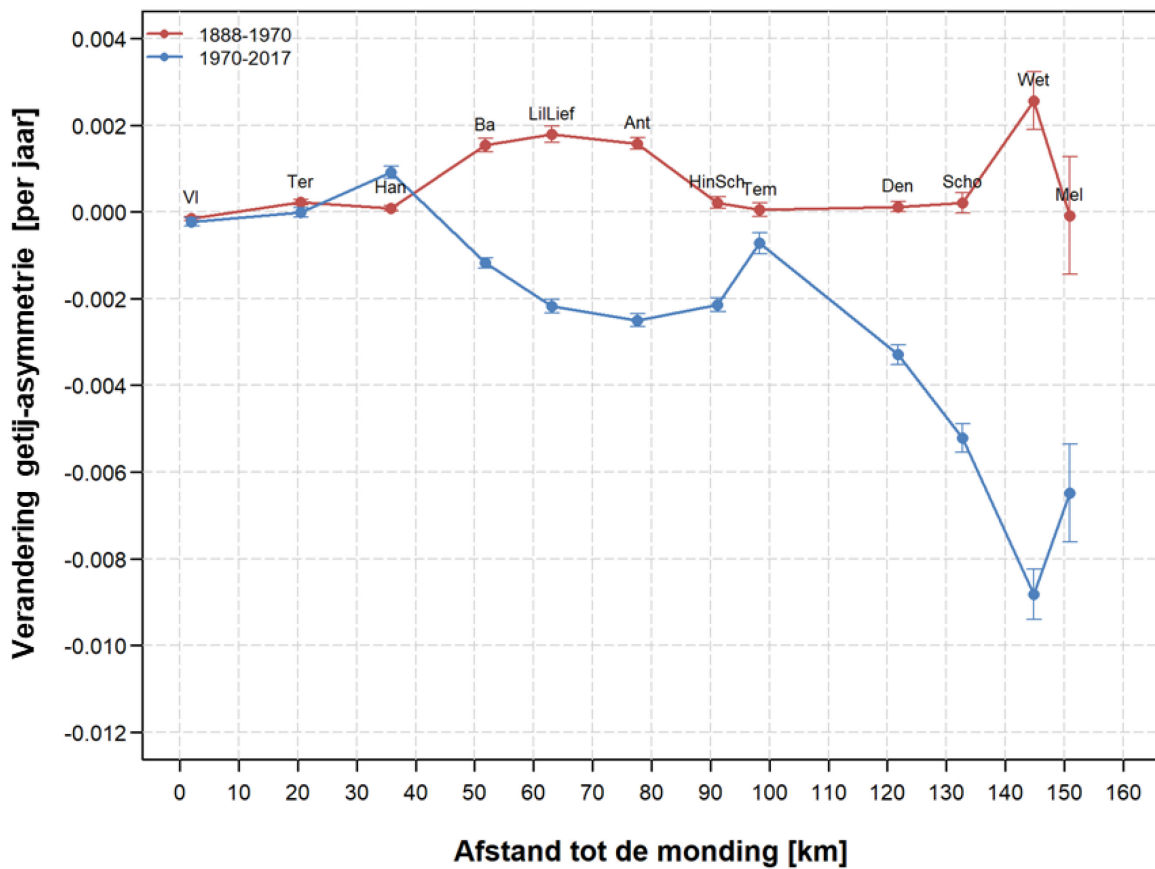
De getij-asymmetrie wordt in deze studie gedefinieerd als de verhouding tussen de dalingsduur en de stijgingsduur. Lange termijn wijzigingen in getij-asymmetrie worden bepaald door de relatieve wijzigingen in de getijvertragingen HW en LW. Indien de getijvertraging HW op termijn bijvoorbeeld sterker afneemt dan de getijvertraging LW (of met andere woorden de getijgolf komt op een bepaalde locatie relatief gezien sneller toe bij hoogwater dan bij laagwater), dan wordt de stijgingsduur korter, de dalingsduur langer en neemt de getij-asymmetrie toe (Figuur 25). Zo'n situatie heeft zich voorgedaan in de periode 1888-1969 in de zone Vlissingen-Antwerpen. De getijvertraging HW is er sterker afgenomen dan de getijvertraging LW (cf. rode lijnen in Figuur 23 en Figuur 24) wat leidt in de posten Lillo-Liefkenshoek en Antwerpen tot een afname van de stijgingsduur (Figuur 16), een toename van dalingsduur (Figuur 17), en een toename van de getij-asymmetrie (Figuur 26 en Figuur 18). Dit effect wordt teniet gedaan voor de opwaartse posten omdat de getijvertraging HW tussen Antwerpen en Hingene-Schelle toeneemt, terwijl de getijvertraging LW afneemt (cf. rode lijnen in Figuur 23 en Figuur 24). De toename in getij-asymmetrie over de zone Vlissingen-Antwerpen kan mogelijks verklaard worden aan de hand van de inpolderingen die zorgen voor een sterke toename in celeriteit HW.

