

Evaluatierapport

T2021-rapportage Schelde-estuarium

Raamovereenkomst zaaknummer 31151860

Onderzoek en Monitoring VNSC: Data-analyse en data-modelleringsdiensten (perceel 2)

Nadere overeenkomst **NOK11** met contractnummer **31179695**

Voor de Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie

aMT	Jürgen Suffis
RWS WVL	Albert Mulder

Projectmedewerkers

HKV	Matthijs Gensen Robin Nicolai
Antea Group	Ivo Van de Moortel Silvy Thant Stef Michielsen Ferdinand Messens
BuWa	Theo Boudewijn Job de Jong Robert Middelveld Helga van der Jagt
UGent	Wout Van Echelpoel Stijn Bruneel

Datum oplevering rapport v4.0: 18 december 2023

Dankwoord

De Vlaams Nederlandse Scheldecommissie en het consortium Schelde in Beeld willen de leden van de projectgroep Evaluatie & Rapportering, de verschillende inhoudelijk experts en de dataleveranciers uitvoerig bedanken voor hun bijdrage aan het "T2021" project. Hun input en feedback was cruciaal om een coherente "T2021-rapportage van het Schelde-estuarium" te bekomen.

We wensen ook het Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ) te bedanken, meer specifiek het *Local Services & Projects Team* van het VLIZ Datacentrum alsook het *IT-team* van ScheldeMonitor. Het VLIZ maakte een vlotte dataopslag en -ontsluiting mogelijk. Dit vormde de basis van het T2021 project. Naast de vele voorbereidende werken en de aanpassingen aan de eigen datasystemen, stonden zij ook tijdens het project klaar voor ondersteuning, het ad hoc uitvoeren van bijkomende aanpassingen en het constructief meedenken aan alternatieve oplossingen m.b.t. de datastromen en/of mogelijke verbeteringen naar de toekomst toe.

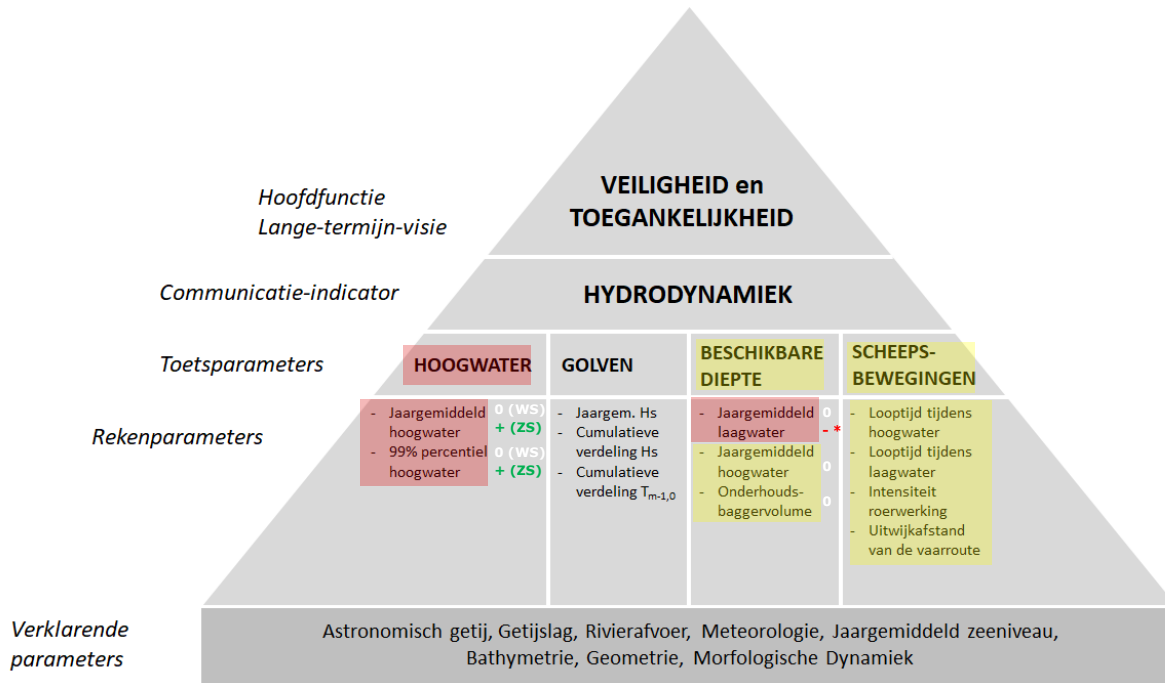
Samenvatting

Het Schelde-estuarium is een complex systeem, dat volop in verandering is. Om de belangen van de economie, de veiligheid en de natuur te waarborgen, werken Nederland en Vlaanderen samen aan de verbetering van het estuarium, op basis van de Langetermijnvisie Schelde-estuarium (LTV2030) en de Ontwikkelingsschets 2010. Met het gemeenschappelijk monitoringsprogramma MONEOS wordt er in de gaten gehouden hoe het estuarium ontwikkelt, om eventueel bij te kunnen sturen mocht dat nodig zijn. De monitoringgegevens op zich geven echter niet direct een pasklaar beeld van hoe het estuarium ervoor staat. Daarom heeft de Vlaams-Nederlandse Schelde-commissie (VNSC) een evaluatiemethodiek opgesteld die het mogelijk maakt om iedere zes jaar de ontwikkelingen te beoordelen. Niet aan een historische of ongerepte situatie, maar aan de beleidsdoelstellingen zoals geformuleerd in LTV2030. Hierbij staan de drie hoofdfuncties van de langetermijnvisie centraal: de twee gebruiksfuncties Veiligheid tegen overstroming en Toegankelijkheid tot de Zeeschelde en havens en de functie Natuurlijkheid zoals vervat in de regelgeving. Het toetsen van veiligheid en toegankelijkheid aan (wettelijke) kaders behoort niet tot deze evaluatie; wel hoe de waargenomen ontwikkelingen beoordeeld kunnen worden vanuit het oogpunt van deze hoofdfuncties.

Voorliggend evaluatierapport presenteert de resultaten van de derde zesjaarlijkse evaluatie. Ze focust op de ontwikkelingen die zijn waargenomen in de periode 2016-2021. Voorliggend rapport presenteert de eigenlijke de evaluatie waarbij ieder hoofdstuk dieper ingaat op de evaluatie, trends, verklaringen en verhaallijnen. De onderliggende berekeningen en trendanalyses staan gepresenteerd in het Analyserapport (Schelde in Beeld, 2023).

Samenvatting Hydrodynamiek

Figuur 1-1 presenteert de globale evaluatie van de communicatie-indicator Hydrodynamiek die is opgebouwd uit vier toetsparameters: Hoogwater, Golven, Beschikbare diepte en Scheepsbewegingen.



Figuur 1-1: Samenvatting Evaluatie Hydrodynamiek op basis van de data uit de periode 2016-2021: negatief (ROOD), neutraal (GEEL), positief (GROEN) beoordeeld. Aanvullend wordt ook de evolutie ten opzichte van T2015 weergegeven: gunstige (+), neutraal (0) en ongunstige (-) evolutie voor de Westerschelde (WS) en Zeeschelde (ZS).

De toetsparameter **Hoogwater** wordt **negatief geëvalueerd** vanwege de stijgende trend in de hoogwaterstanden. De afvlakkende trends in de Zeeschelde duiden mogelijk op een systeemverandering ten opzichte van de vorige evaluatieperiodes. Op basis van de beschikbare gegevens is geen eenduidige verklaring gevonden. We bevelen daarom aan om de afvlakkende trends in de Zeeschelde in relatie tot morfologische ontwikkelingen en menselijke ingrepen sinds 2000 nader te onderzoeken.

Het is op basis van de beschikbare gegevens niet mogelijk om een eenduidige conclusie te trekken met betrekking tot de ontwikkeling van het golfklimaat bij de meetstations. De toetsparameter **Golven kan niet geëvalueerd worden**.

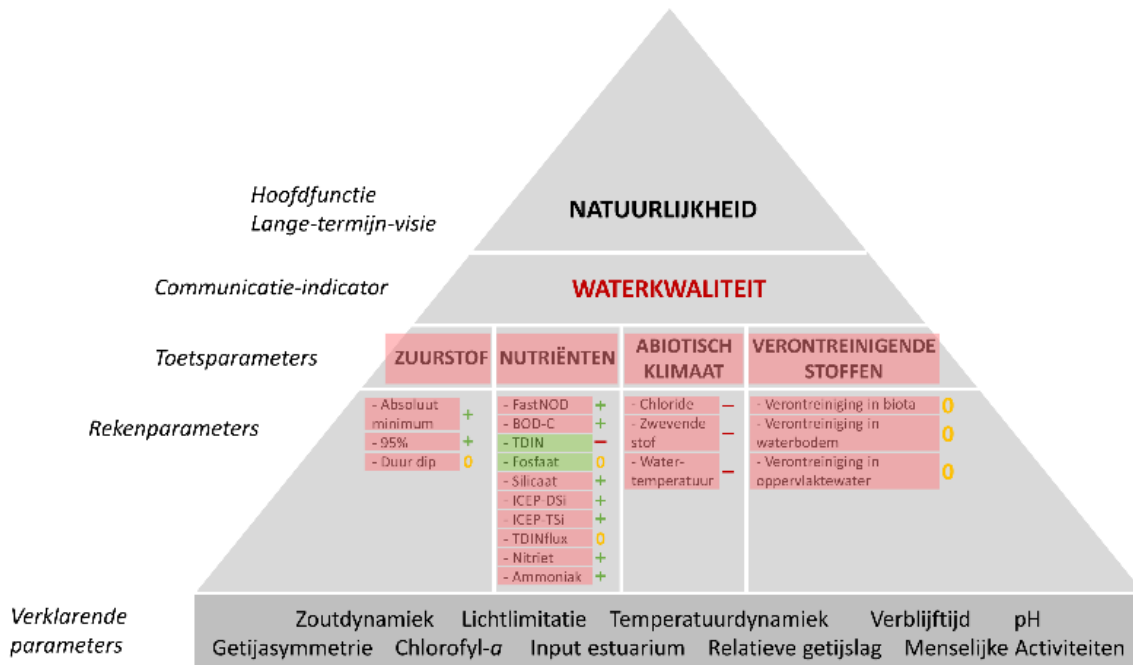
De toetsparameter **Beschikbare diepte** wordt in zijn algemeenheid ten opzichte van T2015 als **neutraal geëvalueerd**. De jaargemiddelde hoogwaterstanden zijn overal stijgende. Voor de Boven-Zeeschelde kan deze stijging de doorvaarthoogte bij bruggen negatief beïnvloeden. De evaluatie van het jaargemiddeld laagwater is positief (stijgende laagwaterstanden) voor de Westerschelde en negatief (dalende laagwaterstand) voor de Zeeschelde. Het totale jaarlijkse volume van de onderhoudsbaggerwerkzaamheden vertoont geen duidelijke trend. Dit geldt voor alle deelsystemen en de individuele sedimentfracties, met uitzondering van de waarneming in de Beneden-Zeeschelde net volgend op de derde verruiming (T2015): een piek qua gebaggerd volume zand en slib in 2011, waarna

het slib daalde tot het in 2015 eenzelfde niveau bereikte als net vóór de derde verzuivering. Het gebaggerde volume fluctueert al direct na 2011 rond eenzelfde niveau als voor de derde verzuivering.

De toetsparameter **Scheepsbewegingen** wordt **neutraal geëvalueerd**. Binnen het systeem zijn er op trajecten zowel verbeteringen als verslechtingen van de bevaarbaarheid te observeren.

Samenvatting Waterkwaliteit

Figuur 1-2 presenteert de globale evaluatie van de communicatie-indicator Waterkwaliteit die is opgebouwd uit vier toetsparameters: Zuurstof, Nutriënten, Abiotisch klimaat en Verontreinigende stoffen. De evaluatie hanteert het principe *one-out-all-out* conform de KRW-methodiek: indien één locatie negatief beoordeeld wordt, wordt de reken- en bijgevolg ook de toetsparameter negatief beoordeeld. Door deze strenge aanpak vertonen alle toetsparameters een negatieve evaluatie. Echter, veel rekenparameters tonen een verbetering ten opzichte van de periode 2010-2015.



Figuur 1-2: Samenvatting Evaluatie Waterkwaliteit op basis van de data uit de periode 2016-2021: negatief (ROOD), neutraal (GEEL), positief (GROEN) beoordeeld. Aanvullend wordt ook de evolutie ten opzichte van T2015 weergegeven: gunstige (+), neutraal (0) en ongunstige (-) evolutie voor de Westerschelde (WS) en Zeeschelde (ZS).

De toetsparameter Zuurstof wordt **negatief geëvalueerd** maar vertoont een verbetering ten opzichte van T2015. Deze beoordeling wordt in grote mate gestuurd door de omstandigheden in de Zeeschelde. De Westerschelde voldoet wel aan de voorgeschreven criteria. De algemene zuurstofhuishouding verbetert. Desalniettemin blijft er nog ruimte voor verbetering, voornamelijk wat betreft de Zijrivieren en de invloed die een uitzonderlijke meteorologische situatie kan hebben op de zuurstofconcentratie. Er is een toename van de 5-percentielwaarde in zowel zomer als winter. Ook al wordt er op de meeste locaties een verbetering waargenomen qua absoluut zuurstof minimum, het is opvallend dat het absoluut zuurstof minimum in een aantal posten in de Zeeschelde (OMES 13 en OMES 14) en zijrivieren (Getijde-Durme en Rupel) niet meer gehaald wordt, terwijl dit in de periode 2010-2015 wel het geval

was. Voor de duur van de zuurstofdip worden wisselende resultaten waargenomen, doch enige voorzichtigheid bij de interpretatie is aangeraden.

De **toetsparameter Nutriënten** wordt **negatief beoordeeld**, maar veel rekenparameters vertonen een gunstige verandering ten opzichte van T2015. Ook hier wordt de negatieve beoordeling sterk gestuurd door de Zeeschelde, terwijl de Westerschelde nagenoeg steeds voldoet aan de voorgeschreven criteria. Twee rekenparameters worden positief beoordeeld: TDIN en Fosfaat. Dit zijn net de twee rekenparameters die niet getoetst worden aan vaste grenzen, maar aan de waarde in de periode 2004-2009 (de T2009-rapportage). Dit komt de evaluatie ten goede, ondanks het feit dat de waargenomen TDIN-concentraties hoger liggen dan de heersende milieukwaliteitsnormen. Bovendien wordt er de laatste jaren een lichte toename in de TDIN-concentratie waargenomen, hetgeen noopt tot enige voorzichtigheid en verdere opvolging. De overige acht rekenparameters voldoen niet aan het opgestelde toetscriterium, maar vertonen wel een gunstige afname. Enige aandacht dient nog wel besteed te worden aan de instroom van nutriënten uit de Zijrivieren (o.a. Bovenschelde, Dender en Zenne) en het tekort aan silicium dat (1) tijdens fytoplanktonbloei ontstaat in de Zeeschelde en (2) bijna continu heerst in de Westerschelde en Monding.

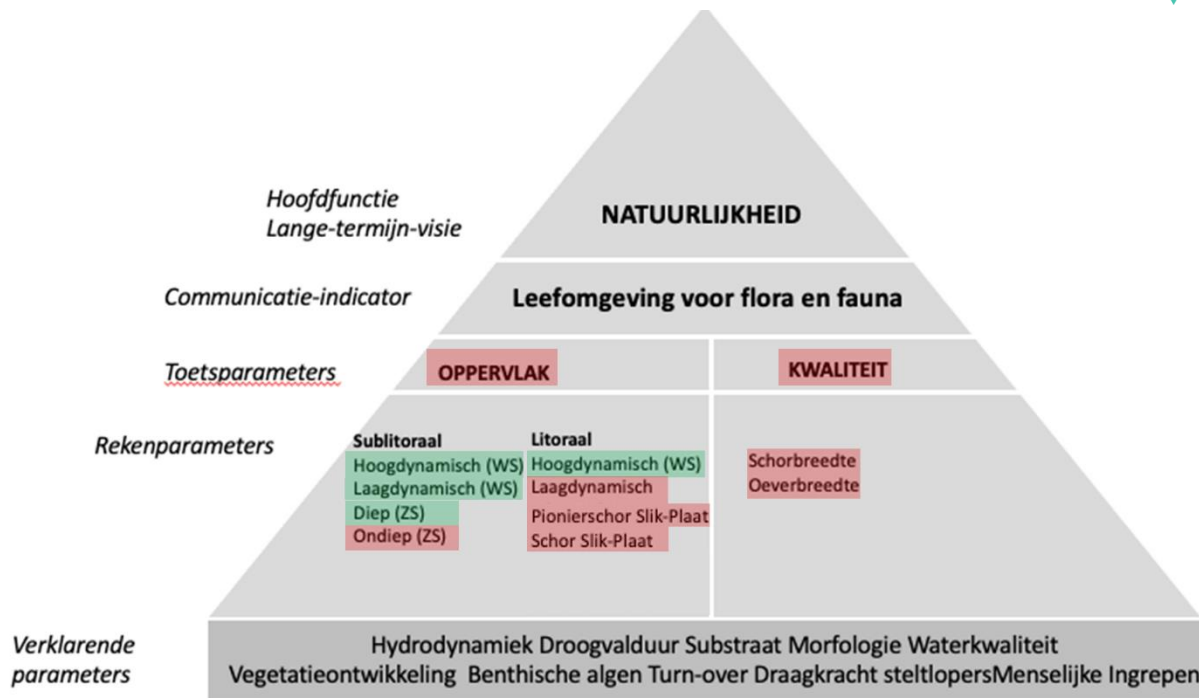
De toetsparameter **Abiotisch klimaat** wordt **negatief geëvalueerd** en vertoont een achteruitgang ten opzichte van T2015. Het chloridegehalte neemt toe in de Monding, Westerschelde en in de Zeeschelde tot en met OMES 16 (tot Dendermonde) waardoor op meerdere plekken de maximumgrens wordt overschreden en deze rekenparameter negatief beoordeeld wordt. Het zwevende stofgehalte blijft verder toenemen in de Zeeschelde wat een ongunstige evolutie is. Ook de rekenparameter Watertemperatuur voldoet in meerdere compartimenten van de Zeeschelde niet aan het voorgeschreven toetscriterium, terwijl er geen overschrijdingen in de Westerschelde worden waargenomen.

De toetsparameter **Verontreinigende stoffen** wordt **negatief geëvalueerd** gezien alle drie de rekenparameters negatief beoordeeld worden. Ten opzichte van T2015 is er een *status quo*. Dit geldt voor zowel de verontreinigende stoffen in de waterkolom, in de bodem als in biota. Hier dient wel opgemerkt te worden dat de methodologie hiertoe bijdraagt: negatief bij één enkele overschrijding (in lijn met KRW-beoordeling), wat een positieve beoordeling van het Schelde-estuarium enorm uitdagend maakt.

Samenvatting Leefomgeving voor Fauna en Flora

Figuur 1-3 presenteert de globale evaluatie van de communicatie-indicator Leefomgeving die is opgebouwd uit twee toetsparameters die beide negatief beoordeeld worden door het principe *one-out-all-out*: Oppervlak en Kwaliteit.

De toetsparameter **Oppervlak** wordt **negatief geëvalueerd**. De rekenparameters van het sublitoraal vertonen overwegend positieve beoordelingen. In de Westerschelde worden de gunstige veranderingen in het sublitoraal positief beoordeeld. In de Zeeschelde nam de oppervlakte diep water niet toe ten koste van ondiep water, zodat er sprake is van een positieve beoordeling. In de Zeeschelde nam de oppervlakte ondiep water over het algemeen toe. Dit werd veroorzaakt door afname van het litoraal en door natuurontwikkelingsprojecten binnen de ruime begrenzing, maar alleen in de zone *Zoet korte verblijftijd* werd het gewenste minimumareaal behaald. De trend is over het algemeen neutraal of positief.



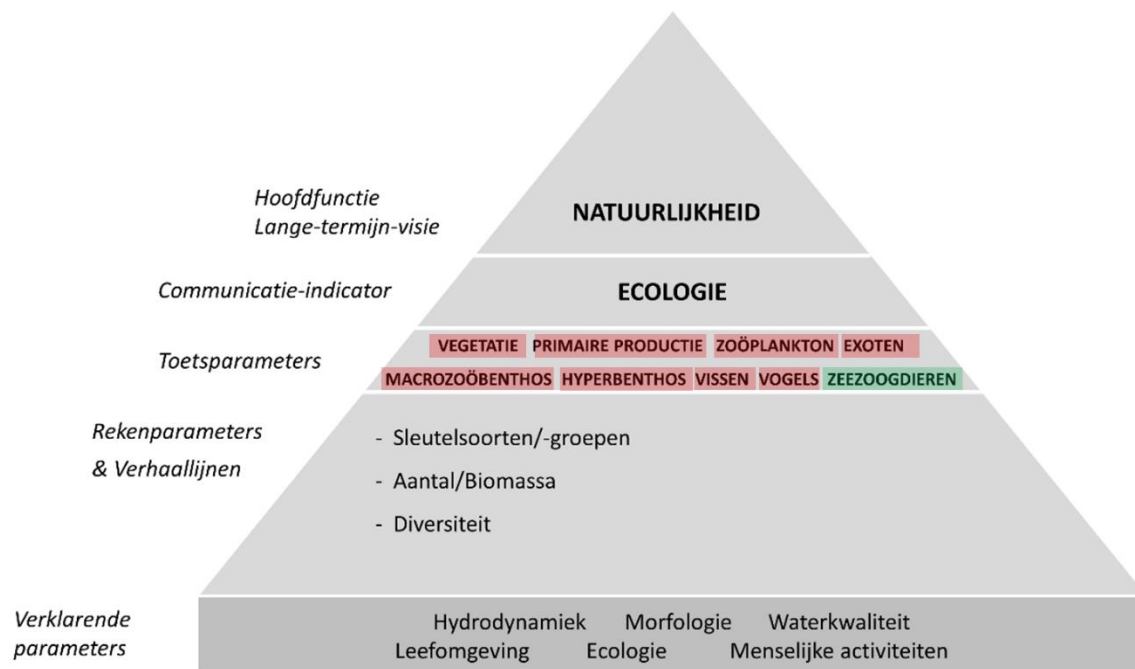
Figuur 1-3: Samenvatting Evaluatie Ecologie op basis van de data uit de periode 2016-2021: negatief (ROOD), neutraal (GEEL), positief (GROEN) beoordeeld.

De rekenparameters van het litoraal vertonen een gemengd beeld. In de Zeeschelde vertoont het litoraal een gunstige trend, maar in geen enkele zone worden de minimumoppervlaktes gehaald. De gunstige trend wordt voornamelijk veroorzaakt door het inwerkingtreden van nieuwe Sigma-gebieden. In de directe nabijheid van de vaargeul, staan de oevers echter onder druk door de uitruimende geul; zonder de toegevoegde Sigma-gebieden, zou deze rekenparameter een ongunstige evolutie vertonen. In de Westerschelde vertoont het hoogdynamisch litoraal een gunstige evolutie: de oppervlakte hoogdynamisch litoraal neemt in alle zones af. Dit gaat in het Mesohalien en Zwak polyhalien gepaard met een gunstige uitbreiding van het laagdynamisch litoraal. In het Sterk polyhalien neemt de oppervlakte laagdynamisch litoraal echter af waardoor deze rekenparameter negatief beoordeeld wordt. Deze afname wordt – onder meer – veroorzaakt door de ongewenste ontwikkeling van schor op de platen, waardoor ook deze rekenparameter negatief beoordeeld wordt. Het pionierschor op de slikken gaat achteruit in de Mesohaliene en Zwak Polyhaliene zone. De aanwezige vegetatie wijst op een onevenwichtig (te laag) aandeel in de schorontwikkeling.

De toetsparameter **Kwaliteit** wordt **negatief geëvalueerd**. De oeverbreedte wordt negatief beoordeeld maar vertoont een gunstige evolutie in de Zoete zone met Korte verblijftijd en de Mesohaliene zone. Ze kent een ongunstige evolutie in de Zwak polyhaliene en Sterk polyhaliene zones. De schorbreedte wordt negatief beoordeeld door de ongunstige evolutie in de Zoete zone met lange verblijftijd.

Samenvatting Ecologie

De biotiek van het Schelde-estuarium is een complex samenspel van trofische groepen, waardoor binnen de communicatie-indicator Ecologie de volgende toetsparameters worden geïdentificeerd: (1) Vegetatie, (2) Primaire productie, (3) Zoöplankton, (4) Macrozoöbenthos, (5) Hyperbenthos, (6) Vissen, (7) Vogels en (8) Zeezoogdieren. Deze toetsparameters worden ook in deze volgorde behandeld, waarbij aandacht gegeven wordt aan (A) specifieke soorten en groepen (met toetscriterium) en (B) relevante rekenparameters voor de groep-specifieke verhaallijnen (zonder toetscriterium). Daarnaast wordt er binnen elke trofische groep ook aandacht gegeven aan de waargenomen exoten, hetgeen per individuele toetsparameter wordt besproken en finaal samengevat wordt in de toetsparameter Exoten (9).



Figuur 1-4: Samenvatting Evaluatie Ecologie op basis van de data uit de periode 2016-2021: negatief (ROOD), neutraal (GEEL), positief (GROEN) beoordeeld. Voor de individuele rekenparameters en verhaallijnen wordt verwezen naar de respectievelijke hoofdstukken verder in dit rapport.

De **Vegetatie** wordt **negatief beoordeeld**. In zowel de Zeeschelde als Westerschelde worden alle drie de rekenparameters (oppervlakte, kwaliteit en sleutelsoorten) negatief geëvalueerd, ervan uitgaande dat wanneer één deelrekenparameter negatief wordt beoordeeld de gehele rekenparameter een negatieve beoordeling krijgt. In de Zeeschelde is de beoordeling voor de Oppervlakte niet gewijzigd ten opzichte van de T2015, maar vier van de zes zones vertonen een gunstige evolutie. De kwaliteit kon enkel voor de zone Saliniteitsgradiënt berekend worden. Ze wordt ook negatief beoordeeld, maar vertoont in deze zone ook een gunstige evolutie ten opzichte van T2015. Ook de sleutelsoorten worden negatief beoordeeld gezien de indicatoren voor jonge pioniersvegetaties achteruitgaan, de sleutelsoort voor verruiging toeneemt en de invasieve exoot reuzenbalsemien zich globaal gezien weet uit te breiden. In de Westerschelde wordt voldaan aan de oppervlakte-eis van 2.300 ha schor voor het gehele gebied, maar ten westen van Hansweert groeit geen 500 ha schor. De oppervlakte schor neemt hier, en dan met name op de platen, nog steeds toe. De kwaliteit van de schorvegetatie is matig en hierin is ten opzichte van de T2015 geen verandering gekomen. De sleutelsoorten worden negatief beoordeeld door

de ongunstige evolutie in zowel riet (toename) als zeekraal (afname). Enkel strandkweek vertoont een gunstige evolutie en wordt nu positief beoordeeld.

De toetsparameter **Primaire productie** bestaat uit vier rekenparameters die allemaal negatief geëvalueerd worden waardoor ook de toetsparameter **negatief geëvalueerd** wordt. Opvallend is dat de productiviteit van het fytoplankton lijkt af te nemen in de Zeeschelde ondanks de verbetering van de chemische waterkwaliteit (o.a. zuurstofhuishouding en nutriëntconcentraties). Ook plaagalgen komen nog steeds in te hoge dichtheid voor, met overschrijdingen voor *Phaeocystis* in de volledige Westerschelde. Wat betreft cyanobacteriën en de algemene verontreinigingsindex (API) lijkt er wel een verbetering plaats te vinden, met afnames van zowel de cyanobacteriëndichtheid als de API-waarde.

De toetsparameter **Zoöplankton** wordt **negatief geëvalueerd** gezien alle drie de rekenparameters negatief beoordeeld worden. Dit is op zich opvallend aangezien er voor elk van deze rekenparameters gebruik gemaakt wordt van de periode 2004-2009 voor het opstellen van de gehanteerde toetscriteria. Sindsdien zijn er evenwel duidelijke verbeteringen in de waterkwaliteit doorgevoerd, waarvan verwacht wordt dat deze zich ook doorzetten in de ecologie. Het niet voldoen aan de toetscriteria suggereert dat het mesozoöplankton in de periode 2016-2021 slechter af is dan in de periode 2004-2009, maar kan ook een direct gevolg zijn van een verhoogde begrazing door planktivore en omnivore vissen (alsook verschillende soorten macrozoöbenthos). Alleszins dient er de komende jaren meer aandacht besteed te worden aan deze soortgroep, zeker wat betreft de bemonstering (en identificatie) van mesozoöplankton in de Westerschelde, maar ook de bemonstering van het micro- en macrozoöplankton. Deze laatste groep (met voornamelijk kwalen) kan namelijk een additionele begrazingsdruk uitoefenen in de Westerschelde die nu nagenoeg niet beschouwd wordt.

De toetsparameter **Macrozoöbenthos** wordt **negatief geëvalueerd**. De toetsparameter bestaat uit acht rekenparameters, die bijna allemaal negatief geëvalueerd worden volgens het principe *one-out-all-out*, met uitzondering van de parameter Biomassa. Regionaal zijn er duidelijke positieve ontwikkelingen zichtbaar. Biomassa's en dichtheden zijn vrijwel overal toegenomen als gevolg van verbeterde omstandigheden in het estuarium. Er is meer voedsel beschikbaar, de negatieve effecten van TBT-vervuiling zijn afgenomen en er is meer leefgebied voor benthos. Wel is de diversiteit van de Zeeschelde toegenomen als Oligochaeten buiten beschouwing worden gelaten, als gevolg van een toename in exoten. In de Westerschelde is de toename van exoten een zorgwekkende trend. Exoten kunnen inheemse soorten beconcurreren en zijn in sommige gevallen minder geschikt als voedselbron voor hogere trofische niveaus.

De toetsparameter **Hyperbenthos** wordt **negatief geëvalueerd**. De toetsparameter bestaat uit acht rekenparameters, die alle negatief geëvalueerd worden volgens het principe *one-out-all-out*. Regionaal zijn er verschillen. In de Westerschelde scoren vrijwel alle rekenparameters slecht, vanwege een sterke afname in garnalen, een grote variatie in krabben, en een toename in het voorkomen van invasieve exoten. In de Zeeschelde is er een verschuiving geweest van het hyperbenthos richting stroomopwaartse systemen, als gevolg van verminderde rivierafvoer en hogere zoutindringing. Deze verschuiving kan lokaal voor hogere predatie zorgen. Door klimaatverandering zullen deze verschuivingen regelmatig voorkomen.

Voor de **Vissen** wordt de biomassa van de functionele groepen in de Zeeschelde en Westerschelde als **negatief beoordeeld**. Voor de Zeeschelde is dit voornamelijk het gevolg van de sterke daling in de biomassa van diadrome soorten, waarvoor paling bepalend is. Voor de Westerschelde is de negatieve beoordeling het gevolg van de daling in de biomassa van de functionele groepen in de mesohaliene

zone. De diversiteit in de Westerschelde wordt eveneens negatief beoordeeld terwijl de diversiteit van de Zeeschelde positief wordt beoordeeld.

De toetsparameter **Vogels** wordt **negatief beoordeeld**. De toetsparameter bestaat uit twee rekenparameters (Sleutelsoorten, Kwaliteit), waarbij sleutelsoorten, zowel broed- als niet-broedvogels, een instandhoudingsdoel hebben en de kwaliteit gebaseerd is op een indeling in voedselgroepen van de niet-broedende sleutelsoorten. De broedvogels voldoen in beide perioden niet aan hun doelstellingen, waarbij in de Zeeschelde voor het merendeel van de soorten een positieve trend is waar te nemen en voor de soorten van de Westerschelde een negatieve trend, wanneer alleen naar de enge begrenzing wordt gekeken. Indien de ruime begrenzing gehanteerd wordt, is er sprake van een neutrale trend. Ook de niet-broedvogels uit beide gebieden voldoen niet aan de instandhoudingsdoelstellingen. Wel lijkt in beide gebieden de ontwikkeling positief: in de Zeeschelde neemt het aantal vogels iets toe en in de Westerschelde is het aantal soorten, dat in drie van de zes jaren het instandhoudingsdoel haalt, gestegen. In de Zeeschelde is de multispecies-index (MSI) afgenomen ten opzichte van de T2015-periode. Wanneer naar de index van de verschillende voedselgroepen in de Westerschelde wordt gekeken, laten de herbivoren en benthivoren een afnemende trend zien en de omnivoren en piscivoren een positieve trend.

De **Zeezoogdieren** worden **positief beoordeeld**. Zowel de gewone als de grijze zeehond worden positief beoordeeld en vertonen een gunstige evolutie ten opzichte van T2015.

De **Exoten** worden **negatief beoordeeld**. Zowel het Aantal invasieve soorten als de fractie invasieve soorten worden negatief beoordeeld en vertonen een ongunstige evolutie ten opzichte van T2015. Er is in het volledige Schelde-estuarium een toename van het absoluut aantal invasieve exoten, alsook van de fractie van de gemeenschap die door invasieve exoten wordt ingenomen. Dit is een signaal om waakzaam te zijn naar potentieel toenemende impact op het systeemfunctioneren.

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting Hydrodynamiek	3
Samenvatting Waterkwaliteit	4
Samenvatting Leefomgeving voor Fauna en Flora	5
Samenvatting Ecologie	7
1. Inleiding	14
1.1. Context	14
1.2. Achtergrond	14
1.3. Aannames en uitgangspunten	16
1.4. Leeswijzer	16
1.5. Studiegebied en indelingen	17
1.5.1. Ruimtelijke indeling	17
1.5.2. Temporele indeling	22
2. Hydrodynamiek	24
2.1. Inleiding	24
2.2. Toetsparameter Hoogwater	25
2.2.1. Jaargemiddeld hoogwater	26
2.2.2. 99 ^e percentiel hoogwater	41
2.3. Toetsparameter Golven	45
2.3.1. Jaargemiddelde significante golfhoogte	45
2.3.2. Cumulatieve verdeling van de significante golfhoogte	46
2.3.3. Cumulatieve verdeling van de spectrale golfperiode	47
2.4. Toetsparameter Beschikbare diepte	48
2.4.1. Jaargemiddeld laagwater	48
2.4.2. Jaargemiddeld hoogwater	55
2.4.3. Onderhoudsbaggervolume	55
2.5. Toetsparameter Scheepsbewegingen	58
2.5.1. Looptijd van het getij: bij hoogwater en bij laagwater	58
2.5.2. Intensiteit roerwerking en uitwijkafstand van de vaarweg	64
2.6. Samenvatting Evaluatie	68
2.6.1. Hoogwater	68
2.6.2. Golven	69
2.6.3. Beschikbare diepte	69
2.6.4. Scheepsbewegingen	70
2.6.5. Overzicht	71
3. Waterkwaliteit	72
3.1. Inleiding	72
3.2. Toetsparameter Zuurstof	73
3.2.1. Absoluut minimum	73
3.2.2. 95% overschrijding	75
3.2.3. Duur dip	78
3.3. Toetsparameter Nutriënten	81
3.3.1. FastNOD	81

3.3.2.	BOD-C	83
3.3.3.	TDIN.....	85
3.3.4.	Fosfaat.....	88
3.3.5.	Silicaat.....	91
3.3.6.	ICEP-DSI.....	93
3.3.7.	ICEP-TSI	95
3.3.8.	TDINflux.....	97
3.3.9.	Nitriet	99
3.3.10.	Ammoniak	101
3.4.	Toetsparameter Abiotisch klimaat.....	103
3.4.1.	Chloridegehalte	104
3.4.2.	Zwevende stof	108
3.4.3.	Watertemperatuur.....	112
3.5.	Toetsparameter Verontreinigende stoffen	114
3.5.1.	Verontreiniging in oppervlaktewater.....	115
3.5.2.	Verontreiniging in waterbodem.....	120
3.5.3.	Verontreiniging in biota	123
3.6.	Samenvatting Evaluatie.....	126
3.6.1.	Zuurstof.....	126
3.6.2.	Nutriënten	126
3.6.3.	Abiotisch klimaat.....	127
3.6.4.	Verontreinigende stoffen	127
3.6.5.	Overzicht.....	128
4.	Leefomgeving voor flora en fauna	130
4.1.	Inleiding.....	130
4.2.	Toetsparameter Oppervlak	131
4.3.	Zeeschelde	132
4.3.1.	Diep en Ondiep sublitoraal Zeeschelde	132
4.3.2.	Litoraal Zeeschelde.....	134
4.3.3.	Evaluatie Zeeschelde	135
4.3.4.	Verklaring Zeeschelde	135
4.4.	Westerschelde.....	139
4.4.1.	Hoog- en laagdynamisch sublitoraal Westerschelde.....	139
4.4.2.	Hoog- en laagdynamisch litoraal Westerschelde	141
4.4.3.	Evaluatie	143
4.4.4.	Verklaring Westerschelde sublitoraal en litoraal	143
4.4.5.	Pionierschor Slik-Plaat.....	147
4.4.6.	Schor Slik-Plaat.....	149
4.4.7.	Evaluatie (Pionier)Schorvegetatie op slikken en platen Westerschelde.....	150
4.4.8.	Verklaring (pionier)schor slikken en platen Westerschelde	151
4.5.	Toetsparameter Kwaliteit.....	154
4.5.1.	Schorbreedte	154
4.5.2.	Oeverbreedte.....	155
4.5.3.	Evaluatie schor- en oeverbreedte Schelde-estuarium	157
4.5.4.	Verklaring ontwikkeling schor- en oeverbreedte Schelde-estuarium	157
4.6.	Samenvatting Leefomgeving	159
4.6.1.	Oppervlakte.....	159
4.6.2.	Kwaliteit.....	160
4.6.3.	Overzicht.....	161

5.	Ecologie	164
5.1.	Inleiding	164
5.2.	Toetsparameter Vegetatie	165
5.2.1.	Oppervlakte	166
5.2.1.1.	Zeeschelde	166
5.2.1.2.	Westerschelde.....	167
5.2.2.	Kwaliteit.....	167
5.2.3.	Evaluatie oppervlakte en kwaliteit schorvegetatie Schelde-estuarium.....	168
5.2.4.	Verklaring.....	169
5.2.5.	Sleutelsoorten/groepen	173
5.2.6.	Exoten	183
5.2.7.	Verhaallijn vegetatie	186
5.3.	Toetsparameter Primaire productie	190
5.3.1.	P:B-verhouding fytoplankton.....	190
5.3.2.	<i>Phaeocystis</i>	193
5.3.3.	Cyanobacteriën	195
5.3.4.	Algal genus pollution index	197
5.3.5.	Verhaallijn <i>Primaire productie</i>	199
5.4.	Toetsparameter Zoöplankton	203
5.4.1.	Jaarmaximum totale biomassa	203
5.4.2.	Jaarmaximum <i>Eurytemora affinis</i>	205
5.4.3.	Verhoudingen in het zoöplankton.....	207
5.4.4.	Verhaallijn <i>Zoöplankton</i>	212
5.5.	Toetsparameter Macrozoöbenthos	215
5.5.1.	Dichtheid en Biomassa	215
5.5.2.	Minimum biomassa Zeeschelde	220
5.5.3.	Diversiteit.....	220
5.5.3.1.	Aantal soorten	220
5.5.3.2.	Shannon-index.....	220
5.5.4.	Kokkel en Mossel.....	221
5.5.5.	Exoten	221
5.5.6.	Verhaallijn Macrozoöbenthos.....	221
5.6.	Toetsparameter Hyperbenthos	223
5.6.1.	Dichtheid en Biomassa	223
5.6.2.	Diversiteit.....	224
5.6.2.1.	Aantal soorten	224
5.6.2.2.	Shannon-index.....	225
5.6.3.	Exoten	225
5.6.4.	Verhaallijn Hyperbenthos.....	226
5.7.	Toetsparameter Vissen	228
5.7.1.	Aantallen en biomassa	228
5.7.1.1.	Zeeschelde	228
5.7.1.2.	Westerschelde.....	229
5.7.2.	Sleutelsoorten.....	230
5.7.3.	Diversiteit.....	231
5.7.4.	Verhaallijn Vissen	231
5.8.	Toetsparameter Vogels.....	235
5.8.1.	Sleutelsoorten broedvogels.....	235
5.8.2.	Niet-broedvogels	242

5.8.3.	Exoten niet-broedvogels	259
5.8.4.	Verhaallijn vogels	261
5.9.	Toetsparameter Zeezoogdieren	266
5.9.1.	Sleutelsoorten/groepen	266
5.9.2.	Aantal	267
5.9.2.1.	Aantal gewone zeehonden	267
5.9.2.2.	Aantal pups gewone zeehond	267
5.9.2.3.	Aantal grijze zeehonden	270
5.9.3.	Verhaallijn	271
5.10.	Toetsparameter Exoten	273
5.11.	Samenvatting Evaluatie.....	277
5.11.1.	Vegetatie.....	277
5.11.2.	Primaire productie	278
5.11.3.	Zoöplankton	279
5.11.4.	Macrozoöbenthos.....	280
5.11.5.	Hyperbenthos	281
5.11.6.	Vissen	282
5.11.7.	Vogels.....	283
5.11.8.	Zeezoogdieren	284
5.11.9.	Exoten	284
6.	Referenties	286
6.1.	Algemeen	286
6.2.	Hydrodynamiek.....	287
6.3.	Waterkwaliteit.....	288
6.4.	Leefomgeving	291
6.5.	Ecologie	293

1. Inleiding

1.1. Context

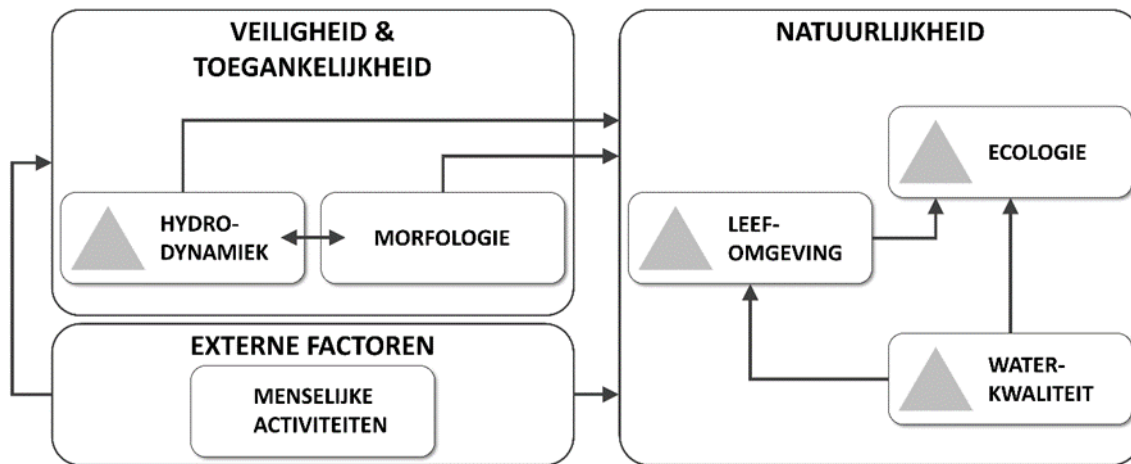
Het project "T2021-rapportage Schelde-estuarium" heeft als doel om het functioneren van het Schelde-estuarium te evalueren. In het project worden volgende producten ontwikkeld:

- Analyserapport;
- **Evaluatierapport;**
- Beleidssamenvatting;
- Evaluatie van de Evaluatiemethodiek.

Het voorliggende document vormt het evaluatierapport. Per communicatie-indicator (excl. morfologie) wordt de piramide aanpak gevolgd om zo een evaluatie te bekomen, gebruik makend van de parameters berekend in het Analyserapport. Op deze wijze wordt in voorliggend rapport de toestand van het Schelde-systeem geëvalueerd en besproken. Relevante trends (positieve trends of potentiële bedreigingen) worden toegelicht, verklaringen en verbanden worden uitgewerkt.

1.2. Achtergrond

De methodiek is opgebouwd rond de drie hoofdfuncties van de LTV: Veiligheid, Toegankelijkheid en Natuurlijkheid. Vanuit deze functies is een set van vijf communicatie-indicatoren ontwikkeld (Figuur 1-1). Voor Veiligheid en Toegankelijkheid wordt de invloed vanuit het systeemfunctioneren op beide functies geëvalueerd binnen de communicatie-indicator Hydrodynamiek, die uit de vroegere communicatie-indicatoren Dynamiek waterbeweging en Bevaarbaarheid bestaat. Het evalueren van veiligheid en toegankelijkheid *an sich*, m.a.w. de vraag of het veiliger en toegankelijker wordt, is dus niet het beoogde doel. Voor de evaluatie van Natuurlijkheid zijn drie communicatie-indicatoren opgesteld: Leefomgeving, Waterkwaliteit, en Ecologie, die uit de vroegere communicatie-indicatoren Ecologisch functioneren en Flora en Fauna bestaat. De vijf communicatie-indicatoren worden met uitzondering van Morfologie alle beoordeeld volgens de methode omschreven in deze evaluatiemethodiek, en kunnen een gunstige of ongunstige beoordeling krijgen. De vijfde communicatie-indicator, Morfologie, geeft de ontwikkelingen betreffende de morfologie weer. Deze communicatie-indicator wordt niet beoordeeld, omdat er vanuit de bestaande beleid- en beheersvisies (nog) geen ondubbelzinnige beoordeling van de ontwikkelingen mogelijk is. De communicatie-indicator is echter onmisbaar als verklarende parameter bij andere communicatie-indicatoren.



Figuur 1-1: Schematische weergave van de communicatie-indicatoren (piramides) per hoofdfunctie van de langetermijnvisie.

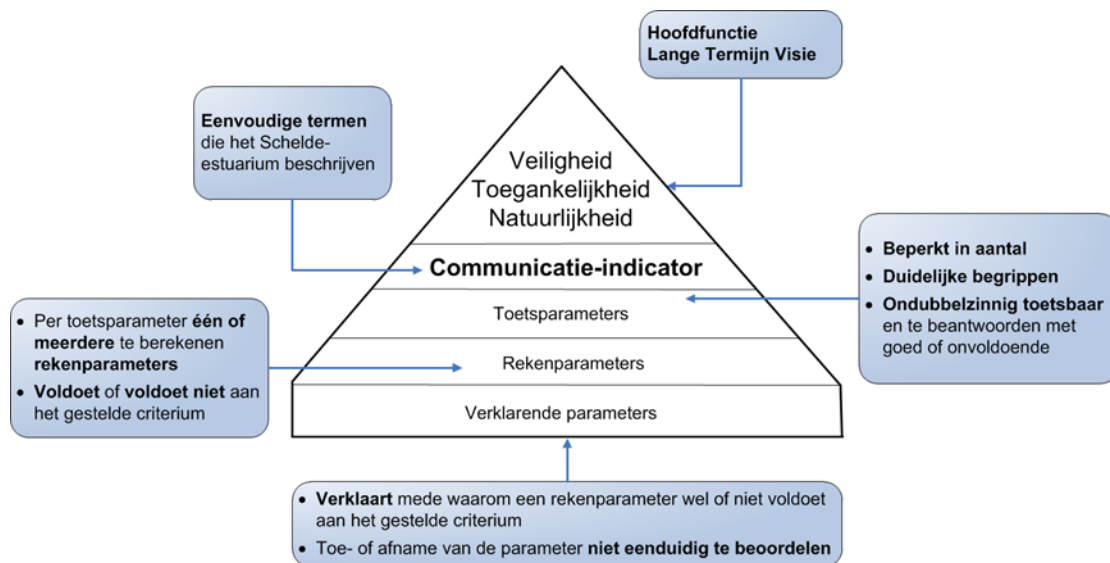
Elke communicatie-indicator is uitgewerkt in een zelfstandig hoofdstuk, waarbij de beoordeling een getrapte aanpak volgt: de piramide-aanpak (Figuur 1-2). Bovenaan de piramide staat de communicatie-indicator. Deze wordt beoordeeld door de onderliggende niveaus te doorlopen. N.B. Voor Morfologie is er geen piramide en geen beoordeling.

Niveau 1: Rechtstreeks onder de communicatie-indicator staan de toetsparameters: een beperkte maar toch volledige set parameters waarmee ondubbelzinnig de toestand of trend van de communicatie-indicator beoordeeld kan worden.

Niveau 2: Elke toetsparameter is opgebouwd uit één of meerdere rekenparameters. Voor elke rekenparameter is een duidelijk toetsingscriterium opgesteld. Alle rekenparameters samen bepalen of de ontwikkelingen van een toetsparameter gunstig of ongunstig zijn voor het functioneren van het systeem.