In de periode 1970-recent is het duidelijk dat opwaarts Hansweert de getijvertraging LW sterker is afgenomen dan de getijvertraging HW (cf. blauwe lijnen in Figuur 23 en Figuur 24). Dit zorgt ervoor dat de stijgingsduur toeneemt (Figuur 16), de dalingsduur afneemt (Figuur 17), en bijgevolg de getij-asymmetrie afneemt (Figuur 26). De toename in geuldiepte over een groot deel van het estuarium verklaart vermoedelijk de afname in getij-asymmetrie.

Figuur 25 – Conceptuele voorstelling van de invloed van relatieve wijzigingen in getijvertraging HW en LW op de stijgingsduur en dalingsduur .



Figuur 26 – Trend getij-asymmetrie onder gemiddelde getijcondities, berekend voor de afzonderlijke getijposten en deelperiodes. De foutenvlaggen geven de standaardfout weer op de geschatte trendwaarde.



5 Conclusies

Voorliggend rapport focust op de lange termijn evolutie van de getijkarakteristieken in het Schelde estuarium. 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 gekenmerkt door inpolderingen en rechttrekkingen, terwijl de tweede periode wordt gekenmerkt door verruiming en zandwinning. De impact van deze ingrepen op de morfologie is duidelijk verschillend en leidt mogelijks tot een verschil in getij evolutie.

5.1 De periode 1888-1969

In de periode 1888-1969 is er over het volledige estuarium een stijging in jaargemiddeld hoogwater waarbij de grootte van stijging varieert tussen 0.3 en 1.1 cm/jaar (rode lijn Figuur 19). 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 (Figuur 21 en Tabel 3). Voor de jaargemiddelde laagwaters wordt in de zone Vlissingen tot Lillo-Liefkenshoek een stijging waargenomen van 0.1 tot 0.3 cm/jaar (Figuur 20). 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) (zie Figuur 22 en Tabel 4). Voor de tijdsgereleerde parameters is de getijvertraging HW sterker afgenomen dan de getijvertraging LW in de zone Vlissingen-Antwerpen (cf. rode lijnen in Figuur 23 en Figuur 24). 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 26).

5.2 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 19). 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. De extreme hoogwaters stijgen in de periode 1970-2017 niet meer dan de jaargemiddelde hoogwaters (Figuur 21 en Tabel 3). 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 20). De extreme laagwaters dalen enkel meer dan het GLW in de meest opwaartse posten Wetteren en Melle (zie Figuur 22 en Tabel 4). In de periode 1970-2017 is het duidelijk dat opwaarts Hansweert de getijvertraging LW sterker is afgenomen dan de getijvertraging HW (cf. blauwe lijnen in Figuur 23 en Figuur 24). Dit zorgt ervoor dat voor het grootste deel van het estuarium (opwaarts Hansweert) de stijgingsduur toeneemt, de dalingsduur afneemt, en bijgevolg de getij-asymmetrie afneemt (Figuur 26).

5.3 Relatie getij en morfologie

In het analysehoofdstuk (§4) werd de langjarige evolutie van de getijkarakteristieken reeds gelinkt met de wijzigingen in morfologie. De relatie tussen getij en morfologie wordt in de volgende deelrapporten binnen deze studie verder uitgediept. In deelrapport 2 wordt de invloed van de morfologische wijzigingen op de evolutie van het getij onderzocht aan de hand van data-analyse. In deelrapporten 3 en 4 wordt deze relatie bestudeerd 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 (syntheserapport).

6 Referenties

Barneveld, H.J.; Nicolai, R.P.; van Veen, M.; van Haaster, S.; Boudewijn, T.J., de Jong, J.W.; van Didden, K.; van de Haterd, R.J.W.; Middenveld, P.P.; Michielsen, S.; Van de Moortel, I.; Velez, C.; De Wilde, E. (2018). Analyserapport. T2015-rapportage Schelde-estuarium. HKV Lijn in Water: Lelystad. Iv, 428 + bijlagen pp.

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. (2013a). Aanvullend onderzoek historische ontwikkeling getij in het Schelde-estuarium. Data-analyse en toepassingen analytisch model. IMDC NV/Deltares/Svasek Hydraulics/ARCADIS Nederland: Antwerpen. 109 pp.

Kuijper, K. (2013b). Data-analysis water levels, bathymetry Western Scheldt. International Marine & Dredging Consultants/Deltares/Svašek Hydraulics BV/ARCADIS Nederland BV: Antwerp. 125 + annexes pp

Levy, Y.; Plancke, Y.; Peeters, P.; Taverniers, E.; Mostaert, F. (2014). Het getij in de Zeeschelde en haar bijrivieren: Langjarig overzicht van de voornaamste getijkarakteristieken. Versie 2_0. WL Rapporten, 12_071. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Meyvis, L. (1977). Indijkingen en waterbouwkundige werken langs de Westerschelde en de Zeeschelde – Deel I. Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Antwerpse Zeediensten. Verslag AZ.77-12. p. 53.

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.

Taverniers, E. (1979). De afsluiting van de Durme. Afdamming? Stormvloedkering? “Open” Durme! Ministerie van Openbare Werken. Dienst der Zeeschelde. p. 60.

Taverniers, E.; Mostaert, F. (2009). Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken gedurende het decennium 1991-2000: T.O. tijwaarnemingen Zeescheldebekken 1991-2000. Versie 2.0, heruitg. papieren versie. WL Rapporten, 833_01. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. I, 170 pp.

Van Braeckel A., Coen L., Peeters P., Plancke Y., Mikkelsen J. en 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.

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. Versie 2.0. WL Rapporten, 00_158. Flanders Hydraulics Research: Antwerp. III, 23 pp.

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.; Hertoghs, R.; Michielsen, S.; Van de Moortel, I.; Brackx, M.; Claeys, S.; Plancke, Y.; Vereecken, H.; Meire, D.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2019a). Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2018: Factual data rapportage van monitoring waterbeweging en fysische parameters in de Zeeschelde in 2018. Versie 4.0. WL Rapporten, 12_070_8. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vandenbruwaene, W.; Hertoghs, R.; Meire, D.; Vereecken, H.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2019b). Optimalisatie monitoring Zeeschelde: Modernisering getijmeetnet en kwaliteitscontrole. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_138_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vanlierde, E.; Michielsen, S.; Vereycken, K.; Hertoghs, R.; Meire, D.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Tienjarig overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken: decennium 2001-2010. Versie 5.0. WL Rapporten, 12_071. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. XIV, 212 pp.

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. III, 11 + 9 p. bijlagen pp.

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

Bijlage 1 – Dagelijkse hoog- en laagwaterstanden

Tabel 5 – Aantal hoogwaters per jaar met kwaliteitslabel goed.