Niveau 3: Onderaan de piramide staat een set verklarende parameters. Verklarende parameters dragen vooral bij aan het begrijpen van de waargenomen ontwikkelingen en minder aan het beoordelen van de ontwikkeling. De verklarende parameters zelf zijn immers niet onafhankelijk te beoordelen.

Bij de evaluatie worden steeds alle niveaus doorlopen. Ook verklarende parameters worden steeds bepaald. Trends in verklarende parameters kunnen immers wijzen op onderliggende problemen die op termijn kunnen leiden tot negatieve ontwikkelingen in een bepaalde toetsparameter.



Figuur 1-2: Schematische weergave 'piramide-aanpak'.

De indeling in verschillende piramides betekent echter niet dat de onderlinge samenhang uit het oog wordt verloren. Wederzijdse beïnvloeding tussen piramides is groot, ook al zijn ze opgesteld met een minimum aan redundantie. Maar toets- of rekenparameters uit de ene piramide kunnen terugkeren als verklarende parameter in een andere. Zo wordt impliciet de verwevenheid van het estuariene systeem ingebouwd in de methodiek.

1.3. Aannames en uitgangspunten

Bij de evaluatie is verondersteld dat:

- De beschikbare resultaten uit het analyserapport T2021 volledig en correct zijn (tenzij reeds twijfel m.b.t. de correctheid van de resultaten door de auteurs werd aangegeven).
- De analyseresultaten van de T2015-studie (Barneveld *et al.*, 2018) correct zijn.

Als niet aan deze voorwaarden is voldaan, is dit vermeld in dit rapport.

Het voornaamste uitgangspunt in dit rapport is dat de evaluaties in lijn zijn met de evaluatiemethodiek – update 2021. In de huidige evaluatie van de gegevens is alleen afgeweken van de evaluatiemethodiek update 2021, indien dit substantieel betere inzichten oplevert. Waar in de huidige evaluatie is afgeweken, is dit expliciet vermeld in dit rapport.

1.4. Leeswijzer

Hoofdstuk 0 beschrijft de opzet van de evaluaties. Hoofdstuk 3 tot en met hoofdstuk 6 bevatten de resultaten van de evaluaties van de parameters voor ieder van de 5 communicatie-indicatoren (C.I.), met uitzondering van de C.I. Morfologie. De Morfologische systeembeschrijving wordt wel beschouwd als C.I. maar heeft geen piramide en geen evaluatie.

Om een doordachte evaluatie van deze hoofdstukken te bewerkstelligen, dient men echter wel rekening te houden met zowel de directe als indirecte effecten van morfologie, alsook menselijke activiteiten. De info omtrent menselijke activiteiten en morfologie kan worden teruggevonden in het analyserapport. Deze info uit het analyserapport wordt wel aangewend als mogelijk verklarende parameter voor bepaalde trends vastgesteld in de verschillende hoofdstukken van dit evaluatierapport.

Opzet evaluatie

1.5. Studiegebied en indelingen

1.5.1. Ruimtelijke indeling

Planologisch

In het Schelde-estuarium bestaan verschillende indelingen, elk met specifieke doelstellingen. Zo bestaan er macro- en mesocellen voor gebruik in hydro- en morfodynamische studies. OMES compartimenten werden in het leven geroepen voor ecologische modellering, ecotopenkaarten kennen een zonering op basis van o.a. zoutgehalte, etc.

Binnen de T2021 rapportage wordt gestreefd naar één systeem voor ruimtelijke indeling, zodat berekeningen gemaakt binnen verschillende piramides vanuit verschillende disciplines, compatibel en dus eenvoudig uitwisselbaar zijn. Daarnaast wordt in dit rapport steeds in stroomafwaartse richting gekeken.

Afhankelijk van het gewenste ruimtelijke detail kunnen wel verschillende schaalniveaus onderscheiden worden. De gehanteerde indeling binnen de evaluatiemethodiek volgt zoveel mogelijk bestaande ruimtelijke indelingen, die gestoeld zijn op macro- en mesocellen voor de Westerschelde en OMES compartimenten voor de Zeeschelde.

Aan de overgang tussen Westerschelde en Zeeschelde volgt de landsgrens helaas niet de contouren van een macrocel, maar vormt een grillige lijn binnen de macrocel. Omdat praktisch gezien de landsgrens echter een belangrijke grens is voor onder andere een aantal wettelijke bepalingen en doelstellingen (bijv. instandhoudingsdoelstellingen of ecotooparealen), wordt daarom compartiment 7 opgesplitst in 7a aan Nederlandse zijde en een klein stukje 7b aan Vlaamse zijde. Afhankelijk van de doelstelling van een analyse kan de betreffende analyse uitgevoerd worden op de afzonderlijke Vlaamse en Nederlandse delen of op het gehele compartiment.

Er worden vier schaalniveaus onderscheiden:

- Niveau 1: Estuarium
- Niveau 2: Monding – Westerschelde – Zeeschelde – Zijrivieren – Grenzen (Tabel 1-1, Figuur 1-3)
- Niveau 3: Scheldezones: Indeling op basis van zoutgehalte, met in de zoete zone een verdere verfijning op basis van verblijftijd;
- Niveau 4: Scheldec compartimenten: Indeling op basis van meso/macrocellen in de Westerschelde, en OMES compartimenten in de Zeeschelde.

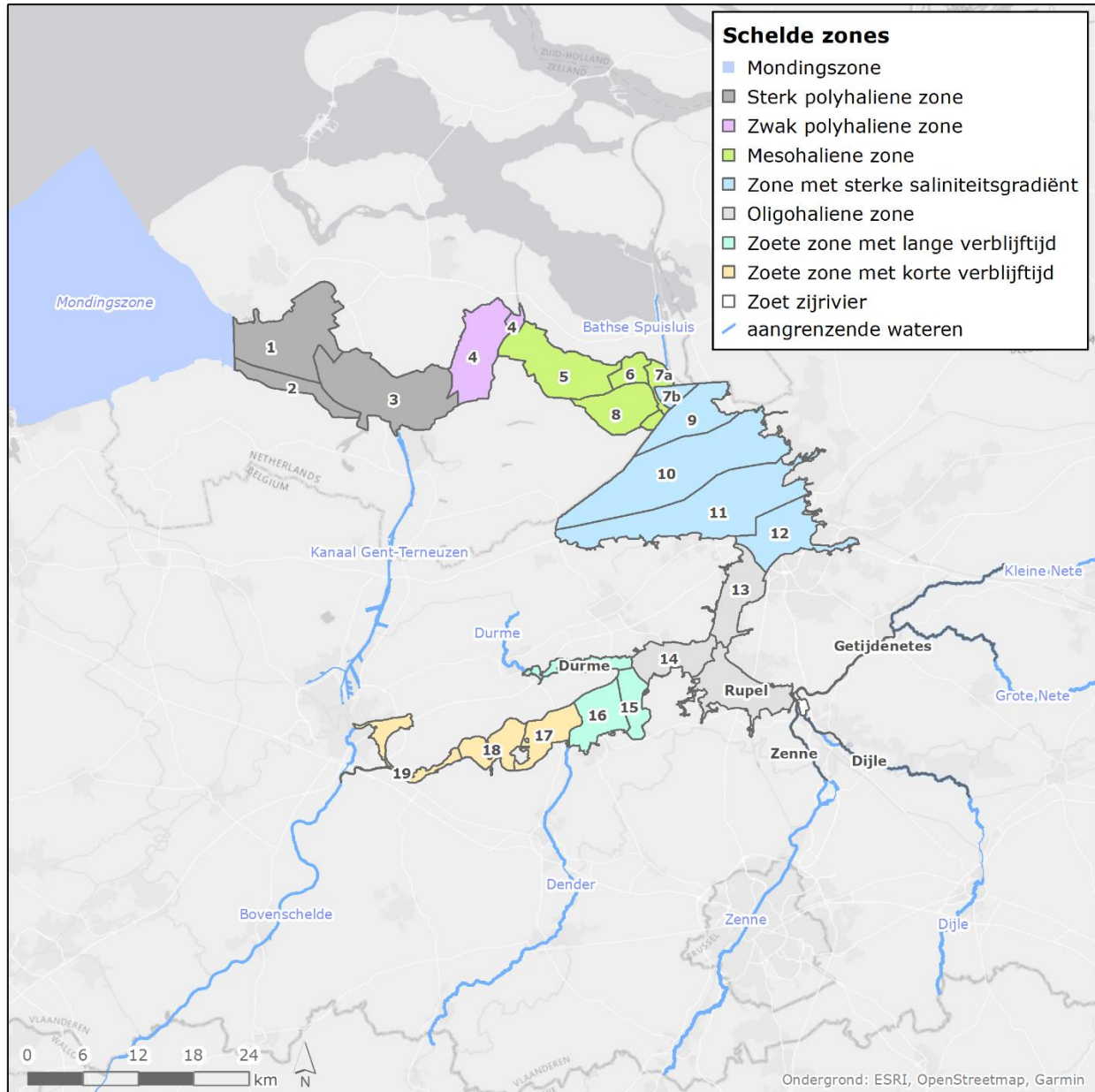
Onder zijrivieren (Niveau 2) worden enkel deze zijrivieren (of rivierbekkens) bedoeld die onder invloed van het getij staan. Het gaat hier om de Durme en het Rupelbekken (inclusief het getijafhankelijke deel van Grote Nete, Kleine Nete, Dijle en Zenne). De monding van het Schelde-estuarium strekt zich

westwaarts uit vanaf de lijn Vlissingen-Breskens. Voor de westelijke begrenzing wordt er soms gebruik gemaakt van de -20m dieptecontour, maar voor de evaluatie wordt dit als te star en onnatuurlijk beschouwd. In praktijk zal men bij de systeembeschrijving afhankelijk zijn van de databeschikbaarheid: met andere woorden de beschikbare vaklodingskaarten. Concreet betekent dit dat zowel Sierra Ventana als de baggerstortplaats nabij Westkapelle onderdeel zijn van het deelsysteem, maar dat de Haven van Zeebrugge en bijhorende toegangseul hierbuiten vallen.

De 'Boundaries' vormen de begrenzing van het estuarium. Opwaarts zijn dit de plaatsen waar de getij-invloed stopt, meestal door de bouw van stuwen. Deze grensmeetpunten liggen net buiten het estuarium, aan de rand van het getijdengebied. Het gaat om de bovenstroomse delen (zonder getij-invloed) van de rivieren Bovenschelde, Dender, Dijle, Zenne, Grote Nete en Kleine Nete. Ook het Spuikanaal Bath, het Kanaal Gent-Terneuzen en het Antwerpse havengebied op rechteroever (Haven) worden als grenspunt opgenomen; de afvoer uit deze gebieden kan een belangrijke invloed hebben op het estuariene ecosysteem. De monding fungeert als zeevaartse grens.

Tabel 1-1: Ruimtelijke indeling van het Schelde-estuarium.

Niveau 1	Niveau 2	KRW	Niveau 3			Niveau 4								
			Nr	Saliniteitszone EM	Omschrijving	OMES-compartment	Begin (km)	Einde (km)	Omschrijving					
Schelde-estuarium	Monding	K3							Zeewaarts lijn Vlissingen-Breskens					
	Westerschelde	Westerschelde	Z1	Sterk polyhaliene zone	Jaarrond Cl 10-17 g/L	Comp. 1	0	8	Mesocel 1					
						Comp. 2			Mesocel 2					
						Comp. 3			Macrocel 3					
			Z2	Zwak polyhaliene zone	Zomer Cl 10-17 g/L; minder bij hoog	Comp. 4	24	35	Macrocel 4					
						Comp. 5			Macrocel 5					
						Comp. 6			Macrocel 6					
	Zeeschelde	Zeeschelde IV	Z4	Zone met sterke saliniteitsgradiënt	Meestal B-mesohalien (Cl 5,5-10 g/L)	Comp. 7a	54	56	Macrocel 7, deel NL					
						Comp. 7b			Saeftinghe					
						Comp. 8								
						Comp. 9			Macrocel 9					
						Comp. 10			Macrocel 10					
						Comp. 11			Macrocel 11					
						Comp. 12			Macrocel 12					
						Z5			Oligohaliene zone	Oligohalien; Cl 0,3-3 g/L. Bij hoge debieten: Zoet.	Comp. 13	84	92	OMES 13
											Comp. 14			OMES 14
						Z6			Zoete zone met lange verblijftijd	Zoet; Cl < 0,3 g/L; lange verblijftijd.	Comp. 15	102	113	OMES 15
											Comp. 16			OMES 16
						Z7			Zoete zone met korte verblijftijd	Zoet; Cl < 0,3 g/L; korte verblijftijd.	Comp. 17	122	132	OMES 17
	Comp. 18	OMES 18												
	Comp. 19	OMES 19												
	Comp. 19 trGM	>152	Getijarm Gentbrugge-Melle											
	Zijrivieren	Zeeschelde III + Rupel	Z8	Oligohaliene zone	Oligohalien; Cl 0,3-3 g/L; Tot zoet.	Rupel			Rupel					
Zoet zijrivier						Zoet; Cl < 0,3 g/L	Dijle			GetijdeDijle				
Durme		Z9	Zoete zone met lange verblijftijd	Zoet; Cl < 0,3 g/L; lange verblijftijd	Durme				GetijdeDurme					
Boundaries								Ringvaart & traject Tijarm Melle-Zwijnaarde (Bovenschedde & Leie) Dender Dijle Zenne Grote Nete Kleine Nete Havengebied Spuikanaal Bath Kanaal Gent-Terneuzen Noordzee						



Figuur 1-3: Ruimtelijke indeling van het estuarium op niveau 3 (Schelde zones) en niveau 4 (Scheldecompartmenten).

Dwarsprofiel

Het dwarsprofiel van de rivier wordt gekenmerkt door meerdere abiotische eenheden: de fysiotoepen. De afbakening baseert zich typisch op gemiddelde hoog- en laagwaterstanden of droogvalduurpercentages. De fysiotoepen van de Westerschelde staan gepresenteerd in Tabel 1-2. Een gedetailleerde beschrijving is terug te vinden in RWS (2019). De fysiotoepen van de Zeeschelde staan gepresenteerd in Figuur 1-4 en Tabel 1-3. Een gedetailleerde beschrijving kan men terugvinden in Van Ryckegem *et al.* (2017).

Voor hydro-morfologische doeleinden verdeelt men het dwarsprofiel ook onder in een kombergend en watervoerend deel. Het watervoerend deel bevindt zich onder de laagwaterlijn en wordt gevormd door de geulen. Het kombergend deel bevindt zich tussen de laag- en hoogwaterlijn en komt *grosso modo* overeen met de intergetijdengebieden. Voor de berekening van specifieke morfologische parameters in Hoofdstuk 4 van het Analyserapport, dienen hydrodynamische fluctuaties er uitgefilterd te worden. Daarom worden er in dit hoofdstuk vaste grenswaarden ten opzichte van de vigerende referentiepeilen (NAP; TAW) gehanteerd. Deze staan gepresenteerd in Tabel 1-4. Merk op hoe deze soms afwijken van de fysiotoepen omdat er verkozen is zo dicht mogelijk aan te leunen bij o.m. de beschikbare zandbalans(en).

Tabel 1-2: Abiotische grenzen gebruikt voor de fysiotoepenindeling van de Westerschelde (naar RWS, 2019).

Hoogte	Fysiotoop	Abiotische grenzen
Supralitoraal	Supralitoraal	>85% Droogvalduur
Litoraal	Hoog litoraal	75-85% Droogvalduur
	Midden litoraal	25-75% Droogvalduur
	Laag litoraal	4-25% Droogvalduur
Sublitoraal	Ondiep sublitoraal	4% Droogvalduur tot > NAP-7m
	Diep sublitoraal	<= NAP-7m

Tabel 1-3: Abiotische grenzen gebruikt voor de fysiotoepenindeling van de Zeeschelde (naar Van Ryckegem *et al.*, 2017). Met: * Voor de ecotoepen worden zeer diep en diep subtidaal uiteindelijk samengevoegd als één ecotoop.

Hoogte	Fysiotoop	Abiotische grenzen
Supralitoraal	Supralitoraal	>eGHW (HW85) – GHHW
Litoraal	Hoog slik	75% Droogvalduur – eGHW (HW85)
	Middelhoog slik	25 – 75% Droogvalduur
	Laag slik	eGLWS – 25% Droogvalduur
Sublitoraal	Ondiep subtidaal	0-2 m onder eGLWS (LW30)
	Matig diep subtidaal	2-5 m onder eGLWS (LW30)
	Diep subtidaal*	>5 m onder eGLWS (LW30)
	Zeer diep subtidaal	>10 m onder eGLWS (LW30)

GHHW: gem. hoogste hoogwater

eGHW: ecologisch gem. hoogwater bij doortij

HW85: 85^{ste} percentiel van alle hoogwaters

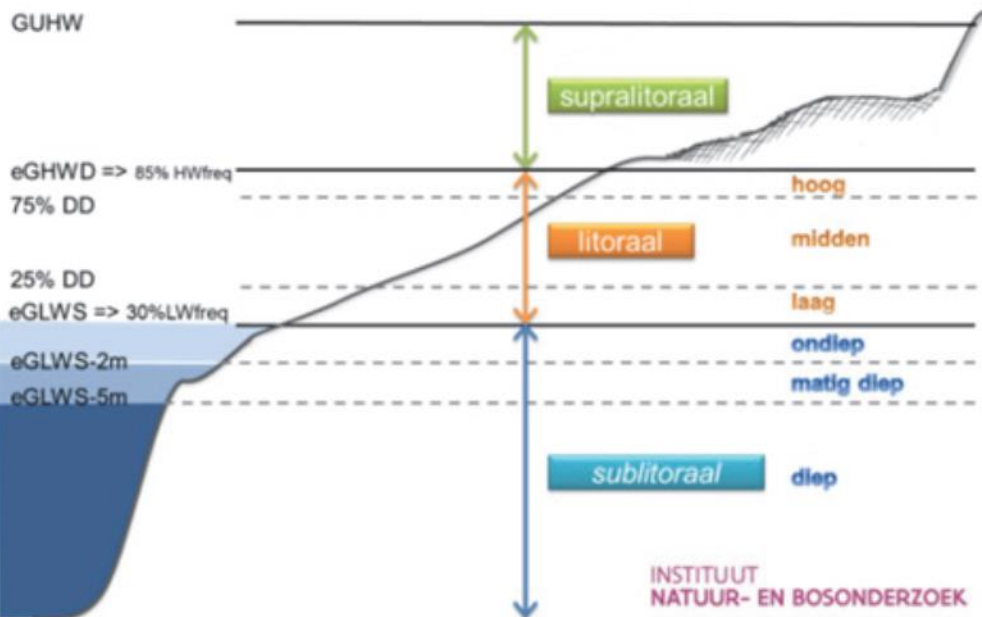
LW30: 30^{ste} percentiel van alle laagwaters

eGLWS: ecologisch gem. laagwater bij springtij

Tabel 1-4: Morfologische opdeling per deelsysteem met bijkomende specificatie voor KRW-lichaam Zeeschelde I op basis van het recente waargenomen gemiddeld laagwater (Vandenbruwaene et al., 2020).

Eenheid	Subeenheid	Westerschelde (m NAP)	Zeeschelde II, III, IV (m TAW)	Zeeschelde I (m TAW)
Kombergend	-	-2m tot +3,5m NAP	0m tot +5 m TAW	+2m tot +5 m TAW
Watervoerend	Ondiep	-5m tot -2m NAP	-5m tot -0m TAW	-5m tot +2m TAW
	Diep	<-5m NAP	<-5m TAW	<-5m TAW

Hoogtegrens



Figuur 1-4: Schematische weergave van de opbouw van fysiotopen (uit Van Ryckegem et al., 2017).

1.5.2. Temporele indeling

De Evaluatiemethodiek maakt gebruik van verschillende tijdsschalen. De evaluatie kan betrekking hebben op individuele metingen uit een continue datareeks tot gemiddelde waarden over een periode van 6 jaar. Dit wordt telkens duidelijk vermeld bij de betrokken parameter.

Wanneer jaargemiddelde waarden worden bepaald, wordt steeds het burgerlijk jaar gevolgd: van januari tot en met december, tenzij uitdrukkelijk anders vermeld. Voor seizoen-gemiddelde waarden wordt niet gewerkt met de exacte start en einddatum (bijvoorbeeld 21 maart tot en met 21 juni voor de lente). Voor de eenvoud wordt hier gewerkt met volle maanden. De methodiek volgt de methode van het KMI (Koninklijk Meteorologisch Instituut): voor de lente worden de maanden maart, april en mei beschouwd, voor de zomer de maanden juni, juli en augustus. Wanneer over zomerhalfjaar gesproken wordt, doelt

men op de maanden mei tot en met oktober, het winterhalfjaar bevat de maanden november tot en met april. Bij het gebruik van gegevens van niet-broedvogels spreekt men ook van seizoengemiddelden, maar dan wordt de periode 1 juli tot 30 juni het daaropvolgend jaar bedoeld. Hier komt de term dus eerder overeen met het jaargemiddelde.

Wanneer in de methodiek toch een andere indeling wordt gehanteerd, wordt dit uitdrukkelijk vermeld bij de betreffende parameter.

Referentieperiode

De rekenparameters worden geëvalueerd door de huidige toestand te vergelijken met een referentieperiode. Het verschilt per parameter wat de meest geschikte wijze van vergelijken met een referentieperiode is. Hierbij zijn zes categorieën te onderscheiden:

1. De parameter wordt getoetst aan bestaande criteria, vastgelegd in de methodiek op basis van bestaande richtlijnen.
2. De parameter wordt getoetst aan een historische referentiesituatie, in dit geval de T2009.
3. De parameter wordt getoetst aan de voorgaande periode, in dit geval de T2015.
4. De evolutie van de parameter wordt getoetst, waarbij louter gekeken wordt of de richtingscoëfficiënt positief of negatief is.
5. De evolutie van de parameter wordt getoetst, waarbij de waarde van de richtingscoëfficiënt vergeleken wordt met die van T2009.
6. De evolutie van de parameter wordt getoetst, waarbij de waarde van de richtingscoëfficiënt vergeleken wordt met die van de voorgaande periode, in dit geval de T2015.

Meer informatie kan worden teruggevonden in het rapport van de evaluatiemethodiek - update 2021 (Consortium Schelde in Beeld, 2022).

2. Hydrodynamiek

2.1. Inleiding

De communicatie-indicator *Hydrodynamiek* is een samenvoeging van de communicatie-indicatoren *Dynamiek Waterbeweging* en *Bevaarbaarheid* uit de T2009 en T2015, gekoppeld aan respectievelijk de hoofdfuncties veiligheid en toegankelijkheid van het Schelde-estuarium. De communicatie-indicator *Hydrodynamiek* richt zich op twee aspecten:

1. Allereerst worden de waterstanden en golven in het Schelde-estuarium beschouwd, wat voornamelijk van belang is voor de hoofdfunctie **veiligheid**, maar ook van belang is voor de hoofdfuncties toegankelijkheid en natuurlijkheid.
2. Daarnaast wordt de bevaarbaarheid van het Schelde-estuarium geëvalueerd. De bevaarbaarheid is afhankelijk van zowel de waterbeweging als de bathymetrie en is bepalend voor de hoofdfunctie **toegankelijkheid**.

Afbakening evaluatie veiligheid

Zowel in Vlaanderen als in Nederland wordt de veiligheid tegen overstromingen binnen speciaal daarvoor bestemde kaders getoetst. Het toetsen van de waterkeringen aan de veiligheidseisen vormt daarom geen onderdeel van de evaluatiemethodiek. Voor deze systeemevaluatie gelden voor de waterbeweging dan ook geen wettelijke normen of beleidskaders.

Afbakening evaluatie toegankelijkheid

Eventuele ontwikkelingen in scheepstypen, geulwandbestortingen, wrakverwijdering, externe veiligheid (vervoer gevaarlijke stoffen, risicocontouren) en dergelijke, zijn externe ontwikkelingen en zijn buiten beschouwing gelaten. Ook het garanderen van een veilige doorvaart voor schepen in het Schelde-estuarium vormt geen onderdeel van de Evaluatiemethodiek, dit wordt gedaan door de Gemeenschappelijke Nautische Autoriteit (GNA). Omdat het garanderen van een veilige doorvaart geen onderdeel is van de Evaluatiemethodiek, doet deze indicator enkel uitspraken over de trendontwikkeling van de bevaarbaarheid. Er wordt aangegeven of een toename of afname van de trend vanuit het systeem gezien positief of negatief is.

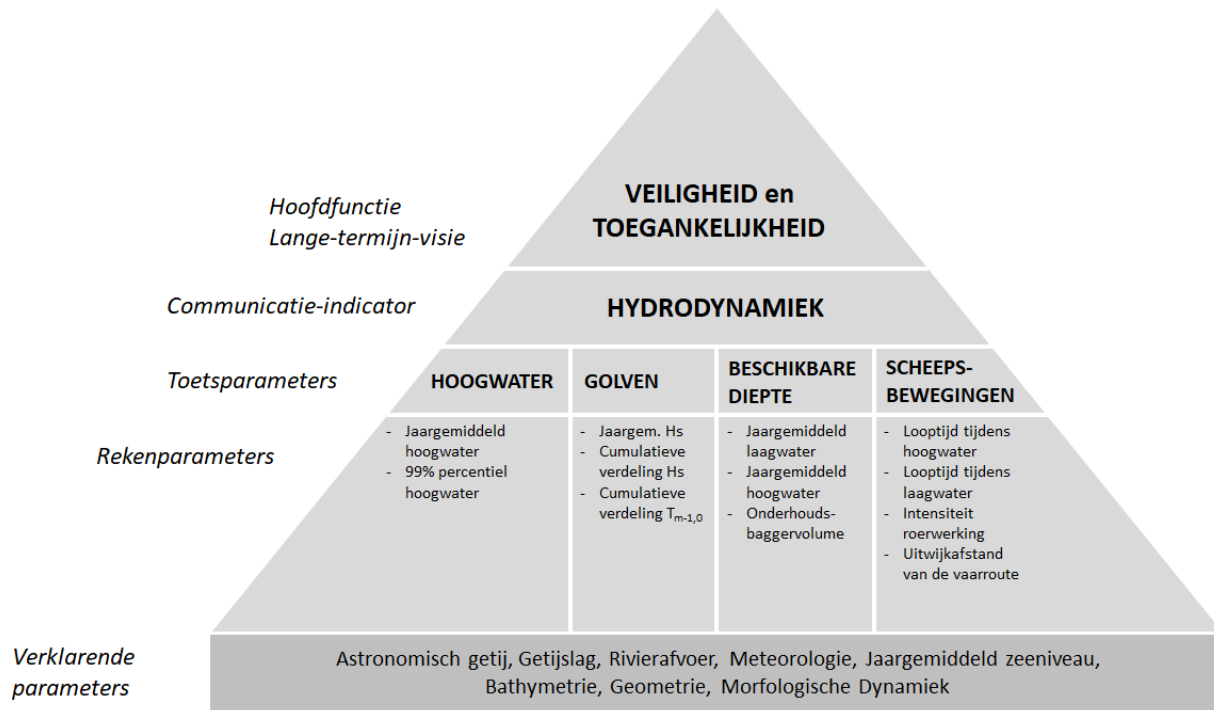
De communicatie-indicator *Hydrodynamiek* is uitgewerkt in vier toetsparameters: *Hoogwater*, *Golven*, *Beschikbare diepte* en *Scheepsbewegingen* (zie Figuur 2-1).

Voor de hoofdfunctie **veiligheid** worden trends onderzocht in de toetsparameters *Hoogwater* (§2.2) en *Golven* (§2.3), omdat hoogwaterstanden, golfhoogtes en golfperiodes van belang zijn voor de hydraulische belastingen op de waterkeringen.

Ontwikkelingen, gerelateerd aan de hoofdfunctie **toegankelijkheid**, worden beoordeeld aan de hand van de toetsparameters *Beschikbare diepte* (§2.4) en *Scheepsbewegingen* (§2.5).

- De *Beschikbare diepte* wordt bepaald door de vaargeuldiepte en de vaargeulbreedte. Deze worden beïnvloed door de ontwikkeling van de waterstand en de bodem. Voor de scheepvaart is hierbij de waterdiepte bij laagwater (en dus beïnvloed door de laagwaterstanden) het meest beperkend. Veranderingen in het volume dat gebaggerd wordt om de vaargeul op (constante) diepte te houden zijn een indicatie voor morfologische veranderingen in de bodem en daarmee voor de langetermijn toegankelijkheid van het estuarium.

- *Scheepsbewegingen* worden beïnvloed door de looptijd van het getij (het tijvenster). Veranderingen in bochten, vaarsnelheden, oevereffecten, dwarsstromingen, kielspeling en dergelijke worden samengevoegd in onbemande vaarsimulaties, waarmee onderzocht wordt hoe deze veranderingen de bevaarbaarheid beïnvloeden. In het bijzonder wordt nagegaan of de rekenparameters benodigde intensiteit van de roerwerking en de uitwijkafstand van de vaarweg significant toenemen over de tijd (deze parameters worden gedefinieerd in §2.5.2).



Figuur 2-1: Weergave indicator hydrodynamiek en onderliggende toets-, reken- en verklarende parameters.

In dit hoofdstuk evalueren we de Toets- en rekenparameters op basis van de analyses in het analyserapport (Schelde in Beeld, 2023). Soms is een nuancering van de beoordeling noodzakelijk, bijvoorbeeld omdat het evaluatiecriterium vrij strikt is. Vervolgens leggen we verbanden tussen rekenparameters en verklarende parameters (zie Figuur 2-1). De verklarende parameters dragen bij aan het begrip van waargenomen ontwikkelingen in de waterbeweging in het estuarium en geven hiervoor een onderliggende systeemverklaring. De conclusies van de evaluatie zijn per toetsparameter samengevat in §2.6.

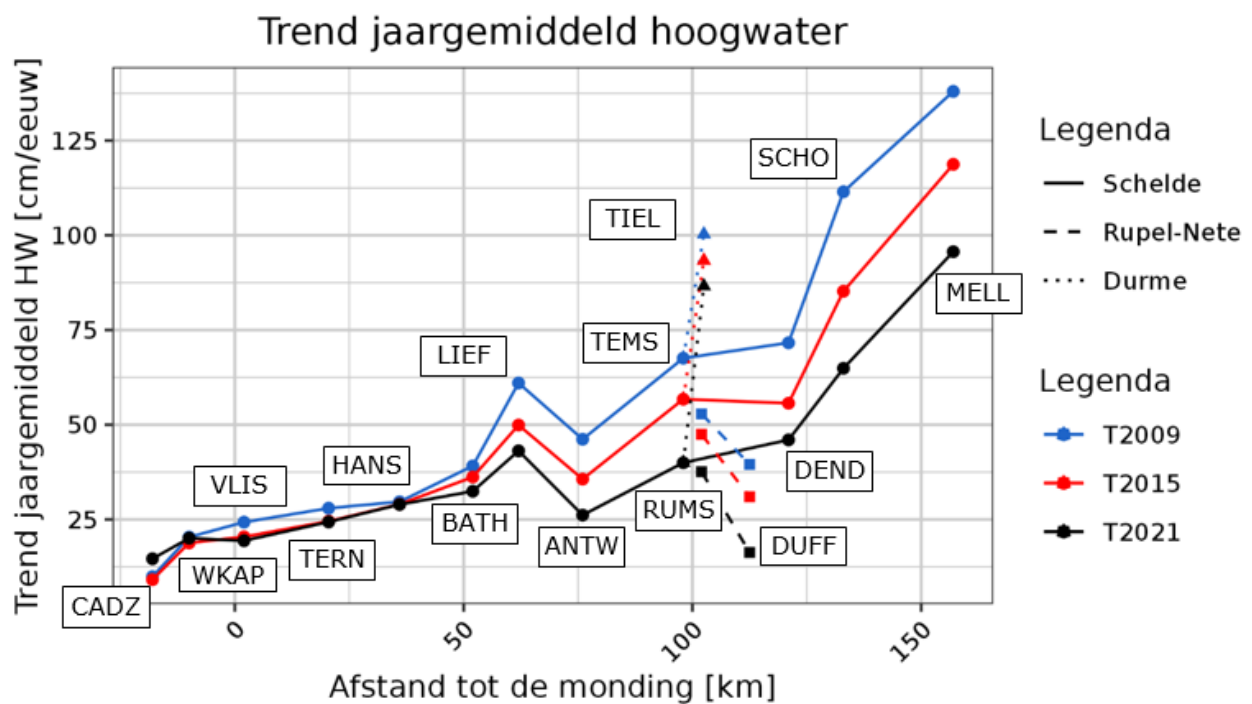
2.2. Toetsparameter Hoogwater

Voor de veiligheid tegen overstromingen zijn de waterstanden in het estuarium van belang. Toename van de hoogwaterstanden kan leiden tot de noodzaak dijkvakken te versterken om de veiligheid tegen overstromen te waarborgen. Een toename van de hoogwaterstanden verhoogt ook de kans van optreden van geotechnische faalmechanismen zoals *piping* of verlies van macrostabiliteit. De toetsparameter Hoogwater wordt bepaald door twee rekenparameters: jaargemiddeld hoogwater en jaarlijks 99-percentiel hoogwater.

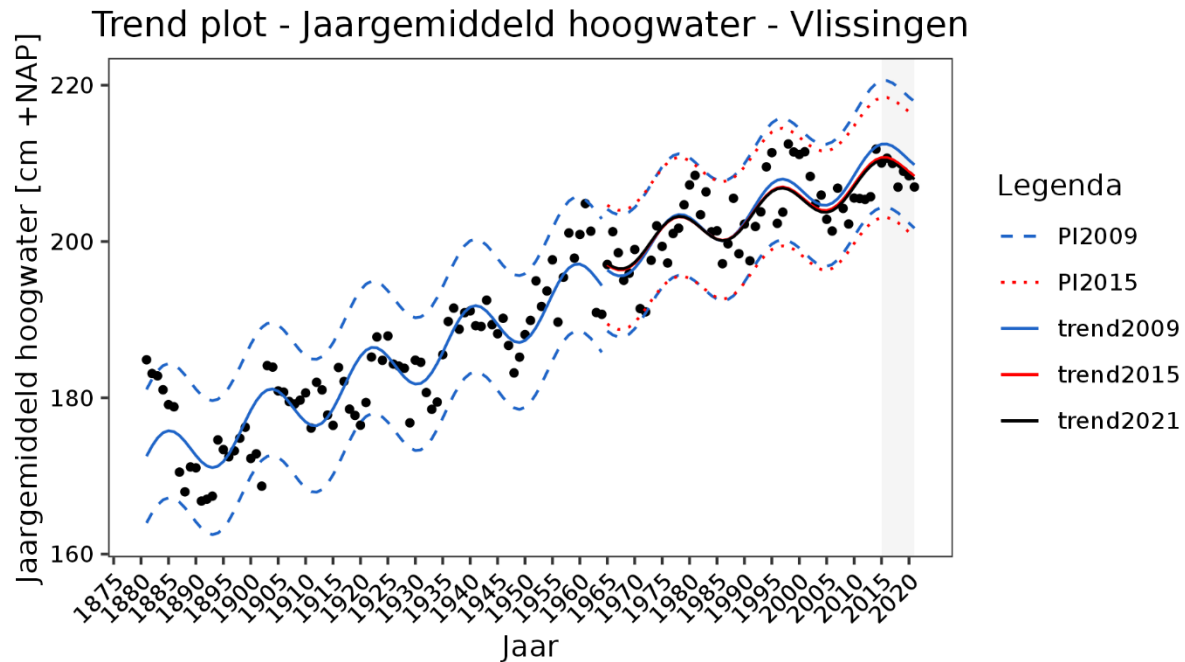
2.2.1. Jaargemiddeld hoogwater

In Figuur 2-2 zijn de T2009, T2015 en T2021 trends van de belangrijkste stations in het estuarium samengevat. In het analyserapport worden de resultaten van de overige stations, veelal met een kortere beschikbare tijdreeks, getoond. In het analyserapport worden de volgende conclusies getrokken:

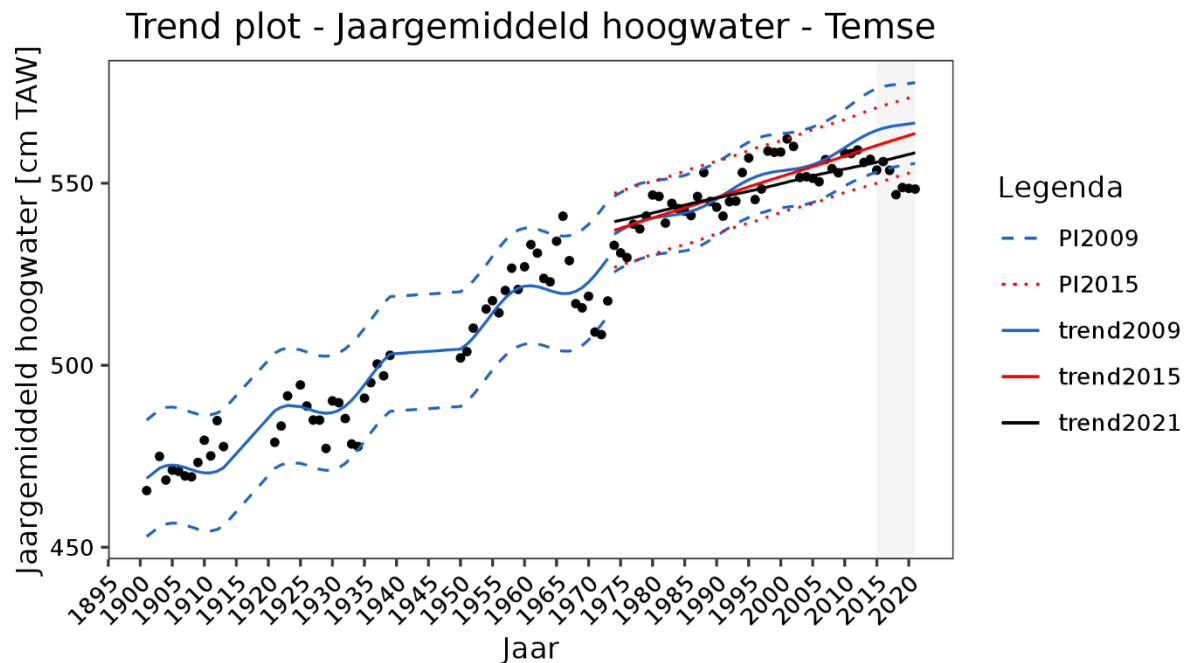
- Buiten het estuarium en in de monding van de Westerschelde is de trend stijgend en neemt de trend voor Cadzand toe in T2021. Bij Cadzand ligt 1 jaargemiddelde (net) boven de bovenste grens van het predictie-interval van T2015. De steilere trend is meer in overeenstemming met die van omliggende stations dan voorheen, bijvoorbeeld Vlakte van de Raan (dat vanwege de korte tijdreeks niet wordt getoond). Voor de andere stations buiten het estuarium en in de monding verandert de trend niet.
- De trend in de jaargemiddelde hoogwaterstanden in de Westerschelde is stijgend en de trends zijn voor alle stations nagenoeg gelijk aan die in T2015 (zie bijvoorbeeld Figuur 2-3 – Vlissingen). Enkel voor station Bath liggen de hoogwaterstanden de laatste jaren onder de trend, waardoor deze iets afzwakt van 36 cm/eeuw in T2015 naar 32 cm/eeuw in T2021. De T2021 trendparameter (stijging van de hoogwaterstanden per jaar) in de Westerschelde neemt toe het estuarium in: van 20 cm/eeuw bij Westkapelle tot 32 cm/eeuw bij Bath.
- Voor de Zeeschelde zijn de stijgende trends in de jaargemiddelde hoogwaterstanden duidelijk lager dan in T2009 en T2015. Hierbij vallen vooral de stations Schoonaarde en Melle diep in het estuarium op. Sinds ongeveer het jaar 2000 lijkt er sprake te zijn van een afvlakking van de jaargemiddelde hoogwaterstanden. Deze observatie komt overeen met de observaties van Vandenbruwaene *et al.* (2019). Voor de stations Antwerpen, Temse (zie Figuur 2-4) en Tielrode vallen waarden buiten het predictie-interval van T2015.



Figuur 2-2: Stijging jaargemiddeld hoogwater in cm/eeuw voor alle belangrijke stations als functie van de afstand tot de monding in T2021 vergeleken met T2009 en T2015.



Figuur 2-3: Resultaten trendanalyse jaargemiddelde hoogwaterstanden (zwarte punten) te Vlissingen met de trends van de data tot en met 2009, 2015 en 2021 voor de periode 1881-2021 en de bijbehorende predictie-intervallen (PI). De grijze balk markeert de huidige evaluatieperiode.



Figuur 2-4: Resultaten trendanalyse jaargemiddelde hoogwaterstanden Temse met de trends van de data tot en met 2009, 2015 en 2021 voor de periode 1901-2021 en de bijbehorende predictie-intervallen (PI). De gefitte nodale getijcyclus heeft voor de laatste twee periodes (t/m 2015 en t/m 2021) een amplitude van nagenoeg 0.

Al met al is de conclusie dat de evaluatie van de rekenparameter jaargemiddelde hoogwater negatief is, aangezien deze overall stijgen (Figuur 2-2). Ten opzichte van T2015 is de evaluatie neutraal voor alle

stations in de monding en in de Westerschelde met uitzondering van Cadzand. Bij Cadzand is er strikt genomen sprake van een negatieve evaluatie ten opzichte van T2015. Voor alle stations geldt dat de trends stijgend zijn en nagenoeg gelijk zijn aan de trends in T2015 en ten opzichte van T2009 zijn afgevlakt. De evaluatie ten opzichte van T2015 is in de Zeeschelde positief vanwege de constatering dat de trends in de hoogwaterstanden afzakken. Deze positieve evaluatie voor de Zeeschelde wordt versterkt doordat bij enkele stations jaargemiddelde waarden onder het predictie-interval van T2015 vallen. Langjarig zijn de trends echter nog steeds stijgend. Er dient opgemerkt te worden dat de invloed van de wind(opzet) en de rivierafvoer niet expliciet zijn meegenomen in de trendanalyses. Bij het zoeken naar verklaringen en ter ondersteuning van de evaluatie, wordt die invloed expliciet gekwantificeerd.

Verklaring

Ter ondersteuning van de evaluatie gaan we na of onderstaande parameters verklaringen bieden voor de geconstateerde wijzigingen in de trends en voor patronen in de jaargemiddelde hoogwaterstanden in het algemeen en uitschieters in het bijzonder:

- Peilschalencorrecties
- Zeespiegelstijging (Jaargemiddelde waterstand)
- Getijbeweging (astronomische hoogwaterstanden, nodale cyclus en getijslag)
- Rivierafvoer
- Scheve windopzet
- Morfologische veranderingen en menselijke ingrepen

We hebben voor iedere verklarende parameter afzonderlijk het verband met het jaargemiddelde hoogwater onderzocht. Ten behoeve van de analyse van het effect van de rivierafvoer en de scheve windopzet op het jaargemiddelde hoogwater hebben we het regressiemodel uit het analyserapport uitgebreid met gegevens van deze twee parameters. We bespreken de resultaten van deze effectanalyse in de sectie 'rivierafvoer en scheve windopzet'.

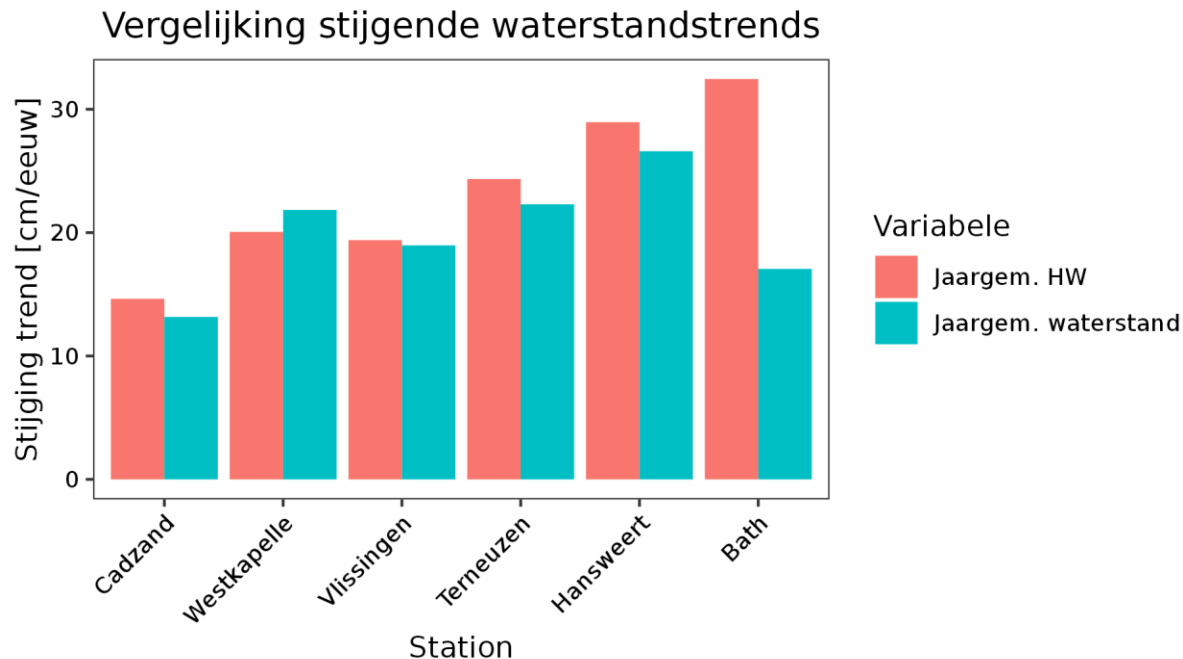
Peilschalencorrecties

In 2023 zijn nieuwe peilschaalcorrecties met terugwerkende kracht doorgevoerd op de meetreeks vanaf 2011 voor enkele stations in de Zeeschelde (Waterbouwkundig Laboratorium, 2023). De analyses in het T2021 Analyserapport zijn gebaseerd op de gegevens met de meest recente peilschalencorrecties. We onderzoeken niet of deze aanpassing van de peilschalencorrecties een verklaring zijn voor gevonden trends en afwijkingen in de jaargemiddelde hoogwaters ten opzichte van eerdere T-rapportages, omdat we veronderstellen dat de gecorrigeerde meetwaarden de best beschikbare gegevens zijn.

Zeespiegelstijging

We verwachten dat de stijgende trend in de jaargemiddelde hoogwaterstanden in de Westerschelde voor een belangrijk deel verklaard kan worden uit de stijging van de jaargemiddelde waterstand. De stijging van de jaargemiddelde waterstand wordt voornamelijk gedreven door de (externe) zeespiegelstijging (ca. 20 cm/eeuw). Figuur 2-5 vergelijkt de trends in de jaargemiddelde waterstand en de jaargemiddelde hoogwaterstand in de Westerschelde. De trends komen voor bijna alle stations in de Westerschelde overeen. De trend in de jaargemiddelde hoogwaterstanden is bij Bath het grootst van alle stations in de Westerschelde. Dit wordt duidelijk niet enkel veroorzaakt door een stijgende zeespiegel. Bij Bath is het getij geamplificeerd ten opzichte van de monding en is de amplificatie sinds de jaren '70 toegenomen door. De amplificatie is sinds de jaren '70 toegenomen door toegenomen geuldieptes en een afname van het intergetijdengebied (bijv. Saeftinghe) in de Westerschelde (Vandenbruwaene, 2020c) (zie de sectie over getijbeweging hieronder). Dit verklaart de sterkere trend

in de jaargemiddelde hoogwaterstanden van Bath ten opzichte van de andere stations (zie ook het analyserapport).



Figuur 2-5: Vergelijking van de trends in de jaargemiddelde waterstanden en de jaargemiddelde hoogwaterstanden in cm/eeuw.

In de Zeespiegelmonitor 2022 (Stolte *et al.*, 2023) is geconcludeerd dat er sinds de jaren '90 sprake is van een snellere zeespiegelstijging ten opzichte van de decennia ervoor. In de periode 1900-1993 is sprake van een zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust van 1,8 mm/jaar en in de periode 1993-2021 is sprake van een zeespiegelstijging van 2,9 mm/jaar. Bij Vlissingen zijn de verschillen iets kleiner (2,1 mm/jaar voor 1900-1993 tegenover 2,8 mm/jaar voor 1993-2021). Het is de verwachting dat een versnelde zeespiegelstijging ook een effect zal hebben op de jaargemiddelde hoogwaterstanden in de Westerschelde. Deze evaluatie legt net als de T2009 evaluatie een trendbreuk in de jaren '70 op aan het regressiemodel. Door deze trendbreuk en door de grote jaar-tot-jaar variatie in de reeksen van de jaargemiddelde waterstanden en de jaargemiddelde hoogwaterstanden in de laatste 50 jaar is een versnelling van de stijgende trend niet uit de reeksen op te maken. Hiervoor is een andere, (veel) uitgebreidere analyse nodig, waarbij de effecten van o.a. windopzet worden gefilterd en de complete reeks vanaf 1890 wordt geanalyseerd. Deze analyse is uitgevoerd in (Van de Moortel *et al.*, 2021) en Stolte *et al.* (2023).