Rode cellen geven jaartallen weer met geen data (liggend streepje), of jaartallen met onvoldoende hoogwaters (<50%). Rode cellen met groene rand geven jaartallen weer waarvoor de jaargemiddelde waterstanden uit de 10-jarige overzichten werden gebruikt.

Jaar	VI	Ter	Ha	Ba	Lil	Lie	An	Hi	Sche	Tem	De	Scho	We	Me
1888	707	707	707	707	568	-	636	-	-	-	366	-	-	-
1889	706	706	706	706	414	-	585	-	-	-	611	-	-	-
1890	705	705	705	705	592	-	660	-	-	-	565	-	-	-
1891	705	705	705	705	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1892	707	707	707	472	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1893	706	706	706	706	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1894	705	705	705	705	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1895	705	705	705	705	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1896	708	707	707	707	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1897	705	706	706	706	-	-	-	-	-	-	-	95	-	-
1898	705	705	705	705	-	-	-	-	-	-	-	208	-	-
1899	705	705	705	705	-	-	-	-	-	-	-	60	-	-
1900	706	706	706	706	-	-	-	-	-	-	-	195	-	219
1901	705	705	705	365	648	-	-	702	-	694	687	414	575	688
1902	705	705	705	366	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1903	705	705	705	368	705	-	-	705	-	619	705	692	704	705
1904	708	708	708	370	705	-	-	708	-	689	695	693	664	707
1905	705	705	705	366	705	-	-	705	-	705	706	706	706	706
1906	705	705	705	368	619	-	-	645	-	705	705	705	705	705
1907	706	705	705	365	673	-	-	705	-	705	705	705	705	705
1908	707	708	708	366	685	-	-	708	-	694	707	684	692	697
1909	705	705	705	367	705	-	-	650	-	705	706	706	706	680
1910	705	705	705	366	704	-	-	705	-	705	705	705	705	705
1911	706	706	706	366	706	-	114	705	-	705	705	705	691	705
1912	707	707	707	366	707	-	532	708	-	708	708	708	707	707
1913	705	705	705	365	705	-	704	705	-	705	705	705	706	706
1914	705	705	705	365	517	-	527	514	-	409	409	442	403	522
1915	706	706	706	365	296	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1916	707	707	707	367	707	-	532	-	-	470	-	-	-	530
1917	705	705	705	365	355	-	-	-	-	117	-	-	356	533
1918	705	705	705	365	292	-	-	-	-	118	-	-	518	705
1919	706	706	706	366	414	-	118	-	-	520	-	-	696	634
1920	707	707	707	367	707	-	684	-	-	415	-	-	691	708
1921	705	705	705	365	587	-	705	-	-	705	-	-	700	702
1922	705	705	705	365	705	-	705	-	-	705	-	353	705	705
1923	706	706	706	365	706	-	706	-	-	706	532	706	705	705
1924	707	707	707	366	647	-	707	465	-	399	707	707	708	708
1925	705	705	705	365	703	-	705	694	-	705	705	705	705	574
1926	706	705	705	366	704	-	705	621	-	704	705	647	646	705
1927	705	706	706	365	705	-	647	602	-	700	699	680	692	706
1928	707	707	707	367	707	-	707	661	-	707	703	526	705	707
1929	705	705	705	365	662	-	508	574	-	628	632	531	634	635
1930	706	706	706	366	705	-	539	637	-	705	703	705	699	706
1931	705	705	705	365	705	-	-	706	-	706	706	522	706	706
1932	707	707	707	367	707	-	-	707	-	707	707	519	476	699

1933	705	705	705	365	670	-	-	651	-	689	679	654	685	690
1934	706	706	706	365	613	-	-	706	-	706	705	705	703	705
1935	705	705	705	705	705	-	-	705	-	610	648	706	706	706
1936	707	707	707	707	647	-	-	707	-	707	707	707	707	707
1937	705	705	705	705	705	-	-	705	-	705	705	705	705	685
1938	706	706	706	706	705	-	-	706	-	695	695	683	689	697
1939	705	705	705	705	705	-	-	587	-	705	705	703	687	706
1940	707	707	707	707	581	-	-	570	-	178	153	238	603	559
1941	705	705	705	705	649	-	-	674	-	-	339	338	665	666
1942	706	706	706	344	589	-	-	664	-	-	641	659	677	679
1943	705	705	705	366	703	-	413	705	-	-	705	705	706	706
1944	707	707	707	325	471	-	-	682	-	-	693	685	673	464
1945	705	705	705	368	-	-	704	644	-	-	691	594	705	-
1946	706	706	706	365	-	-	706	104	-	-	706	693	605	-
1947	705	705	705	366	-	140	651	531	-	-	585	671	694	-
1948	707	707	707	367	-	637	707	688	-	-	658	561	696	-
1949	706	705	705	366	-	705	705	705	-	-	705	705	705	-
1950	705	706	706	365	-	706	706	706	-	540	705	706	687	704
1951	705	705	705	366	-	705	697	705	-	705	705	705	705	705
1952	707	707	707	367	-	493	707	111	-	706	707	707	707	-
1953	706	706	706	402	-	600	705	-	-	296	705	576	705	-
1954	705	705	705	367	-	27	705	7	-	657	683	608	686	-
1955	705	705	705	366	-	705	705	681	-	705	705	705	705	-
1956	707	707	707	367	-	707	707	-	-	671	707	668	688	-
1957	706	706	706	479	-	706	706	-	-	706	705	705	705	-
1958	705	705	705	705	-	705	705	-	-	645	706	559	706	-
1959	705	705	705	705	-	705	705	-	-	678	706	665	705	-
1960	707	707	707	707	-	707	707	-	-	707	707	707	707	-
1961	706	706	706	706	-	706	706	492	-	706	705	705	705	-
1962	705	705	705	705	-	705	705	550	-	705	706	520	706	-
1963	705	705	705	705	-	620	705	398	-	659	682	670	680	-
1964	707	707	707	707	-	707	707	554	-	707	707	641	707	-
1965	706	706	706	706	-	706	706	52	391	706	706	706	705	-
1966	705	705	705	705	-	705	705	-	576	705	705	705	287	-
1967	705	705	705	705	-	705	705	-	438	705	651	619	650	-
1968	707	707	707	707	-	671	707	-	652	707	706	707	679	-
1969	706	706	706	706	-	706	706	-	652	665	682	706	503	-
1970	705	705	705	705	-	705	705	-	446	705	619	581	184	-
1971	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	705	691	574	644
1972	708	707	707	707	-	707	707	-	707	706	707	707	707	707
1973	705	706	706	706	-	706	706	-	654	706	706	706	706	674
1974	705	705	705	705	-	704	705	-	705	706	705	705	705	705
1975	705	705	705	705	-	705	705	-	705	669	705	705	705	705
1976	708	708	708	708	-	707	707	-	707	707	707	707	707	653
1977	705	705	705	705	-	706	706	-	706	707	706	705	706	706
1978	705	705	705	705	-	677	705	-	408	705	705	587	660	651
1979	705	705	705	705	-	705	705	-	705	656	705	705	705	705
1980	708	708	708	708	-	708	708	-	707	700	707	601	707	707
1981	705	705	705	705	-	705	705	-	706	706	706	706	706	706
1982	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	705	705	705	705
1983	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	705	705	705	705
1984	708	708	708	708	-	708	708	-	708	708	707	707	707	707
1985	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	682	662	706	697
1986	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	705	705	705	675
1987	705	705	705	705	-	705	705	-	689	664	633	652	649	669
1988	708	708	708	708	-	708	708	-	682	671	700	694	693	705