Ook in de Zeeschelde kan een verandering van de jaargemiddelde waterstand de jaargemiddelde hoogwaterstanden beïnvloeden. De Scheldemonitor bevat echter op dit moment geen gegevens waaruit de jaargemiddelde waterstand langjarig uniform kan worden afgeleid. In de Zeeschelde wordt de jaargemiddelde waterstand tevens bepaald door de waterstanden in de Westerschelde en door de rivierafvoeren. De invloed van afvoer op de jaargemiddelde hoogwaterstanden wordt verderop in deze paragraaf in de sectie 'rivierafvoer en scheve stormopzet' onderzocht. Als er sprake is van (redelijk) vrije afstroming van de rivierafvoer (wat zo is bij de afvoergedomineerde stations) kan een lagere bodemligging ook zorgen voor een daling van de jaargemiddelde waterstanden en de jaargemiddelde

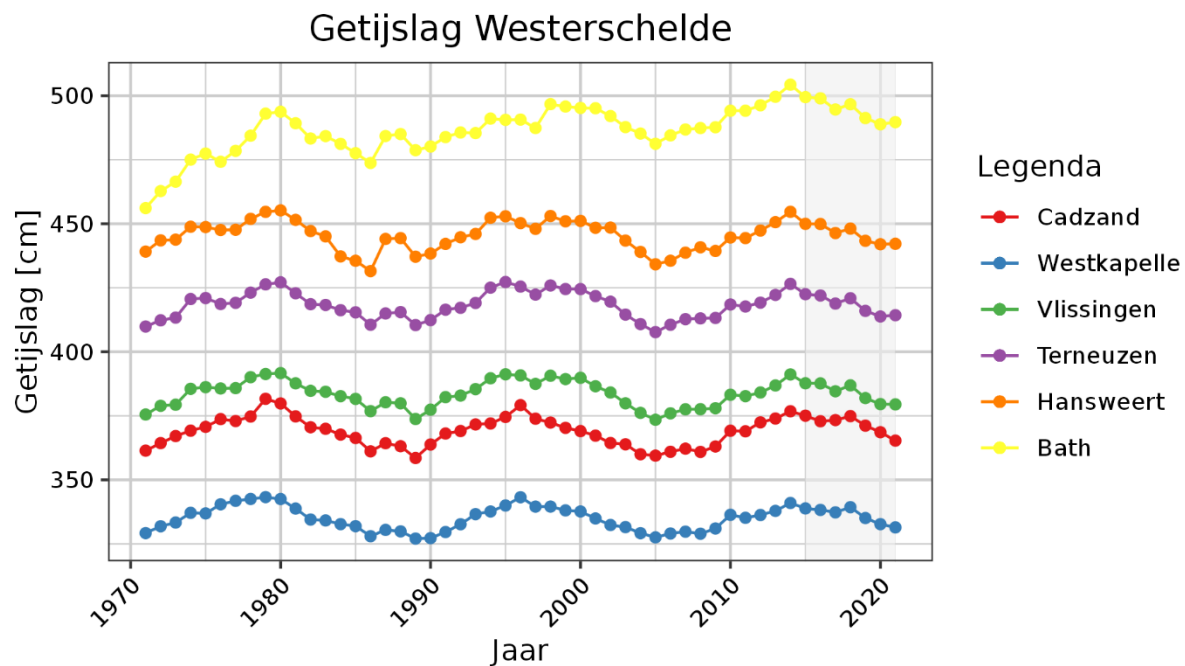
hoogwaterstanden. Dit verband is verderop in deze paragraaf uitgewerkt in de sectie 'morfologische veranderingen en menselijke ingrepen'.

Getijbeweging (astronomisch getij, nodale cyclus en getijslag)

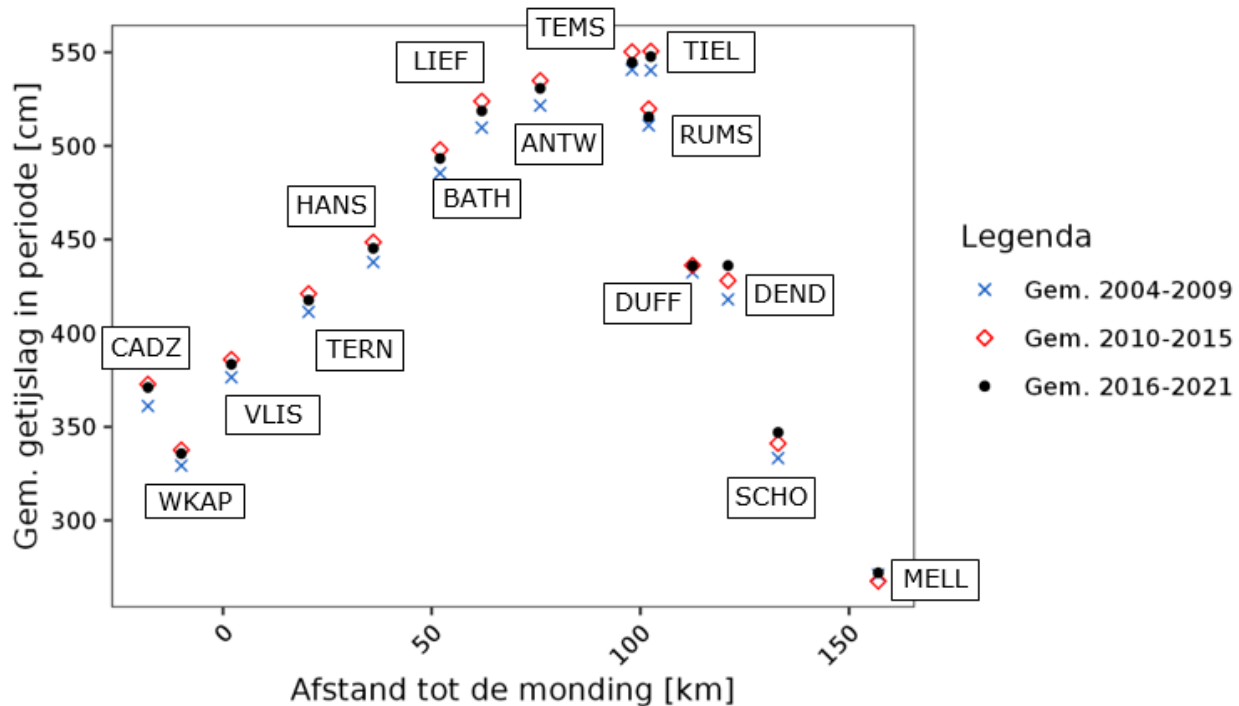
Algemeen

De jaargemiddelde hoogwaterstanden in het estuarium worden voornamelijk bepaald door getijwerking. Deze getijwerking wordt gevormd door externe getij-indringing bij de monding en de amplificatie in het estuarium als gevolg van de geometrie. In het analyserapport is de getijbeweging beschreven middels verschillende parameters: voorspelde astronomische hoogwaterstanden, amplitudes van de belangrijkste getijcomponenten en de getijslag. In dit evaluatierapport gebruiken we deze parameters om patronen in jaargemiddelde hoogwaterstanden te duiden. De getijslag is hierbij een directe afgeleide van de gemeten (hoog- en laag)waterstanden en is daarmee geen verklarende parameter voor veranderingen in de jaargemiddelde hoogwaterstanden. Wel kan de relatieve getijslag, de verhouding van de getijslag tussen opeenvolgende stations, duiden waar veranderingen optreden, wat mogelijk gelinkt kan worden aan morfologische veranderingen of menselijke ingrepen.

Naast de bathymetrie van het estuarium heeft ook de 18,6-jarige nodale cyclus een sterke invloed op de getijbeweging en daarmee de jaargemiddelde hoogwaterstanden. Deze nodale cyclus zorgt voor een kleine versterking of demping van het getij en heeft als enige getijcomponent ook een (zeer) kleine invloed op de gemiddelde zeespiegel. Het effect van de nodale getijcyclus is duidelijk zichtbaar in de getijslag (het verschil tussen de hoogwaters en laagwaters; zie Figuur 2-6). De nodale getijcyclus kende een 'buik' net voor het begin van de huidige evaluatieperiode en is dus in een dalende fase in de periode 2016-2021. Dit zorgt er ook voor dat voor de stations de gemiddelde getijslag in de periode 2016-2021 lager is dan in de periode 2010-2015 (zie Figuur 2-7).



Figuur 2-6: Jaargemiddelde getijslag voor de belangrijkste stations in de Westerschelde in centimeters voor de periode 1971-2021



Figuur 2-7: Gemiddelde getijslag (in cm) in de verschillende evaluatieperiodes voor de hoofdstations in het Schelde-estuarium.

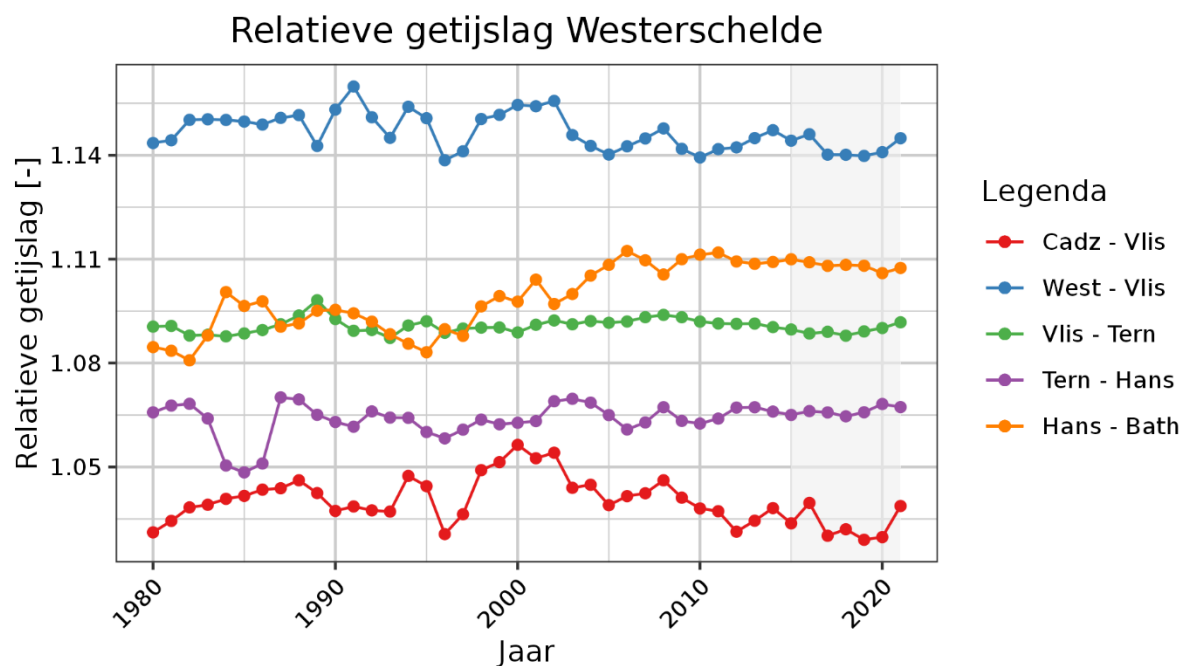
Monding en de Westerschelde

Voor de getijstations in de monding en in de Westerschelde zijn harmonische analyses van de getijbeweging uitgevoerd. Hieruit volgen onder andere de amplitudes van alle getijcomponenten (waarvan M2 en S2 de twee grootste componenten zijn) en de voorspellingen van de astronomische hoogwaterstanden (de hoogwaterstanden enkel gedreven door de getijbeweging). In het analyserapport zijn de trends in de harmonische componenten en het astronomisch hoogwater geschat. Voor de gehele dataset vanaf 1971 kennen de astronomische hoogwaters enkel bij station Bath een statistisch significant stijgende trend. Dit komt overeen met de bevindingen van Wang (2021). Voor alle andere stations variëren de astronomische hoogwaters voornamelijk als gevolg van de nodale getijcyclus. Bij de monding (Cadzand en Westkapelle) is er dus geen sprake van een veranderende getijbeweging.

Tussen 1990 en 2000 lijkt er sprake van een kentering in de getijamplitudes voor enkele stations in de Westerschelde (zie het analyserapport). Als de dataset wordt opgesplitst in de periode voor 1995 en de periode na 1995 is er bij stations Vlissingen, Terneuzen en Hansweert sprake van een licht dalende trend sinds 1995. Deze daling wordt gereflecteerd in de lichte daling van de amplitudes van de getijcomponenten M2 en S2. Deze daling wordt mogelijk veroorzaakt door externe invloeden (buiten het estuarium). Bij station Cadzand is de daling echter niet waarneembaar. Externe invloeden zouden wel een verklaring kunnen bieden, maar dit is dus afhankelijk van de complexe getijbeweging dicht bij de kust en in de monding (en de verandering daarin over tijd). We bevelen aan om de ontwikkeling in getijamplitudes de volgende evaluatie opnieuw te onderzoeken.

Ontwikkelingen van het getij binnen het estuarium kunnen worden verklaard door menselijke ingrepen en morfologische veranderingen, mogelijk direct of indirect als gevolg van de menselijke ingrepen. De getijbeweging in het estuarium reageert instantaan op morfologische veranderingen (Wang, 2021).

Veranderingen in de relatieve getijslag (verhouding tussen de getijslag van twee stations) zijn een goede indicator voor het effect van morfologische veranderingen op de getijbeweging. Voor de stations in de Westerschelde is deze relatieve getijslag van station tot station weergegeven in Figuur 2-8. Het figuur laat zien dat het getij al enigszins geamplificeerd wordt in de monding van Cadzand tot aan Vlissingen (relatieve getijslag groter dan 1, zie ook Figuur 2-6). De amplificatie tot Vlissingen is licht dalend (van ~ 1.06 naar ~ 1.03) sinds omstreeks 2000. Deze ontwikkeling kan niet eenduidig gekoppeld worden aan morfologische veranderingen, omdat grote morfologische veranderingen nodig zijn om de getijbeweging significant te beïnvloeden (zie Hoofdstuk 4 van het T2021 Analyserapport). Tussen Vlissingen en Terneuzen is de getijamplificatie relatief stabiel, met een (zeer) lichte daling tussen 2008 en 2018 (~ 1.095 naar ~ 1.088), en sindsdien een (zeer) lichte stijging (naar ~ 1.092). De daling van de relatieve getijslag komt overeen met de analyse van Wang (2021). Deze afname in de (relatieve) getijslag is niet eenduidig te koppelen aan morfologische ontwikkelingen. Tussen Terneuzen en Hansweert varieert de relatieve getijslag meer van jaar tot jaar, maar is er geen langjarige verandering te zien sinds 2000. Ten slotte, tussen Hansweert en Bath is er wel een duidelijke stijging van de relatieve getijslag gezien in de periode tussen 1980 en 2005. Sindsdien is de relatieve getijslag stabiel. Dit strookt met eerdere bevindingen bij het station Bath: de afvlakking van de stijging van de astronomische hoogwaters (zie het analyserapport) en de (licht) afvlakkende stijging van de jaargemiddelde hoogwaters (zie Figuur 2-2). De stabiele getijslag kan gelinkt worden aan de relatief stabiele dimensies (geulvolumes en gemiddelde dieptes) van de geulen in dit deel van de Westerschelde, waar deze zich voorheen wel ontwikkelden (zie het analyserapport).



Figuur 2-8: Relatieve getijslag van station tot station (getijamplificatie) in de Westerschelde. Het getij verlaat de Westerschelde in noordelijke richting, waardoor station Westkapelle met name relevant is voor de eb fase.

Beneden-Zeeschelde

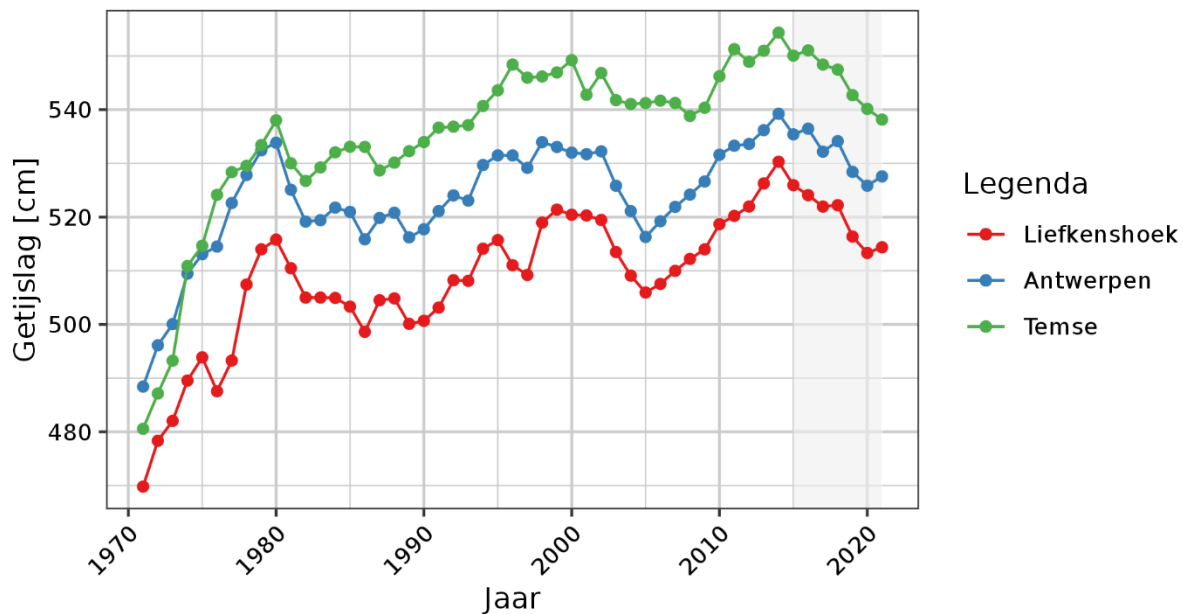
Voor de Vlaamse stations is er geen harmonische analyse van het getij beschikbaar. Voor de evaluatie beschouwen we daarom de ontwikkeling van de absolute getijslag (zie Figuur 2-7, Figuur 2-9 en Figuur

2-11) en de relatieve getijslag (zie Figuur 2-10 en Figuur 2-12). Voor alle Vlaamse stations is een afvlakkende trend in de jaargemiddelde hoogwaterstanden geobserveerd (Figuur 2-2). Deze is ook geobserveerd in Vandenbruwaene *et al.* (2019, pagina 11). Voor enkele stations is er mogelijk sprake van een daling van de jaargemiddelde hoogwaterstanden sinds de periode 1995-2000). Ten slotte vallen in de periode 2016-2021 enkele jaargemiddelde hoogwaterstanden buiten de predictie-intervallen van de trendanalyse van de hoogwaterstanden van T2015 (zie bijvoorbeeld Figuur 2-4), wat een indicatie kan zijn voor een trendbreuk. Hieronder wordt beschouwd of deze ontwikkelingen gekoppeld kunnen worden aan veranderingen in de relatieve getijslag van station tot station, wat mogelijk weer gelinkt kan worden aan morfologische veranderingen en/of menselijke ingrepen.

In de Beneden-Zeeschelde (Liefkenshoek, Antwerpen en Temse) is een sterke toename van de absolute getijslag te zien in de periode 1971-1980. Deze kan worden toegekend aan de verruiming en de inpolderingen in het estuarium in deze periode (Vandenbruwaene *et al.*, 2022a). Sindsdien is er sprake van een lichtere, maar nog wel significante, stijging van de getijamplificatie (getijslag), die direct gelinkt is aan de stijgende trends van de jaargemiddelde hoogwaters (Figuur 2-2). Rond 2005 kende de getijslag bij Liefkenshoek en Antwerpen lagere waarden als gevolg van de nodale getijcyclus. De piek van de nodale getijcyclus is ook terug te zien rond 2014. Dit dal en deze piek zijn ook terug te zien in de jaargemiddelde hoogwaterstanden (zie het analyserapport).

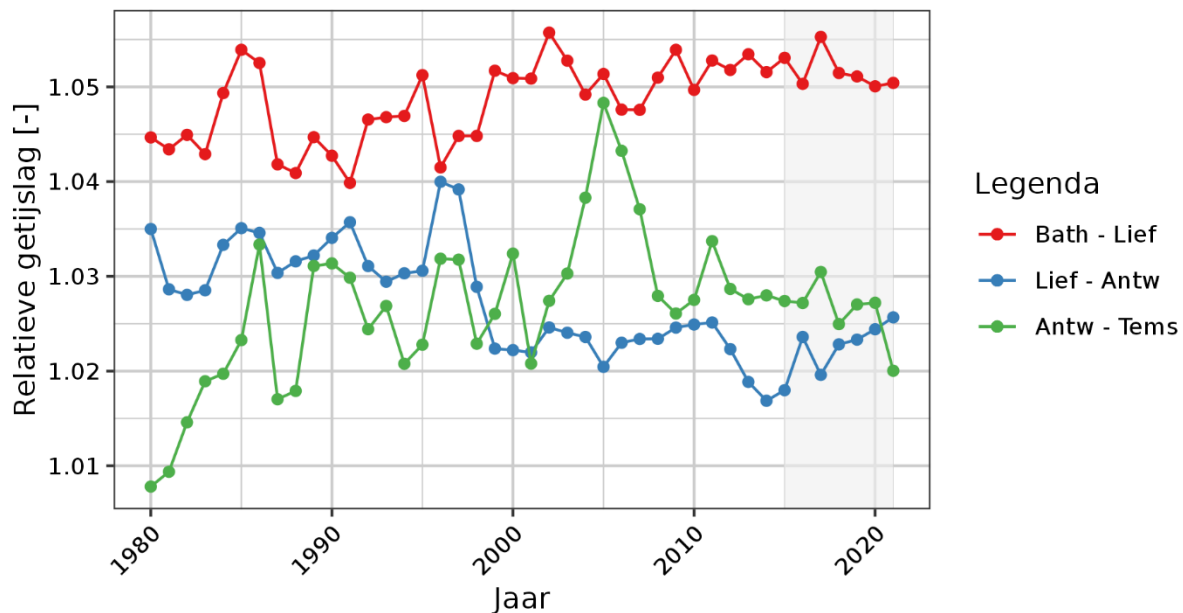
In de relatieve getijslag tussen Bath en Liefkenshoek is een sprong op te merken in de periode 1995-2000, met daarna stabiel hogere waarden (van $\sim 1,045$ naar $\sim 1,052$). Tussen Liefkenshoek en Antwerpen is in deze jaren juist een duidelijke daling van de relatieve getijslag te zien (van $\sim 1,032$ naar $\sim 1,022$). Tussen Antwerpen en Temse is tot 1985 een duidelijke stijging van de relatieve getijslag te zien. Sindsdien varieert deze rond 1,025, met een opvallende piek rond 2005. Deze periode komt overeen met het dal uit de nodale getijcyclus (dat een kleiner effect heeft bij Temse), waardoor er geen sprake is van opvallend hoge jaargemiddelde hoogwaterstanden. De opmerkelijk lage jaargemiddelde hoogwaterstanden bij station Temse in de jaren 2018-2021 (allen buiten het predictie-interval van T2015) kunnen niet eenduidig verklaard worden door een veranderende getijamplificatie (enkel het jaar 2021 valt op in Figuur 2-10). De ontwikkelingen van de getijslag in de Beneden-Zeeschelde zijn niet eenduidig te koppelen aan morfologische ontwikkelingen. Over het algemeen is de geul namelijk groter en dieper geworden (zie Hoofdstuk 4 in het T2021 Analyserapport). Aangezien de geulen reeds ruim zijn, is het effect op de getijbeweging naar verwachting klein.

Getijslag Zeeschelde



Figuur 2-9: Getijslag voor de belangrijkste stations in de Beneden-Zeeschelde in centimeters voor de periode 1971-2021.

Relatieve getijslag Zeeschelde



Figuur 2-10: Relatieve getijslag van station tot station (getijamplificatie) in de Beneden-Zeeschelde

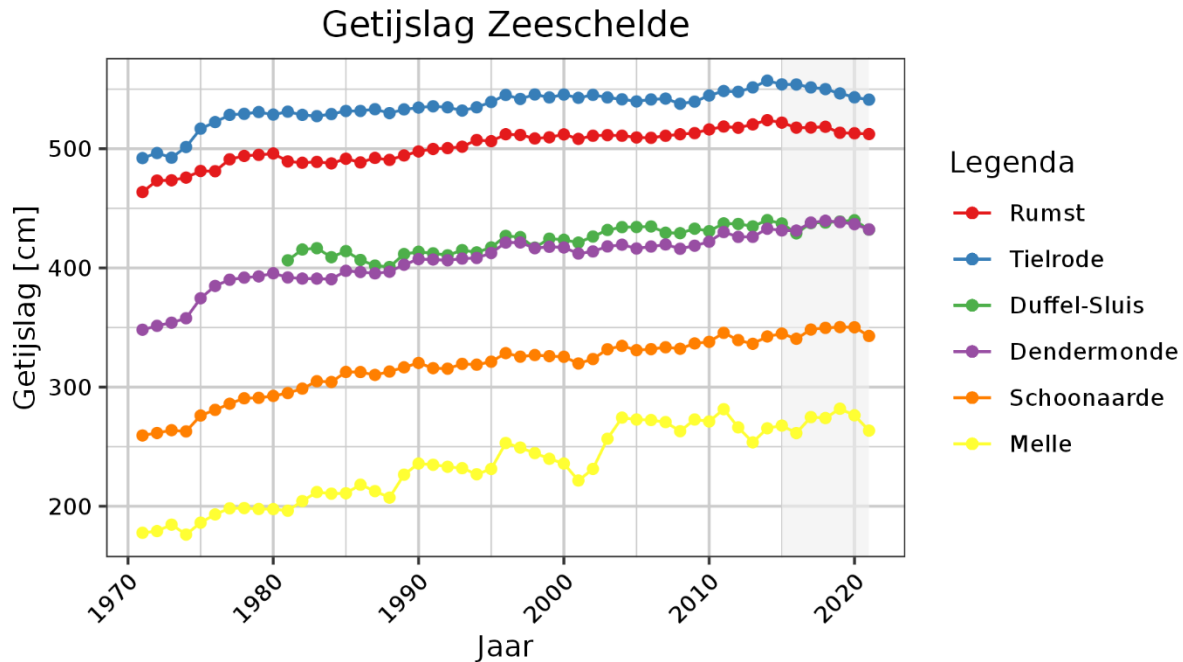
Boven-Zeeschelde

In de Boven-Zeeschelde en de zijrivieren is sprake van een (sterke) langjarige stijging van de getijslag (Figuur 2-11), wat ook de sterke stijgingen in de jaargemiddelde hoogwaterstanden verklaart. Met uitzondering van station Dendermonde vlakt de stijging in de getijslag af. Dit blijkt tevens uit de

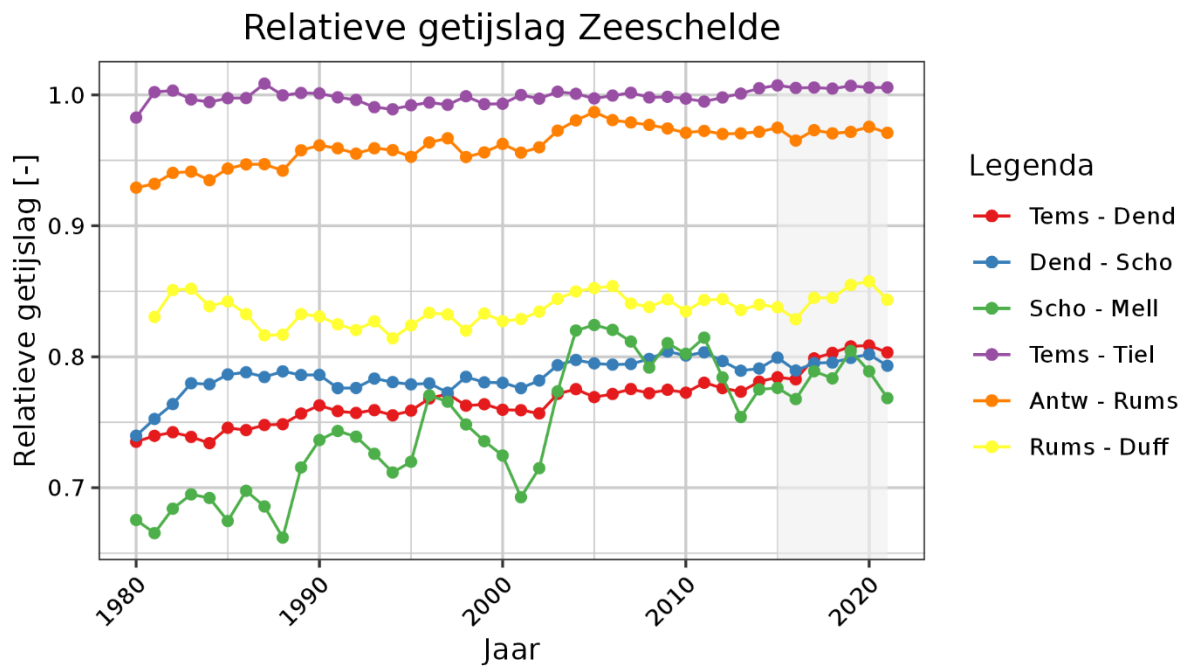
statistische analyse in het analyserapport, waarbij voor alle stations (wederom Dendermonde uitgezonderd) jaargemiddelde waarden buiten het predictie-interval van T2015 vallen. Dit duidt erop dat de huidige ontwikkeling van de getijslag (mogelijk stabiel en variërend met de nodale getijcyclus) anders is dan de langjarige ontwikkeling (een stijging). Deze observatie kan een belangrijke verklaring zijn voor de afvlakkende trends in de jaargemiddelde hoogwaters (Figuur 2-2).

Nuanceringen tussen de stations kunnen gevonden worden in de analyse van de relatieve getijslag van station tot station (Figuur 2-12).

- Tussen Temse en Dendermonde is sprake van een langjarige stijging van de relatieve getijslag (minder demping van de getijgolf). Waar er voor de meeste andere stations sprake is van een stabilisatie van de relatieve getijslag in de afgelopen 20 jaar, is dit niet te zien tussen Temse en Dendermonde. Dit verklaart waarom de ontwikkeling van de getijslag te Dendermonde (geen wijzigende trend en alle waarden binnen het predictie-interval van T2015) afwijkt van de andere stations in de Boven-Zeeschelde. De doorstijgende getijslag (en relatieve getijslag) is waarschijnlijk het gevolg van het toenemend volume van de geul in macrocel 15 en 16 (zie hoofdstuk 4 sectie 4.5.3.2 van het T2021 Analyserapport). Een toename van het geulvolume heeft met name een invloed op de laagwaterstanden (Vandenbruwaene *et al.*, 2020a), met een toename van de getijslag als gevolg. Het effect op de hoogwaterstanden is beperkt, wat strookt met de geobserveerde afvlakking van de jaargemiddelde hoogwaterstanden (Figuur 2-2).
- Tussen Dendermonde en Schoonaarde is de relatieve getijslag stabiel sinds 2005. Dit suggereert dat er slechts beperkte (morfologische) ontwikkelingen hebben plaatsgevonden op dit traject. Dit strookt niet met de (licht) toegenomen geulvolumes en geuldieptes (zie het analyserapport).
- Tussen Schoonaarde en Melle is er na de sterke stijging tussen 1980 en 2005 sprake van een afname van de relatieve getijslag (meer demping van de getijgolf). Naast de stabilisatie van de getijslag verder benedenstrooms kan deze afname van de relatieve getijslag tussen Schoonaarde en Melle een aanvullende verklaring zijn voor de stabilisatie (en mogelijke lichte afname) van de jaargemiddelde hoogwaterstanden te Melle.
- Tussen Temse en Tielrode (zeer dicht bij elkaar liggende stations) is de getijgolf relatief stabiel met in sommige jaren iets demping (relatieve getijslag < 1) en in andere jaren iets amplificatie (relatieve getijslag > 1).
- Tussen Antwerpen en Rumst (een vergelijking met de monding van de Rupel is niet mogelijk, aangezien waterstandmeetstation Schelle is opgeheven) is er tot 2005 sprake van een duidelijke stijging van de relatieve getijslag (minder demping). Sinds 2010 is de relatieve getijslag stabiel.
- Tussen Rumst en Duffel-Sluis (over de Rupel en Nete) varieert de relatieve getijslag relatief sterk van jaar tot jaar. Sinds 2005 is er geen sprake van een langjarige trend.



Figuur 2-11: Getijslag voor de belangrijkste stations in de Boven-Zeeschelde en de zijrivieren in centimeters voor de periode 1971-2021.



Figuur 2-12: Relatieve getijslag van station tot station (getijamplificatie) in de Boven-Zeeschelde en de zijrivieren

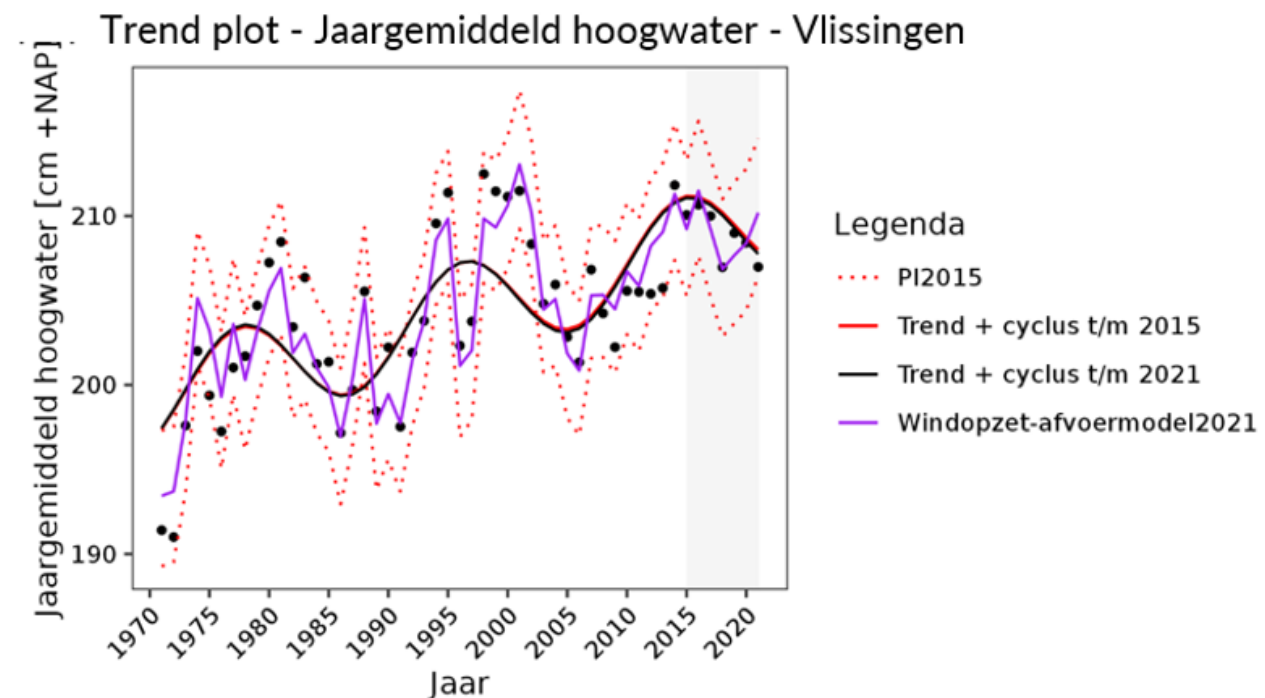
Rivierafvoer en scheve windopzet

De scheve windopzet (verhoging of verlaging van de getijhoogwaterstanden als gevolg van wind) en de rivierafvoer zijn belangrijke verklarende parameters voor de jaargemiddelde hoogwaterstanden. Dit is

ook geconstateerd in T2009 en T2015. Deze parameters kunnen pieken en dalen in de reeksen van de jaargemiddelde hoogwaterstanden verklaren. In T2015 is de invloed van de windopzet en de rivierafvoer op de jaargemiddelde hoogwaterstanden daarom onderzocht door deze in een figuur uit te zetten tegen de residuen van de regressiemodellen. Dit maakte echter niet inzichtelijk in welke mate de windopzet en de afvoer de trends in hoogwaterstanden beïnvloeden. Derhalve is aanvullend onderzoek uitgevoerd ten behoeve van de evaluatie. Hierin zijn de scheve windopzet en de rivierafvoer expliciet toegevoegd aan het regressiemodel. De gevolgde werkwijze en de gedetailleerde resultaten van dit onderzoek zijn te vinden in Bijlage A. Dit aanvullend onderzoek is dus louter bedoeld ter ondersteuning van de evaluatie.

Grafieken van de resultaten van het gefitte multivariate regressiemodel (met windopzet en afvoer) zijn voor de stations Vlissingen en Melle weergegeven Figuur 2-13 en Figuur 2-14 . De grafieken met de resultaten voor de overige stations zijn in de figuren in Bijlage A opgenomen. Bij Vlissingen laat het Windopzet-afvoermodeel duidelijke pieken en dalen om de langjarige trend zien. Deze worden verklaard uit de windopzet. Met name tussen 1995 en 2003 zijn enkele hoge uitschieters te zien. De langjarige trend wijzigt niet door de toevoeging van de data tussen 2016 en 2021 (blijft ~20 cm/eeuw).

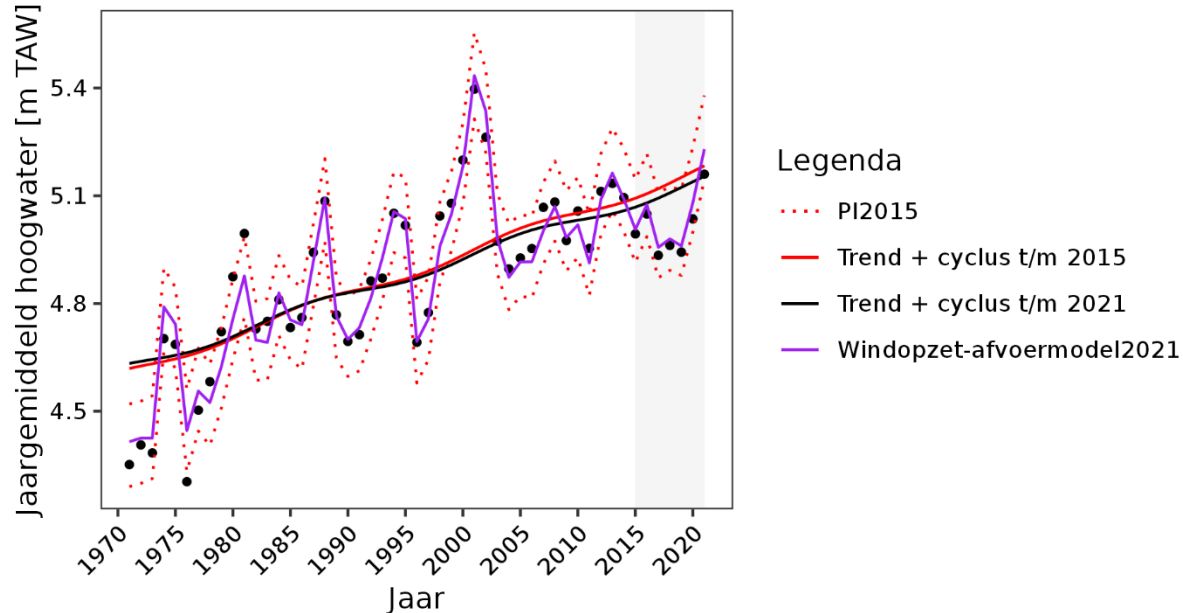
Bij station Melle verklaart het Windopzet-afvoermodeel bijna alle variatie (voorspelling ligt dicht op de jaargemiddelden en het predictie-interval is smal). De meest verklarende variabele is de jaargemiddelde afvoer (zie Bijlage A.1). De periode 2000-2005 kent enkele jaren met hoge jaargemiddelde afvoeren, wat ook gereflecteerd wordt in hoge jaargemiddelde hoogwaterstanden. Ook het effect van de lage rivierafvoeren in de jaren 2017-2020 is terug te zien in de jaargemiddelde hoogwaterstanden in deze periode.



Figuur 2-13: Resultaten van de multivariate regressieanalyse voor de jaargemiddelde hoogwaterstanden bij station Vlissingen, waarbij het model is gefit op de data van 1971-2015 en 1971-2021. "PI2015" geeft het predictie-interval

aan van het gefitte multivariate model op de data t/m 2015. Trend+cyclus is de fit op basis van alleen de trend en de nodale cyclus van het Windopzet-afvoermodel.

Trend plot - Jaargemiddeld hoogwater - Melle



Figuur 2-14: Resultaten van de multivariate regressieanalyse voor de jaargemiddelde hoogwaterstanden bij station Melle, waarbij het model is gefit op de data van 1971-2015 en 1971-2021. "PI2015" geeft het predictie-interval aan van het gefitte multivariate model op de data t/m 2015. Trend+cyclus is de fit op basis van alleen de trend en de nodale cyclus van het Windopzet-afvoermodel.

De belangrijkste constatering uit de aanvullende analyse zijn:

- Algemeen: de trends gefit op de data t/m 2009 en in mindere mate de trends gefit op de data t/m 2015 en t/m 2021 zijn lager wanneer we rekening houden met windopzet en afvoer (zie Bijlage A.1.2). Dat wil zeggen dat windopzet en/of afvoer een deel van de (sterke) stijging in het jaargemiddeld hoogwater kunnen verklaren. Dit heeft onder andere te maken met de hoge pieken in de jaargemiddelde hoogwaters in de periode 2000-2005.
- Westerschelde: met windopzet en afvoer in het regressiemodel blijft de trendmatige stijging in de orde grootte 20 á 30 cm per eeuw, waarschijnlijk verklaard door de stijging van de gemiddelde waterstand (zeespiegelstijging). Net als in het analyserapport kan gesteld worden dat de trend in het jaargemiddeld hoogwater bij Cadzand versnellende is en dat deze dichter bij de trends van de andere stations komt te liggen en dichterbij de zeespiegelstijging.
- Zeeschelde: ook wanneer rekening wordt gehouden met windopzet en afvoer zwakken de trendmatige stijgingen van het jaargemiddelde hoogwater in de Zeeschelde af. De lineaire trends wijzigen wel sterk door de toevoeging van windopzet en afvoer als gevolg van 1) de hoge jaargemiddelde afvoeren (en windopzet) in de periode rond het jaar 2000 en 2) de lage jaargemiddelde afvoeren in de jaren 2017 t/m 2020. Voor de stations Antwerpen, Temse en Tielrode blijven waarden buiten het predictie-interval van T2015 vallen. Deze kunnen dus niet (volledig) verklaard worden door lage windopzetten en/of afvoeren. Daarnaast vallen bij stations Liefkenshoek, Rumst en Duffel-Sluis nu ook waarden buiten het predictie-interval van T2015, wat een verdere indicatie geeft dat de trends in de jaargemiddelde hoogwaterstanden afvlakken in een groot gedeelte van de Zeeschelde en de zijrivieren.

Door expliciet de windopzet en afvoer mee te nemen, hebben we onderzocht of deze parameters veranderingen in de trends kunnen verklaren. In het evaluatierapport van T2015 is aangegeven dat lage afvoeren en windopzetten in de periode 2010-2015 een verklaring bieden voor de afzwakkende trends in de Zeeschelde. Uit de huidige aanvullende analyse blijkt dat patronen in de windopzet en de afvoer inderdaad de trends (sterk) kunnen veranderen. Toch is nog steeds te zien dat de stijgende trends in de Zeeschelde afvlakken.

Morfologische veranderingen en menselijke ingrepen

In de Westerschelde zijn er ten opzichte van de voorgaande decennia (procentueel) slechts beperkte veranderingen geweest in de dimensionering van de geulen en het intergetijdengebied in de periode 2016-2021 (zie Hoofdstuk 4 sectie 4.5.2 in het T2021 Analyserapport). In deze periode hebben menselijke ingrepen als proefstortingen, aanleg van strekdammen en de ontpoldering van de Perkpolder plaatsgevonden. Gegeven de beperkte afwijking van de hoogwaterstanden ten opzichte van de in T2015 geobserveerde trends in hoogwaterstanden, kan gesteld worden dat de ingrepen kleine of tegengestelde (vergroting vs. verkleining getijamplificatie) effecten hebben gehad op de getijbeweging. Dergelijke tegengestelde effecten kunnen bijvoorbeeld veroorzaakt worden door enerzijds ontpoldering, wat zorgt voor meer intergetijdengebied en daarmee mogelijk een (zeer) kleine afname van de hoogwaterstanden en anderzijds de aanleg van kribben, wat het stroomoppervlak doet verkleinen en daarmee de hoogwaterstanden kan opstuwten. Op basis van de beschikbare gegevens kan hier geen uitsluitel over worden gegeven.

In de Beneden-Zeeschelde vindt sterke getijamplificatie plaats als gevolg van de trechtvorm van het estuarium (afnemende stroom- en bergingsvolumes in de geulen en in het intergetijdengebied). Veranderingen in deze geulvolumes, alsmede veranderingen in de volumes van het intergetijdegebied (als gevolg van inpolderingen en ontpolderingen), beïnvloeden dus de getijamplificatie en daarmee de jaargemiddelde hoogwaterstanden. In de meeste OMES-segmenten in de Beneden-Zeeschelde zijn de subtidale (diepe) geulvolumes in de periode 2016-2021 toegenomen (zie Hoofdstuk 4 sectie 4.5.3.2 in het T2021 Analyserapport). Een toename van geulvolumes heeft in de Beneden-Zeeschelde relatief een klein effect t.o.v. andere veranderingen in de bathymetrie, zoals inpolderingen (zie Vandenbruwaene *et al.*, 2020a).

In de Boven-Zeeschelde en de zijrivieren is de getijbeweging sterker afhankelijk van de geuldiepte. Door een toename van de geulvolumes kan het getij verder doordringen in het estuarium en neemt dus de getijslag toe. Dit heeft met name een effect op de laagwaterstanden. Het effect op hoogwaterstanden is kleiner (Vandenbruwaene *et al.*, 2020a).

Specifiek bij Temse is er in de periode 2018-2021 sprake van (sterk van de trend afwijkende) lage jaargemiddelde waarden. Dermate afwijkende waarden zien we niet bij de jaargemiddelde laagwaterstanden (zie paragraaf 3.4.1). Hierdoor is het minder plausibel dat een toename van het geulvolume een verklaring is voor de lagere hoogwaterstanden. De lage hoogwaterstanden konden ook niet verklaard worden uit lage bovenafvoeren (zie sectie rivierafvoer en scheve windopzet en Bijlage A.1.2). Mogelijk kunnen de lage waarden verklaard door het in werking treden van alle GGG-gebieden van "Kruibeke-Bazel-Rupelmonde" (KBR). Deze gebieden beslaan een oppervlakte van 600 hectare en beïnvloeden de getijbeweging in dit deel van het estuarium. Ook bij stations verder bovenstrooms (bijvoorbeeld Tielrode, Rumst en Dendermonde) kan KBR de jaargemiddelde hoogwaterstanden hebben beïnvloed. Hierover kan geen uitsluitel worden gegeven op basis van de beschikbare gegevens.

We bevelen aan om de vragen met betrekking tot de ontwikkeling van de hoogwaterstanden in de Zeeschelde in relatie tot de menselijke ingrepen en morfologische ontwikkelingen (bijv. geuldimensies)

sinds 2000 in de onderzoeksagenda op te nemen. Er is veel kennis omtrent de relatie tussen de ingrepen en morfologische veranderingen na de 1^e verruiming. Dit komt mede doordat de veranderingen eenduidiger en prominenter waren dan dat deze sinds 2000 hebben plaatsgevonden. Om de recente ontwikkelingen en het systeemfunctioneren correct te kunnen interpreteren, beoordelen en evalueren is aandacht voor juist deze periode belangrijk.

Conclusie

In deze paragraaf zijn verklaringen gezocht voor de geobserveerde ontwikkelingen in de jaargemiddelde hoogwaterstanden. Enerzijds biedt dit de mogelijkheid om de evaluatie beter te duiden. Anderzijds geeft het mogelijk aanleiding voor het nuanceren van de evaluatie.