1989	705	705	705	705	-	700	705	-	692	702	699	705	625	706
1990	705	705	705	705	-	705	705	-	680	704	703	656	673	672
1991	706	706	706	705	-	705	705	-	705	698	705	686	677	705
1992	707	707	707	708	-	708	708	-	708	707	708	689	706	707
1993	705	705	705	705	-	705	705	-	705	702	705	690	683	705
1994	705	705	705	705	-	705	705	-	705	702	698	678	704	705
1995	706	706	706	706	-	706	705	-	705	704	705	705	662	705
1996	707	707	707	707	-	707	708	-	708	708	708	698	681	708
1997	705	705	705	705	-	705	705	-	705	702	665	705	601	704
1998	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	705	705	688	705
1999	706	706	706	706	-	706	706	-	706	705	705	705	651	705
2000	707	707	707	707	-	707	707	-	707	697	708	708	698	708
2001	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	703	705	705	705
2002	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	705	705	705	705
2003	706	706	706	706	-	706	706	-	706	706	706	705	704	705
2004	707	707	707	707	-	707	707	-	707	707	670	708	708	708
2005	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	705	705	704	705
2006	706	705	705	705	-	705	705	-	704	705	705	705	705	687
2007	705	706	706	706	-	706	706	-	706	706	706	706	705	704
2008	707	707	707	707	-	707	707	-	707	707	707	707	708	708
2009	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	705	705	705	705
2010	705	706	705	705	-	705	705	-	705	705	705	705	705	705
2011	706	705	706	706	-	706	705	-	706	706	706	706	706	706
2012	707	707	707	707	-	707	707	-	707	707	707	707	707	707
2013	706	705	706	705	-	705	705	-	349	705	705	705	705	705
2014	706	703	701	703	-	706	705	-	-	705	705	705	705	705
2015	702	687	678	685	-	705	706	-	-	706	706	706	706	706
2016	707	702	699	702	-	707	707	-	-	707	707	707	707	707
2017	699	665	667	669	-	705	705	-	-	705	705	705	705	705

Tabel 6 – Aantal laagwaters per jaar met kwaliteitslabel goed.

Rode cellen geven jaartallen weer met geen data (liggend streepje), of jaartallen met onvoldoende hoogwaters (<50%). Rode cellen met groene rand geven jaartallen weer waarvoor de jaargemiddelde waterstanden uit de 10-jarige overzichten werden gebruikt.

Jaar	VI	Ter	Ha	Ba	Lil	Lie	An	Hi	Sche	Tem	De	Scho	We	Me	
1888	707	707	707	707	561	-	626	-	-	-	373	-	-	-	
1889	705	705	705	705	410	-	584	-	-	-	611	-	-	-	
1890	706	705	705	705	568	-	659	-	-	-	583	-	-	-	
1891	705	706	706	706	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1892	707	707	707	471	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1893	705	705	705	705	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1894	706	706	706	705	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1895	705	705	705	706	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1896	707	707	707	707	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1897	705	705	705	705	-	-	-	-	-	-	-	94	-	-	
1898	706	705	706	706	-	-	-	-	-	-	-	208	-	-	
1899	705	706	705	705	-	-	-	-	-	-	-	60	-	-	
1900	705	705	705	705	-	-	-	-	-	-	-	196	-	218	
1901	705	705	705	365	647	-	-	701	-	-	687	687	414	576	689
1902	706	706	706	365	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1903	705	705	705	365	704	-	-	705	-	-	616	706	692	705	705
1904	707	707	707	366	707	-	-	706	-	-	689	697	693	663	708
1905	705	705	705	365	705	-	-	705	-	-	705	705	705	705	705
1906	706	706	706	365	620	-	-	646	-	-	705	695	705	705	705
1907	705	705	705	365	536	-	-	705	-	-	706	706	706	705	705

1908	707	707	707	366	683	-	-	707	-	685	707	683	692	684
1909	706	706	705	365	704	-	-	651	-	705	705	705	705	679
1910	705	705	706	365	706	-	-	706	-	706	705	705	705	705
1911	705	705	705	365	705	-	114	705	-	705	706	706	693	706
1912	707	707	707	366	707	-	531	707	-	707	707	707	707	707
1913	706	706	706	365	705	-	705	705	-	691	705	705	705	705
1914	705	705	705	365	518	-	528	516	-	410	410	443	402	522
1915	705	705	705	365	295	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1916	707	707	707	366	663	-	531	-	-	470	-	-	-	529
1917	706	706	706	365	355	-	-	-	-	118	-	-	355	533
1918	705	705	705	365	292	-	-	-	-	118	-	-	518	705
1919	705	705	705	365	413	-	118	-	-	518	-	-	696	635
1920	707	707	707	366	707	-	683	-	-	415	-	-	690	707
1921	706	706	706	365	588	-	706	-	-	705	-	-	701	702
1922	705	705	705	365	704	-	705	-	-	706	-	354	704	705
1923	705	705	705	365	705	-	705	-	-	705	532	705	706	706
1924	707	707	707	366	638	-	707	464	-	399	707	707	707	707
1925	706	706	706	365	706	-	706	697	-	705	705	705	705	574
1926	705	705	705	365	690	-	705	620	-	705	706	648	648	705
1927	705	705	705	365	705	-	646	595	-	699	697	680	684	706
1928	708	707	707	366	706	-	706	645	-	706	703	528	705	707
1929	705	706	706	365	649	-	474	569	-	630	634	531	630	634
1930	705	705	705	365	704	-	513	634	-	705	706	706	700	706
1931	705	705	705	365	705	-	-	705	-	705	705	522	705	705
1932	708	708	707	366	706	-	-	707	-	707	707	519	477	699
1933	705	705	706	365	662	-	-	650	-	686	667	653	688	693
1934	705	705	705	365	613	-	-	705	-	705	706	706	704	706
1935	705	705	705	705	686	-	-	704	-	611	647	705	705	705
1936	708	708	708	707	648	-	-	707	-	707	707	707	707	707
1937	705	705	705	706	705	-	-	706	-	706	705	705	705	686
1938	705	705	705	705	704	-	-	704	-	692	694	683	687	699
1939	706	705	705	705	463	-	-	585	-	705	704	704	685	705
1940	707	708	708	708	10	-	-	559	-	174	152	249	601	560
1941	705	705	705	705	191	-	-	665	-	-	340	332	662	660
1942	705	705	705	319	85	-	-	604	-	-	639	665	680	679
1943	706	705	705	365	207	-	413	705	-	-	705	705	705	705
1944	707	708	708	323	80	-	-	682	-	-	691	680	673	465
1945	705	705	705	365	-	-	-	703	643	-	692	589	705	-
1946	705	705	705	365	-	-	-	705	100	-	705	691	607	-
1947	706	706	705	365	-	137	651	531	-	-	562	671	689	-
1948	707	707	708	366	-	563	708	688	-	-	643	558	701	-
1949	705	705	705	365	-	704	705	704	-	-	706	704	705	-
1950	705	705	705	365	-	705	705	705	-	540	705	704	687	706
1951	706	706	706	365	-	704	697	703	-	705	705	705	705	705
1952	707	707	707	368	-	495	708	103	-	706	707	707	707	-
1953	705	705	705	366	-	598	705	-	-	294	706	570	706	-
1954	705	705	705	365	-	25	705	7	-	655	678	607	684	-
1955	706	706	706	365	-	706	706	682	-	704	704	705	705	-
1956	707	707	707	366	-	707	707	-	-	671	707	667	689	-
1957	705	705	705	480	-	705	705	-	-	705	706	706	706	-
1958	706	705	705	705	-	704	705	-	-	645	705	446	705	-
1959	705	706	706	706	-	706	706	-	-	679	706	662	705	-
1960	707	707	707	707	-	707	707	-	-	708	708	706	707	-
1961	705	705	705	705	-	705	705	506	-	705	705	706	706	-
1962	706	705	705	705	-	705	705	550	-	705	705	514	705	-