In de Westerschelde kunnen de stijgende trends in de jaargemiddelde hoogwaterstanden grotendeels verklaard worden uit de (externe) zeespiegelstijging. Een afvlakking van de trends in de hoogwaterstanden als gevolg van kleine dalingen in de amplitudes van de belangrijkste getijcomponenten tussen de monding en Hansweert wordt (nog) niet geobserveerd. Kleinere getijamplitudes in dit deel van het estuarium hebben mogelijk een externe, buiten de monding gelegen, oorzaak. Bij Bath is de invloed van de zeespiegelstijging kleiner doordat het station dieper in het estuarium ligt. Daar wordt de stijgende trend in de hoogwaterstanden mede verklaard door een stijgende getijamplificatie in het verleden volgend uit menselijke ingrepen en morfologische veranderingen. Sinds 2005 is deze stijging afgevlakt en is de getijslag relatief stabiel, waarschijnlijk als gevolg van het ontbreken van grootschalige morfologische ontwikkelingen. Dit zorgt er ook voor dat de trend in de jaargemiddelde hoogwaterstanden licht afvlakt. Enkel te Cadzand is er formeel sprake van een negatieve evaluatie ten opzichte van T2015. De waarden buiten het predictie-interval van T2015 kunnen niet verklaard worden door de windopzet. Het is wel de verwachting dat de trend in de jaargemiddelde hoogwaterstanden meer in lijn komt met die van de overige stations (bijv. Westkapelle en Vlissingen) en dus dichter bij de zeespiegelstijging ligt.

In de Zeeschelde is voor alle stations een afname van de stijgende trends in de jaargemiddelde hoogwaterstanden geobserveerd, maar zijn deze nog altijd stijgend. De afvlakking wordt waarschijnlijk verklaard door een stabiliserende getijamplificatie. De invloed van windopzet en rivierafvoer is sterk en kan veel van de variatie in de jaargemiddelden verklaren. De hoge windopzetten en rivierafvoeren in de periode 1995-2005 zorgen voor diverse relatief hoge jaargemiddelde hoogwaterstanden. Deze vergroten ook de gevonden trends in de jaargemiddelde hoogwaterstanden. Daarentegen hebben de lage jaargemiddelde afvoeren in de periode 2017-2020 bijgedragen aan de afvlakking van de trends in de hoogwaterstanden. Voor de meeste stations in de Zeeschelde blijft de evaluatie ten opzichte van T2015 positief: een afname van de stijgende trend in de jaargemiddelde hoogwaterstanden. Langjarig (tijdschaal decennia) zijn de hoogwaterstanden echter nog altijd (sterk) stijgend. Dat betekent een negatieve evaluatie in absolute zin. Voor de stations Antwerpen, Temse en Tielrode is er volgens de definitie van de evaluatiemethodiek formeel sprake van een positieve evaluatie ten opzichte van T2015, omdat één of meerdere jaargemiddelden buiten het predictie-interval van T2015 vallen. Windopzet en afvoer kunnen deze uitschieters niet volledig verklaren. Bij Temse (en mogelijk Tielrode) bieden de inwerkingtreding van grote (nieuwe) GGG-gebieden (Kruibeke-Bazel-Rupelmonde) een mogelijke verklaring.

2.2.2. 99^e percentiel hoogwater

Definitie

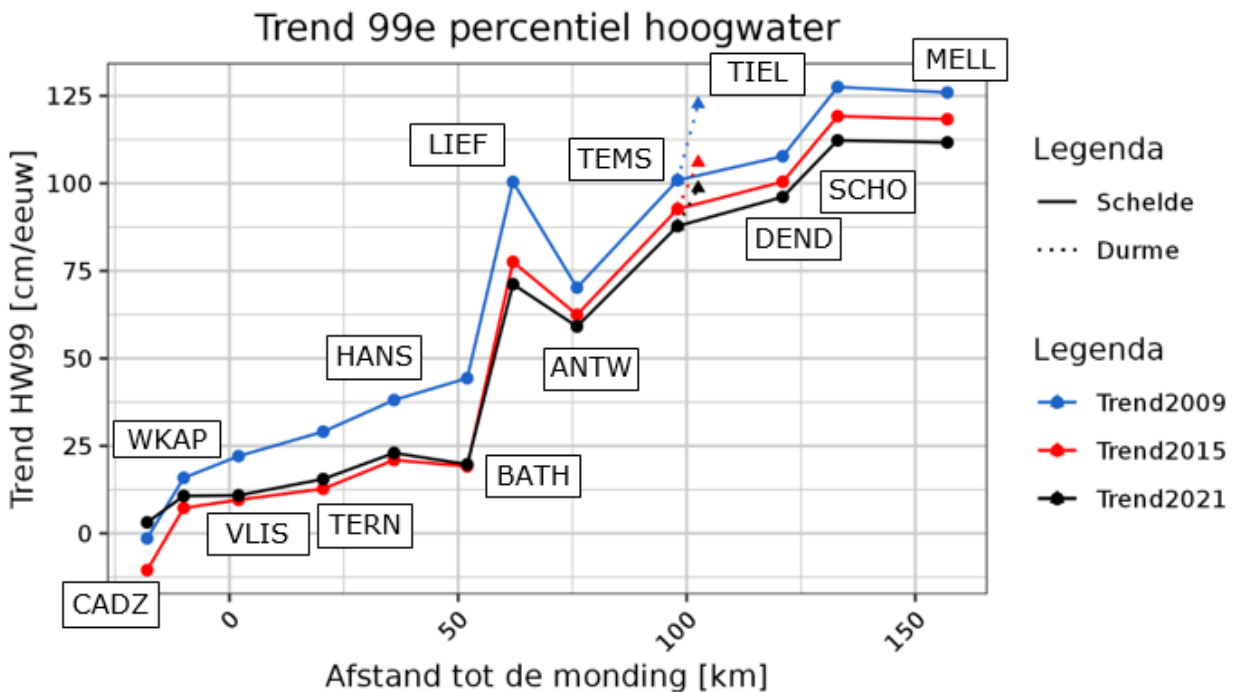
Het 99^e percentiel van de hoogwaterstand is de hoogwaterstand die door 99% van alle opgetreden hoogwaters in een jaar wordt onderschreden. Dit betekent dat het 99^e percentiel per jaar door zeven hoogwaters wordt overschreden. Het 99^e percentiel van de hoogwaterstanden gedurende het kalenderjaar is een 'proxy' voor de maximale waterstand op een bepaalde locatie en is vooral het gevolg van stormopzet en/of hoge rivierafvoeren, vaak in combinatie met springtij.

Evaluatie

De statistische analyses van het 99^e percentiel hoogwater zijn op vergelijkbare wijze uitgevoerd als de analyses van de jaargemiddelde hoogwaterstand. Een verschil is dat het regressiemodel wel een trend bevat, maar niet het nodaal getij. De reden hiervoor is dat de sinusbeweging van de nodale cyclus niet te onderscheiden is in de 99^e percentiel hoogwaterstanden. De variatie in het signaal wordt in de Westerschelde vooral door de windopzet verklaard en in de Zeeschelde door zowel de windopzet als de rivierafvoer.

In T2015 werd geconstateerd dat de trends in de 99^e percentiel hoogwaters buiten het estuarium en voor enkele stations in de Westerschelde niet of niet meer significant (stijgend) zijn na het verlengen van de reeksen tot en met het jaar 2015. De verklaring hiervoor lag in lagere extreme windopzetten in de evaluatieperiode 2010-2015. De stijgende trends in de Zeeschelde bleken ook af te zwakken. Dit kon grotendeels verklaard worden door lagere piekafvoeren in de evaluatieperiode. Samenvattend leidde dit tot een positieve evaluatie ten opzichte van T2009.

Figuur 2-15 geeft voor de belangrijkste stations een overzicht van de trends in de 99^e percentiel hoogwaterstanden (ongeacht het feit dat enkele van deze trends niet statistisch significant zijn). Dit laat zien dat de trends in 99^e percentiel hoogwaterstanden niet sterk veranderd zijn ten opzichte van T2015. Hierbij geldt de belangrijke kanttekening dat door de lange meetreeksen trendwijzigingen beperkt zichtbaar worden.



Figuur 2-15: Overzicht van de trends in de 99^e percentiel hoogwaterstanden bij de belangrijkste meetstations in het estuarium. Duffel-Sluis is niet opgenomen vanwege de korte meetreeks en de gevoeligheid voor uitschieters daardoor.

Uitgesplitst naar deelsysteem wordt het volgende geconcludeerd in het analyserapport:

- Buiten het estuarium en in de monding kent het 99^e percentiel hoogwater geen significante trend.
- In de Westerschelde wordt alleen voor station Hansweert een significant stijgende trend gevonden na toevoeging van de gegevens uit de periode 2016-2021 (waar deze in T2015 net als bij de andere stations in de Westerschelde ook niet significant was). De gevonden trend is zwakker dan die in T2009. Over het algemeen liggen de waarden van de 99^e percentiel hoogwaters in de Westerschelde hoger dan in de periode 2010-2015, gemiddeld genomen ongeveer op het niveau van de periode 2004-2009.
- Voor de Zeeschelde zijn statistisch significante stijgende trends vastgesteld na het toevoegen van de gegevens uit de periode 2016-2021. De trends zijn zwakker dan in T2009 en T2015. Voor station Rumst ligt de waarde in 2021 onder de grenzen van de 95%-predictie-intervallen van T2015.

Al met al is de conclusie dat de evaluatie van de rekenparameter 99^e percentiel hoogwater neutraal is ten opzichte van T2015, gegeven de kanttekening dat de trends zijn gebaseerd op een zeer lange reeks. In de trendanalyses voor het 99^e percentiel hoogwater zijn er, in tegenstelling tot de trendanalyses voor het jaargemiddelde hoogwater, geen trendbreuken opgelegd, conform T2009 en T2015. De trends gepresenteerd in Figuur 2-15 beslaan dus de trends voor de gehele meetperiode en niet die sinds de verruiming in de jaren '70.

In het licht van de langjarige ontwikkeling is de duidelijke afvlakking van de trends ten opzichte van T2009 een gunstige ontwikkeling. De nuancering hierbij is dat de invloed van de wind(opzet) en de afvoer nog niet zijn meegenomen in de modellering. Bij het zoeken naar verklaringen en ter ondersteuning van de evaluatie, wordt die invloed expliciet gekwantificeerd.

Verklaring

Ter ondersteuning van de evaluatie gaan we na of onderstaande parameters verklaringen bieden voor de geconstateerde wijzigingen in de trends en voor patronen in de 99^e percentiel hoogwaterstanden in het algemeen en uitschieters in het bijzonder:

- Zeespiegelstijging (jaargemiddelde waterstand)
- Getijbeweging (astronomische hoogwaterstanden, nodale cyclus en getijslag)
- 99^e percentiel rivierafvoer
- 99^e percentiel scheve windopzet
- Morfologische veranderingen en menselijke ingrepen

We hebben voor iedere verklarende parameter afzonderlijk het verband met het 99^e percentiel hoogwater onderzocht. Ten behoeve van de analyse van het effect van de 99^e percentiel rivierafvoer en de 99^e percentiel scheve windopzet op het 99^e percentiel hoogwater hebben we het regressiemodel uit het analyserapport uitgebreid met gegevens van deze twee parameters. We bespreken de resultaten van deze effectanalyse in de sectie '99^e percentiel rivierafvoer en 99^e percentiel scheve windopzet'.

Zeespiegelstijging

Door de stijging van de jaargemiddelde waterstand als gevolg van zeespiegelstijging is het aannemelijk te veronderstellen dat ook de 99^e percentiel hoogwaterstanden stijgen. De invloed van de zeespiegelstijging op de getijbeweging (met mogelijk iets minder amplificatie van de getijgolf en de hoogwaterstanden) dient hierbij ook meegenomen te worden. Mede vanwege de grote variatie in de 99^e percentiel hoogwaterstanden (als gevolg van de wind) kan de link tussen de zeespiegelstijging en het 99^e percentiel hoogwater alleen worden gelegd, als ook de invloed van de wind wordt onderzocht. Dit gebeurt in de sectie '99^e percentiel rivierafvoer en 99^e percentiel scheve windopzet'.

Getijbeweging (astronomisch getij, nodale cyclus en getijslag)

Grote veranderingen in de getijbeweging kunnen een verklaring bieden voor veranderende trends in de 99^e percentiel hoogwaterstanden. In de Westerschelde zijn er geen aanwijzingen voor een grote verandering in getijbeweging en getijamplificatie, zie paragraaf 2.2.2.

In de Zeeschelde is er sprake van een stabilisering van de getijbeweging en dus afvlakkende trend in de getijamplificatie, zie paragraaf 2.2.2 voor de duiding hiervan middels de relatieve getijslag van station tot station. De afvlakking in de getijamplificatie kan ook een verklaring bieden voor de licht afvlakkende trends in de 99^e percentiel hoogwaterstanden in de Zeeschelde. Het verband tussen getijbeweging en 99^e percentiel hoogwaterstanden is zwakker dan het verband tussen de getijbeweging en de jaargemiddelde hoogwaterstanden, doordat de 99^e percentiel hoogwaterstanden in grotere mate bepaald wordt door extremen in de afvoer en/of windopzet.

99^e percentiel rivierafvoer en 99^e percentiel scheve windopzet

Extremen in de rivierafvoer en de scheve windopzet zijn belangrijke verklarende variabelen voor de 99^e percentiel hoogwaterstanden. De rivierafvoer is voornamelijk belangrijk voor de Zeeschelde en de windopzet voor de Westerschelde. De invloed van windopzet en afvoer is expliciet onderzocht door de 99^e percentiel scheve windopzet en 99^e percentiel rivierafvoer toe te voegen aan het regressiemodel. Bijlage A.1 beschrijft de methodiek en de resultaten. We merken op dat de momenten waarop de 99^e percentielwaarden voor de windopzet en afvoer optreden niet noodzakelijkerwijs overeenkomen met de momenten waarop de 99^e percentielwaarden van hoogwaterstanden optreden. Desondanks geeft de analyse uit Bijlage A.1 een duidelijk verband tussen de windopzet en afvoer enerzijds en de hoogwaterstanden anderzijds aan.

De belangrijkste conclusies uit de aanvullende analyse zijn als volgt:

- In de Westerschelde verklaart de 99^e percentiel scheve windopzet een groot gedeelte van de variatie in de 99^e percentiel hoogwaterstanden, al blijft er ook nog een significant deel onverklaarde variatie. De lage waarden van de 99^e percentiel hoogwaterstanden in de periode 2010-2014 kunnen grotendeels verklaard worden door lage windopzetten. Deze lage windopzetten dempen ook de trend in de 99^e percentiel hoogwaterstanden. Zonder het effect van windopzet worden er (behalve voor Hansweert) geen stijgende trends gevonden vanwege de lage 99^e percentielwaarden in de periode 2010-2014. Door windopzet wel mee te nemen worden voor alle stations in de Westerschelde wel significant stijgende trends gevonden in de 99^e percentiel hoogwaterstanden (orde 20 cm/eeuw).
- In de Zeeschelde verklaren de 99^e percentiel scheve windopzetten mogelijk tot Temse nog een groot gedeelte van de 99^e percentiel hoogwaterstanden. Verder bovenstrooms is er een duidelijk verband tussen de 99^e percentiel rivierafvoeren en de 99^e percentiel hoogwaterstanden. In de periode 1993-2004 zijn er diverse jaren met (zeer) hoge 99^e percentiel rivierafvoeren. Deze verklaren een deel van de stijgende trends in de 99^e percentiel hoogwaterstanden. De lage 99^e percentiel afvoer in 2019 verklaart voor een groot deel de lage 99^e percentiel hoogwaterstanden in dat jaar. In de Boven-Zeeschelde (bij stations Dendermonde, Schoonaarde en Melle) nemen de stijgende trends iets af wanneer de rivierafvoer als verklarende variabele wordt meegenomen. De afvlakking van de trends blijft zichtbaar wanneer de rivierafvoer wordt meegenomen.

Morfologische veranderingen en menselijke ingrepen

In- en ontpolderingen (verandering volume in het intergetijdengebied) kunnen grote effecten hebben op de 99^e percentiel hoogwaterstanden (Vandenbruwaene 2020c). De 99^e percentiel hoogwaterstanden worden in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde met name bepaald door stormopzet. Veranderingen in de bodem hebben derhalve een relatief kleiner effect op deze extreme hoogwaterstanden dan op de jaargemiddelde (getijgedreven) hoogwaterstanden. In de Boven-Zeeschelde kan de geobserveerde lagere bodemligging wel een deel van de afvlakking van de 99^e percentiel hoogwaterstanden verklaren. Dit effect is echter beperkt, omdat het effect van bodemliggingveranderingen afneemt met een toenemende waterdiepte.

Het effect van de aangelegde GOG's (Gecontroleerd Overstromingsgebied) is waarschijnlijk niet waar te nemen in de 99^e percentiel hoogwaterstanden. Het 99^e percentiel geeft de hoogwaterstand die binnen een jaar nog door 7 andere hoogwaters (van een getijcyclus) wordt overschreden. De GOG's treden bij een dergelijke conditie in de meeste jaren nog niet (volledig) in werking omdat de waterstand dan nog onder het drempelniveau is. Coen en Nossent (2022) onderzochten voor de storm van januari 2022 het effect van de GOG-KBR. Deze bleek voor deze storm voor verlagingen van de hoogwaterstanden tot 5 centimeter te leiden. Dit effect kan niet worden geobserveerd in de 99^e percentiel hoogwaterstanden.

Conclusie

In deze paragraaf zijn verklaringen gezocht voor de geobserveerde ontwikkelingen in de 99^e percentiel hoogwaterstanden. Enerzijds biedt dit de mogelijkheid om de evaluatie beter te duiden. Anderzijds geeft het mogelijk aanleiding om de evaluatie te nuanceren. Er is aangegeven dat de trends in de 99^e percentiel hoogwaterstanden conform T2009 en T2015 zijn gebaseerd op een zeer lange meetreeks (deels ook voor de 1^e verruiming). Dit zorgt ervoor dat trends relatief ongevoelig zijn voor de toevoeging van nieuwe data. We bevelen aan om deze methode in de volgende evaluatie te heroverwegen, en bijvoorbeeld een trendbreukanalyse uit te voeren.

Voor de stations in de Westerschelde, met uitzondering van station Hansweert, wordt geen statistisch significant stijgende trend in de 99^e percentiel hoogwaterstand gevonden. In de Westerschelde worden 99^e percentiel hoogwaterstanden goed verklaard door de 99^e percentiel windopzetten. De afwezigheid van significant stijgende trends kan verklaard worden uit de lage extreme windopzetten in de jaren 2010-2014. Door de windopzet expliciet mee te nemen, constateren we significant stijgende trends in de orde van 20 cm/eeuw.

In de Zeeschelde zijn de trends in de 99^e percentielhoogwaterstanden stijgend, wat aanleiding is tot een negatieve evaluatie. Voor alle stations is er wel sprake van een (lichte) afzwakking van de trend. Hiervoor zijn enkele verklaringen mogelijk. De getijslag in de Zeeschelde is bij de meeste stations gestabiliseerd. Daarnaast zijn er in de periode 2009-2021 diverse jaren met relatief lage 99^e percentiel rivierafvoeren en windopzetten. Enkel bij station Rumst was er volgens de evaluatiemethodiek strikt genomen sprake van een positieve evaluatie t.o.v. T2015 (een waarde onder de onderste grens van het predictie-interval van T2015). Deze lage waarde in 2021 kan niet verklaard worden uit een lage afvoer of windopzet.

2.3. Toetsparameter Golven

Voor de veiligheid tegen overstroming zijn de golven nabij waterkeringen van belang. Een toename van de golfhoogte of golfperiode leidt tot hogere hydraulische belastingen op de waterkering. De waterkering wordt visueel door de beheerder gecontroleerd en periodiek beoordeeld. Deze wettelijke veiligheidsbeoordeling vormt geen onderdeel van de Evaluatiemethodiek. De golven in het Schelde-estuarium hebben ook invloed op de ecologie. Drie rekenparameters zijn beschouwd: de jaargemiddelde significante golfhoogte, de cumulatieve verdeling van de significante golfhoogte en de cumulatieve verdeling van de spectrale golfperiode.

2.3.1. Jaargemiddelde significante golfhoogte

Definitie

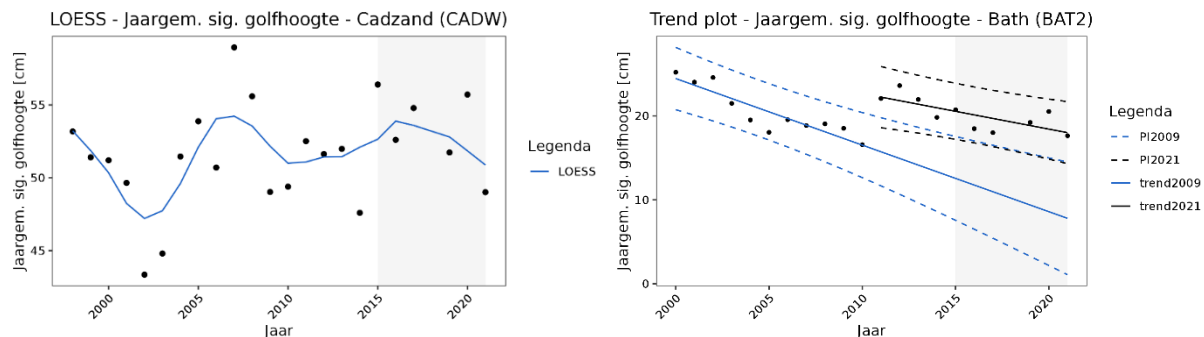
De jaargemiddelde significante golfhoogte is het rekenkundig gemiddelde van de significante golfhoogte H_s ofwel $H_{1/3}$ over de periode van een kalenderjaar. De significante golfhoogte is de gemiddelde hoogte van het hoogste één-derde deel van de golven. In de evaluatie wordt de significante golfhoogte vooral als maat voor veranderingen in het systeem (bathymetrie en de waterstanden) beschouwd.

Evaluatie

De significante golfhoogtes zijn in het analyserapport met een regressiemodel met een trend geanalyseerd. De evaluatie gebeurt op dezelfde wijze als voor jaargemiddelde hoogwaters. In T2009 werd geconstateerd dat er alleen een significante trend in de golfhoogtes bestaat voor station Bath. In T2015 werd geconstateerd dat de waarden van station Bath in de jaren 2011-2015 boven de bovengrens van het 95%-predictie-interval van T2015 lagen. Dit werd toegeschreven aan een verplaatsing van de golfmeetboei. Voor de andere stations bleek het niet mogelijk om de formele evaluatie uit te voeren, omdat de regressiemodellen niet statistisch significant zijn. Dit werd onder andere veroorzaakt door de grote spreiding in de jaargemiddelde waarden en de beperkte lengte van de meetreeksen.

Na het toevoegen van de gegevens uit de periode 2016-2021 blijkt het volgende:

- De meetreeks van station Bath (Figuur 2-16) laat een heel ander patroon zien vanaf het jaar 2011, wat bevestigt dat de verplaatsing of vervanging van het station voor een trendbreuk heeft gezorgd. De waarden zijn hoger dan daarvoor en laten een lichte trendmatige daling zien vanaf 2011. Met de gegevens vanaf 2011 is opnieuw een trendanalyse uitgevoerd. De dalende trend is statistisch significant.
- Voor de andere stations in de Westerschelde en buiten het estuarium leveren de analyse geen statistisch significante trends op. De jaargemiddelde waarden liggen in het algemeen iets hoger in de periode 2016-2021 dan daarvoor, maar de formele evaluatie is niet toepasbaar. De hoogste significante golfhoogtes zijn voor alle stations opgetreden in het jaar 2020 (zie bijvoorbeeld het station Cadzand in Figuur 2-16). Het jaar 2020 werd gekenmerkt door een groot aantal stormen en stormdagen (bijv. stormen Ciara en Dennis in februari, Francis in augustus en Odette in september 2020). De significante golfhoogtes hebben een vergelijkbare orde van grootte als in 2015; een jaar dat ook veel stormen kende.



Figuur 2-16: Links: Jaargemiddelde significante golfhoogte te Cadzand (CADW) met een LOESS-filter. Rechts: Jaargemiddelde significante golfhoogte te Bath (BAT2) met de resultaten van regressieanalyses op basis van de data t/m 2009 (trend2009) en de data 2011-2021 waarbij verondersteld wordt dat er in 2011 een trendbreuk heeft plaatsgevonden.

Conclusie

Het is op basis van deze bevindingen niet mogelijk om een eenduidige conclusie te trekken. De daling van de significante golfhoogte bij Bath is op zichzelf een gunstige ontwikkeling, die ook in T2009 werd vastgesteld. Er kan geen formele evaluatie plaatsvinden conform de evaluatiemethodiek vanwege het ontbreken van statistisch significante trends.

2.3.2. Cumulatieve verdeling van de significante golfhoogte

Definitie

De jaarlijkse cumulatieve verdeling van de significante golfhoogte is gedefinieerd als de empirische kansverdeling van alle halfuurswaarden in een kalenderjaar. Een grafiek van de jaarlijkse cumulatieve verdeling toont het percentage van de gemeten significante golfhoogtes dat een bepaalde waarde onderschrijft in een gegeven jaar. De verdeling geeft het complete waardenbereik weer en niet alleen het jaargemiddelde. Het geeft daarmee inzicht in de spreiding van de significante golfhoogtes binnen een jaar. In de evaluatie wordt de rekenparameter cumulatieve verdeling van de significante golfhoogte vooral als maat voor veranderingen in het systeem (bathymetrie en de waterstanden) beschouwd.

Evaluatie

In T2015 werd geconcludeerd dat de jaarlijkse cumulatieve verdelingen van de significante golfhoogtes van de stations buiten het estuarium en in de monding (in de periode 2010-2015) binnen de uiterste grenzen van de T2009 analyse vielen. Voor enkele stations in de Westerschelde vielen de cumulatieve verdelingen voor de jaren 2010-2015 wel buiten de uiterste grenzen. De oordelen voor deze stations waren daarom negatief (bij overschrijding bovengrens) en positief (bij onderschrijding ondergrens) ten opzichte van T2009. De korte lengte van de meetreeksen speelde hierin een grote rol.

Voor de huidige analyse, beschreven en geïllustreerd in het analyserapport, zijn de uiterste grenzen gebaseerd op de meetreeksen tot en met 2015. Buiten het estuarium en in de monding vallen de jaarlijkse verdelingen in de periode 2016-2021 binnen de uiterste grenzen. Voor meerdere stations in de Westerschelde overschrijdt de cumulatieve verdeling uit 2020 de uiterste bovengrens van de golfhoogte. Dit is in lijn met de hoge waarde van de jaargemiddelde significante golfhoogte in 2020; deze is vermoedelijk veroorzaakt door het grote aantal stormen in dat jaar (specifieker; de stormen Ciara en Dennis in februari, Francis in augustus en Odette in september 2020). Dit leidt formeel tot een negatieve evaluatie ten opzichte van T2015. Ook worden de onderste grenzen van de cumulatieve verdelingen enkele malen onderschreden (formeel een positieve evaluatie ten opzichte van T2015).

We merken op dat voor de meeste stations de meetreeks kort is (metingen sinds 2008) en dat de uiterste grenzen dus op slechts iets meer jaren zijn gebaseerd dan het aantal jaar dat nu is toegevoegd (9 om 6 jaren).

Conclusie

Conform de Evaluatiemethodiek is er voor diverse stations in de Westerschelde sprake van zowel positieve als negatieve evaluaties ten opzichte van T2015 vanwege een onderschrijding van de onderste grens en een overschrijding van de bovenste grens door de cumulatieve verdeling uit 2020. Deze evaluatie kent twee nuanceringen: 1) de overschrijding in 2020 kan goed verklaard worden door het hoge aantal stormen in dat jaar en 2) de meetreeks bij diverse stations is kort.

2.3.3. Cumulatieve verdeling van de spectrale golfperiode

Definitie

De spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ is de golfperiodemaat die van belang is voor de golfploop en golfoverslag bij dijken en in havengebieden. Deze spectrale golfperiode wordt bepaald uit het, via metingen bepaalde, golfenergiespectrum. Ten opzichte van de spectrale gemiddelde golfperiode (T_{01}) kent de spectrale golfperiode ($T_{m-1,0}$) relatief veel gewicht toe aan de lange golven omdat deze meer invloed hebben op golfploop en golfoverslag dan korte golven. De jaarlijkse cumulatieve verdeling van $T_{m-1,0}$ is gedefinieerd als de empirische kansverdeling van alle halfuurswaarden in een kalenderjaar. Een grafiek van de jaarlijkse cumulatieve verdeling toont het percentage van de gemeten spectrale golfperiodes dat een bepaalde waarde onderschrijdt in een gegeven jaar. De verdeling geeft het complete waardenbereik weer en niet alleen het jaargemiddelde. Het geeft daarmee inzicht in de spreiding van de significante golfperiodes binnen een jaar. In de evaluatie wordt de rekenparameter cumulatieve verdeling van de spectrale golfperiode vooral als maat voor veranderingen in het systeem (bathymetrie en de waterstanden) beschouwd.

Evaluatie

Aangezien deze rekenparameter nieuw is in de evaluatie, kunnen uitkomsten niet worden vergeleken met die in eerdere T-rapportages. Voor de evaluatie is dezelfde methode gevolgd als bij de bepaling van de cumulatieve verdelingen van de significante golfhoogte (paragraaf 3.3.2). Aan de hand van de cumulatieve verdelingen van de spectrale golfperiode t/m 2015, zijn de uiterste grenzen bepaald. Als uit overschrijding van de uiterste grens blijkt dat de golven langer zijn geweest in het gegeven jaar, wordt deze parameter negatief geëvalueerd.

Uit de analyses zijn de volgende vaststellingen gedaan:

- De cumulatieve verdelingen van de golfperiodes buiten het estuarium en in de monding laten zien dat de golfperiodes in de jaren 2016 t/m 2021 relatief kort zijn in vergelijking met eerdere jaren. De cumulatieve verdelingen liggen relatief dicht tegen de ondergrens aan. Voor station Deurlou onderschrijft de cumulatieve verdeling van 2016 de ondergrens.
- De golfperiodes in de Westerschelde laten in de periode 2016-2021 geen eenduidige ontwikkeling zien. Voor de stations met een korte meetperiode (Pas van Terneuzen, Overloop van Valkenisse en Honte) vallen de verdelingen voor meerdere jaren buiten de uiterste grenzen, zowel aan de onderzijde als aan de bovenzijde. Bij het station Hansweert lijkt duidelijk sprake te zijn van kortere golfperiodes. Bij het station Bath vallen alle jaarlijkse verdelingen binnen de uiterste grenzen.

Conclusie

Er is geen evaluatie conform de evaluatiemethodiek uitgevoerd, aangezien deze rekenparameter nieuw is toegevoegd. Daarnaast zijn de resultaten niet eenduidig ten aanzien van ontwikkelingen over tijd. Hierbij speelt mee dat de uiterste grenzen gebaseerd zijn op relatief korte meetreeksen. Over het algemeen is sprake van relatief lage waarden van de golfperiode tussen 2016 en 2021.

2.4. Toetsparameter Beschikbare diepte

Voor de bevaarbaarheid van het estuarium zijn onder andere de diepte en de breedte van de vaargeul van belang. Veranderingen in de hoog- en de laagwaterstanden leiden tot veranderingen in de beschikbare waterdiepte. Het jaargemiddelde laagwater en hoogwater zijn daarom twee rekenparameters voor de toetsparameter beschikbare diepte. De beschikbare diepte bij diepteknelpunten wordt gehandhaafd door middel van baggerwerkzaamheden. De grootte van de baggerinspanning geeft daarom, wanneer de gewenste vaardiepte niet wijzigt, een indicatie dat er veranderingen optreden in de morfologie. Het onderhoudsbyggervolume is de derde rekenparameter. De bevaarbaarheid ten aanzien van de breedte en diepte van het systeem wordt verder getoetst onder de Toetsparameter Scheepsbewegingen, waar met name wordt beschouwd hoe veranderingen in bodemligging de beschikbare diepte en bevaarbaarheid beïnvloeden.

2.4.1. Jaargemiddeld laagwater

Definitie

Het jaargemiddeld laagwater is bepaald als het rekenkundig gemiddelde van de getijlaagwaterstanden over de periode van een kalenderjaar. De rekenparameter jaargemiddeld laagwater vormt net zoals de rekenparameter jaargemiddeld hoogwater een maat voor de evaluatie van de toestand van het systeem

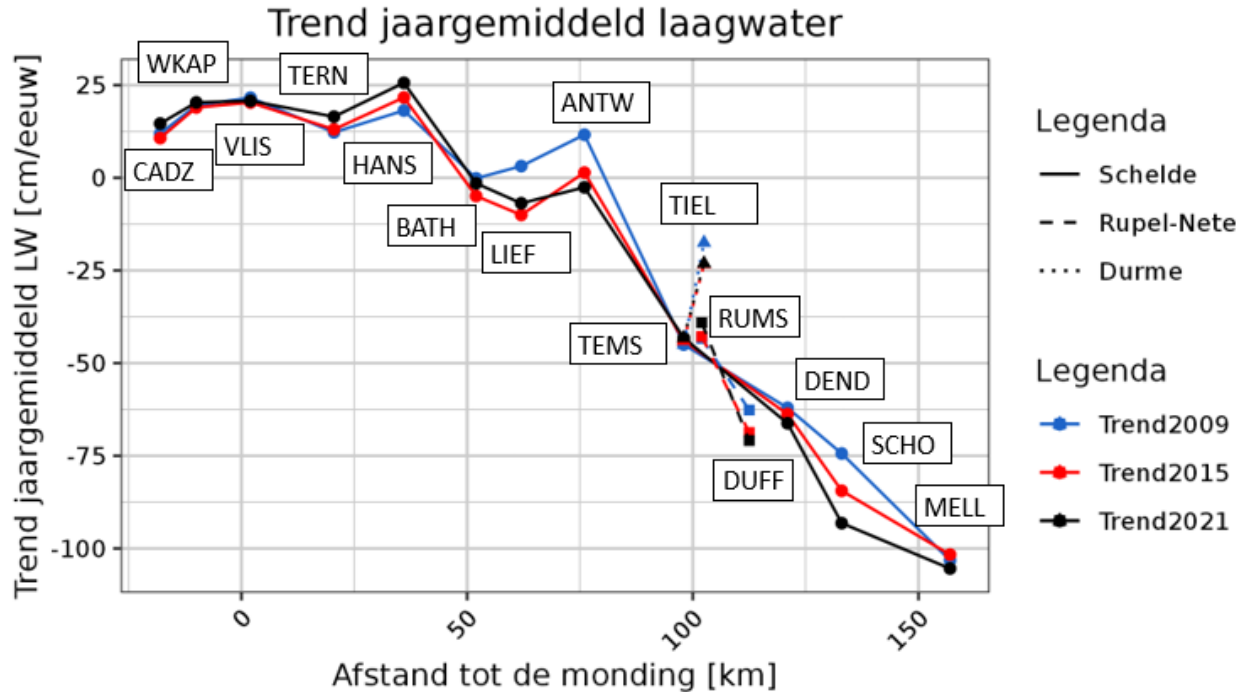
in relatie tot de getijontwikkeling. Bovendien leiden veranderingen in het laagwater tot veranderingen in de beschikbare vaardiepte.

Evaluatie

De analyse van het jaargemiddelde laagwater is op dezelfde wijze uitgevoerd als die van het jaargemiddelde hoogwater. In Figuur 2-17 zijn de T2009, T2015 en T2021 trends van de belangrijkste stations in het estuarium samengevat. In het analyserapport worden de volgende conclusies getrokken:

- De T2021 trends in de laagwaterstanden verschillen buiten het estuarium tot aan Vlissingen nauwelijks van de trends in T2015.
- In de Westerschelde stijgen de laagwaterstanden bij stations Hansweert en Terneuzen wat sneller dan in T2015. Bij station Terneuzen komt de waarde van de jaargemiddelde laagwaterstand in 2020 boven het predictie-interval van T2015 uit. Formeel is dit een gunstige evaluatie voor de bevaarbaarheid. Bij Hansweert liggen 5 van de 6 waarden uit de periode 2015-2021 boven de voorspelde trend uit T2015, maar de waarden liggen wel binnen het predictie-interval van T2015. Voor de andere hoofdstations in de Westerschelde veranderen de trends nauwelijks na toevoeging van de jaren 2016-2021 aan de reeksen.
- In de Zeeschelde valt op dat de laagwaterstanden bij station Schoonaarde sneller dalen dan voorheen. De waarden in 2017-2020 liggen onder de voorspelde trend, maar niet buiten het predictie-interval van T2015. Merk op dat de trend in de laagwaterstanden bij Antwerpen statistisch niet significant is. In het algemeen verandert de meestal dalende trend in de laagwaterstanden in de Zeeschelde niet.

Al met al is de conclusie dat de absolute evaluatie van de rekenparameter jaargemiddeld laagwater positief (stijgende laagwaterstanden) is voor de meeste stations in de Westerschelde, neutraal (geen significante trend in de laagwaterstanden) voor de stations Bath tot en met Antwerpen en negatief (dalende laagwaterstand) voor de overige stations in de Zeeschelde. Ten opzichte van T2015 is de evaluatie neutraal voor alle stations, met uitzondering van station Terneuzen. Conform de evaluatiemethodiek is er bij Terneuzen sprake van een positieve ontwikkeling t.o.v. T2015 voor de bevaarbaarheid. Invloeden van de wind(opzet) en de afvoer kunnen deze evaluatie verklaren en/of nuanceren (zoals de evaluatiemethodiek voorschrijft).



Figuur 2-17: Trends in de jaargemiddelde laagwaters bij de belangrijkste getijstations in T2009, T2015 en T2021.

Verklaring

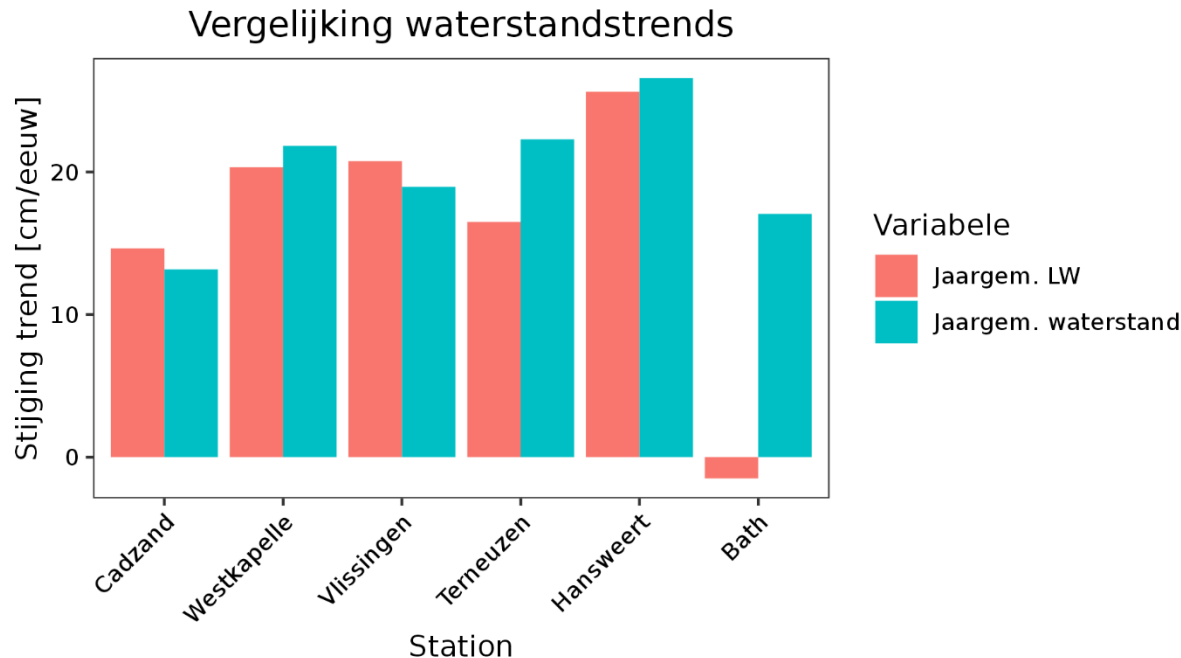
Ter ondersteuning van de evaluatie gaan we na of onderstaande parameters verklaringen bieden voor de geconstateerde wijzigingen in de trends en voor patronen in de jaargemiddelde laagwaterstanden in het algemeen en uitschieters in het bijzonder:

- Jaargemiddelde waterstand
- Getijbeweging (astronomische hoogwaterstanden, nodale cyclus en getijslag)
- Rivierafvoer
- Scheve windopzet
- Morfologische veranderingen en menselijke ingrepen

We hebben voor iedere verklarende parameter afzonderlijk het verband met het jaargemiddelde laagwater onderzocht. Ten behoeve van de analyse van het effect van de rivierafvoer en de scheve windopzet op het jaargemiddelde laagwater hebben we het regressiemodel uit het analyserapport uitgebreid met gegevens van deze twee parameters. We bespreken de resultaten van deze effectanalyse in de sectie 'rivierafvoer en scheve windopzet'.

Jaargemiddelde waterstand

Voor de meeste stations in de Westerschelde komen de trends in de jaargemiddelde laagwaterstanden en de jaargemiddelde waterstanden goed overeen (zie Figuur 2-18). De stijging van de jaargemiddelde laagwaterstanden kan daardoor waarschijnlijk verklaard worden uit de zeespiegelstijging. Bij het dieper in het estuarium gelegen Bath stijgt de jaargemiddelde waterstand ook, maar stijgen de jaargemiddelde laagwaterstanden niet. Dit kan verklaard worden uit een (langjarige) daling van de astronomische laagwaterstanden (zie de volgende paragraaf 'getijbeweging').



Figuur 2-18: Vergelijking van de waterstandstrends in de jaargemiddelde laagwaterstanden en de jaargemiddelde waterstanden voor de stations in de Westerschelde.

Getijbeweging (astronomisch getij, nodale cyclus en getijslag)

De voortplanting en amplificatie van de getijgolf verklaren voor een groot gedeelte de hoogte van de jaargemiddelde laagwaterstanden. In het analyserapport is deze verklarende variabele beschreven middels verschillende parameters: voorspelde astronomische laagwaterstanden, amplitudes van de belangrijkste getijcomponenten en de getijslag. In dit evaluatierapport gebruiken we deze parameters om patronen in jaargemiddelde laagwaterstanden te duiden. De getijslag is hierbij een direct afgeleide van de gemeten (hoog- en laag)waterstanden en is dus geen verklarende parameter voor veranderingen in de jaargemiddelde laagwaterstand. Wel kan de relatieve getijslag van station tot station duiden waar veranderingen optreden, wat mogelijk gelinkt kan worden aan morfologische veranderingen of menselijke ingrepen.

De 18,6-jarige nodale cyclus heeft een sterke invloed op de getijbeweging en dus op de jaargemiddelde laagwaterstanden in de Westerschelde en in mindere mate in de Zeeschelde. De in paragraaf 2.2.2 gelegde verbanden tussen de getijbeweging en de jaargemiddelde hoogwaterstanden gaan tot op zekere hoogte ook op voor het verband tussen de getijbeweging en de jaargemiddelde laagwaterstanden. Deze tekst hier is daarom beknopter en we verwijzen de lezer voor de uitgebreide analyse naar paragraaf 2.2.2.

In de Westerschelde is de langjarige ontwikkeling van de getijbeweging en -amplificatie relatief stabiel. Bij Bath is er langjarig sprake van een toenemende getijamplificatie en daarmee verband houdend een dalende jaargemiddelde laagwaterstand. Dit is de verklaring voor het ontbreken van een trend in de jaargemiddelde laagwaterstand; de afnemende astronomische laagwaterstand heft het effect van de zeespiegelstijging op. De toename in getijamplificatie over de tijd (leidend tot lagere laagwaterstanden) kan worden verklaard uit de vaargeulverruiming en inpolderingen in het verleden (Vandenbruwaene, 2020a). In de afgelopen periode zijn er slechts beperkte veranderingen in de karakteristieken van de geulen (diepte en breedte), wat leidt tot beperkte ontwikkelingen in de getijbeweging. De stijging in de

getijamplificatie en dus de daling in de astronomische laagwaterstanden bij Bath vlakt daardoor af met het toevoegen van de data uit de periode 2016-2021.

Waar we voor alle Vlaamse stations een afvlakkende trend in de jaargemiddelde hoogwaterstanden observeerden (paragraaf 3.2.1), zien we eenzelfde afvlakking van de dalende trend niet bij de jaargemiddelde laagwaterstanden en versnelt de daling zelfs voor de stations Dendermonde, Schoonaarde en Melle in de Boven-Zeeschelde. De continuerende trend en de versnelling in de Boven-Zeeschelde kan niet eenduidig verklaard worden uit getijamplificatie (die toe zou moeten nemen om de lagere laagwaterstanden te verklaren). Er lijkt namelijk geen sprake van een toenemende getijamplificatie aangezien de jaargemiddelde hoogwaterstanden juist afvlakken. Enkel tussen station Temse en Dendermonde stijgt de relatieve getijslag (proxy voor morfologische veranderingen in dit traject) nog significant (maar versnelt niet), waardoor het getij iets meer doordringt in de Boven-Zeeschelde. Zeker in het bovenstroomse deel van de Zeeschelde wordt de getijbeweging beïnvloed door de bodemligging (geuldiepte). In dit deel van het estuarium (OMES-segmenten 14 t/m 16) zien we ook juist een relatief grote toename van het geulvolume). Door een grote toename van de geuldiepte nemen de laagwaterstanden af (zie ook Vandenbruwaene *et al.* 2020a). De toenemende geuldieptes bieden dus een verklaring voor de continuerende daling van de laagwaterstanden. De ogenschijnlijke versnellende daling van de laagwaterstanden in de Boven-Zeeschelde kunnen echter niet verklaard worden door deze toenemende geuldiepte.

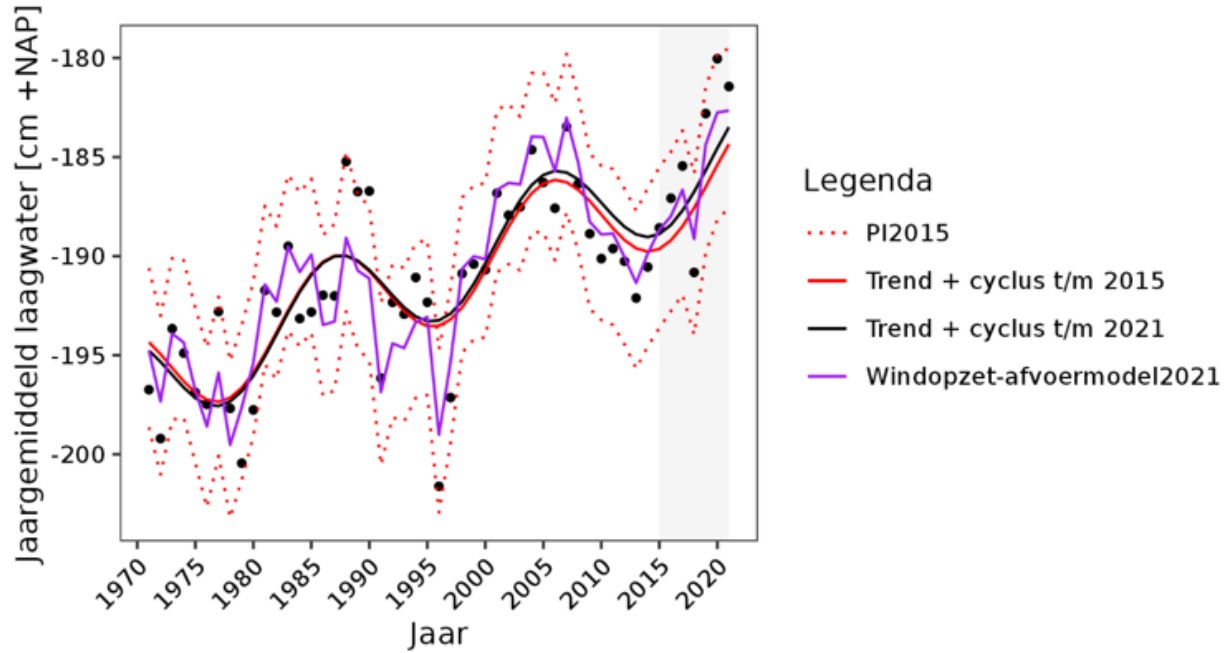
Rivierafvoer en scheve windopzet

De scheve windopzet en de rivierafvoer zijn belangrijke verklarende parameters voor de jaargemiddelde laagwaterstanden. Dit is ook geconstateerd in T2009 en T2015. Deze parameters kunnen pieken en dalen in de reeksen van de jaargemiddelde laagwaterstanden verklaren. Net als voor de jaargemiddelde hoogwaterstanden is de relatie tussen de rivierafvoer en scheve windopzet expliciet gemaakt door deze variabelen toe te voegen aan het regressiemodel. De gevolgde methode en de gedetailleerde resultaten van deze aanvullende analyse zijn te vinden in Bijlage A.1.

Voor stations Terneuzen en Schoonaarde zijn de resultaten van het gefitte multivariate regressiemodel weergegeven in Figuur 2-19 en Figuur 2-20. De figuren voor de overige stations zijn weergegeven in Bijlage A.1. Bij Terneuzen laat het Windopzet-afvoermodel enkele pieken en dalen om de langjarige trend zien. Deze pieken en dalen kunnen deels verklaard worden door de windopzet en/of de afvoer. Dat vijf van de zes jaargemiddelde laagwaterstanden uit de periode 2016-2021 boven de voorspelling liggen kan deels verklaard worden uit een iets hogere scheve windopzet (ten tijde van LW) - de paarse lijn (Wind-afvoermodel) ligt iets boven de zwarte lijn (lineaire trend + nodale cyclus). Met het eenvoudiger regressiemodel valt bij Terneuzen de jaargemiddelde waarde van 2020 buiten het predictie-interval van T2015. Met het multivariate regressiemodel valt deze (net) binnen het predictie-interval. Deze hoge waarde in 2020 kan dus ten minste deels verklaard worden door een hoge stormopzet.

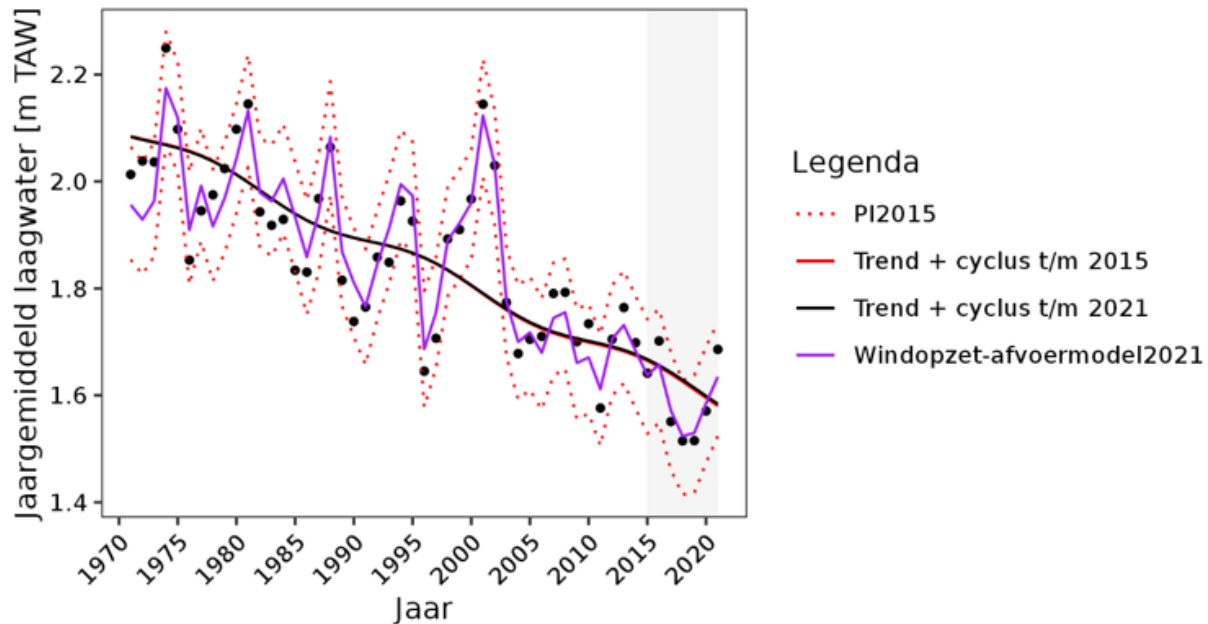
Bij station Schoonaarde observeren we (net als bij stations Dendermonde en Melle) een versnelling van de dalende trend in de jaargemiddelde laagwaterstanden. Uit Figuur 2-20 blijkt dat deze versnelling verklaard kan worden met het Wind-afvoermodel (te zien aan het feit dat de rode en zwarte lijn op elkaar liggen). De verklarende variabele is voornamelijk de jaargemiddelde afvoer (zie Bijlage A.1). De lage jaargemiddelde afvoeren in de jaren 2017 t/m 2020 verklaren dus de geconstateerde versnelling van de dalende trend in de jaargemiddelde laagwaterstanden. Hetzelfde geldt ook voor de stations Dendermonde en Melle. Voor de meeste andere stations in de Zeeschelde zwakt de dalende trend iets af wanneer we rekening houden met de windopzet en de afvoer.

Trend plot – Jaargemiddeld laagwater - Terneuzen



Figuur 2-19: Resultaten van de multivariate regressieanalyse voor de jaargemiddelde laagwaterstanden bij station Terneuzen, waarbij het model is gefit op de data van 1971-2015 en 1971-2021. "PI2015" geeft het predictie-interval aan van het gefitte multivariate model op de data t/m 2015. Trend+cyclus is de fit op basis van alleen de trend en de nodale cyclus van het Windopzet-afvoermodel.

Trend plot – Jaargemiddeld laagwater - Schoonaarde



Figuur 2-20: Resultaten van de multivariate regressieanalyse voor de jaargemiddelde laagwaterstanden bij station Schoonaarde, waarbij het model is gefit op de data van 1971-2015 en 1971-2021. "PI2015" geeft het predictie-interval aan van het gefitte multivariate model op de data t/m 2015. Trend+cyclus is de fit op basis van alleen de trend en de nodale cyclus van het Windopzet-afvoermodel.

Morfologische veranderingen en menselijke ingrepen

Rond alle stations in de Westerschelde zijn er in de afgelopen evaluatieperiode beperkte morfologische veranderingen in termen van totale geulvolumes en geuldieptes (zie H4 sectie 4.5.2.3 van het T2021 Analyserapport). In deze periode hebben menselijke ingrepen als proefstortingen, vaargeulonderhoud de aanleg en gedeeltelijke verwijdering van strekdammen en de ontpoldering van de Perkpolder plaatsgevonden. Op basis van de beschikbare gegevens kan geen uitsluitsel gegeven worden over het effect van deze maatregelen op de jaargemiddelde laagwaterstanden. We constateren wel dat de jaargemiddelde waterstanden in de afgelopen evaluatieperiode niet sterk afwijken van de langjarige trend. De uitgevoerde ingrepen hebben daarom mogelijk kleine of tegengestelde effecten gehad op de getijbeweging. De beperkte veranderingen in geuldimensies vormen mogelijk een verklaring voor de beperkte veranderingen in de getijslag, waardoor de laagwaterstanden in lijn liggen met de zeespiegelstijging.

In de Beneden-Zeeschelde zijn de geulen in de afgelopen evaluatieperiode gemiddeld dieper geworden (zie Hoofdstuk 4 van het T2021 Analyserapport). Net als bij Bath, zorgt dit voor een tegengesteld effect ten opzichte van de zeespiegelstijging. Netto zorgt dit er dan voor dat de laagwaterstanden tot en met Antwerpen (licht) dalend zijn. Verder bovenstrooms wordt het effect van zeespiegelstijging kleiner en het effect van de bodemligging groter (zeker in de meer afvoergedomineerde Boven-Zeeschelde). De daling van de bodem, met name rond Temse en Dendermonde, kan daarom een mogelijke verklaring zijn voor de continuerende daling van de laagwaterstanden. In de Boven-Zeeschelde is de toename in volume van de diepe geulen het grootst in de OMES-segmenten 14 t/m 16 wat zou kunnen verklaren dat de getij-amplificatie hier nog uitgesproken toeneemt en de laagwaterstanden verder doet dalen.

Conclusie

In deze paragraaf zijn verklaringen gezocht voor de geobserveerde ontwikkelingen in de jaargemiddelde laagwaterstanden. Enerzijds biedt dit de mogelijkheid om de evaluatie beter te duiden. Anderzijds geeft het mogelijk aanleiding om de evaluatie te nuanceren.

In de Westerschelde komen de stijgende trends in de jaargemiddelde laagwaterstanden grotendeels overeen met de stijging van de jaargemiddelde waterstanden als gevolg van de externe zeespiegelstijging. Dit geeft een positieve evaluatie ten aanzien van de Toetsparameter Beschikbare Diepte. Ten opzichte van T2015 is de stijging ongewijzigd en is er daarmee sprake van een neutrale ontwikkeling t.o.v. T2015. Ook voor het station Terneuzen oordelen we de ontwikkeling neutraal t.o.v. T2015, ondanks dat een jaargemiddelde waarde buiten het predictie-interval van T2015 valt. Deze kan namelijk (ten minste deels) verklaard worden uit een hoge windopzet.

Tussen Bath en Antwerpen is er geen sprake van een significante trend in de laagwaterstanden (neutrale evaluatie ten aanzien van de Toetsparameter Beschikbare Diepte). In dit deel van het estuarium is er een invloed van zowel de zeespiegelstijging als van een (historische) toename in de getijamplificatie (dalende astronomische laagwaterstand). De stijging van de jaargemiddelde waterstand compenseert daarmee het effect van de dalende astronomische laagwaterstanden. De trends zijn vergelijkbaar met de trends gevonden in T2015 en daarmee is er sprake van een neutrale ontwikkeling t.o.v. T2015.

Voor de overige stations in de Zeeschelde worden de dalende trends gecontinueerd, met als gevolg een negatieve evaluatie ten aanzien van de Toetsparameter Beschikbare Diepte. Voor de stations Dendermonde, Schoonaarde en Melle treedt een versnelling van de dalende trends op. Voor deze stations is er daarmee sprake van een negatieve ontwikkeling ten opzichte van T2015. Met de aanvullende analyse naar de invloed van windopzet en rivierafvoer hebben we aangetoond dat de versnelling kan worden verklaard door de lage jaargemiddelde afvoeren in de jaren 2017 t/m 2020. Voor de overige stations in de Zeeschelde is de trend gelijkwaardig met de trend in T2015, met daarmee een neutrale ontwikkeling ten opzichte van T2015.

2.4.2. Jaargemiddeld hoogwater

Uit paragraaf 3.2.1 volgt dat de jaargemiddelde hoogwaters bij alle stations in het estuarium stijgen. Ten aanzien van de toetsparameter Beschikbare diepte is een toename van de hoogwaterstanden in de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde niet belangrijk (neutrale evaluatie, zie evaluatiemethodiek). Enkel een daling van de hoogwaterstanden zou hier tot verkorting van het bevaarbare tijvenster kunnen leiden. In de Boven-Zeeschelde is een toename van de hoogwaterstanden een negatieve ontwikkeling i.v.m. de doorvaarthoogte bij bruggen. De stijgende trend leidt dus ook tot een negatief oordeel. Ten opzichte van T2015 zijn de afzwakkende trends in de jaargemiddelde hoogwaterstanden een gunstige ontwikkeling.

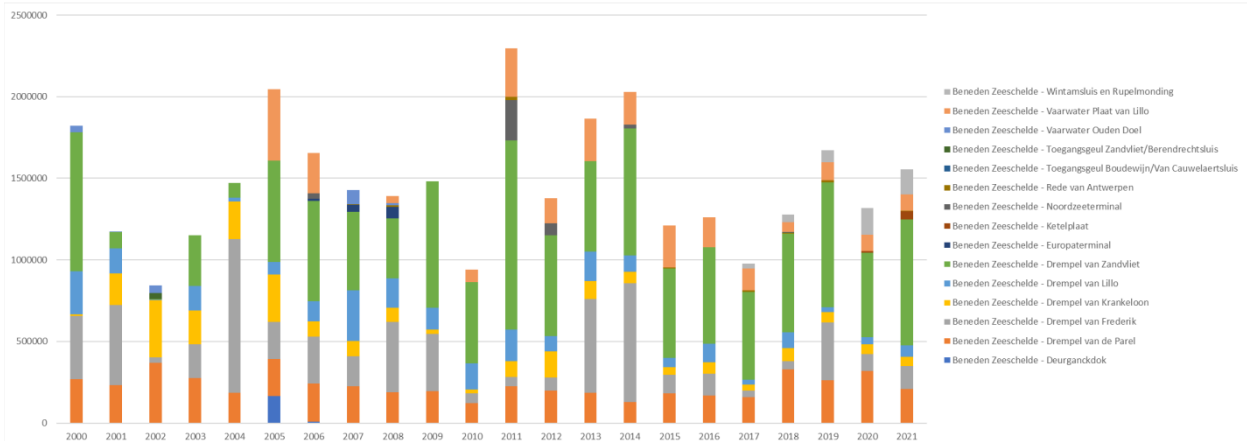
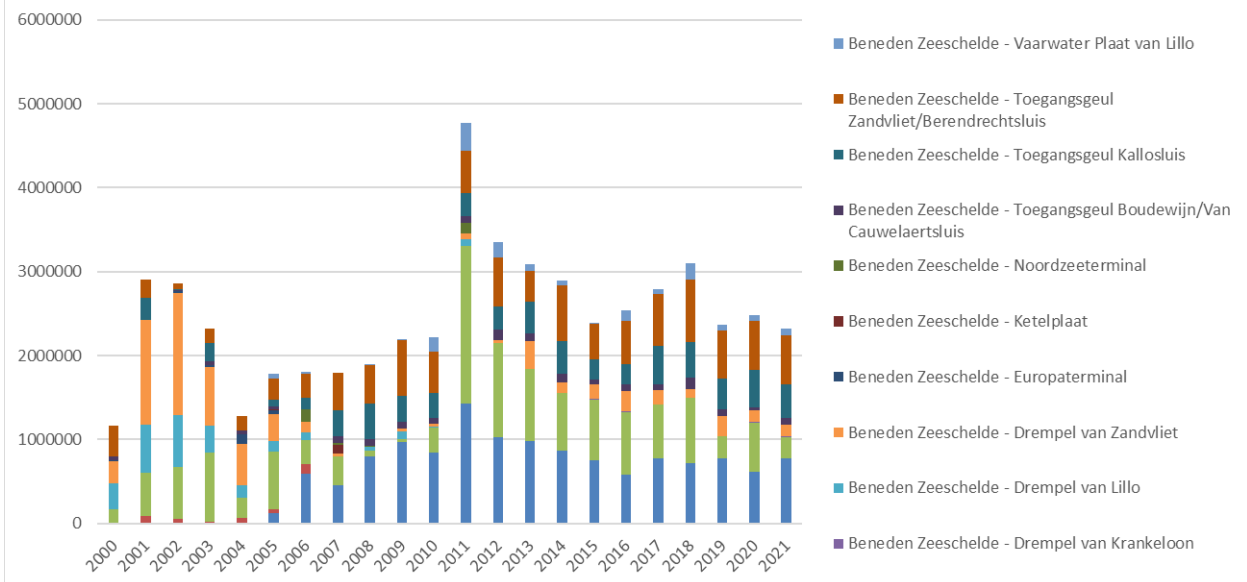
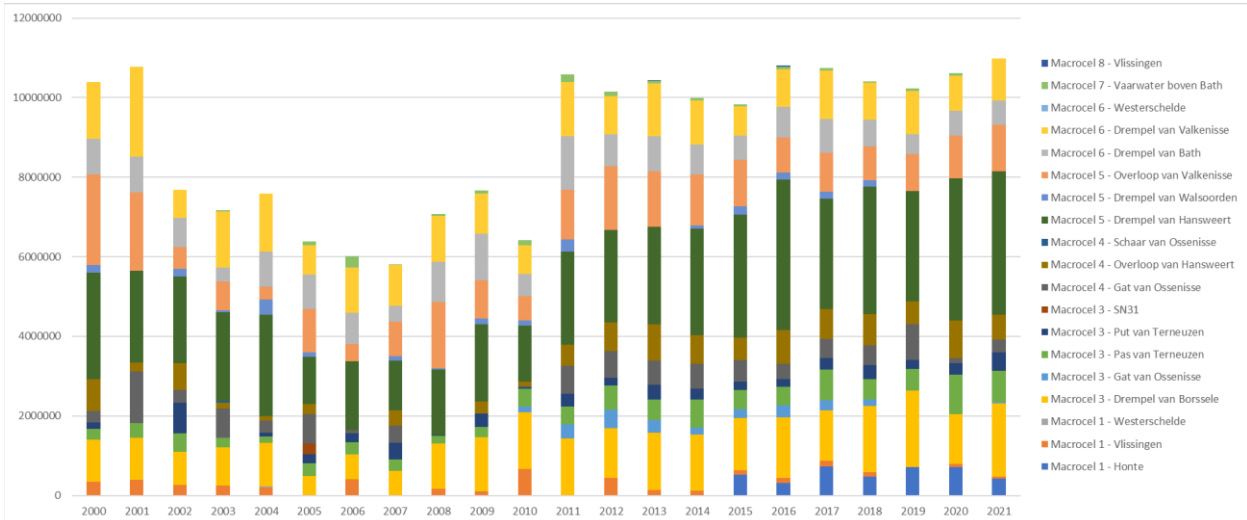
2.4.3. Onderhoudsbaggervolume

De grootte van de baggerinspanning geeft, wanneer de gewenste vaardiepte niet wijzigt, een indicatie dat er veranderingen optreden in het systeem. Een stijgende trend ten opzichte van 2011 door de onderhoudsbaggervolumes wordt daarom in principe gezien als een ongunstige ontwikkeling, tenzij deze veroorzaakt wordt door een bewust gekozen gewijzigde bagger- of stortstrategie die minder milieubelastend is (cf. evaluatiemethodiek). Een uitgebreid overzicht van de onderhoudsbaggervolumes wordt gegeven in het Analyserapport.

In de afgelopen evaluatieperiode is er geen duidelijke trend in het totale volume van de onderhoudsbaggerwerkzaamheden waarneembaar. Derhalve wordt deze rekenparameter neutraal beoordeeld, evenals de ontwikkeling ten opzichte van T2015.

Meer in detail (Figuur 2-21):

- Monding: De analyse van onderhoudsbaggerwerk in de Sardijnegeul kon uitgevoerd worden op gegevens sinds 2014. Een evaluatie ten opzichte van 2011 was dus niet mogelijk. Het totaal volume onderhoudsbaggerwerk lag in 2020 en 2021 even hoog als in 2015. Er is wel een stijgende trend van 2016 tot in 2020.
- Westerschelde:
 - Onderhoudsbaggerwerk in de geulen (vnl. gefocust op de drempels): Er wordt nauwelijks slib gebaggerd in de Westerschelde. Voor het onderhoudsbaggervolume slib kan dan ook geen trend getrokken worden. Sinds 2011 ligt het onderhoudsbaggervolume (zand) in de Westerschelde hoger dan net vóór de derde verruiming. Het onderhoudsbaggerwerk zand vertoont echter – gegeven de aanwezige jaar-op-jaar variatie – geen duidelijke trend sinds 2011. Het zwaartepunt van de onderhoudsbaggerwerken ligt in het oosten. Na de derde verruiming nam de baggerinspanning toe in het Westen. Het onderhoudsbaggerwerk in de geulen van de Westerschelde wordt als neutraal beoordeeld.
 - Havenstortingen: het in de Westerscheldehavens gebaggerde volume slib was in 2020 ongeveer even hoog als in 2011 en 2012. De trend vertoont een stijging tot in 2016 om daarna te dalen tot in 2020. Deze trend wordt neutraal beoordeeld. De komende jaren zullen uitwijzen of de recent ingezette daling zich voortzet.
- Beneden-Zeeschelde: Het onderhoudsbaggervolume vertoont voor zowel slib als zand een piek in 2011. De stijging in 2011 kan deels verklaard worden door (a) het achterstallige onderhoudsbaggerwerk, (b) een verhoogde (re)circulatie en (c) een verhoogde vangefficiëntie van een aantal baggerlocaties (Barneveld *et al.*, 2018). Het onderhoudsbaggervolume zand vertoont hierna geen duidelijke trend, maar fluctueert rond een niveau als net vóór de derde verruiming. Het onderhoudsbaggervolume slib daalde na de piek in 2011 tot het in 2015 eenzelfde niveau als net vóór de derde verruiming bereikte. In de voorbije 6 jaar steeg het onderhoudsbaggerwerk opnieuw gedurende 2016-2018 om daarna in 2019-2021 terug op hetzelfde volume als in 2015 en vóór de derde verruiming te liggen. Het onderhoudsbaggerwerk in de Beneden-Zeeschelde wordt neutraal beoordeeld.
- Boven-Zeeschelde: de onderhoudsbaggervolumes in de Boven-Zeeschelde vertonen een hoge jaar-op-jaar variatie. Er is geen duidelijke trend zichtbaar.



Figuur 2-21: Onderhoudsbaggervolumes: zand in de Westerschelde (BOVEN - beunvolume), Slib in de Beneden-Zeeschelde (MIDDEN - gereduceerd volume) en zand in de Beneden-Zeeschelde (ONDER - Beunvolume)

2.5. Toetsparameter Scheepsbewegingen

De bevaarbaarheid van het estuarium verandert gedurende de getijcurve. Voor de grootte van het bevaarbare tijvenster is naast de hoog- en laagwaterstanden de voortplantingssnelheid van de hoog- en laagwaterstanden en de vorm van de getijcurve van belang, evenals de vaarsnelheid van een schip. Een hogere voortplantingssnelheid betekent een kortere looptijd van het getij en een verkleining van het tijvenster voor de getijgebonden scheepvaart. De bevaarbaarheid van het estuarium neemt hierdoor langzaam af. Als rekenparameters zijn de looptijd van het getij bij hoogwater en de looptijd bij laagwater beschouwd.

De combinatie van onder andere bochten, vaarsnelheden, oevereffecten, dwarsstromingen en kielspeling hebben invloed op de bevaarbaarheid. Deze systeemkarakteristieken kunnen echter niet allemaal individueel worden geëvalueerd. Daarom zijn onbemande vaarsimulaties uitgevoerd in Verwilligen *et al.* (2022ab), waarmee de combinatie van deze verschillende effecten gezamenlijk in rekening wordt gebracht. Dit is samengevat in de rekenparameters intensiteit roerwerking en uitwijkafstand van de vaarweg.

2.5.1. Looptijd van het getij: bij hoogwater en bij laagwater

Definitie

De looptijd van het hoogwater (laagwater) tussen twee opvolgende meetstations volgt uit het verschil van de tijdstippen van hoogwater (laagwater) tussen die twee meetstations. De jaargemiddelde looptijd is het rekenkundig gemiddelde van alle looptijden in een kalenderjaar. De looptijden zijn een maat voor de bevaarbaarheid. Veranderingen in de looptijden van hoogwaterstanden (laagwaterstanden) duiden op veranderingen in de voortplantingssnelheid van de getijgolf.

Evaluatie

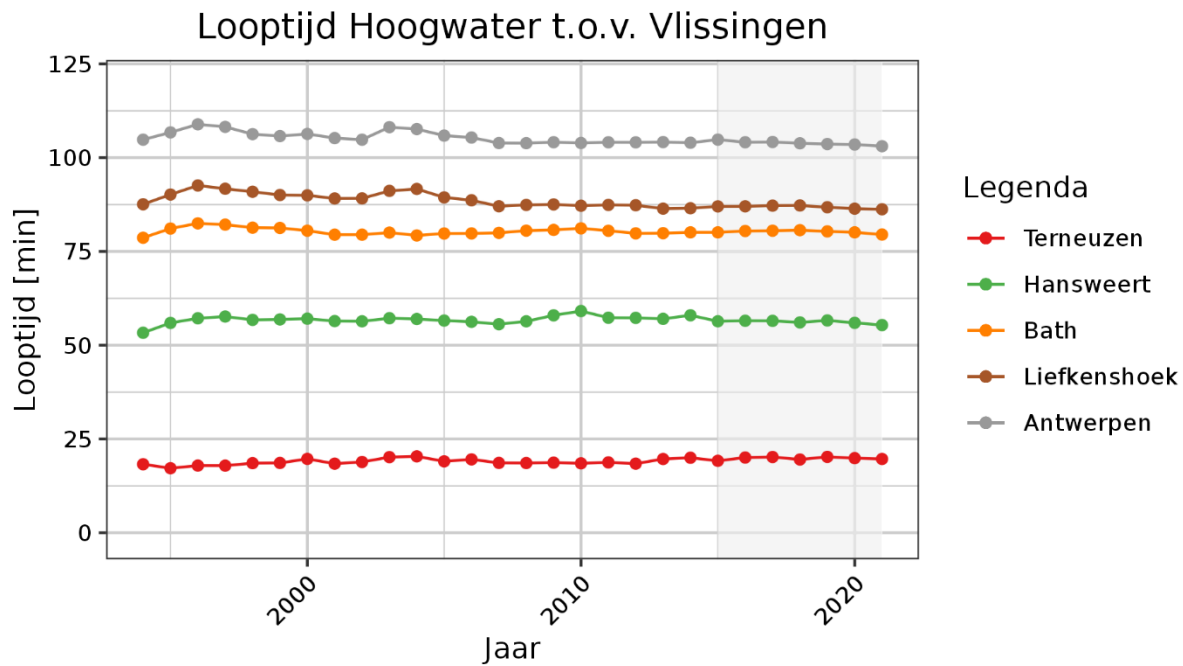
In T2015 is geconstateerd dat er een eerste indicatie is voor een recente toename in de looptijden in de Westerschelde (na een langjarige trendmatige daling). Ook is in T2015 vastgesteld dat de looptijden in de Zeeschelde nog steeds afnemen. Anders dan in T2015 zijn in het analyserapport van T2021 slechts de waarden vanaf 1988 geanalyseerd, omdat er sindsdien consequent met een hogere frequentie is gemeten. Deze hogere meetfrequentie is de waarschijnlijke oorzaak van een sprong in de looptijden tussen 1987 en 1988. Aanvullend constateren we nu ook een sprong in de meetfrequentie voor de Nederlandse stations tussen 1992 en 1994. Dit verklaart een sprong in de looptijd tussen Bath en Liefkenshoek. De evaluatie voor de Westerschelde voeren we daarom uit voor de periode vanaf 1994, maar daarbij opmerkend dat na de eerste verruiming de looptijden wel duidelijk zijn gedaald.

De looptijden tussen Vlissingen en Terneuzen/Hansweert zijn in de periode 1994-2021 licht stijgend. Bij station Bath vertoont de reeks geen duidelijke opwaartse of neerwaartse trend. Toch zijn de looptijden in de Westerschelde nog steeds duidelijk lager dan in 1970. Ondanks de verandering van de meetfrequentie kan dit zo worden gesteld, omdat de looptijd tussen 1970 en 1987 duidelijk daalt en de meetfrequentie binnen deze periode niet is gewijzigd.

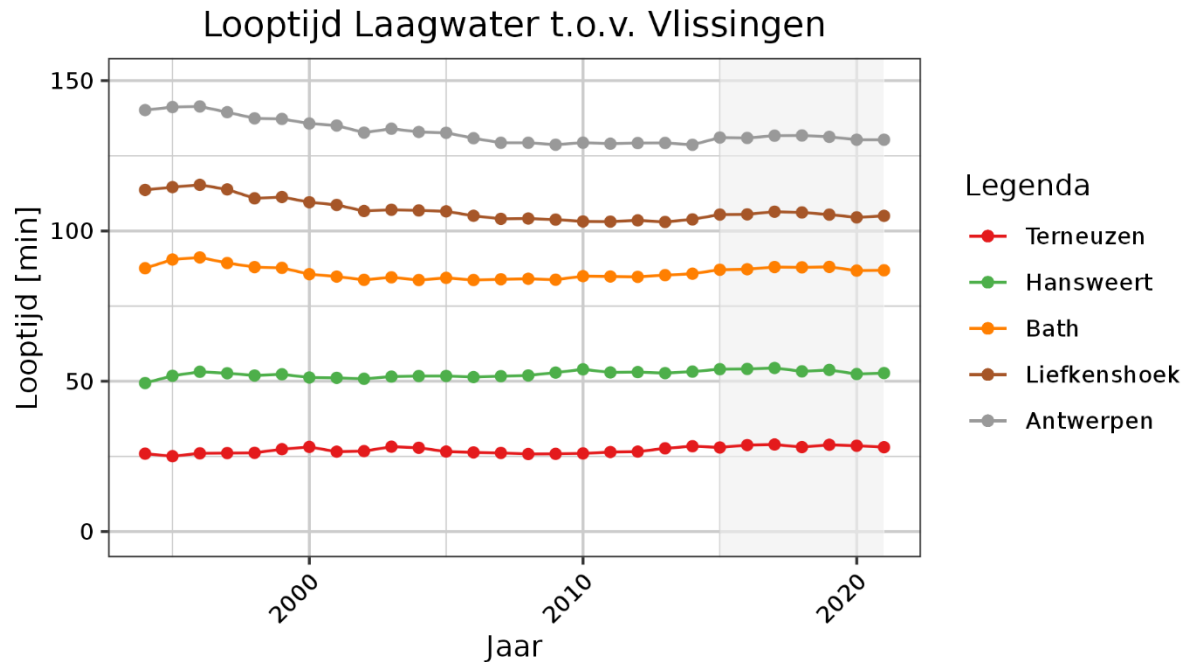
In de Zeeschelde zijn de looptijden van het hoogwater ten opzichte van Liefkenshoek geleidelijk dalend na een piek van de looptijden in 1995 en zet de langjarige dalende trend zich door. De looptijden van het laagwater zijn sinds 2010 relatief stabiel, maar kort, nadat deze tussen 1995 en 2010 sterk zijn

gedaald (Figuur 2-23). In het algemeen geldt dus nog steeds dat de looptijden ten opzichte van 1970 duidelijk korter zijn.

In de analyse is dus afgeweken van de eerdere methodiek. Desondanks concluderen we dat de ontwikkeling in de looptijden neutraal is t.o.v. T2015, vanwege de geringe veranderingen in de looptijden sinds 2015. In de Zeeschelde is nog steeds sprake van een dalende, weliswaar iets afvlakkende, trend. In de Westerschelde is de stijging nog niet zodanig dat we van een positieve ontwikkeling t.o.v. T2015 kunnen spreken. In de afgelopen 6 jaar (2016-2021) zijn de looptijden relatief stabiel gebleven.



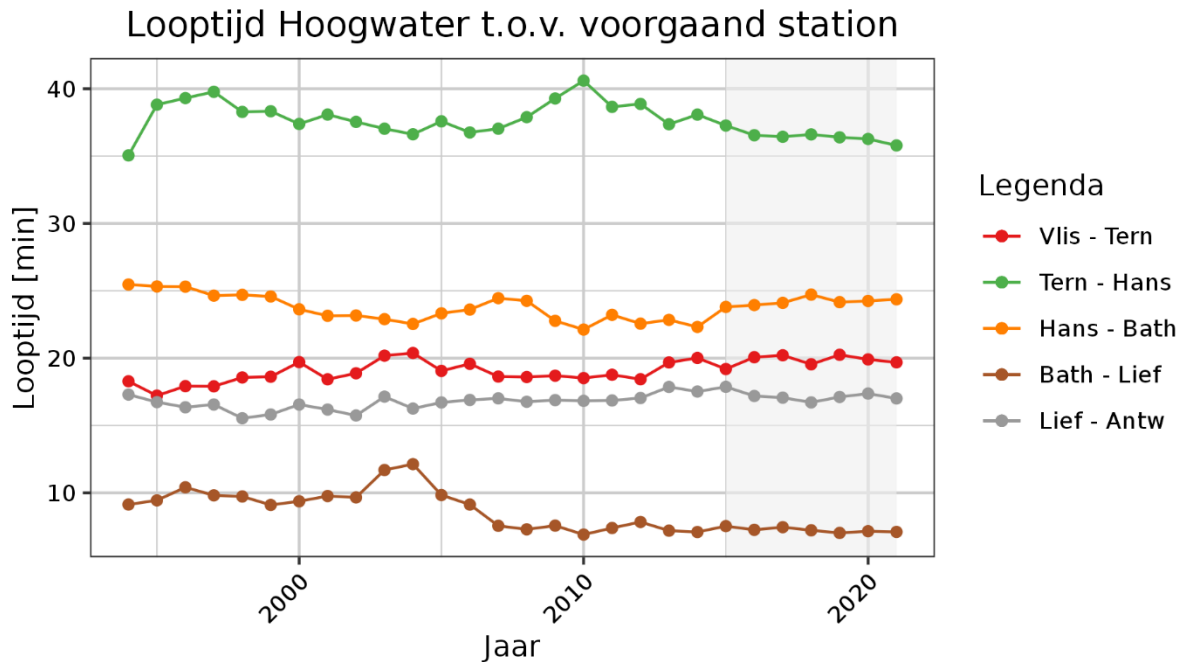
Figuur 2-22: Looptijd van het hoogwater ten opzichte van Vlissingen in de periode 1994-2021 voor de stations in de Westerschelde en Liefkenshoek en Antwerpen.



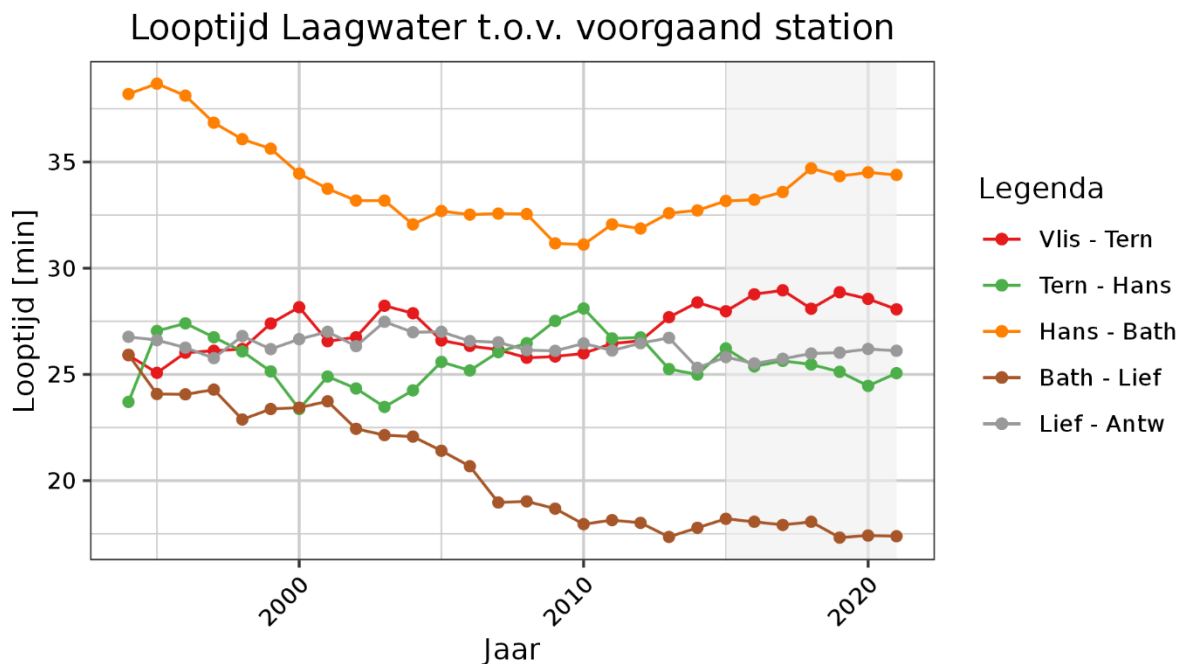
Figuur 2-23: Looptijd van het laagwater ten opzichte van Vlissingen in de periode 1994-2021 voor de stations in de Westerschelde en Liefkenshoek en Antwerpen.

Verklaring

Wijzigingen in de morfologie hebben onmiddellijk hun weerslag op de voortplantingssnelheid van het getij in het estuarium. Ontwikkelingen in de looptijden zijn het best te duiden door naar de relatieve looptijden kijken (oftewel het verschil in tijd tussen het optreden van hoogwaters dan wel laagwaters tussen twee stations). Derhalve zijn in Figuur 2-24 tot en met Figuur 2-27 de relatieve looptijden van het hoogwater en het laagwater voor alle stations weergegeven. In het algemeen zijn de veranderingen in de looptijden van het laagwater sterker dan de veranderingen in de looptijden van het hoogwater. Dit komt door de grotere relatieve invloed van de (geul)diepte op de voortplantingssnelheid van de getijdegolf tijdens het laagwater ten opzichte van het hoogwater. Deze voortplantingssnelheid volgt namelijk de relatie $c = \sqrt{gd}$, met c de voortplantingssnelheid en d de waterdiepte.



Figuur 2-24: Relatieve looptijd van het hoogwater ten opzichte tussen opeenvolgende stations in de periode 1994-2021 voor de stations in de Westerschelde en Liefkenshoek en Antwerpen.



Figuur 2-25: Relatieve looptijd van het laagwater ten opzichte tussen opeenvolgende stations in de periode 1994-2021 voor de stations in de Westerschelde en Liefkenshoek en Antwerpen.

Westerschelde

Tussen Vlissingen en Terneuzen valt op dat sinds 2008 de looptijd van het laagwater is gestegen, met in de periode 2016-2021 de hoogste waarden sinds 1994 (~29 minuten). Deze toename kan zijn veroorzaakt door een afname in de voortplantingssnelheid van de getijdeweg (bijvoorbeeld door

toegenomen ruwheid) of door een verlenging van een geul (door zijdelingse migratie). Dergelijke ontwikkelingen zijn niet eenduidig terug te vinden in de bathymetrische gegevens (zie Hoofdstuk 4 van het T2021 Analyserapport). De looptijd van het hoogwater tussen Vlissingen en Terneuzen kent kleinere veranderingen, maar ook voor het hoogwater zijn de looptijden relatief hoog in de periode 2016-2021. We constateren dat bij Terneuzen ook voor de (kleine) afname in de amplitudes van de harmonische getijcomponenten en de getijslag en de afvlakking van de astronomische hoogwaters geen verklaring is gevonden in de morfologie.

Tussen Terneuzen en Hansweert neemt voor zowel het hoogwater als het laagwater de looptijd af. Het dominant (en ruimer) worden van de vloedgeul (zie T2021 Analyserapport) kan hiervoor een mogelijke verklaring zijn. De vloedgeul is namelijk korter dan de ebgeul die door de buitenbocht gaat.

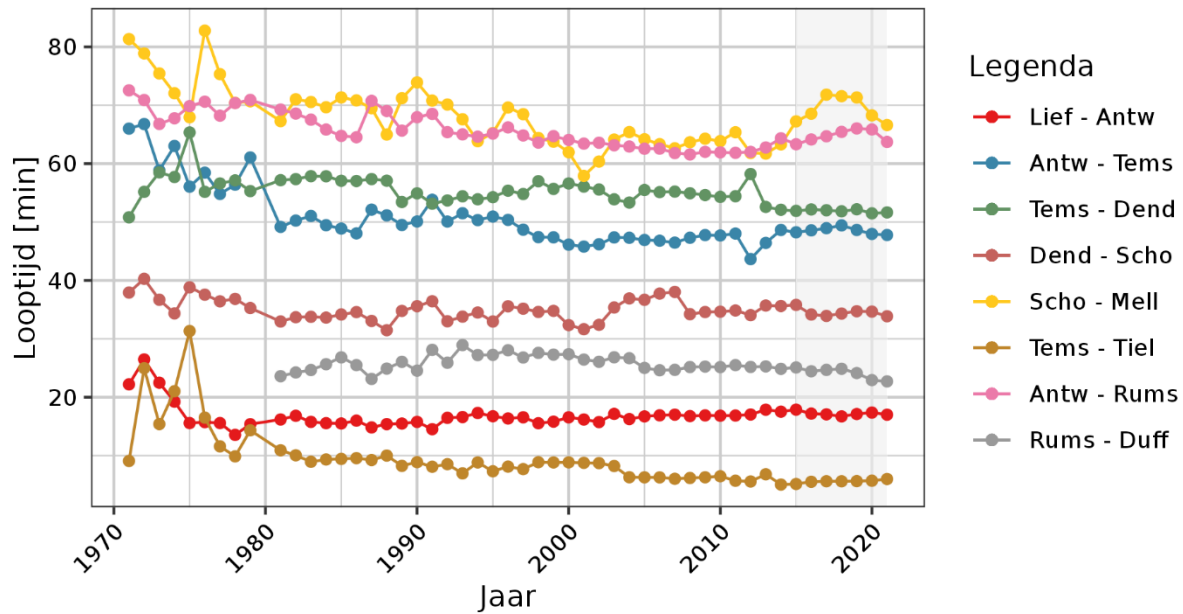
De looptijd van het laagwater tussen Hansweert en Bath stijgt sinds 2010 van 31 naar 35 minuten, nadat deze sterk is gedaald in de periode daarvoor. De looptijd van het hoogwater kent een vergelijkbaar patroon, maar daar zijn de verschillen kleiner. Deze verandering vond gelijktijdig plaats met een aanzienlijke sedimentatie van de vloedgeul in Macrocel 5: het volume van de diepe delen van de vloedgeul (-5 m+NAP) sinds 2010 met 15% afgenomen. De sterke afname van het nevengeulvolume, wordt toegeschreven aan de stortingen in de nevengeul en mogelijk ook deels aan de stortingen op de aangrenzende plaatrand van de Plaat van Walsoorden (IMDC, 2021). De afname van het geulvolume kan leiden tot een langere looptijd van het tussen Hansweert en Bath. Voor een exacte kwantificering is een meer diepgaande modelleerstudie nodig.

Zeeschelde

Tussen Bath en Liefkenshoek is de looptijd van het laagwater na 1995 duidelijk afgenomen. Deze daling kan ook een voortzetting zijn van de eerdere daling in de looptijd, maar dit is niet vast te stellen vanwege de wijziging van de meetfrequentie. Sinds 2010 is de looptijd van het laagwater tussen Bath en Liefkenshoek gestabiliseerd. De daling van de looptijd kan mogelijk verklaard worden door het dieper worden van de geul. De sterke veranderingen van de looptijd tussen Bath en Liefkenshoek werken bovenstrooms door (zie de looptijd van het laagwater tussen Vlissingen en Antwerpen in Figuur 2-23). Tussen Liefkenshoek en Antwerpen varieert de looptijd van het hoogwater en het laagwater van jaar tot jaar, maar is er geen sprake van een stijgende of dalende trend.

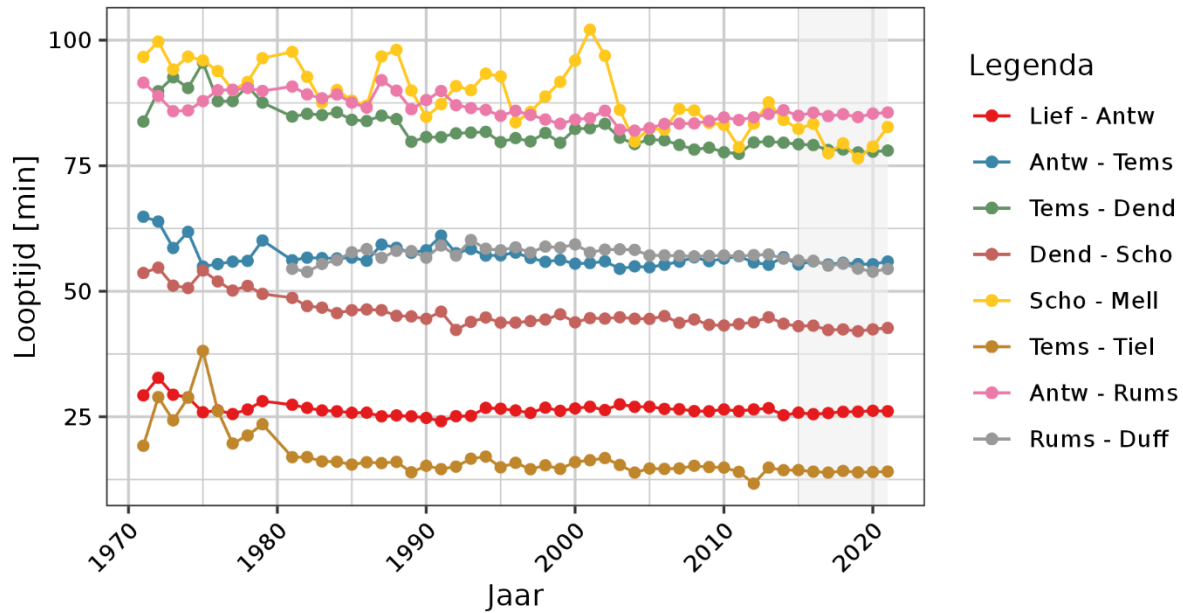
In de Boven-Zeeschelde en in de zijrivieren zijn de looptijden relevant voor de binnenvaart. We beschouwen wederom de relatieve looptijden van station tot station; voor het hoogwater en het laagwater en voor diverse trajecten. Deze zijn over het algemeen (heel) licht dalend. Dit geldt onder andere voor de trajecten Antwerpen-Temse, Temse-Dendermonde, Temse-Tielrode, Dendermonde-Schoonaarde (voor het laagwater), Schoonaarde-Melle (voor het laagwater) en Rumst-Duffel-Sluis. Een mogelijke oorzaak is de een toename van het geulvolume (zie het T2021 Analyserapport) waardoor de voortplantingssnelheid van de getijdegolf toeneemt (Vandenbruwaene *et al.*, 2019). Ontpolderingen kunnen er voor zorgen dat de looptijd van het hoogwater licht toeneemt (Vandenbruwaene *et al.*, 2022c). Dit observeren we echter nog niet eenduidig. In het traject Schoonaarde-Melle was in de periode 2013-2017 sprake van een sterke stijging van de looptijd van het hoogwater. Tussen 2019 en 2021 is deze weer duidelijk gedaald.

Looptijd Hoogwater t.o.v. voorgaand station



Figuur 2-26: Relatieve looptijd van het hoogwater tussen opeenvolgende stations in de periode 1971-2021 voor de stations bovenstrooms in de Zeeschelde en in de zijrivieren.

Looptijd Laagwater t.o.v. voorgaand station



Figuur 2-27: Relatieve looptijd van het laagwater tussen opeenvolgende stations in de periode 1971-2021 voor de stations in de Zeeschelde en in de zijrivieren.

Conclusie

Doordat is afgeweken van de methodiek uit T2015 is een formele evaluatie niet uitvoerbaar. In deze paragraaf zijn de (recente) ontwikkelingen in de looptijden geduid en waar mogelijk verklaard.

De trend in de looptijden tussen Vlissingen en Terneuzen/Hansweert is in de periode 1987-2021 licht stijgend, wat voornamelijk wordt veroorzaakt door een toename van de looptijden tussen Vlissingen en Terneuzen. Sinds 2010 is de looptijd van het laagwater tussen Terneuzen en Hansweert gedaald en tussen Hansweert en Bath juist gestegen. Dit zorgt ervoor dat er netto geen duidelijke trends in de looptijden tussen Vlissingen en Bath te vinden zijn. De looptijden in de Westerschelde liggen nog duidelijk lager dan in 1970.

De afname van de looptijd tussen 1995 en 2010 (van met name het laagwater) in de Beneden-Zeeschelde kan verklaard worden door het verloop van de looptijd tussen Bath en Liefkenshoek. Deze daalde namelijk duidelijk in deze periode. Na 2010 is de looptijd relatief stabiel, mogelijk door het ontbreken van grootschalige morfologische veranderingen. Deze verandering werkt door op de gehele Zeeschelde (met de referentie in de Westerschelde). In de Boven-Zeeschelde zijn de looptijden nog steeds licht dalend, mogelijk als gevolg van een toename van het geulvolume. De looptijden in de gehele Zeeschelde liggen nog duidelijk lager dan in 1970.

We concluderen dat de ontwikkeling in de looptijden neutraal is t.o.v. T2015. In de Zeeschelde is sprake van een afvlakkende, maar langjarig nog steeds licht dalende, trend. In de Westerschelde is de ontwikkeling juist licht positief door een stijgende looptijd sinds 2010. Vanwege de geringe veranderingen spreken we over een neutrale ontwikkeling.

2.5.2. Intensiteit roerwerking en uitwijkafstand van de vaarweg

Definitie

De rekenparameters intensiteit roerwerking en uitwijkafstand van de vaarweg zijn nog niet in eerdere T-rapportages behandeld. De meest recente evaluatiemethodiek stelt dat met onbemande vaarsimulaties kan worden onderzocht welke effecten veranderingen in bathymetrie, stroming en waterstanden hebben op het scheepvaartverkeer in het estuarium. Om deze effecten te kunnen bepalen zijn twee indicatoren gedefinieerd:

- De intensiteit van de roerwerking. De parameter is een maat voor de manoeuvreerreserve van het schip en wordt uitgedrukt als percentage ten opzichte van de maximale roerhoek.
- De uitwijkafstand van de vaarweg ofwel afstand tot referentietraject. De parameter is een maat voor het ruimtegebruik door het schip en wordt uitgedrukt in meter.