1963	705	706	706	706	-	620	705	393	-	662	681	667	682	-
1964	707	707	707	707	-	705	707	544	-	707	708	643	707	-
1965	705	705	705	705	-	705	705	55	392	705	705	705	706	-
1966	706	706	706	705	-	705	705	-	560	705	705	704	282	-
1967	705	705	705	706	-	706	706	-	393	705	652	619	650	-
1968	707	707	707	707	-	671	707	-	652	679	708	707	679	-
1969	705	705	705	705	-	705	705	-	637	664	672	706	497	-
1970	706	706	706	705	-	705	705	-	456	705	620	593	187	-
1971	705	705	705	706	-	706	706	-	706	706	705	689	575	644
1972	707	707	707	707	-	707	707	-	707	707	708	708	707	707
1973	705	705	705	705	-	705	705	-	653	705	705	705	657	666
1974	706	706	706	706	-	705	705	-	704	707	705	705	601	705
1975	705	705	705	705	-	706	706	-	706	668	705	704	705	705
1976	707	707	707	707	-	707	707	-	706	707	708	708	708	654
1977	705	705	705	705	-	705	705	-	705	706	705	705	705	705
1978	706	706	706	706	-	678	706	-	406	705	705	587	661	652
1979	705	705	705	705	-	705	705	-	706	658	706	705	705	705
1980	707	707	707	707	-	707	707	-	707	697	707	601	708	708
1981	706	706	705	705	-	705	705	-	704	705	705	705	705	705
1982	705	705	706	706	-	706	706	-	705	705	705	705	705	705
1983	705	705	705	705	-	705	705	-	706	706	706	706	705	705
1984	707	707	707	707	-	707	707	-	707	706	707	707	708	708
1985	706	706	706	705	-	705	705	-	705	704	680	662	705	654
1986	705	705	705	706	-	706	706	-	706	706	705	705	705	674
1987	705	705	705	705	-	705	705	-	696	612	632	653	648	665
1988	707	707	707	707	-	707	707	-	679	658	699	692	694	708
1989	706	706	706	705	-	700	705	-	691	697	700	705	623	705
1990	705	705	705	706	-	705	706	-	680	702	704	656	675	672
1991	705	705	705	705	-	705	705	-	705	703	706	688	680	706
1992	707	707	707	707	-	707	707	-	707	707	707	686	705	707
1993	706	706	706	706	-	706	705	-	705	702	705	688	684	705
1994	705	705	705	705	-	705	706	-	706	705	704	678	704	705
1995	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	705	706	664	706
1996	707	707	707	707	-	707	707	-	707	705	706	696	678	707
1997	706	706	706	706	-	706	706	-	705	705	662	705	603	705
1998	705	705	705	705	-	705	705	-	706	706	706	705	687	705
1999	705	705	705	705	-	705	705	-	705	704	705	706	650	706
2000	707	707	707	707	-	707	707	-	707	695	707	707	698	707
2001	706	706	706	706	-	706	706	-	706	705	703	705	705	705
2002	705	705	705	705	-	705	705	-	705	706	706	706	705	705
2003	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	705	705	705	706
2004	708	708	707	707	-	707	707	-	707	707	671	707	707	707
2005	705	705	706	706	-	706	706	-	706	706	704	704	705	705
2006	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	704	706	705	689
2007	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	705	704	705	704
2008	708	708	708	707	-	707	707	-	707	707	707	707	707	707
2009	705	705	705	706	-	706	706	-	706	706	705	705	705	705
2010	705	705	705	705	-	705	705	-	705	704	706	706	706	706
2011	705	705	705	705	-	705	705	-	705	705	705	705	705	705
2012	708	708	708	708	-	708	707	-	707	707	707	707	707	707
2013	707	705	705	705	-	705	706	-	349	706	705	704	705	705
2014	705	701	702	702	-	705	705	-	-	705	706	706	706	706
2015	703	690	684	684	-	705	705	-	-	705	705	705	705	705
2016	707	704	704	704	-	708	708	-	-	707	707	707	707	707
2017	698	666	669	668	-	705	705	-	-	706	706	705	705	705

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