De waarden van de parameters zijn via onbemande vaarsimulaties bepaald voor verschillende omstandigheden. In Verwilligen *et al.* (2022a) staat hoe de parameters voor elk van de gesimuleerde jaren (2011, 2015 en 2019) bepaald zijn voor een volledige springtij-cyclus en over de lengte van het estuarium, zowel voor de opvaart (het estuarium in) als voor de afvaart (het estuarium uit). De (absolute) waarden van de signaalparameters worden telkens gemiddeld over de invloeds lengte. Hierbij is de invloeds lengte gedefinieerd als drie scheepslengtes: zijnde één scheepslengte voor het schip, de lengte van het schip zelf en één scheepslengte achter het schip. In Verwilligen *et al.* (2022b) zijn de parameters verder gecondenseerd tot een maximale waarde over de volledige tijcyclus (minst gunstige tijconditie) voor ieder van acht vaarsectoren.

Voor een complete beschrijving van de door WL ontwikkelde methode wordt verwezen naar de referenties Verwilligen *et al.* (2022ab). In het T2021 Analyserapport zijn de resultaten van de simulaties

besproken. In deze paragraaf worden de belangrijkste resultaten samengevat en wordt de evaluatie uitgevoerd. Vervolgens wordt dieper ingegaan op de verklaringen voor gunstige en minder gunstige ontwikkelingen in de twee bevaarbaarheidsparameters in het estuarium.

Evaluatie

De evaluatiemethodiek schrijft voor dat de waarden van de rekenparameters intensiteit van de roerwerking en uitwijkafstand van de vaarweg voor de actuele situatie worden vergeleken met de waarden in het referentiejaar. De actuele situatie is het meest recente simulatiejaar (hier 2019). Als referentiejaar wordt het jaar 2011 aangehouden. Dit startjaar is geselecteerd na de derde vaargeulverruiming, waardoor geen rekening gehouden hoeft te worden met sterke veranderingen van het vaartracé of een onrealistische referentie door sterk verschillende kielspelingen. Ook valt dit ogenblik vrijwel overeen met de internationale ontwikkeling in scheepsgroottes. Bovendien is deze keuze identiek aan de keuze waarop de ontwikkeling van de onderhoudsbaggerovolumes wordt beschouwd.

Een toename van de parameterwaarden ten opzichte van de voorgaande periode met meer dan 5% wordt gehanteerd als een signaal voor een mogelijk negatieve evaluatie.

We richten ons in de evaluatie conform de aanbeveling in Verwilligen et al (2022b) op de gecondenseerde parameters maximaal roergebruik en maximale afstand tot referentietraject per vaarsector. We beschouwen hiertoe de relatieve verschillen tussen de waarden (percentages) in Tabel 2-1 en Tabel 2-2 in het jaar 2019 ten opzichte van het jaar 2011.

- De waarden van het maximale roergebruik voor de opvaart in het jaar 2019 voor de vaarsectoren Valkenisse, Walsoorden en Saeftinghe zijn hoger dan in het jaar 2011; voor Valkenisse is het relatieve verschil groter dan 5%, voor Walsoorden en Saeftinghe niet. Voor de overige vaarsectoren zijn de waarden in 2019 lager dan in het jaar 2011, waarbij de relatieve daling voor Borssele, Terneuzen, Bath en Europaterminal groter dan 5% is.
- De waarden van het maximale roergebruik voor de afvaart in het jaar 2019 voor de vaarsectoren Hansweert en Walsoorden zijn meer dan 5% hoger dan die in het jaar 2011. Voor de overige vaarsectoren zijn de waarden in 2019 lager dan in 2011 (of 2015 in het geval van Europaterminal) en de relatieve daling is voor Borssele, Terneuzen, Saeftinghe en Europaterminal groter dan 5%.
- De waarden van de maximale afstand voor de opvaart in het jaar 2019 zijn voor de vaarsectoren Europaterminal, Hansweert en Walsoorden meer dan 5% hoger dan die in het jaar 2011. Voor Bath is de waarde in 2019 ongeveer 50% gedaald ten opzichte van 2011.
- De waarden van de maximale afstand voor de afvaart in het jaar 2019 voor de vaarsectoren Bath en Walsoorden zijn meer dan 5% hoger in het jaar 2011. Voor Terneuzen en Saeftinghe zijn de waarden met meer dan 5% gedaald tussen 2011 en 2019.

Samenvattend zijn er enkele vaarsectoren waarvoor de waarde van de parameters roergebruik en afstand tot traject meer dan 5% toenemen tussen 2011 en 2019 voor opvaart ofwel afvaart. Dit geldt in het bijzonder voor de vaarsectoren Valkenisse, Hansweert en Walsoorden. Dit resulteert in een negatieve evaluatie voor deze vaarsectoren. De ontwikkelingen in deze sectoren leiden er (nog) niet toe dat deze de kritische (slechtst bevaarbare) sector vormen. Voor de vaarsectoren Bath en Terneuzen leiden de ontwikkelingen tot een positieve evaluatie, waarbij de sector Bath de kritische vaarsector was (en in sommige gevallen nog wel blijft).

Tabel 2-1: Maximale roergebruik (gemiddeld over invloedslengte) per vaarsector als gecondenseerde parameter voor de bevaarbaarheid. Bron: Verwilligen et al. (2022b) Tabel 5.

	Opvaart				Afvaart		
	Lopend gemiddelde (3.0L) roergebruik [%]				Lopend gemiddelde (3.0L) roergebruik [%]		
	2011	2015	2019		2011	2015	2019
01_Borssele	45	43	40	01_Borssele	56	54	52
02_Terneuzen	33	30	27	02_Terneuzen	51	39	25
03_Hansweert	57	55	56	03_Hansweert	50	48	54
04_Walsoorden	45	47	48	04_Walsoorden	45	44	53
05_Valkenisse	39	40	46	05_Valkenisse	46	42	44
06_Bath	95	89	87	06_Bath	89	78	64
07_Saeftinghe	47	49	49	07_Saeftinghe	49	43	40
08_Europaterminal	74	68	64	08_Europaterminal	#N/B	68	62

Tabel 2-2: Maximale waarde schip per vaarwegsector over volledige tijcyclus voor afstand tot referentietraject gemiddeld over invloedslengte voor opvaart (links) en afvaart (rechts) in jaren 2011, 2015 en 2019. Bron: Verwilligen et al. (2022b) Tabellen 1 en 3.

	Opvaart				Afvaart		
	Lopend gemiddelde (3.0L) afstand tot traject [m]				Lopend gemiddelde (3.0L) afstand tot traject [m]		
	2011	2015	2019		2011	2015	2019
01_Borssele	75	73	75	01_Borssele	83	81	84
02_Terneuzen	64	64	62	02_Terneuzen	63	49	44
03_Hansweert	67	74	80	03_Hansweert	91	95	92
04_Walsoorden	78	79	89	04_Walsoorden	67	65	76
05_Valkenisse	81	81	81	05_Valkenisse	57	57	57
06_Bath	113	70	67	06_Bath	70	72	77
07_Saeftinghe	101	104	105	07_Saeftinghe	78	51	57
08_Europaterminal	58	61	62	08_Europaterminal	#N/B	58	59

Verklaring

Deze paragraaf is in aangepaste vorm overgenomen uit de twee bovengenoemde bronnen¹.

Verwilligen et al. (2022a) vat de meest opvallende ontwikkelingen als volgt samen:

- Diepte Bocht van Bath: tussen 2011 en 2019 werd een verdieping van de bocht van Bath vastgesteld:
 - Voor de opvaart in 2011 bleek het bij laagwater (kleine kielspeling) niet mogelijk om het vooropgestelde pad te volgen. De invloed van kielspeling en oevereffecten op het roergebruik was maximaal. Dit resultaat illustreert de noodzaak van voldoende diepte in de Bocht van Bath.

¹ Het grootste deel van de tekst in deze paragraaf is rechtstreeks afkomstig uit genoemde bronnen. Het Schelde in Beeld consortium heeft deze teksten gebruikt om een kort maar volledig beeld te schetsen van de analyse van de twee scheepvaartparameters. Omwille van de leesbaarheid zijn niet alle overgenomen teksten van aanhalingstekens voorzien, zijn kleine aanpassingen doorgevoerd en zijn teksten geschreven om passages te verbinden.

- In de buitenbocht van Bath bleek er een belangrijke verdieping plaats te hebben gevonden tussen 2011 en 2019 die een gunstig effect had op de bevaarbaarheid van de bocht van Bath.
- Dwarsstroming: de tijberekeningen tonen een variatie van de dwarsstroming op de Westerschelde voor verschillende jaargangen:
 - Het meest opvallende voorbeeld betreft de dwarsstroming te Hansweert/Ossenisse omstreeks hoogwater. Deze zogenaamde neervorming is aanmerkelijk meer uitgesproken in het scenario 2019 dan in de andere jaargangen, met een duidelijke impact op de bevaarbaarheid van deze conditie in zowel op- als afvaart. Ook te Valkenisse treedt een afwijkend stroomprofiel op voor de jaargang 2019.
 - Een voorstroomschip (varend in de stroomrichting) dat in de buitenbocht vaart, zal vaak een dwarsstroming in de richting van de buitenbocht ervaren, waardoor het schip in de richting van de boeienlijn verzet wordt. Dit treedt in opvaart op bij vloed in de bocht van Valkenisse en Saeftinghe en bij afvaart bij eb in de bocht van Hansweert. Ook hier treden soms beperkte verschillen op doorheen de tijd. Zo is het ruimtegebruik door opvaart bij vloed te Saeftinghe het grootst voor jaargang 2019 en is het ruimtegebruik door afvaart bij eb te Hansweert het grootst voor jaargang 2011.
 - Afwaarts de Pas van Borssele treedt in 2019 een belangrijkere dwarscomponent bij vloedstroom op die het schip verzet in de richting van de Everingen. Deze locatie is erg diep waardoor hier geen risico tot stranding aanwezig is.
- Oevereffecten: met name rond laagwater blijken relatief kleine verschillen in oeverconfiguratie aanleiding te geven tot afwijkende oevereffecten die een belangrijke impact hebben op het roergebruik.
 - Zo blijkt in opvaart te Hansweert (halverwege boei 53 en 51A) en in afvaart te Terneuzen (boei 12) de jaargang 2011 gepaard te gaan met een minder gunstige oeverpositie, wat aanleiding gaf tot een belangrijk roergebruik om deze te compenseren.
 - De smalste en meest ondiepe zone bevindt zich in de Pas van Borssele. In deze zone is het roergebruik beperkt, doordat het een rechte en symmetrische vaarweg betreft. Er treden enkel grote roerhoeken op bij het begin en eind van de pas, waar de oevers asymmetrisch zijn. Dit geeft aan de opwaartse rand aanleiding tot het grootste roergebruik in 2011 (afvaart) en aan de afwaartse rand voor het jaar 2019 (afvaart). De beperkte beschikbare vaarwegbreedte in de Pas van Borssele is een aandachtspunt dat niet rechtstreeks tot uiting komt in de signaalparameters voor bevaarbaarheid (aangezien deze geen rekening houden met de breedte van de vaarweg).

De belangrijkste nadelige evolutie in het Schelde-estuarium tussen 2011 en 2019 voor wat betreft bevaarbaarheid is de toename van de dwarsstroming omstreeks hoogwater. Deze invloed blijkt het grootst in de vaarweg tussen Hansweert en Walsoorden maar treedt ook op ander locaties op (zoals Valkenisse). Een gunstige evolutie is waarneembaar bij Bath. In 2011 leidt een gebrek aan diepte in de bocht van Bath tot een minder veilige bevaarbaarheid van deze bocht. Verder is het onderhoud van de vaarwegbreedte in de Pas van Borssele een aandachtspunt.

De over de tijd variërende dwarsstroming biedt dus een verklaring voor de negatieve evaluatie voor de vaarsectoren Valkenisse, Hansweert en Walsoorden. De positieve evaluatie van de vaarsector Bath is vooral te danken aan de toegenomen diepte van de Bocht van Bath. De gunstige ontwikkeling voor Terneuzen is voornamelijk te verklaren door een minder gunstige oeverpositie in het jaar 2011.

In Verwilligen *et al.* (2022b) worden de gecondenseerde resultaten van het roergebruik voor de minst gunstige tijconditie toegelicht. Hieruit volgen dezelfde verklaringen voor gunstige en minder gunstige ontwikkelingen van de bevaarbaarheid. Voor de volledigheid zijn hieronder nuancerings bij de conclusies opgenomen en is enige achtergrond over de 'condensatie' toegevoegd in Bijlage A.2.

- Wanneer aandacht besteed wordt aan de evolutie van de bevaarbaarheid tussen 2015 en 2019 dan valt de ongunstige evolutie op voor de afvaart te Walsoorden en Hansweert. Deze bleek veroorzaakt te worden door de neervorming te Ossensise kort na hoogwater. Doordat de gecondenseerde resultaten in (het rechterdeel van) Tabel 2-1 voor verschillende jaren overeenstemmen met verschillende tijcondities (en enkel in 2019 de neervorming maatgevend wordt) maskeren de resultaten de ongunstige evolutie van de bevaarbaarheid van deze specifieke tijconditie (ca. 30' na HW).
- Er dient ook rekening gehouden te worden met de vaarsnelheid die in de vaarsectoren gehanteerd wordt. Zo zullen sectoren waarin de snelheid afgebouwd wordt gepaard gaan met lagere toerentallen en bijgevolge een lagere roereffectiviteit die voor eenzelfde boogstraal een groter roergebruik vereist. Dit verklaart mede het eerder hoge roergebruik bij de afvaart van sector Borssele (de snelheid wordt hier afgebouwd in functie van de loodswissel te Vlissingen).

Conclusie

Over het algemeen geldt dat het roergebruik voornamelijk bepaald wordt door de oevereffecten en de afstanden tot het traject in hoofdzaak bepaald worden door de (dwars)stromingen.

Uit het modelonderzoek blijkt de belangrijkste nadelige evolutie in het Schelde-estuarium tussen 2011 en 2019 de toename van de dwarsstroming omstreeks hoogwater. Deze invloed blijkt het hoogst in de vaarweg tussen Hansweert en Walsoorden maar treedt ook op ander locaties op (zoals Valkenisse). Dit leidt tot een negatieve ontwikkeling voor deze vaarsectoren.

Op basis van het modelonderzoek lijkt sprake van een verlichting van het knelpunt bij Bath met een afname van het maximale roergebruik. Conform de evaluatiemethodiek is er daardoor sprake van een positieve ontwikkeling. De afname van het maximale roergebruik, zowel in op- als afvaart, wordt veroorzaakt door een toename van de bodemdieptes in de bocht van Bath. Het traject blijft echter wel het traject met het grootste knelpunt ten aanzien van de intensiteit van de roerwerking (grootste waarden). Tot slot is het onderhoud van de vaarwegbreedte in de Pas van Borssele een aandachtspunt.

2.6. Samenvatting Evaluatie

De communicatie-indicator *Hydrodynamiek* is een samenvoeging van de communicatie-indicatoren *Dynamiek Waterbeweging* en *Bevaarbaarheid* uit de T2009 en T2015, gekoppeld aan respectievelijk de hoofdfuncties veiligheid en toegankelijkheid van het Schelde-estuarium. De communicatie-indicator *Hydrodynamiek* is uitgewerkt in vier toetsparameters: *Hoogwater* (§2.2), *Golven* (§2.3), *Beschikbare diepte* (§2.4) en *Scheepsbewegingen* (§2.5).

2.6.1. Hoogwater

De toetsparameter Hoogwater bestaat uit de rekenparameters 'jaargemiddelde hoogwaterstanden' en '99^e percentiel hoogwaterstanden'.

In de Westerschelde zijn de jaargemiddelde hoogwaterstanden net als in T2009 en T2015 stijgende, met een snelheid van ongeveer de stijging van de jaargemiddelde waterstand. Deze stijging van de jaargemiddelde waterstand kan toegeschreven worden aan zeespiegelstijging. In de Zeeschelde zet de afvlakking van de stijgende trend, zoals geobserveerd in T2015, zich door. Deze afvlakking kan niet worden verklaard uit windopzet en rivierafvoer, maar is eerder het gevolg van beperktere morfologische veranderingen (bijvoorbeeld toename geulvolume) en menselijke ingrepen (bijvoorbeeld in- en ontpolderingen) ten opzichte van het verleden (bijvoorbeeld tijdens en na de 1^e verruiming). Voor enkele stations (Antwerpen, Tielrode en Temse) is de evaluatie conform de evaluatiemethodiek positief ten opzichte van T2015. In het algemeen kan voor de Zeeschelde gesteld worden dat de trends stijgend zijn, maar dat de afvlakking gunstig is.

Voor de 99^e percentiel hoogwaterstanden worden in de Westerschelde voor de meeste stations geen statistisch significante trend gevonden. Door expliciet rekening te houden met windopzet wordt voor de stations een stijging van de 99^e percentiel hoogwaterstanden in de orde van de stijging van de jaargemiddelde waterstand gevonden. In de Zeeschelde is er voor alle stations sprake van een (licht) afzwakkende trend van de 99^e percentiel hoogwaterstanden. Een stabiliserende getijamplificatie in de Zeeschelde en/of het hebben van jaren met relatief lage 99^e percentiel rivierafvoeren en windopzetten zijn hiervoor een mogelijke verklaring. Enkel bij station Rumst was er volgens de evaluatiemethodiek strikt genomen sprake van een positieve evaluatie t.o.v. T2015 (een waarde onder de onderste grens van het predictie-interval van T2015).

De toetsparameter Hoogwater wordt **negatief geëvalueerd** vanwege de nog steeds stijgende trend in de hoogwaterstanden. De verder afvlakkende trends in de Zeeschelde – iets wat zich ook al voordeed in T2015 – zijn een gunstige evolutie. Op basis van de beschikbare gegevens is geen eenduidige verklaring gevonden. We bevelen daarom aan om de afvlakkende trends in de Zeeschelde in relatie tot morfologische ontwikkelingen en menselijke ingrepen sinds 2000 nader te onderzoeken.

2.6.2. Golven

De toetsparameter Hoogwater bestaat uit de rekenparameters 'jaargemiddelde significante golfhoogtes', 'cumulatieve verdelingen significante golfhoogte' en 'cumulatieve verdelingen spectrale golfperiode'.

Het is op basis van de beschikbare gegevens niet mogelijk om een eenduidige conclusie te trekken met betrekking tot de ontwikkeling van het golfklimaat bij de meetstations. Enkel voor het station Bath is er sprake van een significant dalende trend in de jaargemiddelde significante golfhoogtes; echter is de meetreeks dermate kort sinds de trendbreuk in 2011 dat er geen positieve evaluatie kan worden toegekend. Voor de rekenparameters 'cumulatieve verdelingen significante golfhoogte' en 'cumulatieve verdelingen spectrale golfperiodes' is voor diverse stations conform de evaluatiemethodiek strikt genomen sprake van diverse positieve (onder de ondergrens) als negatieve evaluaties (boven de bovengrens). Grotendeels kan dit verklaard worden door de korte meetreeksen waardoor de buitenste grenzen van de spectra op relatief weinig jaren zijn gebaseerd.

De toetsparameter Golven kan niet geëvalueerd worden, omdat de meetreeksen van de golven te kort zijn.

2.6.3. Beschikbare diepte

De toetsparameter Beschikbare diepte bestaat uit de rekenparameters 'jaargemiddelde laagwaterstanden', 'jaargemiddelde hoogwaterstanden' en 'onderhoudsbagervolumes'.

In de Westerschelde, met uitzondering van station Bath, zijn de jaargemiddelde laagwaterstanden stijgende met een snelheid van ongeveer de zeespiegelstijging. Dit is in lijn met T2009 en T2015. Te Bath is er net als in T2015 geen sprake van een statistisch significante trend. In de Zeeschelde worden de dalende trends in de jaargemiddelde laagwaterstanden gecontinueerd ten opzichte van T2015. Bij enkele stations in de Boven-Zeeschelde is sprake van een versnelling van de dalende trend (negatieve evaluatie t.o.v. T2015).

De jaargemiddelde hoogwaterstanden zijn stijgend in zowel de Westerschelde als Zeeschelde (zie 3.6.1). Voor de Boven-Zeeschelde kan deze stijging de doorvaarthoogte bij bruggen negatief beïnvloeden.

In de afgelopen evaluatieperiode is er geen duidelijke trend in het totale volume van de onderhoudsbaggerwerkzaamheden waarneembaar. Derhalve wordt deze rekenparameter neutraal beoordeeld, evenals de ontwikkeling ten opzichte van T2015. Dit geldt voor alle deelsystemen en de individuele sedimentfracties, met uitzondering van de waarneming in de Beneden-Zeeschelde net volgend op de derde verruiming (T2015): een piek qua gebaggerd volume zand en slib in 2011, waarna het slib daalde tot het in 2015 eenzelfde niveau bereikte als net vóór de derde verruiming. Het gebaggerde volume fluctueert al direct na 2011 rond eenzelfde niveau als voor de derde verruiming.

De toetsparameter Beschikbare diepte wordt in zijn algemeenheid ten opzichte van T2015 als **neutraal geëvalueerd**.

2.6.4. Scheepsbewegingen

De toetsparameter Scheepsbewegingen bestaat uit de rekenparameters 'jaargemiddelde looptijd tijdens hoogwater', 'jaargemiddelde looptijd tijdens laagwater', 'intensiteit roerwerking' en 'Uitwijkafstand van de vaarroute'.

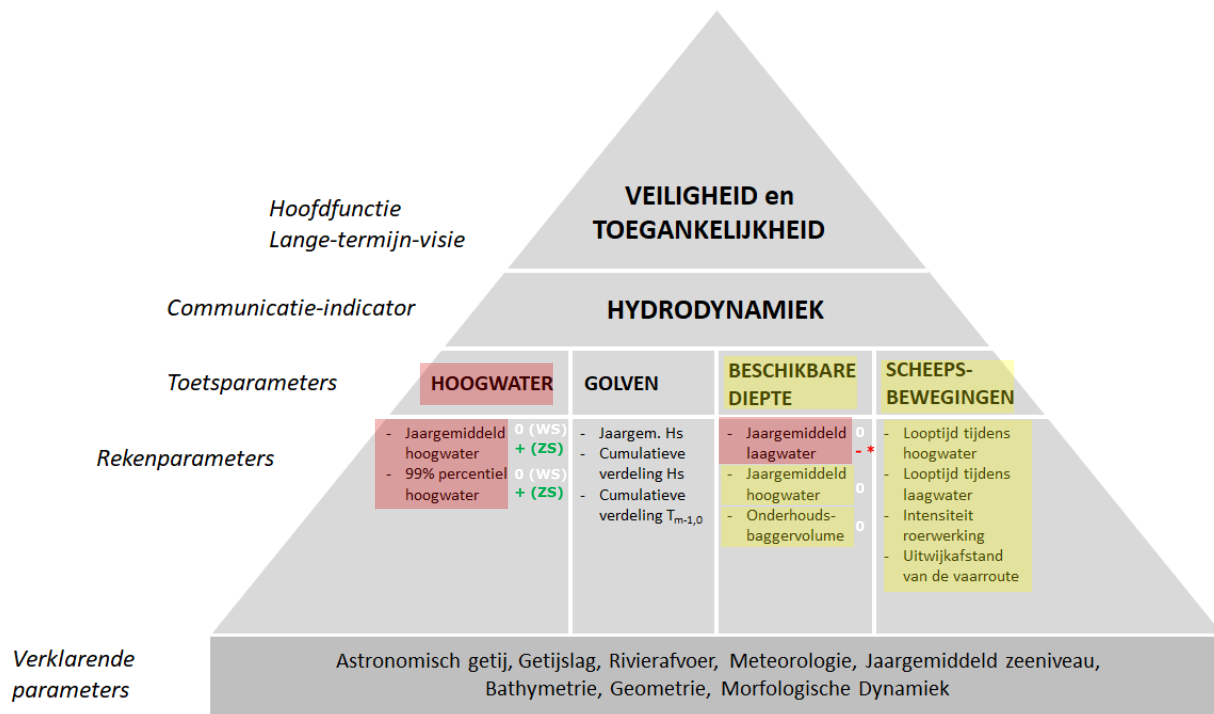
Voor de looptijden geldt dat een formele evaluatie conform de evaluatiemethodiek niet uitvoerbaar is. De reden hiervoor is dat is afgeweken van de methodiek uit T2015 door een ander startpunt voor de trendanalyses te kiezen. Het is gebleken dat grote (plotse) veranderingen in de looptijden kunnen worden verklaard door de aangepaste registratiefrequentie van hoog- en laagwaterstanden in Nederland. Alsnog kennen we de looptijden een neutraal oordeel toe, omdat ze sinds 1994 geen duidelijk stijgende of dalende trend kennen. In de (Boven-)Zeeschelde is er nog sprake van een (licht) afnemende looptijd. In de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde is looptijd van het getij relatief stabiel.

De belangrijkste nadelige evolutie in het Schelde-estuarium tussen 2011 en 2019 voor wat betreft de nautische parameters intensiteit roerwerking en uitwijkafstand is de toename van de dwarsstroming omstreeks hoogwater. Deze invloed blijkt het hoogst in de vaarweg tussen Hansweert en Walsoorden maar treedt ook op ander locaties op (zoals Valkenisse). Dit leidt tot een ongunstige evaluatie voor deze vaarsectoren (hogere intensiteit roerwerking en grotere uitwijkafstand van de vaarweg). Een gunstige evolutie (lagere intensiteit roerwerking en kleinere uitwijkafstand van de vaarweg) is waarneembaar bij Bath. De afname van het maximale roergebruik, zowel in op- als afvaart, wordt veroorzaakt door een toename van de bodemdieptes in de bocht van Bath. Tot slot is het onderhoud van de vaarwegbreedte in de Pas van Borssele een aandachtspunt.

De toetsparameter Scheepsbewegingen wordt ten opzichte van T2015 als **neutraal geëvalueerd**. Binnen het systeem zijn er op trajecten zowel verbeteringen als verslechtingen van de bevaarbaarheid te observeren.

2.6.5. Overzicht

Bij de communicatie-indicator *Hydrodynamiek* worden vier toetsparameters geëvalueerd: *Hoogwater* (Sectie 2.6.1), *Golven* (Sectie 2.6.2), *Beschikbare diepte* (Sectie 2.6.3) en *Scheepsbewegingen* (Sectie 2.6.4).

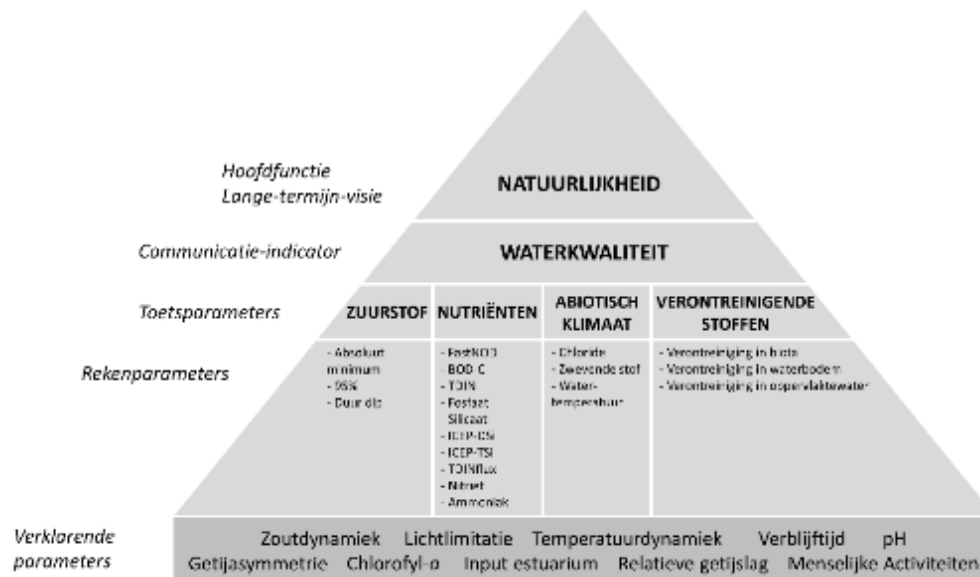


*Figuur 2-28: Schematische weergave van de Communicatie-indicator Hydrodynamiek, inclusief evaluatie van de reken- en toetsparameters op basis van de data uit de periode 2016-2021 en met behulp van de Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium. Parameters in een rode kleur worden negatief geëvalueerd, parameters in een gele kleur worden neutraal geëvalueerd en parameters in een groene kleur worden positief geëvalueerd. Aanvullend wordt ook de evolutie van de rekenparameters weergegeven, waarmee een indicatie wordt gegeven van een positieve ('+') of negatieve ('-') ontwikkeling van de beschouwde rekenparameter (of '0' in geval van min of meer status quo) ten opzichte van de vorige evaluatieperiode (T2015). Voor de toetsparameter scheepsbewegingen wordt die evolutie niet weergegeven in verband met andere methodes ten opzichte van T2015. 'WS' geeft de Westerschelde aan, 'ZS' de Zeeschelde. *In de Boven-Zeeschelde versnelt de dalende trend in het jaargemiddeld laagwater en is er daarmee sprake van een negatieve evolutie.*

3. Waterkwaliteit

3.1. Inleiding

De communicatie-indicator *Waterkwaliteit* geeft de status van de klassieke fysicochemie (chemische waterkwaliteit) in de waterkolom van het Schelde-estuarium weer. De beoordeling volgt de standaard piramidestructuur (Figuur 3-1), waarvoor vier toetsparameters gehanteerd worden: *Zuurstof*, *Nutriënten*, *Abiotisch klimaat* en *Verontreinigende stoffen*. Elk van deze toetsparameters is opgebouwd uit één of meerdere rekenparameters, die elk een eigen toetscriterium hebben. Onderaan de piramide worden de verklarende parameters weergegeven, die aangewend kunnen worden voor het verklaren van de waargenomen ontwikkelingen in de verschillende rekenparameters. Deze verklarende parameters dragen voornamelijk bij aan het begrijpen van de waargenomen ontwikkelingen.



Figuur 3-1: Schematische weergave van de Communicatie-indicator Waterkwaliteit. De verklarende parameter Input estuarium verschilt van de overige verklarende parameters, aangezien deze geen specifieke parameter analyseert. Het omvat de grensstations in het estuarium waarvoor de verschillende rekenparameters eveneens afgeleid kunnen worden, zonder deze effectief te evalueren.

De waterkwaliteit wordt geëvalueerd op basis van de abiotische componenten van het waterlichaam en maakt hiervoor gebruik van de *Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium* (Consortium Schelde in Beeld, 2022). Deze methodiek start vanuit het functioneren van het Schelde-estuarium en houdt tevens rekening met de verschillende beleidsdoelstellingen van de Lange Termijn Visie. Voor de evaluatie van de waterkwaliteit richt de methodiek zich voornamelijk op de waterkolom (met uitzondering van de toetsparameter *Verontreinigende stoffen*), waarbij een positieve beoordeling wordt bekomen indien de waterkwaliteit een goede ondersteuning vormt voor het globale ecologische functioneren.

Het hoofdstuk omtrent de communicatie-indicator *Waterkwaliteit* is opgebouwd volgens de piramide. Er zijn aparte secties voorzien voor de toetsparameter *Zuurstof* (Sectie 3.2), *Nutriënten* (Sectie 3.3), *Abiotisch klimaat* (Sectie 3.4) en *Verontreinigende stoffen* (Sectie 3.5). Aanvullend is er een sectie die

de evaluatie samenvat (Sectie 3.6). Binnen deze secties worden de verschillende rekenparameters in aparte subsecties behandeld, waarbinnen aandacht wordt gegeven aan (1) de definitie van de parameter, (2) de beoordeling van resultaten a.d.h.v. toetscriteria – de bekomen evaluatie – en (3) de mogelijke verklaringen van de analyse en evaluatie. Het hoofdstuk streeft ernaar om op een beknopte wijze de evaluatie van de communicatie-indicator te beschrijven, maar verwijst ook naar de uitgebreide bijlages (zie Bijlage B). De basis van de analyse en evaluatie wordt gelegd door de periodieke metingen, al dan niet aangevuld met continue metingen doorheen de Zeeschelde.

3.2. Toetsparameter Zuurstof

Zuurstof vormt daarom een cruciale indicator voor de kwaliteit van het ecosysteem en krijgt bijgevolg een centrale rol in de evaluatie van de waterkwaliteit. Het is hierbij belangrijk om op te merken dat de hoeveelheid zuurstof die nodig is om een goed functioneren van het ecosysteem toe te laten, kan variëren in de tijd en ruimte. Bijvoorbeeld, tijdens periodes van vismigratie kan de zuurstofvereiste hoger liggen dan in periodes zonder migratie. Gelijkaardig kunnen zones met een hoog potentieel als kraamkamer voor vissen gekenmerkt worden door een hogere zuurstofvereiste (zie ook Bijlage B.2). Door deze zaken in rekening te brengen, kan een kwalitatieve evaluatie van de zuurstofhuishouding bekomen worden.

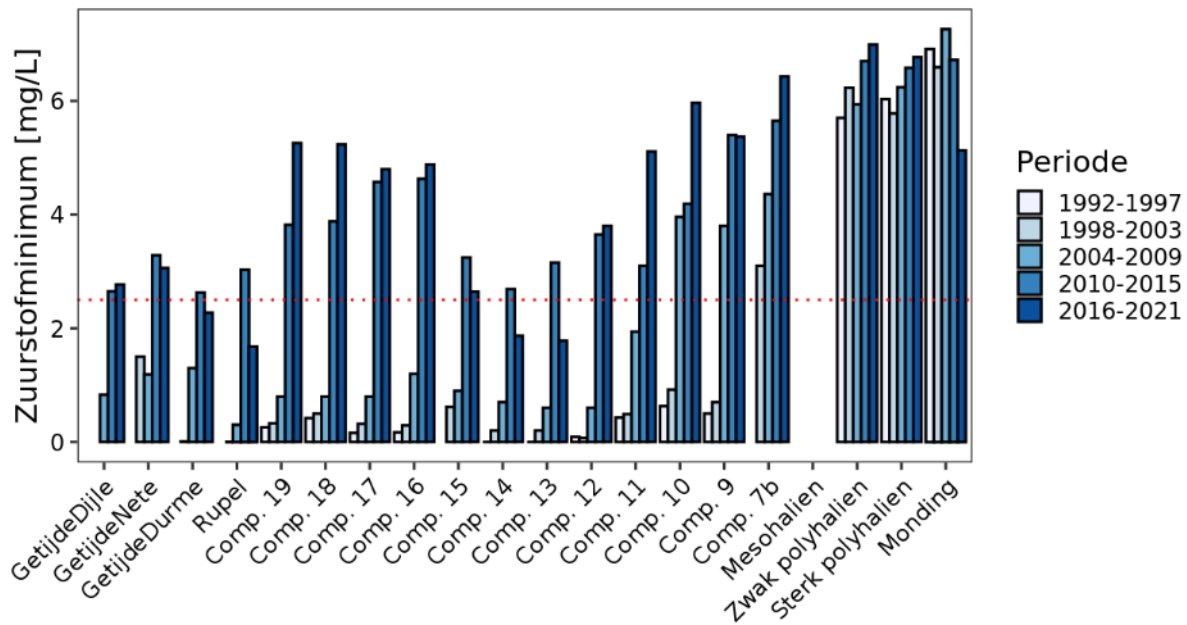
3.2.1. Absoluut minimum

Definitie

De rekenparameter die bepaald dient te worden, is de laagste zuurstofconcentratie die gemeten wordt gedurende een periode van zes jaar. De grenswaarde voor dit absoluut minimum wordt gelegd op 2,5 mg/L en wordt gehanteerd omdat deze waarde leidt tot een toename van de mortaliteit bij het macrozoöbenthos en bij vissen. Een daling van het zuurstofgehalte onder het zuurstofminimum van 2,5 mg/L kan dan ook ernstige gevolgen hebben voor het ecosysteem van de Schelde. Deze rekenparameter wordt geanalyseerd in elk compartiment (niveau 4) van de Zeeschelde en elke zone (niveau 3) in de Westerschelde. De evaluatie vindt plaats voor de data voor ruimtelijke dekking en voor alle data voor temporele dekking (continue meetstations).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde segmenten en zones een minimale zuurstofconcentratie vertoont die hoger ligt dan de toetswaarde (zie Figuur 3-2). Echter, vier segmenten (*Getijde Durme*, *Rupel*, *Comp. 14* en *Comp. 13*) halen deze toetswaarde niet en vertoonden in de periode 2016-2021 een minimale zuurstofconcentratie die lager ligt dan 2,5 mg/L. Hiermee doen deze segmenten het slechter dan in de periode 2010-2015, toen de minimale zuurstofconcentraties hoger lagen dan 2,5 mg/L.



Figuur 3-2: Laagste zuurstofconcentratie die gemeten werd in de verschillende segmenten (Zeeschelde) en zones (Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Minima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft het toetscriterium weer (2,5 mg/L).

De zuurstofhuishouding blijkt vooral in de Zeeschelde te verbeteren, met hogere minimumwaarden in meerdere segmenten. Desalniettemin blijft er nog ruimte voor verbetering, voornamelijk wat betreft de Zijrivieren en de invloed die een uitzonderlijke situatie kan hebben op de zuurstofconcentratie. Voortbouwend op de resultaten van het AR en rekening houdend met bovenstaande duiding, wordt de rekenparameter *Absoluut minimum* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont aan dat bovenvermelde lage zuurstofwaarden voorkomen op ongeveer hetzelfde moment, namelijk juni 2016. Zo wordt in het segment *Rupel* de laagste concentratie gemeten in het meetstation *Niel* op 14 juni, gevolgd door de meting op 28 juni. Ook in het meetstation *Boom* (stroomopwaarts van *Niel*) wordt een te lage zuurstofconcentratie gemeten op 14 juni, maar alle overige metingen in het segment *Rupel* voor de periode 2016-2021 overschrijden de toetswaarde van 2,5 mg/L. In segment *Comp. 13* (stroomafwaarts van segment *Rupel*) wordt de laagste concentratie gemeten op 27 juni in meetstation *Bazel*, gevolgd door meetstation *Kruibeke* (stroomafwaarts van *Bazel*) op dezelfde dag. De metingen op 13 juni liggen rond 3 mg/L en dus net boven de toetswaarde van 2,5 mg/L. In segment *Comp. 14* (stroomopwaarts van segment *Rupel*) wordt de laagste concentratie gemeten op 13 juni in meetstation *Temse*, gevolgd door meetstation *Steendorp* (stroomafwaarts van *Temse*) op 27 juni. De metingen van 27 juni in *Temse* en van 13 juni in *Steendorp* voldoen slechts nipt aan de toetswaarde van 2,5 mg/L. Deze trend zet zich eveneens door in stroomopwaartse (segment *Comp. 15*) als in stroomafwaartse (segment *Comp. 12*) richting.

In het segment *GetijdeDurme* wordt de laagste zuurstofconcentratie in de periode 2016-2021 gemeten op 15 oktober 2019. Dit is eveneens de enige meting van de volledige zesjarige periode die de toetswaarde van 2,5 mg/L niet overschrijdt. Er kan dan ook gesteld worden dat de situatie in segment *GetijdeDurme* gelijkaardig is als in de periode 2010-2015, toen de toetswaarde net wel overschreden werd. Daarnaast valt ook op dat de metingen op 14 en 28 juni 2016 in de top vijf van laagste zuurstofconcentraties in segment *GetijdeDurme* zijn.

Indien de maand juni 2016 niet beschouwd wordt bij het analyseren en evalueren van de toetsparameter *Absoluut minimum*, dan wordt er direct een ander beeld bekomen. Zo voldoet enkel het segment *GetijdeDurme* niet aan de vooropgestelde toetswaarde (en ook dat betreft slechts een enkele meting), terwijl de minimale zuurstofconcentratie in nagenoeg alle segmenten lijkt toe te nemen. Enkel in segment *Monding* lijkt de zuurstofconcentratie te dalen (met de laagste concentraties waargenomen in het najaar (augustus – september – oktober) van 2018).

De maand juni van het jaar 2016 wordt gekenmerkt door lage zuurstofwaarden in de Oligohaliene zone van de Zeeschelde. Tegelijkertijd zijn de waargenomen debieten uitzonderlijk hoog, hetgeen weerspiegeld wordt door relatief lage ververstijden. Dit leidt tot een uitspoeling van de fytoplanktongemeenschap in de zoete zones stroomopwaarts, hetgeen ook door het OMES-rapport voor het jaar 2016 wordt geïllustreerd (Maris & Meire, 2017). Door deze uitspoeling primeert de respiratie (consumptie van zuurstof) in de stroomafwaartse zones (oligohalien), met een duidelijke afname van de zuurstofconcentratie tot gevolg. Naast de lage ververstijden van juni 2016 valt ook het aantal actieve overstorten (en de duur ervan) op, dat in 2016 ongeveer dubbel zo hoog lag ten opzichte van de jaren 2017 t.e.m. 2019 (2013 keer t.o.v. \pm 1000 keer).

De toename van de minimale zuurstofconcentratie kan ook deels toegeschreven worden aan verbeterde omstandigheden aan de grenzen van het estuarium. Zo tonen de meetstations *Bovenschelde* en *Zenne Zemst* een duidelijke toename in de minimale zuurstofconcentratie in de periode 2004-2015, doch deze lijkt de laatste jaren wat af te vlakken. Dit is vooral nefast voor het meetstation *Zenne Zemst*, waar het jaarlijks minimum in de voorbije zes jaar niet hoger lag dan 2,5 mg/L. Ook het meetstation *Dender* verdient extra vermelding door de waargenomen afname van de minimale zuurstofconcentratie doorheen de periode 2016-2021 ten opzichte van de periode 2010-2015.

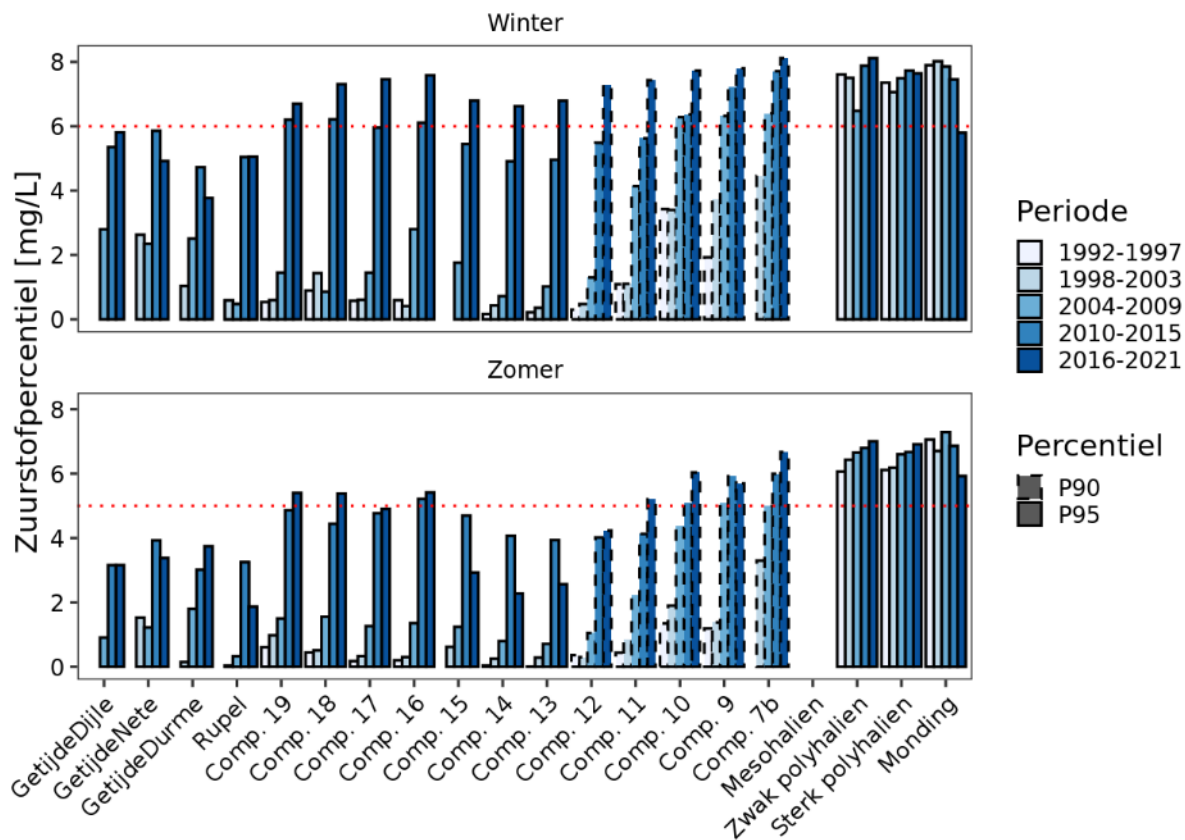
3.2.2. 95% overschrijding

Definitie

De rekenparameter die bepaald dient te worden, is de zuurstofconcentratie die door 95% van de metingen gedurende een periode van zes jaar overschreden wordt. De toetswaarde voor deze overschrijdingsparameter wordt gelegd op 5 mg/L tijdens de zomerperiode (april – september) en op 6 mg/L tijdens de winterperiode (oktober – maart). Voor de zone *Sterke saliniteitsgradiënt* (Z4; compartimenten 7b t.e.m. 12) wordt evenwel gewerkt met de overschrijding door 90% van de metingen, gezien deze zone van nature veel respiratie en een verhoogde kans op lage zuurstofconcentraties vertoont. De toetswaarde werd ingesteld om het overleven van alle doelsoorten mogelijk te maken, waarbij een kortstondige daling van het zuurstofgehalte onder deze toetswaarde kan plaatsvinden zonder grote gevolgen voor het ecosysteem van de Schelde. De rekenparameter wordt geanalyseerd in elk compartiment (niveau 4) van de Zeeschelde en elke zone (niveau 3) in de Westerschelde. De evaluatie vindt plaats voor de data voor ruimtelijke dekking en voor alle data voor temporele dekking (continue meetstations).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat er meer segmenten in de periode 2016-2021 voldoen aan het vooropgestelde criterium dan in de periode 2010-2015 (zie Figuur 3-3). De zones in de Westerschelde vertonen (net zoals de voorbije periodes) geen problemen met betrekking tot de zuurstofconcentratie en ook de Zeeschelde in het winterhalfjaar voldoet in de periode 2016-2021 in alle segmenten aan de toetswaarde van 6 mg/L. Tijdens het zomerhalfjaar zijn er evenwel vijf segmenten in de Zeeschelde die niet voldoen aan de toetswaarde van 5 mg/L. Hier kan een overlap waargenomen worden met de segmenten die ook niet voldoen aan de toetswaarde voor de rekenparameter *Absoluut minimum* (segmenten *Comp. 13* en *Comp. 14*), aangevuld in stroomopwaartse (segmenten *Comp. 15* en *Comp. 17*) en stroomafwaartse richting (segment *Comp. 12*).



Figuur 3-3: Laagste zuurstofpercentiel dat afgeleid werd in de verschillende segmenten (Zeeschelde) en zones (Westerschelde) in het Schelde-estuarium. De 5-percentielwaarde (P95) (10-percentielwaarde voor segmenten in de zone Saliniteitsgradiënt (P90)) werd afgeleid per seizoen (winter en zomer). Percentielen zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft het toetscriterium weer (Winter: 6 mg/L; Zomer: 5 mg/L).

De zuurstofhuishouding blijkt vooral in de Zeeschelde te verbeteren, met hogere percentielwaarden in de winterperiodes. In de zomerperiodes is er wel nog duidelijk ruimte voor verbetering, voornamelijk wat betreft de Zijrivieren (en hun invloed op de Schelde). Voortbouwend op de resultaten van het AR en rekening houdend met bovenstaande duiding, wordt de rekenparameter **95% overschrijding negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont ook hier aan dat bovenvermelde lage 5-percentielwaarden worden gestuurd door ongeveer dezelfde periode, namelijk juni 2016. Zo wordt de waarde voor segment *Comp. 13* bepaald door twee meetstations (*Bazel* en *Kruibeke*) met elks twee metingen in de maand juni. Daaropvolgend blijkt ook de zomer van 2021 (metingen van 29 juni, 12 juli en 2 augustus) tot relatief lage zuurstofwaarden in dit segment te hebben geleid (rond 4 mg/L), gevolgd door de zomers van 2019 en 2018. In de zomers van 2017 en 2020 was de zuurstofconcentratie steeds hoger dan 5 mg/L. Ook in segment *Comp. 14* (meetstations *Steendorp* en *Temse*) wordt het 5-percentiel sterk gestuurd door de metingen van juni 2016 en de daarmee verbonden metingen van mei, juli, augustus en zelfs september 2016. De zomers van 2021, 2019 en 2018 vertonen eveneens een onderschrijding van de vooropgestelde 5 mg/L, met waarden tussen 4 en 5 mg/L.

De segmenten *Comp. 15* en *Comp. 12* volgen een gelijkaardig patroon: de laagste waarden worden waargenomen in juni 2016, gevolgd door enkele of meerdere sporadische onderschrijdingen in de overige zomers. Zo vertoont de zuurstofconcentratie in segment *Comp. 15* (meetstations *Baasrode* en *Lippenbroek*) lichte onderschrijdingen in 2018, 2019 en 2020 (steeds hoger dan 4,6 mg/L). In segment *Comp. 12* (meetstation *Antwerpen*) ligt de zuurstofconcentratie in meerdere zomers net onder 5 mg/L (tussen 4,8 en 5 mg/L), zonder onderschrijding in 2017 en 2019. In segment *Comp. 17* (meetstations *Appels* en *Sint Onolfs*) zijn de metingen van juni 2016 minder duidelijk aanwezig en worden er ook onderschrijdingen waargenomen in de zomer van 2017, hetgeen in contrast staat met de overige segmenten. De onderschrijding is evenwel beperkt, met de laagst gemeten concentratie gelijk aan 4,80 mg/L.

Ook in de Zijrivieren vertoont de maand juni 2016 steevast lagere zuurstofconcentraties, maar zijn de onderschrijdingen frequenter. Zo vertoont het segment *GetijdeDijle* onderschrijdingen in elke zomer, aangevoerd door de zomers van 2016 en 2021. Beide zomers leiden ook tot duidelijke onderschrijdingen in het segment *Rupel* (meetstations *Boom*, *Niel* en *Terhagen*; zonder overschrijding in 2017) en in het segment *GetijdeNete* (weliswaar zonder onderschrijding in 2017 en 2018). Enkel in het segment *GetijdeDurme* zijn er jaarlijks onderschrijdingen en vallen de laagste waarden niet in de zomer van 2016, maar in die van 2020 en 2018.

Net zoals voor het absolute zuurstofminimum speelt het uitzonderlijke hoge debiet in de maand juni 2016 een rol in de afgeleide percentielwaarden. De uitspoeling van het fytoplankton en de verhoogde respiratie leiden tot duidelijke afnames in de zuurstofconcentratie stroomafwaarts (segmenten *Comp. 15* t.e.m. *Comp. 12*). De overige zomers worden dan weer gekenmerkt door een eerder lage hoeveelheid neerslag, wat dan weer tot hoge ververstijden en algenbloei leidt. Dit voorziet een basis voor een afname van de zuurstofconcentratie ten gevolge van een toename van organisch materiaal en de gelinkte respiratie. Ten slotte dient ook het noodweer van juli 2021 vermeld te worden, toen er op korte tijd een uitzonderlijke hoeveelheid neerslag viel in grote delen van West-Europa. In België werd voornamelijk het oosten getroffen, met o.a. het Maasbekken en Demerbekken. Ondanks de relatief beperkte bijdrage van de Demer (die uitmondt in de Dijle) kan ook dit geleid hebben tot een tijdelijke toename van de vuilvrucht en de daarmee gepaard gaande respiratie.

De toename van de percentielwaarden in de winterperiode kan deels toegeschreven worden aan verbeterde omstandigheden aan de grenzen van het estuarium. Zo tonen de meetstations *Bovenschede* en *Dijle Mechelen* een verdere toename van de afgeleide percentielwaarde in de periode 2004-2015, terwijl in het meetstation *Dender* eerder een afname plaatsvindt. In het meetstation *Zenne Zemst* neemt

de percentielwaarde in de winter licht toe, maar blijft deze in de zomerperiode nog steeds laag. De afgeleide percentielwaarde ligt voor beide seizoenen evenwel nauwelijks hoger dan 4 mg/L.

Een verrassende observatie is de afname van de zuurstofconcentratie in de zone *Monding* (zie ook Sectie 3.2.1). Een eenduidige verklaring is hiervoor nog niet voorhanden, maar er wordt wel opgemerkt dat een gelijkaardige daling sinds 2013-2014 ook elders in de Noordzee wordt waargenomen. Een visuele interpretatie van deze (plotse) daling wordt weergegeven in Bijlage B. Een tijdelijke afname van de zuurstofconcentratie door het excessief voorkomen van *Phaeocystis* behoort ook tot de mogelijkheden, maar een duidelijke toename van de bloeifrequentie en/of -intensiteit wordt niet waargenomen (zie verder, Sectie 5.3.2). Ook de watertemperatuur in de monding vertoont geen duidelijke verandering in de periode 2013-2014.

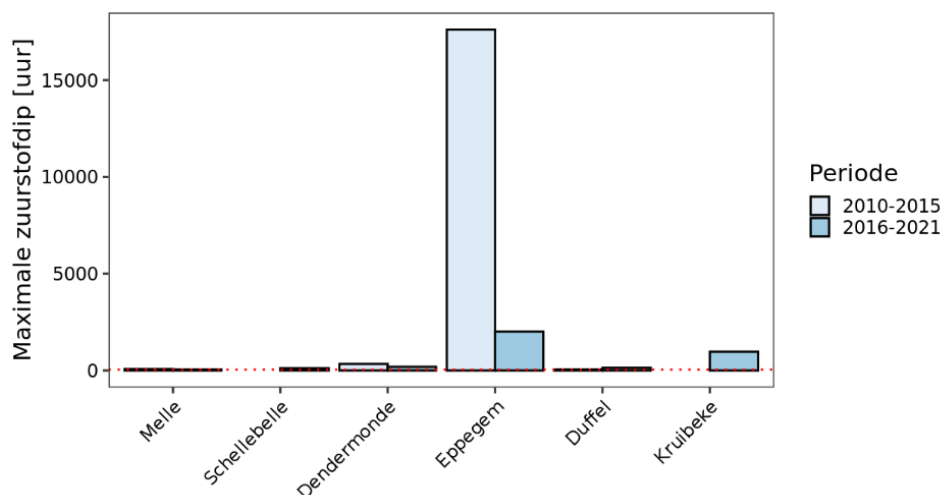
3.2.3. Duur dip

Definitie

De tolerantie voor lage zuurstofconcentratie (i.e. minder dan 5 mg/L in de zomer en minder dan 6 mg/L in de winter) is beperkt in tijd en ruimte, waardoor een dergelijke zuurstofdip preferentieel niet langer dan 48 uur duurt.

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat de beschouwde meetstations in de periode 2016-2021 net zoals in de periode 2010-2015 niet voldoen aan het vooropgestelde criterium (zie Figuur 3-4). Alle meetstations vertonen minstens een dip in de zuurstofconcentratie die langer dan 48 uur duurt, gaande van 57 uur (*Melle*) tot 2008 uur (*Eppegem*). Deze waarnemingen bouwen voort op de rekenparameters *Absoluut minimum* en *95% overschrijdingen*, met overschrijdingen van de maximale tijdsduur die aan uitzonderlijke omstandigheden (natte maand juni 2016) of de consistent droge zomers (2018, 2019, 2020 en 2021) gelinkt kunnen worden.



Figuur 3-4: Langste zuurstofdip dat afgeleid werd in de verschillende continue meetstations in het Schelde-estuarium over een periode van zes jaar. Het meetstation Kruikebe vertoonde geen enkele zuurstofdip in de periode 2010-2015. Maxima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippelijijn geeft het toetscriterium weer (48 uur).

Ondanks dat de zuurstofhuishouding lijkt te verbeteren op basis van de schepstalen, worden nog steeds langdurige zuurstoftekorten waargenomen met de continue meetposten. Er blijft dus nog zeker ruimte voor verbetering, voornamelijk wat betreft de Zijrivieren (Dender te *Dendermonde* en Zenne te *Eppegem*) en de invloed die een uitzonderlijke situatie kan hebben op de zuurstofconcentratie. Voortbouwend op de resultaten van het AR en rekening houdend met bovenstaande duiding, wordt de rekenparameter *Duur dip* **negatief geëvalueerd**.

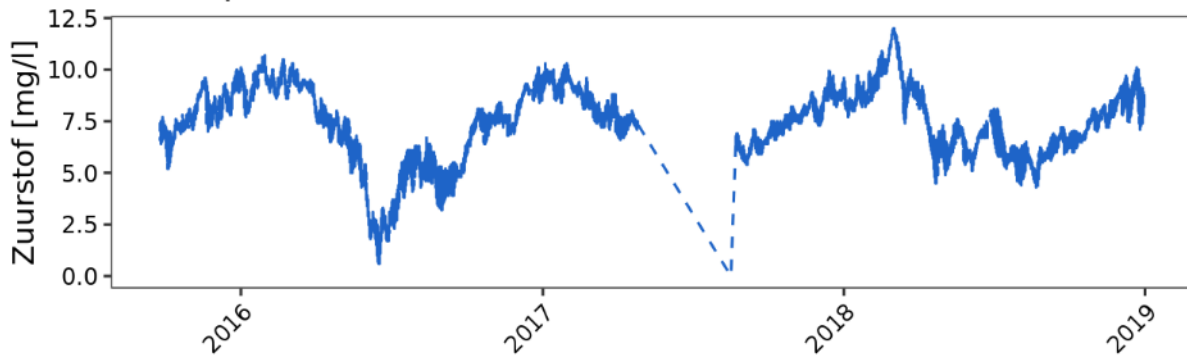
Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont ook hier aan dat de waargenomen dips in zuurstofconcentratie worden gestuurd door ongeveer dezelfde periode, namelijk de zomers van 2016 en 2018. Zo vertoont het meetstation *Kruikeke* een duidelijke overschrijding in juni 2016 met een zuurstofdip die 972 uur duurt (40,5 dagen), wat in de lijn ligt van de observaties voor de rekenparameter *Absoluut minimum* (zie Sectie 3.2.1). De tweede overschrijding in *Kruikeke* is moeilijker te verklaren met behulp van meteorologische omstandigheden, maar lijkt deels gestuurd door een defect van het meettoestel (zie Figuur 3-5). Ook het meetstation *Duffel* (regio *Beneden-Nete*, instroom van zone *Rupel*) vertoont duidelijk langdurige zuurstoftekorten in de zomer van 2016. Stroomopwaarts in de Zeeschelde (meetstations *Melle* en *Schellebelle*) is het begin van de zomer van 2018 (eind mei en begin juni) problematisch geweest voor de zuurstofconcentratie, maar verder zijn er geen overschrijdingen waargenomen (zie Tabel 3-1). De meetstations *Dendermonde* en *Eppegem* vertonen echter nog regelmatig langdurige zuurstoftekorten (zie ook Figuur 3-6 en Figuur 3-7).

Tabel 3-1: Overzicht van de drie langste zuurstofdips in de verschillende continue meetstations in het Schelde-estuarium. In sommige meetstations wordt de maximale duur van de zuurstofdip slechts een paar keer overschreden (bijv. Melle, Schellebelle en Kruikeke).

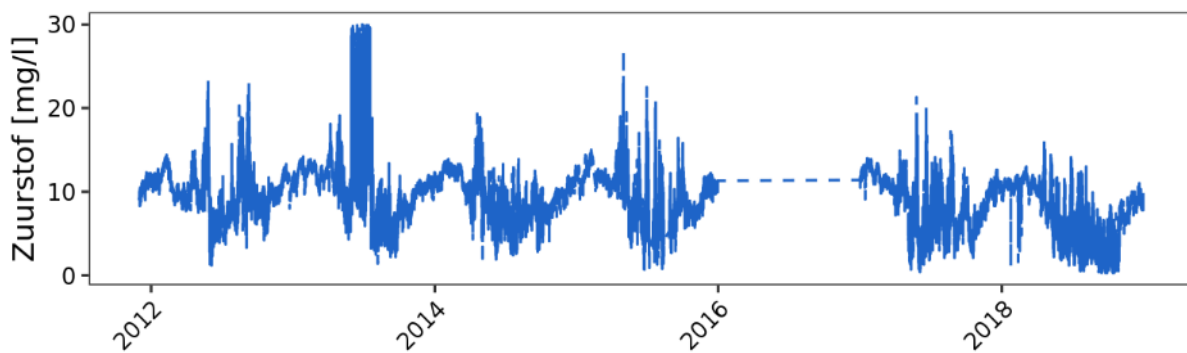
Station	Start dip	Duur dip (uur)
Melle	02/06/2018	56,92
	31/05/2016	38,83
	29/05/2018	29,08
Schellebelle	29/05/2018	116,83
	03/06/2018	9,33
	06/06/2018	7,50
Dendermonde	21/09/2018	192,33
	31/05/2017	163,33
	22/10/2018	159,33
Eppegem	07/08/2018	2007,67
	02/06/2018	1488,25
	05/04/2018	1122,50
Duffel	24/06/2016	137,00
	08/06/2016	81,00
	03/07/2016	75,25
Kruikeke	01/06/2016	972,33
	17/08/2017	146,00
	29/05/2016	11,92

Verloop Zuurstof in station 'Kruibeke SF/Zeeschelde'



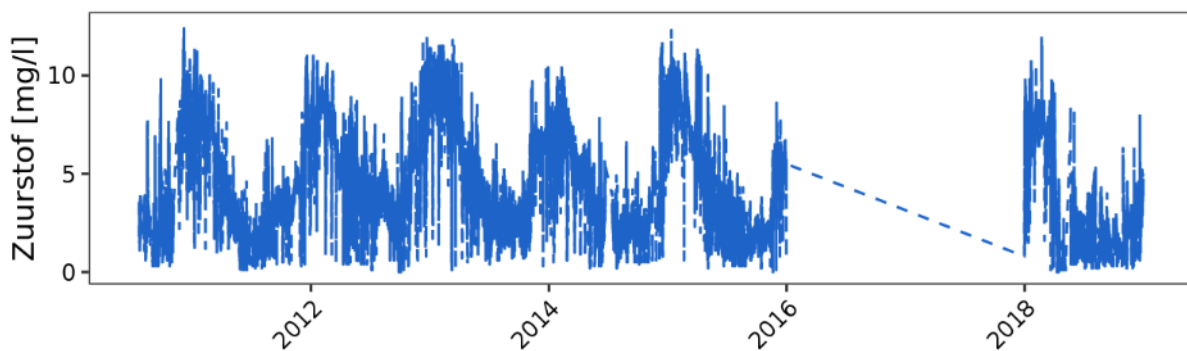
Figuur 3-5: Verloop van de zuurstofconcentratie in het meetstation Kruibeke. Het verloop suggereert een defect meettoestel in 2017, wat tot een artificiële 'zuurstofdip' kan leiden.

Verloop Zuurstof in station 'Dendermonde SF/Dender'



Figuur 3-6: Verloop van de zuurstofconcentratie in het meetstation Dendermonde. Het verloop suggereert een defect meettoestel in 2016 en een tekort in 2018. Metingen in 2013 zijn opvallend hoog en stellen de kwaliteit van de data in vraag.

Verloop Zuurstof in station 'Epepegem SF/Zenne'



Figuur 3-7: Verloop van de zuurstofconcentratie in het meetstation Epepegem. Het verloop suggereert een defect meettoestel in 2016-2017, wat tot een artificiële 'zuurstofdip' kan leiden. Zeer lage zuurstofconcentraties (< 2,5 mg/L) komen nog frequent voor.

Het debiet (en de geassocieerde verversstijden) speelt een belangrijke rol in de zuurstofhuishouding van een aquatisch ecosysteem. Een te laag debiet kan leiden tot (een tijdelijk) verhoogde productie door het aanwezige fytoplankton (algenbloei), waardoor er als gevolg van natuurlijke sterfte een overdaad van organisch materiaal aanwezig kan zijn, hetgeen kan leiden tot een zuurstoftekort ten gevolge van bacteriële respiratie. Aan de andere kant zorgt een te hoog debiet voor het uitstromen van het fytoplankton, waardoor nagenoeg geen zuurstof lokaal geproduceerd wordt. Dit is voornamelijk nefast wanneer de organische belasting vanuit het bekken relatief hoog is, waardoor de respiratie toeneemt (en de zuurstofconcentratie afneemt).

3.3. Toetsparameter Nutriënten

Nutriënten zijn essentiële componenten voor de groei en reproductie van levende organismen in aquatische ecosystemen. De samenstelling en het functioneren van de aquatische gemeenschap wordt dan ook in grote mate gestuurd door de aanwezigheid van verschillende nutriënten. Zo voorziet de aanwezigheid van koolstof één van de noodzakelijke bouwstenen voor de aanmaak van biomassa, maar in organische vorm kan het leiden tot zuurstofdepletie via bacteriële respiratie. Ook stikstof kan bijdragen tot een afname van de zuurstofconcentratie, zowel in organische als anorganische vorm. Bovendien kunnen verhoogde stikstofconcentraties leiden tot een verschuiving in de aanwezige fytoplanktongemeenschap, hetgeen eveneens geldt voor verhoogde fosforconcentraties. Ook silicium draagt bij tot een kwalitatieve fytoplanktongemeenschap, waarbij langdurige tekorten kunnen leiden tot een afname van diatomeeënbiomassa.

Niet alleen het estuarium ervaart de gevolgen van de aanwezigheid van nutriënten, maar ook de kustzone is onderhevig aan de aangevoerde voedingsstoffen. Verschuivingen in de mariene fytoplanktongemeenschap kunnen plaatsvinden door eutrofiëring van de kustzone als gevolg van verhoogde nutriëntstromen in het estuarium. Het opvolgen van de nutriëntstromen in het Schelde-estuarium is dan ook een belangrijke beheersopdracht teneinde ongewenste verschuiving in de mariene gemeenschap te vermijden. Bijgevolg worden voor deze toetsparameters de volgende rekenparameters gehanteerd: *FastNOD* (Sectie 3.3.1), *BOD-C* (Sectie 3.3.2), *TDIN* (Sectie 3.3.3), *Fosfaat* (Sectie 3.3.4), *Silicaat* (Sectie 3.3.5), *ICEP-DSi* (Sectie 3.3.6), *ICEP-TSi* (Sectie 3.3.7), *TDINflux* (Sectie 3.3.8), *Nitriet* (Sectie 3.3.9) en *Ammoniak* (Sectie 3.3.10).

3.3.1. FastNOD

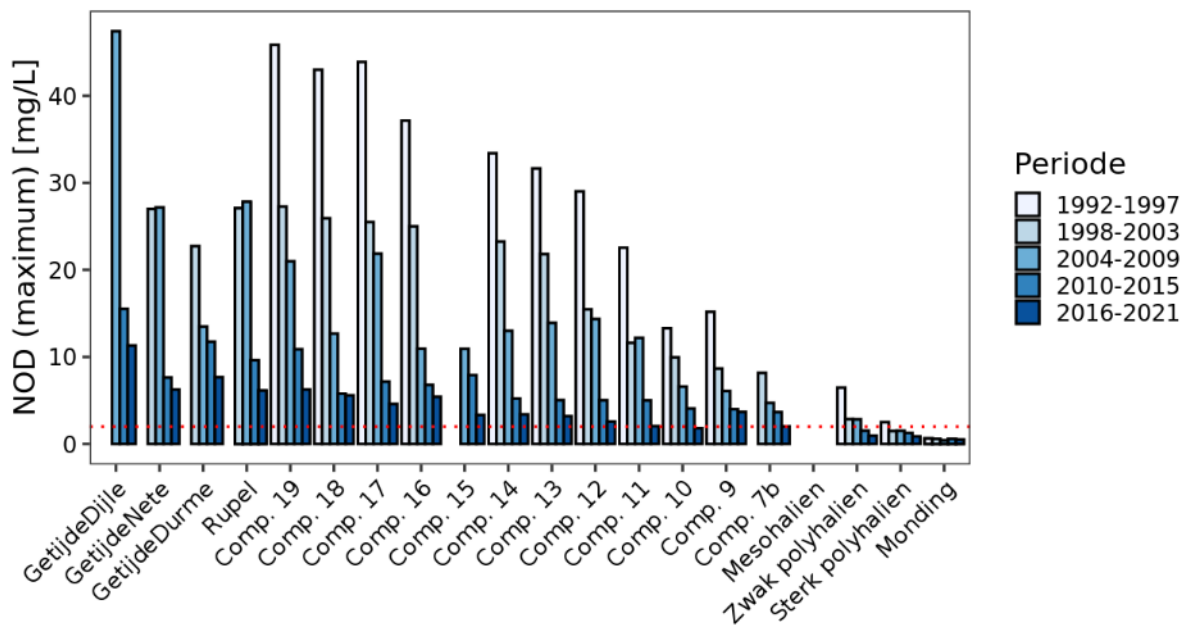
Definitie

Voortbouwend op het belang van zuurstof voor het ecologisch functioneren van een ecosysteem, is het belangrijk om te kijken naar die zaken die tot een (ongewenste) afname van de zuurstofconcentratie kunnen leiden. Zo kunnen de stikstofvormen NH_4^+ en NO_2^- leiden tot een afname van de beschikbare hoeveelheid zuurstof (omzetting tot NO_3^-), hetgeen weerspiegeld wordt door de stikstof-zuurstofvraag. Op basis van de concentraties aan NH_4^+ en NO_2^- kan een indicatie van de stikstof-zuurstofvraag bekomen worden. Deze indicator omvat enkel de zuurstofvraag voor de snelle omzetting van de anorganische stikstofcomponenten ammonium en nitriet. De zuurstofvraag voor de traag omzetbare stikstoffractie wordt bijgevolg niet meegenomen door deze rekenparameter. De zuurstofvraag voor nitrificatie (NOD) wordt benaderd op basis van de concentraties aan NH_4^+ en NO_2^- (zijnde de *fastNOD*), gebruik makend van Vergelijking 4.1. De bovengrens wordt gelegd op 2 mg/L en wordt beschouwd in elk segment (Zeeschelde) of zone (Westerschelde).

$$fastNOD = 4,33 \cdot [NH_4^+ - N] + \frac{16}{14} \cdot [NO_2^- - N] \quad (4.1)$$

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde segmenten en zones een maximale stikstof-zuurstofvraag vertoont die hoger ligt dan de toetswaarde (zie Figuur 3-8). Enkel de zones in de Westerschelde en de Monding voldoen aan het vooropgestelde criterium, aangevuld met het segment *Comp. 10*. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 net iets beter dan in de periode 2010-2015, toen er geen enkel compartiment in de Zeeschelde (of Zijrivieren) aan de toetswaarde voldeed.



Figuur 3-8: Hoogste stikstof-zuurstofvraag (Nitrogen Oxygen Demand; NOD) die afgeleid werd in de verschillende segmenten (Zeeschelde) en zones (Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Maxima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft het toetscriterium weer (2 mg/L).

Ondanks deze talrijke overschrijdingen doorheen de Zeeschelde en Zijrivieren geeft de onderliggende trend wel een relatief positief beeld. Een vergelijking van de maximale stikstof-zuurstofvraag tussen de verschillende 6-jarige periodes toont duidelijk aan dat dit maximum afneemt in de tijd (zie Figuur 3-8). Bovendien ligt deze maximale waarde in de periode 2016-2021 voor meerdere segmenten in de Zeeschelde dicht bij de vooropgestelde toetswaarde, waardoor het goed mogelijk is dat deze segmenten in de nabije toekomst wel zullen voldoen aan het voorgeschreven criterium.

De stikstof-zuurstofvraag blijkt vooral in de Zeeschelde nog een groot probleem te zijn, met overschrijdingen van de toetswaarde in nagenoeg alle segmenten. De onderliggende trend geeft een positief signaal voor de nabije toekomst, maar er is zeker nog ruimte voor verbetering, voornamelijk wat betreft de Zijrivieren en de segmenten stroomopwaarts. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *fastNOD* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data die zich richt op de individuele overschrijdingen van het toetscriterium in de periode 2016-2021 gaat voorbij aan het doel van dit rapport, gezien er meer dan 300 overschrijdingen worden waargenomen. Wel wordt opgemerkt dat het merendeel van de meest extreme overschrijdingen (> 5,5 mg/L) zich voordoen in de winter (oktober t.e.m. maart) en dat deze voornamelijk voorvallen in het segment *Rupel* en de stroomopwaartse segmenten *GetijdeDijle* en *GetijdeNete*. Doordat deze overschrijdingen zich voornamelijk in de winterperiode voordoen, is de kans op impactvolle zuurstoftekorten ecologisch gezien ook kleiner (Maris *et al.*, 2020).

De afgeleide stikstof-zuurstofvraag wordt gestuurd door de aanwezigheid van ammonium en nitriet (Vergelijking 4.1). Een afname van de NOD komt dus voort uit een afname van de ammonium- en/of nitrietconcentratie die rechtstreeks of via het bekken in de Schelde terechtkomen. Een eerste verklaring voor de waargenomen trend is de instroom via de grenzen van het estuarium. Een aantal van deze meetstations vertonen een duidelijke afname van de NOD in de periode 2004-2015, maar deze afname zet zich niet door in de periode 2016-2021 (met uitzondering van het meetstation *Durme*). Voornamelijk de Zenne wordt gekenmerkt door een zeer hoge stikstof-zuurstofvraag (geïllustreerd door de hoge NOD-waarden in het segment *GetijdeDijle*), met jaarlijkse maxima die frequent hoger liggen dan 20 mg/L. Ondanks de afname van de NOD door de operationele opstart van afvalwaterzuivering sinds 2007-2008, lijkt de vuilvracht vanuit de Zenne de laatste jaren terug licht toe te nemen (Maris *et al.*, 2020). Daarnaast dragen ook de Bovenschelde, Dender, Kleine Nete en Grote Nete bij aan de stikstof-zuurstofvraag met jaarlijkse maxima rond 7 mg/L.

Het is ook mogelijk dat de bijdrage van directe lozingen in de Schelde is afgenomen, hetgeen deels gesuggereerd wordt door een lichte toename in de riolerings- en zuiveringsgraad van de beschouwde bekkens. Het is evenwel waarschijnlijker dat de algemene toename van de zuurstofconcentratie (ondanks het niet voldoen aan de vooropgestelde criteria) een bijdrage levert aan de afname van de NOD. Hoe meer zuurstof er beschikbaar is, hoe eenvoudiger nitrificatie kan doorgaan en hoe lager de ammonium- en nitrietconcentraties zijn. Desalniettemin blijft er ook hier ruimte voor verbetering in de Zeeschelde, maar specifiek ook met betrekking tot de Zijrivieren.

3.3.2. BOD-C

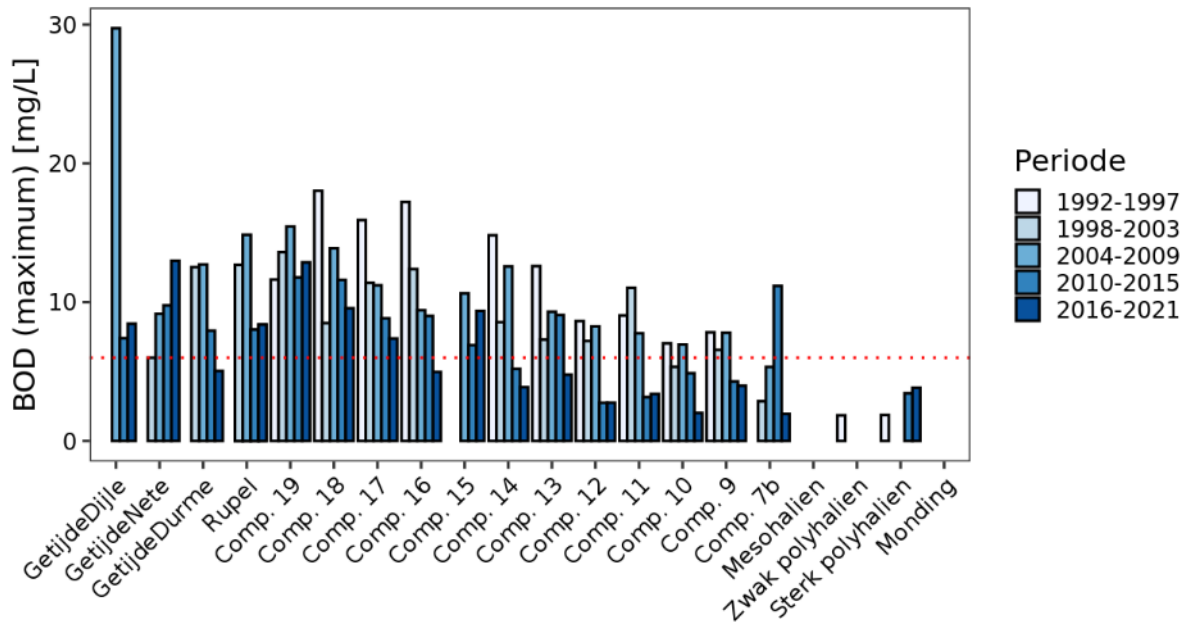
Definitie

De zuurstofvraag voor koolstofmineralisatie (BOD-C) is losgekoppeld van de stikstof-zuurstofvraag (NOD) en wordt bepaald door het toedienen van een nitrificatieremmer bij de start van het BOD experiment. Indien geen nitrificatieremmer wordt gebruikt, kan de BOD-C ook afgeleid worden door het originele BOD-resultaat te verminderen met de stikstof-zuurstofvraag. De bovengrens wordt gelegd op 6 mg/L en wordt beschouwd in elk segment van de Zeeschelde. In de Westerschelde wordt er geen analyse van de BOD-C uitgevoerd omdat de gemeten BOD-waarden zeer laag zijn door de sterke verdunning die optreedt (zie bijv. Stolte en van Rongen (2019)). Aangezien de nauwkeurigheid van de metingen twijfelachtig wordt bij zeer lage BOD-waarden is een analyse en evaluatie van deze zones overbodig.

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde segmenten een maximale koolstof-zuurstofvraag vertoont die lager ligt dan de toetswaarde (zie Figuur 3-9).

Voornamelijk de segmenten stroomafwaarts (vanaf segment *Comp. 14*) voldoen aan het vooropgestelde criterium, aangevuld met het segment *Comp. 16*. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 net iets beter dan in de periode 2010-2015, toen het merendeel van de compartimenten in de Zeeschelde (of Zijrivieren) niet aan de toetswaarde voldeed.



Figuur 3-9: Hoogste koolstof-zuurstofvraag (Biochemical Oxygen Demand; BOD) die afgeleid werd in de verschillende segmenten (Zeeschelde) en zones (Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Maxima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft het toetscriterium weer (6 mg/L).

Ondanks de waargenomen overschrijdingen doorheen de Zeeschelde en Zijrivieren geeft de onderliggende trend wel een relatief positief beeld. Een vergelijking van de maximale koolstof-zuurstofvraag tussen de verschillende 6-jarige periodes toont aan dat dit maximum in verschillende segmenten afneemt in de tijd (zie Figuur 3-9). In de segmenten waarvoor een overschrijding van de toetswaarde wordt waargenomen is de overschrijding ook ineens zeer duidelijk, waardoor het goed mogelijk is dat deze segmenten ook in de nabije toekomst niet zullen voldoen aan het voorgeschreven criterium.

De koolstof-zuurstofvraag blijkt vooral stroomopwaarts nog een groot probleem te zijn, met overschrijdingen van de toetswaarde in nagenoeg alle zoete segmenten. De onderliggende trend in de segmenten stroomafwaarts geeft een positief signaal voor de nabije toekomst, maar er is zeker nog ruimte voor verbetering, voornamelijk wat betreft de Zijrivieren en de segmenten stroomopwaarts. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *BOD-C* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data die zich richt op de individuele overschrijdingen van het toetscriterium in de periode 2016-2021 gaat voorbij aan het doel van dit rapport, gezien er meer dan 100 overschrijdingen worden waargenomen. Wel wordt opgemerkt dat het merendeel van de meest extreme overschrijdingen (> 9 mg/L) zich voordoen in het voorjaar (april t.e.m. juli) en dat deze voornamelijk voorvallen in het segment *Zoet kort verblijf*. Voorts is het opvallend dat segment *Comp.*

15 niet aan het toetscriterium voldoet, terwijl de naburige segmenten wel voldoen. Dit blijkt gestuurd door twee overschrijdingen in meetstation *Baasrode* in mei 2017 en juni 2019. In het segment *Rupel* wordt slechts een enkele overschrijding in het meetstation *Terhagen* waargenomen, eveneens in juni 2017 en aangevuld met meerdere metingen in de zomer van 2017 die net onder het toetscriterium liggen. Ook de naburige segmenten *GetijdeNete* (2 overschrijdingen) en *GetijdeDijle* (1 overschrijding) worden gekenmerkt door overschrijdingen in de maand juni van 2017.

De afgeleide koolstof-zuurstofvraag wordt gestuurd door de aanwezigheid van organisch materiaal en de stikstof-zuurstofvraag (Vergelijking 4.1). Een afname van de BOD komt dus voort uit een afname van het organisch materiaal en/of de stikstof-zuurstofvraag dat aanwezig is in de Schelde en/of dat rechtstreeks of via het bekken in de Schelde terechtkomt. Een eerste verklaring voor de waargenomen overschrijdingen kan gevonden worden in de primaire productie. In de lente- en zomermaanden neemt de biomassa van het fytoplankton toe onder invloed van het toenemende zonlicht en de beschikbare nutriënten. Deze algenbloei is typisch sterk in de zoete zones en kan daardoor leiden tot een toename van het organisch materiaal (en bijgevolg het BOD-gehalte) zonder dat dit noodzakelijk negatieve gevolgen heeft voor het ecologisch functioneren.

Een tweede verklaring voor de waargenomen trend is de instroom via de grenzen van het estuarium. Een aantal van deze meetstations vertonen een afname van de BOD in de periode 2010-2015, maar deze afname zet zich niet door in de periode 2016-2021. Het meetstation *Dender* wordt dan weer gekenmerkt door een toename van het maximale jaarlijkse BOD-gehalte, terwijl het meetstation *Dijle Mechelen* een afname vertoont na een toename in de periode 2010-2015. In het merendeel van de meetstations blijft het maximale jaarlijkse BOD-gehalte evenwel onder het toetscriterium, met uitzondering van het meetstation *Dender* (met maxima die hoger liggen dan 7,5 mg/L).

Het is ook mogelijk dat de bijdrage van directe lozingen in de Schelde is afgenomen, hetgeen deels gesuggereerd wordt door een lichte toename in de riolerings- en zuiveringsgraad van de beschouwde bekkens. Het is evenwel waarschijnlijker dat de algemene toename van de zuurstofconcentratie (ondanks het niet voldoen aan de vooropgestelde criteria) een bijdrage levert aan de afname van de BOD. Hoe meer zuurstof er beschikbaar is, hoe eenvoudiger oxidatie kan doorgaan. Desalniettemin blijft er ook hier ruimte voor verbetering in de Zeeschelde, maar specifiek ook met betrekking tot de Zijrivieren.

3.3.3. TDIN

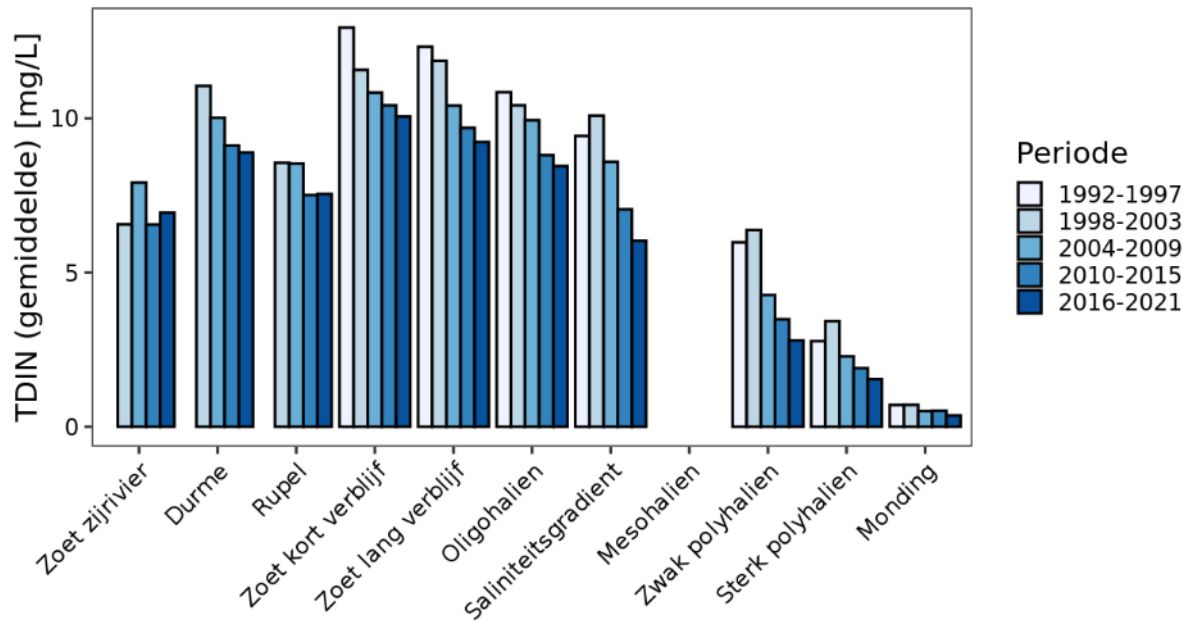
Definitie

Op basis van de concentraties aan NH_4^+ , NO_2^- en NO_3^- kan een indicatie van de hoeveelheid anorganische stikstof bekomen worden. Deze rekenparameter werkt als een indicator voor de stikstofvracht, met als doel om algenbloei (en de geassocieerde zuurstofconsumptie) in het estuarium niet te laten ontsporen. De totale hoeveelheid anorganische stikstof wordt benaderd op basis van de concentraties aan NH_4^+ , NO_2^- en NO_3^- , gebruik makend van Vergelijking 4.2. De bovengrens wordt gelegd op het 6-jarig gemiddelde gedurende de periode 2004-2009 (i.e. de T2009-periode) en wordt beschouwd in elke zone (Zeeschelde en Westerschelde).

$$TDIN = [\text{NH}_4^+ - N] + [\text{NO}_2^- - N] + [\text{NO}_3^- - N] \quad (4.2)$$

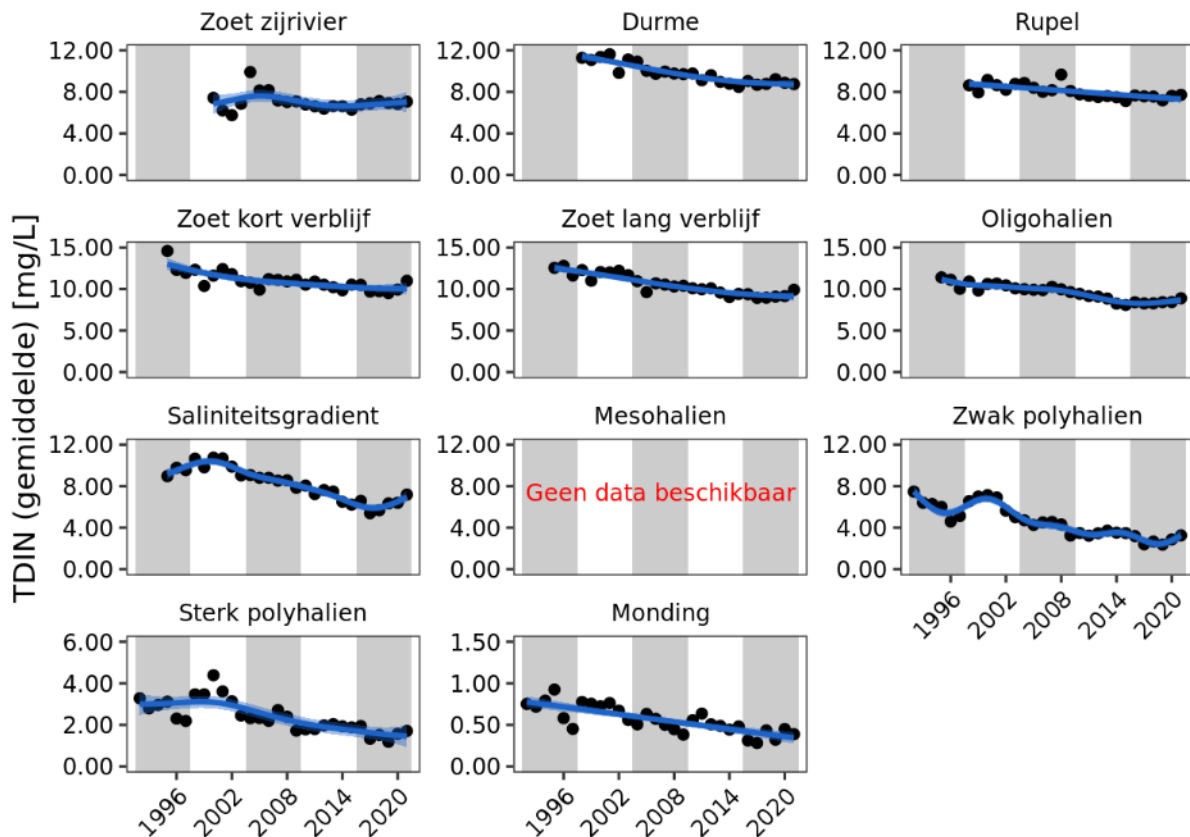
Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde zones een gemiddelde anorganische stikstofconcentratie vertoont die in de periode 2016-2021 lager ligt dan de gemiddelde concentraties in de periodes 2004-2009 en 2010-2015 (zie Figuur 3-10). Enkel de zone *Zoet zijrivier* vertoont een licht hoger gemiddelde ten opzichte van de periode 2010-2015. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 net iets beter dan in de periode 2010-2015.



Figuur 3-10: Gemiddelde concentratie aan anorganische stikstof (Total Dissolved Inorganic Nitrogen; TDIN) die afgeleid werd in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Gemiddeldes zijn berekend per periode van zes jaar.

Ondanks het voldoen aan het vooropgestelde toetscriterium, geeft de onderliggende trend een eerder dubbel beeld. Een vergelijking van de gemiddelde anorganische fosfaatconcentratie tussen de verschillende 6-jarige periodes toont aan dat dit gemiddelde in verschillende zones afneemt in de tijd (zie Figuur 3-10). Enkel in de zones *Rupel* en *Zoet zijrivier* (die stroomopwaarts van de zone *Rupel* gelegen is) wordt er eerder een lichte toename ten opzichte van de periode 2010-2015 waargenomen, hetgeen een negatieve evolutie weerspiegelt. Het is mogelijk dat dit een voorbode is voor wat er in de overige zones kan gebeuren, aangezien ook de temporele trends per zone een lichte toename van de stikstofconcentratie vertonen in de laatste twee jaar (zie Figuur 3-11). Verdere opvolging in de komende jaren is hier dan ook zeker aangeraden.



Figuur 3-11: Temporeel verloop van de gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid anorganische stikstof (TDIN), weergegeven per zone van het Schelde-estuarium. Het merendeel van de zones vertoont, na een periode van afname, een lichte toename in de jaren 2020 en 2021.

De hoeveelheid anorganische stikstof blijkt – in het kader van de T-rapportage – vooral in het Rupelbekken nog een groot probleem te zijn, met toenames van de gemiddelde jaarlijkse concentratie in beide zones. De onderliggende trend in de zones stroomafwaarts geeft een positief signaal voor de nabije toekomst, maar er is zeker nog ruimte voor verbetering, voornamelijk wat betreft de Zijrivieren en het Rupelbekken. Hierbij dient ook opgemerkt te worden dat de afgeleide gemiddelde concentraties van anorganische stikstof nog veraf liggen van de bestaande milieukwaliteitsnormen². Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *TDIN* alsnog **positief geëvalueerd**.

Verklaring

De afgeleide gemiddelde concentratie van anorganische stikstof wordt gestuurd door de aanwezigheid van ammonium, nitriet en nitraat (Vergelijking 4.2). Een afname van de TDIN komt dus voort uit een afname van de ammonium- en/of nitriet- en/of nitraatconcentratie die rechtstreeks of via het bekken in de Schelde terechtkomen. Een eerste verklaring voor de waargenomen afnames kan gevonden worden in de afname van de hoeveelheid ammonium en nitriet, zoals eerder vermeld in Sectie 3.3.1 (rekenparameter *fastNOD*). Ondanks dat de stikstof-zuurstofvraag het voorgeschreven toetscriterium

² VLAREM II, Bijlage 2.3.1 stelt (onder andere) een norm van 2,5 mg/L totaal-stikstof in het zomerhalfjaar in (zeer) grote rivieren en oligohaliene systemen voor. Aangezien TDIN een onderdeel is van de hoeveelheid totaal-stikstof dient deze dus lager te liggen dan (of minstens gelijk te zijn aan) 2,5 mg/L.

nog in meerdere segmenten overschrijdt, wordt er wel een verbetering waargenomen. Hierdoor neemt ook het absolute aandeel dat ammonium en nitriet (gecombineerd) bijdragen aan de totale hoeveelheid anorganische stikstof af. Een gelijktijdige toename van de hoeveelheid nitraat kan er evenwel nog toe leiden dat het uiteindelijke TDIN-gehalte alsnog toeneemt.

Een tweede verklaring voor de waargenomen trend is de instroom via de grenzen van het estuarium. Het merendeel van deze meetstations vertoont een afname van de TDIN in de periode 2004-2015, maar deze afname zet zich niet door in de periode 2016-2021 (met uitzondering van het meetstation *Walcheren 2 km*). Voornamelijk de Bovenschelde en de Dijle worden gekenmerkt door hoge stikstofconcentraties, met jaarlijkse gemiddelde concentraties die frequent hoger liggen dan 8 mg/L. Daarnaast kan er ook een lichte toename waargenomen worden in de bijdrage van de Dender, Kleine Nete en het havengebied.

De toename van de hoeveelheid anorganische stikstof die aan de grenzen van het estuarium wordt opgemerkt, zet zich ook door naar de Schelde zelf. In Figuur 3-11 is een lichte toename van TDIN in meerdere zones zichtbaar, hetgeen ook door de VMM waargenomen en gerapporteerd wordt. Deze toenames worden deels toegewezen aan de droge zomers sinds 2017, waardoor gewassen beperkt groeiden en stikstof opnamen. Bijgevolg neemt de kans op een hogere bodemvoorraad stikstof toe (bij beperkte aanpassing van het bemestingsregime), met een verhoogde uitspoeling als resultaat (VMM, 2022).

Het is ook mogelijk dat de bijdrage van ammonium en nitriet door directe lozingen in de Schelde is afgenomen, hetgeen deels gesuggereerd wordt door een lichte toename in de riolerings- en zuiveringsgraad van de beschouwde bekkens. Het is evenwel waarschijnlijker dat de algemene toename van de zuurstofconcentratie (ondanks het niet voldoen aan de vooropgestelde criteria) een bijdrage levert aan de omzetting van ammonium en nitriet naar nitraat. Bovendien dient opgemerkt te worden dat ook het debiet een rol speelt in de waargenomen concentraties, aangezien een gelijkaardige vracht van stikstof leidt tot toenames van de stikstofconcentraties bij een afnemend debiet. Zo vertonen meerdere stations een gelijkaardige stikstofvracht als in de voorgaande jaren (zie verder, Sectie 3.3.8), terwijl de stikstofconcentratie toeneemt. Bijgevolg blijft er ook hier ruimte voor verbetering, met specifieke aandacht voor de invoer door de verschillende zijrivieren vanuit het bekken.

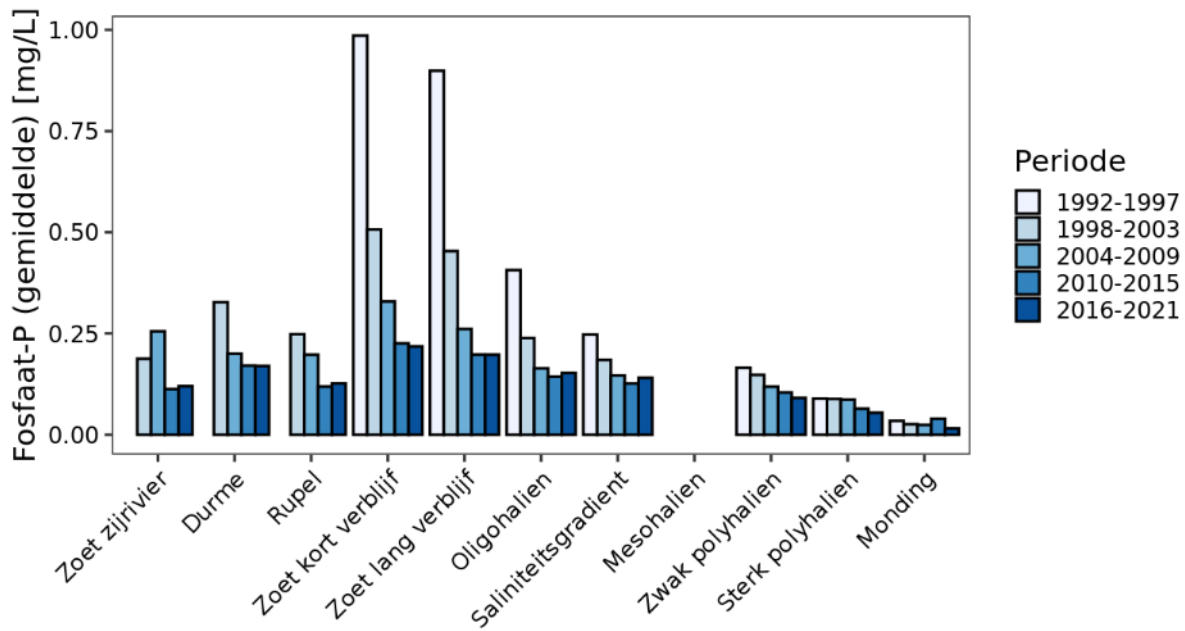
3.3.4. Fosfaat

Definitie

De rekenparameter *Fosfaat* wordt opgevolgd om algenbloei (en de geassocieerde zuurstofconsumptie) in het estuarium niet te laten ontsporen. De bovengrens wordt gelegd op het 6-jarig gemiddelde gedurende de periode 2004-2009 (i.e. de T2009-periode) en wordt beschouwd in elke zone (Zeeschelde en Westerschelde).

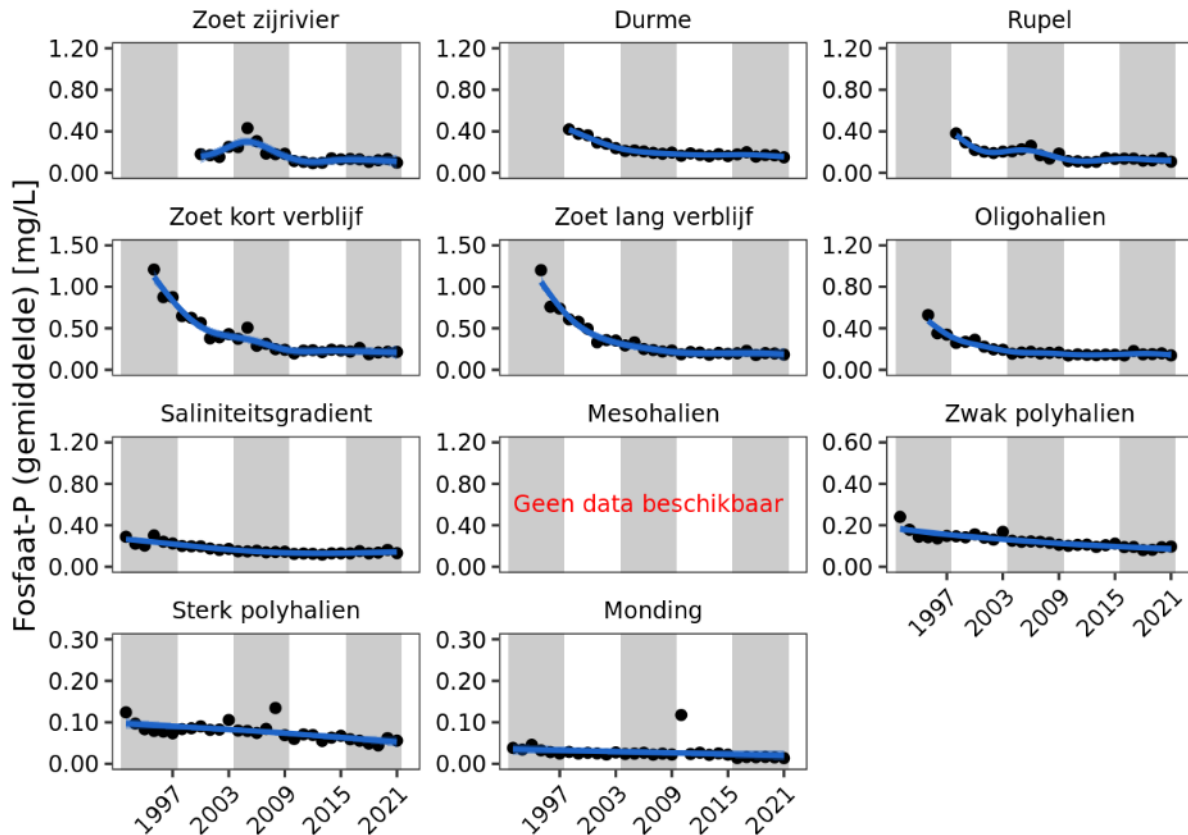
Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde zones een gemiddelde fosfaatconcentratie vertoont die in de periode 2016-2021 lager ligt dan de gemiddelde concentraties in de periode 2004-2009 (zie Figuur 3-10). In vergelijking met de periode 2010-2015 vertonen de meeste zones in de Zeeschelde en de Zijvieren een (zeer) lichte toename van de gemiddelde fosfaatconcentratie in de periode 2016-2021. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 net iets slechter dan in de periode 2010-2015.



Figuur 3-12: Gemiddelde concentratie aan fosfaat-fosfor die afgeleid werd in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Gemiddeldes zijn berekend per periode van zes jaar.

Ondanks het voldoen aan het vooropgestelde toetscriterium, geeft de onderliggende trend een eerder dubbel beeld. Een vergelijking van de gemiddelde fosfaat-fosforconcentratie tussen de verschillende 6-jarige periodes toont aan dat dit gemiddelde in verschillende zones lager ligt dan in de periode 2004-2009, maar dat deze trend zich niet verderzet (zie Figuur 3-12). Enkel in de zones in de Westerschelde wordt er eerder een lichte afname ten opzichte van de periode 2010-2015 waargenomen, hetgeen een positieve evolutie weerspiegelt. Het is mogelijk dat deze trend zich ook de komende jaren op een gelijkaardige wijze voortzet, met een stagnatie in de Zeeschelde en een afname in de Westerschelde (zie Figuur 3-13). Verdere opvolging in de komende jaren is hier dan ook zeker aangeraden.



Figuur 3-13: Temporeel verloop van de gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid fosfaat-fosfor, weergegeven per zone van het Schelde-estuarium.

De hoeveelheid fosfaat blijkt – in het kader van de T-rapportage – vooral in de Zeeschelde en de Zijrivieren nog relatief groot te zijn, met een (lichte) toename van de gemiddelde jaarlijkse concentratie. De onderliggende trend in de zones stroomafwaarts geeft een positief signaal voor de nabije toekomst, maar er is zeker nog ruimte voor verbetering, voornamelijk wat betreft de Zeeschelde en de verschillende Zijrivieren. Hierbij dient ook opgemerkt te worden dat de afgeleide gemiddelde concentraties van fosfaat in de zoete zones nog veraf liggen van de bestaande milieukwaliteitsnormen³. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Fosfaat* alsnog **positief geëvalueerd**.

Verklaring

De afgeleide gemiddelde concentratie van fosfaat komt voort uit de hoeveelheid fosfaat die rechtstreeks of via het bekken in de Schelde terecht komt. Een eerste verklaring voor de waargenomen stagnatie van de fosfaatconcentratie is de instroom via de grenzen van het estuarium. Het merendeel van deze meetstations vertoont een afname van de fosfaatconcentratie in de periode 2004-2015, maar deze afname zet zich niet door in de periode 2016-2021 (met uitzondering van het meetstation *Zenne Zemst* in de laatste jaren). Voornamelijk de Bovenschelde, de Dender en de Zenne worden gekenmerkt door hoge fosfaat-fosforconcentraties, met jaarlijkse gemiddelde concentraties die frequent hoger liggen dan

³ VLAREM II, Bijlage 2.3.1 stelt (onder andere) een norm van 0,14 mg/L fosfaat-fosfor in grote rivieren en oligohaliene systemen voor.

0,20 mg/L. Opvallend is wel de tijdelijke toename van fosfaat in het meetstation *Grote Nete* (alook beperkt zichtbaar in meetstations *Kleine Nete* en *Dijle Mechelen*; en in de zones *Zoet zijrivier* en *Rupel*, zie Figuur 3-13) in de periode 2014-2017. Dit is potentieel gelinkt met de aangepaste lozingsvergunning van Tessenderlo Chemie en de resulterende afname van de lozing van calciumchloride (zie verder; Sectie 3.4.1). Zo kan een overdaad van calcium leiden tot het neerslagen van calciumfosfaat, waardoor nalevering kan plaatsvinden door een afname van de input van calcium en het weer in oplossing gaan van calciumfosfaat. Of dit de tijdelijke toename van fosfaat volledig verklaart, is momenteel onduidelijk en dient nog verder onderzocht te worden.

Het is ook mogelijk dat de bijdrage van directe lozingen in de Schelde is afgenomen, hetgeen deels gesuggereerd wordt door een lichte toename in de riolerings- en zuiveringsgraad van de beschouwde bekkens. Desalniettemin blijft er ook hier ruimte voor verbetering, met specifieke aandacht voor de invoer door de verschillende zijrivieren vanuit het bekken.

3.3.5. Silicaat

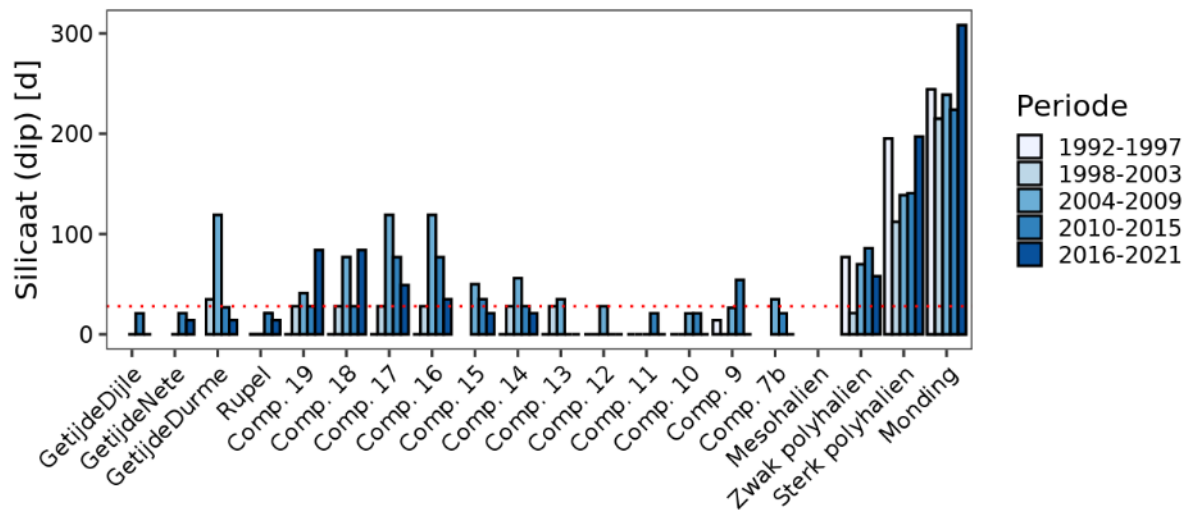
Definitie

Silicium (Si) speelt een sleutelrol bij verschuivingen in de fytoplanktongemeenschap. De relatieve beschikbaarheid van Si ten opzichte van N en P bepaalt grotendeels of de fytoplanktongemeenschap bestaat uit een diatomeeën- of een niet-diatomeeëngemeenschap. Silicium wordt in de vorm van silicaat (SiO_2) opgenomen door diatomeeën, waarna het omgezet wordt naar biogeen silicium (BSi). Een langdurig tekort aan silicaat leidt tot een toename van het relatieve belang van niet-diatomeeënsoorten in een fytoplanktongemeenschap, hetgeen een negatief gevolg is van eutrofiëring. De ondergrens wordt gelegd op 0,6 mg/L (of 0,01 mM silicium) en de waargenomen concentraties liggen preferentieel niet langer dan 4 weken (28 dagen) lager dan deze ondergrens. De beoordeling wordt bepaald in elk compartiment (niveau 4) in de Zeeschelde en elke zone (niveau 3) in de Westerschelde.

Observatie en evaluatie

Merk op dat de parameter geëvalueerd wordt op basis van een temporele analyse. Door de beperkte temporele resolutie van de gegevens wordt er een schatting gemaakt van de duur van het silicaattekort. Zo wordt als startdatum van het tekort steeds de eerste dag waarop de silicaatconcentratie lager ligt dan 0,6 mg/L beschouwd, terwijl het tekort al enkele dagen aanwezig kan zijn. Zo ook wordt als einddatum van het tekort steeds de eerste dag waarop de silicaatconcentratie terug hoger ligt dan 0,6 mg/L beschouwd, terwijl het tekort al enkele dagen verholpen kan zijn.

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde segmenten een maximale silicaatdip vertoont die in de periode 2016-2021 lager ligt dan de maximale dip in de periode 2004-2009 (zie Figuur 3-14). In vergelijking met de periode 2010-2015 vertonen de meeste compartimenten in de Zeeschelde en de Zijvieren een afname van de maximale silicaatdip in de periode 2016-2021, met uitzondering van de segmenten *Comp. 18* en *Comp. 19*. Ook in de zones stroomafwaarts (*Sterk polyhalien* en *Monding*) duikt de silicaatconcentratie voor langere tijd onder 0,6 mg/L in de periode 2016-2021 in vergelijking met de periode 2010-2015. Ondanks deze lokale toenames, doet het estuarium het hierdoor in de periode 2016-2021 net iets beter dan in de periode 2010-2015.



Figuur 3-14: Maximale duur van de silicaatdip die afgeleid werd in de verschillende segmenten (Zeeschelde) en zones (Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Maxima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft het toetscriterium weer (28 dagen).

Ondanks de waargenomen overschrijdingen van de maximale duur van een silicaatdip doorheen de Westerschelde en de zoete zones in de Zeeschelde geeft de onderliggende trend wel een relatief positief beeld. Zo wordt er in meerdere compartimenten in de Zeeschelde (*Comp. 13* t.e.m. *Comp. 7b*) in de periode 2016-2021 geen silicaatdip waargenomen, terwijl dit in de periode 2010-2015 vaak nog wel het geval was (zie Figuur 3-14). Een vergelijking van de maximale silicaatdip tussen de verschillende 6-jarige periodes toont aan dat dit maximum in verschillende segmenten afneemt in de tijd (zie Figuur 3-14). In meerdere segmenten van de Zeeschelde duikt de silicaatconcentratie ook geen enkele keer onder het voorgeschreven criterium, waardoor er geen problematische dip plaatsvindt. In de segmenten waarvoor een overschrijding van de toetswaarde wordt waargenomen is deze ook ineens zeer duidelijk, met uitzondering van segment *Comp. 16* (silicaatdip van 35 dagen, hetgeen een potentieel artefact kan zijn van de gehanteerde meetfrequentie).

De silicaatconcentratie blijkt vooral stroomopwaarts (in de zoete zones) en stroomafwaarts (in de Westerschelde) nog een groot probleem te zijn, met overschrijdingen van de maximale duur van een silicaatdip in nagenoeg alle zoete segmenten en polyhaliene zones. De onderliggende trend in een aantal segmenten stroomopwaarts (*Comp. 17* en *Comp. 16*) geeft een positief signaal voor de nabije toekomst, maar er is zeker nog ruimte voor verbetering. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Silicaat* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont aan dat bovenvermelde langdurige silicaattekorten voorkomen in de zomerperiode. Zo wordt in het segment *Comp. 19* (meetstations *Wetteren* en *Melle*) het langste tekort waargenomen in het meetstation *Wetteren* (84 dagen, startend op 3 juli 2019), gevolgd door het meetstation *Melle* (63 dagen, startend op 3 juli 2019). In het segment *Comp. 18* (meetstation *Uitbergen*) wordt dan weer een langdurig silicaattekort waargenomen in het meetstation *Uitbergen* in de zomer van 2018 (84 dagen, startend op 4 juli 2018), maar ook de zomer van 2019 vertoont in dit meetstation een te lage silicaatconcentratie (63 dagen, startend op 3 juli 2019).

In segment *Comp. 17* (meetstations *Appels* en *Sint Onolfs*) worden tekorten dan weer voornamelijk waargenomen in de jaren 2017 en 2018, met het langste tekort in meetstation *Appels* (49 dagen, startend op 20 april 2017; 49 dagen, startend op 8 augustus 2018) en meetstation *Sint Onolfs* (49 dagen, startend op 8 augustus 2018). In segment *Comp. 16* (meetstation *Dendermonde*) wordt het langste tekort dan weer waargenomen in de zomer van 2017 (35 dagen, startend op 21 juni 2017). Een gelijkaardige observatie vindt plaats voor de zone *Zwak polyhalien* (meetstation *Hansweert geul*), waar langdurige tekorten waargenomen in de zomers van 2017 (56 dagen, startend op 25 juli) en 2018 (58 dagen, startend op 10 juli).

Verder stroomafwaarts lijken de tekorten vroeger te ontstaan. In zone *Sterk polyhalien* (meetstations *Vlissingen boei SSVH* en *Terneuzen boei 20*) vindt het langste tekort plaats in 2018 (197 dagen, startend op 28 mei), gevolgd door 2019 (140 dagen, startend op 28 mei). Ook overige langdurige tekorten vallen voornamelijk in het voorjaar (april – mei – juni), met enkele uitzonderlijke gevallen in het najaar. De vroegere start van een silicaattekort speelt zich ook af in de zone *Monding* (meetstation *Walcheren 2 km*), waar tekorten voornamelijk in het voorjaar van start gaan en meer dan 200 dagen kunnen duren (met een maximum van 308 dagen, startend op 16 maart 2016).

De zomermaanden worden typisch gekenmerkt door lage debieten en ideale condities voor fytoplanktonbloei. Overmatige bloei in de zoete zones van de Zeeschelde kan er evenwel toe leiden dat er een tijdelijk tekort is van opgelost silicaat, hetgeen strookt met de waarnemingen van de bovenvermelde silicaattekorten. Hoge debieten kunnen er dan weer voor zorgen dat het fytoplankton uitspoelt en geen silicaat verbruikt, hetgeen geïllustreerd wordt door het natte jaar 2016 (zie ook Sectie 3.2.1) en het afwezig zijn van enig silicaattekort in de zomer van 2016 in de zoete zones.

Meer stroomafwaarts wordt de silicaatconcentratie niet enkel gestuurd door de lokale consumptie, maar ook door de input van de zones stroomopwaarts. Doorheen het verloop van de Schelde wordt silicaat opgenomen door fytoplankton en opgeslagen als biogeen-silicium (BSi) in de voedselketen. Door de beperkte input van opgelost silicaat vanuit de zones stroomopwaarts, wordt de kritische concentratie in de Westerschelde sneller bereikt en houdt deze ook langer aan. Een tekort aan opgelost silicaat is echter niet noodzakelijk problematisch, als er maar voldoende input van BSi plaatsvindt om de hogere trofische niveaus te ondersteunen. Dit wordt ook bevestigd door een toename van het fytoplankton (via de proxy chlorofyl *a*) in de Westerschelde en de Monding.

Een tweede verklaring voor de waargenomen trend is de instroom van silicaat via de grenzen van het estuarium. Het merendeel van deze meetstations vertoont evenwel nauwelijks langdurige tekorten van silicaat, met uitzondering van de meetstations *Durme* en *Walcheren 2 km*. Daarnaast speelt ook het debiet mee, aangezien lagere debieten leiden tot lagere siliciumvrachten vanuit het bekken naar het Schelde-estuarium. Zo is de input van silicaat vanuit de Bovenschelde de voorbije jaren licht gedaald (Maris *et al.*, 2020), hetgeen kan bijdragen aan tijdelijke tekorten in de zoete zones. Tegelijkertijd is er een licht toename van het BSi in de Bovenschelde waargenomen door lokale fytoplanktonbloei (Maris *et al.*, 2020), hetgeen uiteindelijk ook doorstroomt naar de Zeeschelde.

3.3.6. ICEP-DSI

Definitie

Op basis van de concentraties aan stikstof, fosfor en silicium kan een indicatie van het risico op ongewenste verschuivingen in de algengemeenschap in afwaartse gebieden afgeleid worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de *Indicator of Coastal Eutrophication Potential (ICEP)*, waarmee de

potentiële koolstofbiomassa van ongewenste algenbloei wordt ingeschat. Deze inschatting wordt uitgevoerd op basis van de hoeveelheden stikstof of fosfor die overblijven nadat alle silicium werd geconsumeerd en uitgedrukt ten opzichte van de oppervlakte van het stroomgebied. De *ICEP* is gebaseerd op de molaire Redfield ratio's waarbij C:N:P:Si zich verhouden als 106:16:1:20. Een onderscheid kan gemaakt worden voor systemen waarbij stikstof limiterend is (Vergelijking 4.3) en systemen waarbij fosfor limiterend is (Vergelijking 4.4). De bovengrens wordt gelegd op 0 (kg C)/km²/dag in combinatie met siliciumdepletie in de meest stroomafwaartse zone (zie Sectie 3.3.5). De *ICEP* wordt beschouwd met behulp van de waarnemingen van opgelost silicium en berekend in elk meetstation waarvoor debietsmetingen beschikbaar zijn (Zeeschelde en Westerschelde).

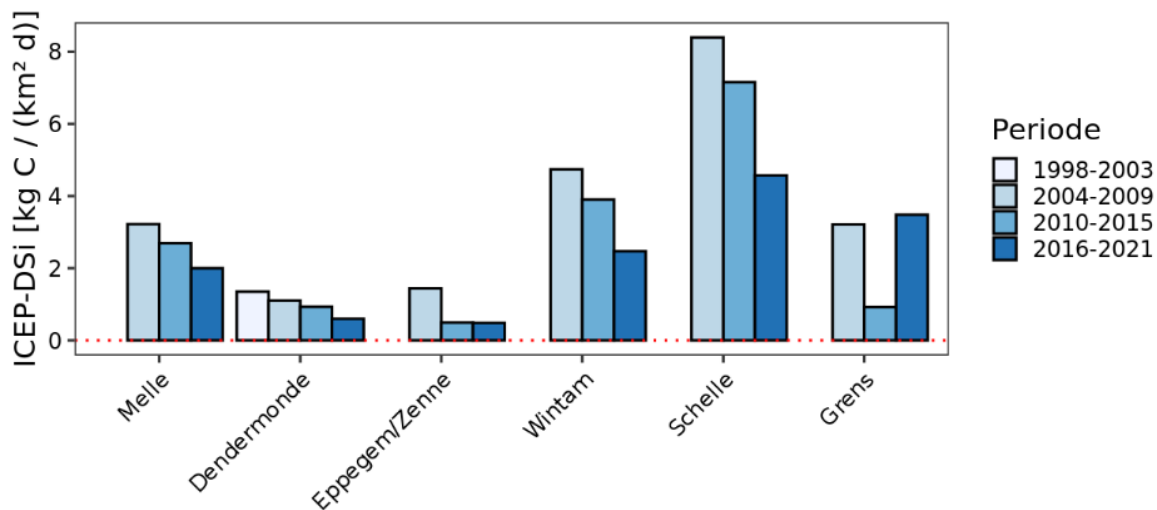
$$ICEP = \left(\frac{N_{flux}}{14 \cdot 16} - \frac{Si_{flux}}{28 \cdot 20} \right) \cdot 106 \cdot 12, \text{ als } \frac{N}{P} < 16 \quad (4.3)$$

$$ICEP = \left(\frac{P_{flux}}{31} - \frac{Si_{flux}}{28 \cdot 20} \right) \cdot 106 \cdot 12, \text{ als } \frac{N}{P} > 16 \quad (4.4)$$

Met N_{flux} , P_{flux} en Si_{flux} de gemiddelde fluxen voor totaal stikstof, totaal fosfor en opgelost silicium aan de monding (Billen en Garnier, 2007).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde meetstations een *ICEP-DSi*-waarde vertoont die in de periode 2016-2021 lager ligt dan de *ICEP-DSi* in de periodes 2004-2009 en 2010-2015 (zie Figuur 3-15). In vergelijking met de periode 2010-2015 vertonen de meeste meetstations een afname van de *ICEP-DSi*-waarde in de periode 2016-2021, met uitzondering van het meetstation *Grens*. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 net iets beter dan in de periode 2010-2015. Opvallend is de lage *ICEP*-waarde voor het meetstation *Grens* in de periode 2010-2015, hetgeen een direct gevolg is van de waargenomen stikstof-fosforverhouding (> 16) en een relatief hoge siliciumflux in 2013. Hierdoor wordt Vergelijking 4.4 gehanteerd voor de berekening van de *ICEP-DSi*, waarbij de relatief hoge siliciumflux de eerder stabiele fosforflux compenseert met een lage *ICEP-DSi*-waarde tot gevolg.



Figuur 3-15: Minimale indicatorwaarde voor de potentiële eutrofiëring van de kust die afgeleid werd in de verschillende meetstations in de Zeeschelde (Melle, Wintam, Schelle en Grens) en enkele Zijrivieren (Dender te Dendermonde en Zenne te Epepegem) op basis van de opgeloste siliciumconcentraties. Minima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft het toetscriterium weer (0 kg C / (km² d)).

Ondanks de waargenomen overschrijdingen doorheen de Zeeschelde geeft de onderliggende trend wel een relatief positief beeld. Een vergelijking van de maximale ICEP-DSI-waarde tussen de verschillende 6-jarige periodes toont aan dat dit maximum in verschillende meetstations afneemt in de tijd (zie Figuur 3-15). Enkel het meetstation *Grens* wijkt wat af van de overige meetstations, gezien de relatief lage waarde in de periode 2010-2015 en een ICEP-DSI-waarde die in de periode 2016-2021 hoger ligt dan in de periode 2004-2009.

De ICEP-DSI neemt toe in de richting van de monding en blijkt dan ook in alle meetstations nog een groot probleem te zijn, met overschrijdingen van de toetswaarde in alle meetstations. De onderliggende trend in de meetstations geeft een positief signaal voor de nabije toekomst, maar er is zeker nog ruimte voor verbetering. Dit wordt nog versterkt door de verwachting dat de ICEP-DSI-waarde verder toeneemt naar de monding en daar dus niet voldoet aan het vooropgestelde criterium. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *ICEP-DSI* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont aan dat de N:P-verhouding voor de meeste stations steeds lager ligt dan 16:1, wat resulteert in het gebruik van Vergelijking 4.3. Enkel op het meetstation *Grens* is de N:P-verhouding soms hoger dan 16:1, waardoor gebruik gemaakt wordt van Vergelijking 4.4. Dit is het geval voor de periodes 2004-2009 en 2010-2015, maar niet voor de periode 2016-2021. Doordat de hoeveelheid stikstof de afgelopen jaren blijft dalen (zie Sectie 3.3.3) en de hoeveelheid fosfaat-fosfor eerder een stagnatie vertoont (zie Sectie 3.3.4) daalt de N:P-verhouding en daarmee ook het belang van stikstof in de eutrofiëring van de kustzone. Dit verklaart ook de verrassende trend die voor het meetstation *Grens* waargenomen wordt.

De afname van de ICEP-DSI-waarde in de overige meetstations wordt voornamelijk gestuurd door de stikstof- en siliciumflux (zie Vergelijking 4.3). Een afname van de hoeveelheid stikstof heeft een direct effect op de ICEP-DSI-waarde en zal (bij constante siliciumflux) leiden tot een afname van de ICEP-DSI-waarde. Aangezien er doorheen het estuarium een afname van stikstof wordt waargenomen (zie Sectie 3.3.3) en er in de Zeeschelde geen extreme langdurige silicaattekorten zijn (zie Sectie 3.3.5), volgt de ICEP-DSI-waarde de verwachtingen en toont deze in meerdere meetstations een afname in opeenvolgende periodes. Dit suggereert ook dat het risico op schadelijke algenbloei afneemt, maar zeker nog niet verdwenen is.

3.3.7. ICEP-TSI

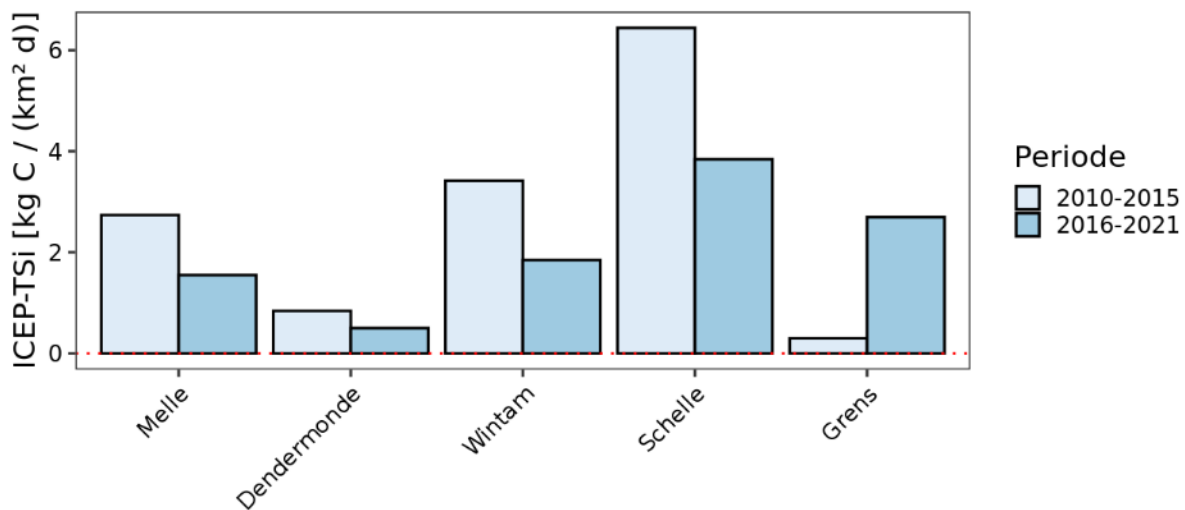
Definitie

Zowel opgelost als biogeen silicium zijn noodzakelijk om een compleet beeld te krijgen van de aanwezige eutrofiëring, de nutriëntverhoudingen en de onderliggende processen. Zo bestaat bij sterke planktonbloei minstens 85% van de vracht uit BSi, waardoor het grootste deel van silicium als BSi getransporteerd wordt richting de kustzone (Struyf *et al.*, 2007). Bovendien kan BSi tijdelijk of definitief neerslaan in recent aangelegde overstromingsgebieden (Jacobs *et al.*, 2008). Om beide siliciumvormen mee te nemen in de analyse wordt gebruik gemaakt van de *Indicator of Coastal Eutrophication Potential (ICEP)* (zie ook Sectie 3.3.6), waarbij dan het totale siliciumgehalte gehanteerd wordt. Ook hier kan een onderscheid gemaakt worden voor systemen waarbij stikstof limiterend is (Vergelijking 4.3) en systemen waarbij fosfor limiterend is (Vergelijking 4.4). De bovengrens wordt gelegd op 0 (kg C)/km²/dag zonder bijkomende randvoorwaarde. De ICEP wordt berekend met behulp van de totale

siliciumconcentratie (sommig van de opgelost en biogeen silicium) en beschouwd in elk meetstation waarvoor debietsmetingen beschikbaar zijn (Zeeschelde en Westerschelde).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde meetstations een ICEP-TSI-waarde vertoont die in de periode 2016-2021 lager ligt dan de ICEP-TSI in de periode 2010-2015 (zie Figuur 3-16). In vergelijking met de periode 2010-2015 vertonen de meeste meetstations een afname van de ICEP-TSI-waarde in de periode 2016-2021, met uitzondering van het meetstation *Grens*. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 net iets beter dan in de periode 2010-2015. Ook hier is de lage ICEP-waarde voor het meetstation *Grens* in de periode 2010-2015 opvallend, hetgeen een direct gevolg is van de waargenomen stikstof-fosforverhouding (> 16) en een relatief hoge siliciumflux in 2013 (zie ook Sectie 3.3.6).



Figuur 3-16: Minimale indicatorwaarde voor de potentiële eutrofiëring van de kust die afgeleid werd in de verschillende meetstations in de Zeeschelde (Melle, Wintam, Schelle en Grens) en enkele Zijrivieren (Dender te Dendermonde) op basis van de totale siliciumconcentraties. Minima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippelijntje geeft het toetscriterium weer (0 kg C / (km² d)).

Ondanks de waargenomen overschrijdingen doorheen de Zeeschelde geeft de onderliggende trend wel een relatief positief beeld. Een vergelijking van de maximale ICEP-TSI-waarde tussen de verschillende 6-jarige periodes toont aan dat dit maximum in verschillende meetstations afneemt in de tijd (zie Figuur 3-16). Enkel het meetstation *Grens* wijkt wat af van de overige meetstations, gezien de relatief lage waarde in de periode 2010-2015 en de toename in de periode 2016-2021.

De ICEP-TSI neemt toe in de richting van de monding en blijkt dan ook in alle meetstations nog een groot probleem te zijn, met overschrijdingen van de toetswaarde in alle meetstations. De onderliggende trend in de meetstations geeft een positief signaal voor de toekomst, maar er is zeker nog ruimte voor verbetering. Dit wordt nog versterkt door de verwachting dat de ICEP-TSI-waarde verder toeneemt naar de monding en daar dus niet voldoet aan het vooropgestelde criterium. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *ICEP-TSI* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont aan dat de N:P-verhouding voor de meeste stations steeds lager ligt dan 16:1, wat resulteert in het gebruik van Vergelijking 4.3. Enkel op het meetstation *Grens* is de N:P-verhouding soms hoger dan 16:1, waardoor gebruik gemaakt wordt van Vergelijking 4.4. Dit is het geval voor de periode 2010-2015, maar niet voor de periode 2016-2021. Doordat de hoeveelheid stikstof de afgelopen jaren blijft dalen (zie Sectie 3.3.3) en de hoeveelheid fosfaat-fosfor eerder een stagnatie vertoont (zie Sectie 3.3.4) daalt de N:P-verhouding en daarmee ook het belang van stikstof in de eutrofiëring van de kustzone. Dit verklaart ook de verrassende trend die voor het meetstation *Grens* waargenomen wordt.

De afname van de ICEP-TSI-waarde in de overige meetstations wordt voornamelijk gestuurd door de stikstof- en siliciumflux (zie Vergelijking 4.3). Een afname van de hoeveelheid stikstof heeft een direct effect op de ICEP-TSI-waarde en zal (bij constante siliciumflux) leiden tot een afname van de ICEP-TSI-waarde. Aangezien er doorheen het estuarium een afname van stikstof wordt waargenomen (zie Sectie 3.3.3) en er in de Zeeschelde geen extreme langdurige silicaattekorten zijn (zie Sectie 3.3.5), volgt de ICEP-TSI-waarde de verwachtingen en toont deze in meerdere meetstations een afname in opeenvolgende periodes. Dit suggereert ook dat het risico op schadelijke algenbloei afneemt, maar zeker nog niet verdwenen is.

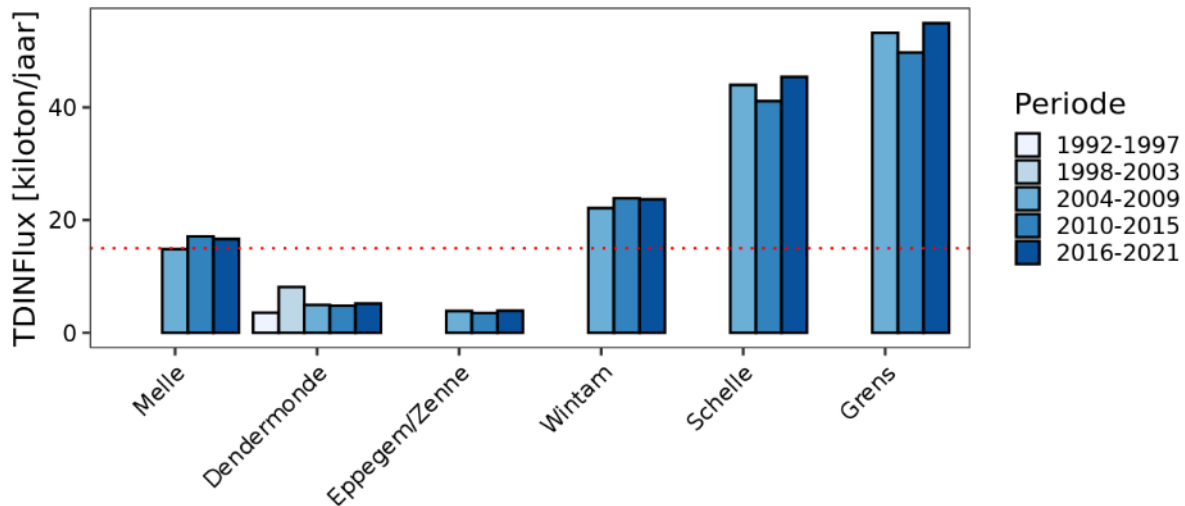
3.3.8. TDINflux

Definitie

Anorganische stikstof draagt bij aan de eutrofiëring van de kustzone en speelt daarmee een rol in de verstoring van de fytoplanktongemeenschap. Om te vermijden dat grote, niet-begraasbare kolonies de bovenhand krijgen, is een maximale stikstofvrucht van 60 kton per jaar naar de Noordzee afgeleid (Lancelot *et al.*, 2009). Op basis van de slechte reputatie van de Schelde, is de kans reëel dat de Schelde een relatief grote bijdrage levert aan de eutrofiëring ten opzichte van Seine en Somme, ondanks het relatief kleine netto debiet van de Schelde (circa 5 maal kleiner dan Seine). Door het ontbreken van een betere inschatting van de bijdrage van de verschillende estuaria aan de eutrofiëring van de kustzone, wordt voor het Schelde-estuarium een maximale TDINflux van 15 kton per jaar opgelegd. Deze bovengrens wordt strikt opgelegd aan de monding, maar kan ook toegepast worden op de verschillende zones en/of compartimenten van het estuarium om eventuele problemen te situeren.

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde meetstations een TDINflux-waarde vertoont die in de periode 2016-2021 hoger ligt dan de TDINflux in de periodes 2004-2009 en 2010-2015 (zie Figuur 3-17). In vergelijking met de periode 2010-2015 vertonen de meeste meetstations een toename van de TDINflux-waarde in de periode 2016-2021, met uitzondering van het meetstation *Grens*. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 net iets slechter dan in de periode 2010-2015.



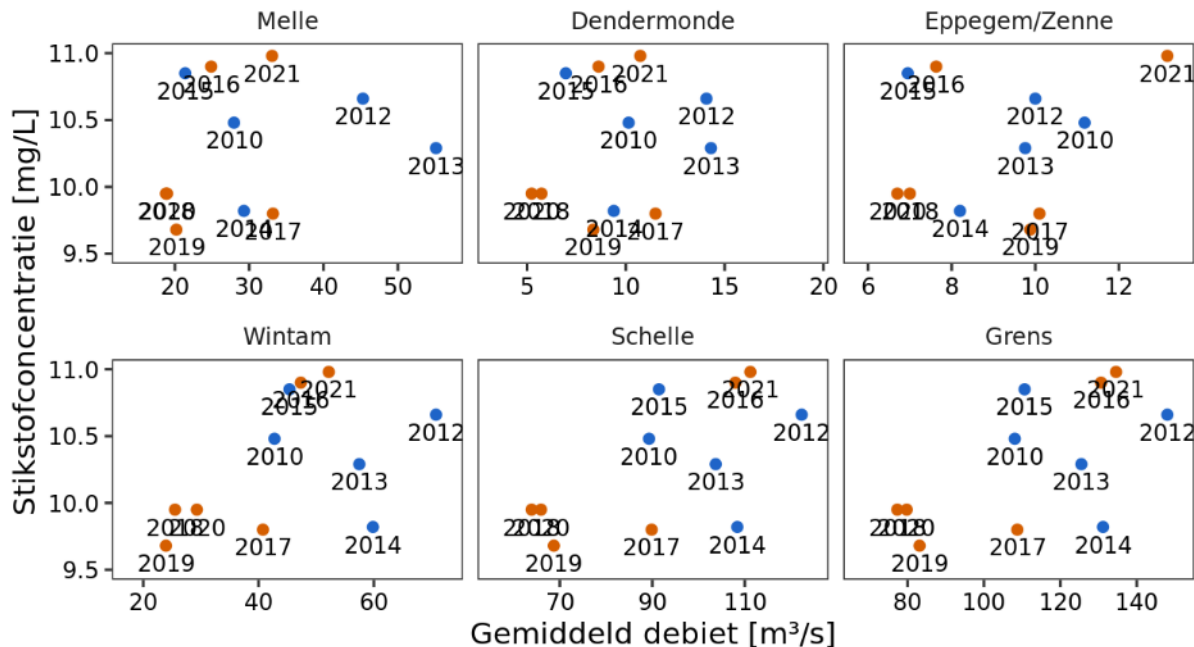
Figuur 3-17: Maximale flux van anorganische stikstof (TDINflux) die afgeleid werd in de verschillende meetstations in de Zeeschelde (Melle, Wintam, Schelle en Grens) en enkele Zijrivieren (Dender te Dendermonde en Zenne te Eppegem). Maxima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft het toetscriterium weer (15 kton/jaar).

Bovenop de waargenomen overschrijdingen doorheen de Zeeschelde geeft ook de onderliggende trend een relatief negatief beeld. Een vergelijking van de maximale TDINflux-waarde tussen de verschillende 6-jarige periodes toont aan dat dit maximum in verschillende meetstations niet afneemt in de tijd (zie Figuur 3-17). Enkel in de Zijrivieren wordt de toetswaarde niet overschreden, hetgeen gestuurd wordt door de lagere stikstofconcentraties enerzijds en de lagere debieten anderzijds.

De TDINflux neemt toe in de richting van de monding en blijkt dan ook in alle meetstations in de Zeeschelde nog een groot probleem te zijn, met overschrijdingen van de toetswaarde in alle meetstations. De onderliggende trend in de meetstations geeft een negatief signaal voor de toekomst en toont aan dat verdere acties met betrekking tot stikstofbeheer noodzakelijk zijn. Dit wordt nog versterkt door de verwachting dat de TDINflux-waarde verder toeneemt naar de monding en daar dus ook niet voldoet aan het vooropgestelde criterium. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *TDINflux* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont aan dat bovenvermelde hoge TDINflux-waarden worden gestuurd door hetzelfde jaar, namelijk 2021. Zo vertoont het meetstation *Melle* in 2021 zowel de hoogste gemiddelde stikstofconcentratie en het op-één-na hoogste gemiddelde debiet doorheen de periode 2016-2021. Ook in de meetstations *Wintam*, *Schelle* en *Grens* worden in 2021 de hoogste waarden voor de gemiddelde stikstofconcentratie en het gemiddelde debiet waargenomen, gevolgd door de metingen uit 2016 (zie ook Figuur 3-18). De laagste TDINflux-waarden worden waargenomen in 2019 (meetstations *Melle* en *Wintam*) en 2018 (meetstations *Schelle* en *Grens*).



Figuur 3-18: Stikstofconcentratie versus debiet voor de verschillende continue meetstations in de Zeeschelde (Melle, Wintam, Schelle en Grens) en enkele Zijrivieren (Dender te Dendermonde en Zenne te Eppegem). Weergave van de resultaten voor de periode 2010-2015 (blauw) en 2016-2021 (oranje) worden weergegeven.

De flux van het anorganische stikstof (TDINflux) wordt gestuurd door het debiet en de aanwezigheid van ammonium, nitriet en nitraat. Een toename van de TDINflux komt dus voort uit (1) een toename van het debiet en/of (2) een toename van de ammonium- en/of nitriet- en/of nitraatconcentratie die rechtstreeks of via het bekken in de Schelde terecht komen. Eerder werd reeds aangehaald dat 2016 een nat jaar was (zie Sectie 3.2.1), wat tot hoge TDINflux-waarden kan leiden. Daarnaast werd ook reeds vermeld dat de concentratie van anorganische stikstof in de laatste jaren terug lijkt toe te nemen in meerdere zones in de Zeeschelde (zie Sectie 3.3.3, Figuur 3-10), hetgeen eveneens tot een toename van de TDINflux-waarden kan leiden. De combinatie van de verhoogde stikstofconcentraties in 2021 en een eerder nat jaar leiden er in dit geval toe dat het jaar 2021 bepalend is voor de analyse en evaluatie van de rekenparameter *TDINflux*.

Het is belangrijk om indachtig te houden dat de bovenstaande observaties van de TDINflux gebaseerd zijn op berekeningen voor een beperkt aantal stations in het Schelde-estuarium, waardoor de bekomen resultaten een vereenvoudigde benadering van de effectieve situatie weergeven. Een correcter beeld kan verkregen worden door gebruik te maken van modellen die rekening houden met het debiet, de stikstofconcentratie en de heersende getijdynamiek.

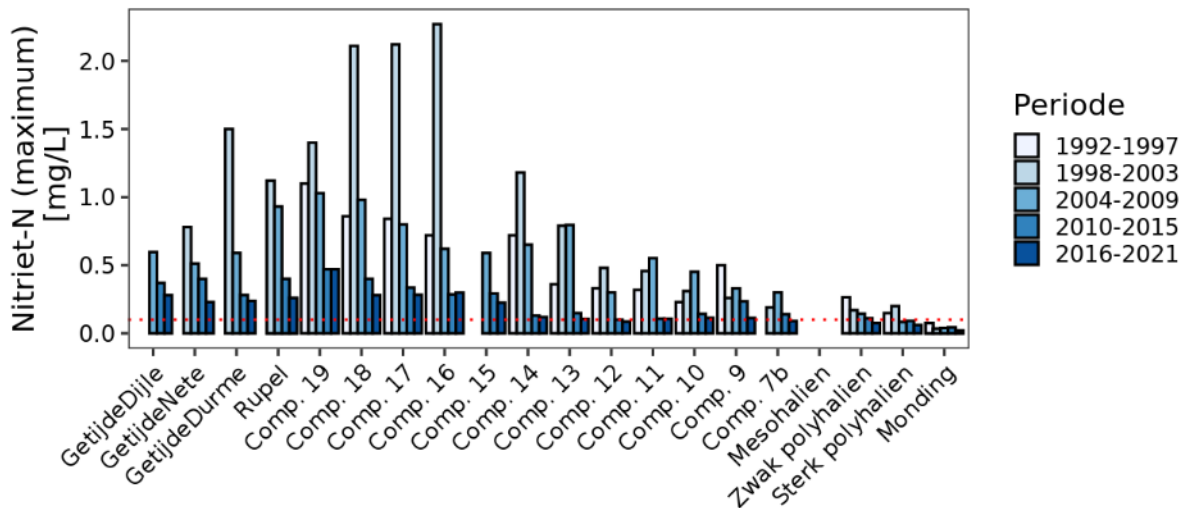
3.3.9. Nitriet

Definitie

De stikstofcyclus wordt gekenmerkt door het creëren van (tussen)producten die toxisch kunnen zijn in een aquatische leefomgeving, waaronder nitriet (NO_2^-). Voor viswater stelt men dat vanaf een concentratie aan nitrietstikstof (NO_2^- -N) van 0,1 mg/L er schadelijke effecten kunnen zijn. Daarom geldt de norm van 0,1 mg/L hier als criterium voor de toxiciteit van nitriet-stikstof. De bovengrens wordt bijgevolg gelegd op 0,1 mg/L en wordt beschouwd in elk segment (Zeeschelde) of zone (Westerschelde).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde segmenten een maximale nitrietconcentratie vertoont die in de periode 2016-2021 lager ligt dan in de periodes 2004-2009 en 2010-2015 (zie Figuur 3-19). Enkel de zones in de Westerschelde en de Monding voldoen aan het vooropgestelde criterium, aangevuld met de segmenten *Comp. 12* en *Comp. 7b*. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 net iets beter dan in de periode 2010-2015.



Figuur 3-19: Hoogste nitrietstikstofconcentratie die afgeleid werd in de verschillende segmenten (Zeeschelde) en zones (Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Maxima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft het toetscriterium weer (0,10 mg/L).

Ondanks deze talrijke overschrijdingen doorheen de Zeeschelde en Zijrivieren geeft de onderliggende trend wel een relatief positief beeld. Een vergelijking van de maximale nitrietconcentraties tussen de verschillende 6-jarige periodes toont duidelijk aan dat dit maximum afneemt in de tijd (zie Figuur 3-19). In de periode 2016-2021 ligt de maximum waarde voor de meeste zones in de Zeeschelde dicht tegen de vooropgestelde toetswaarde.

De nitrietconcentratie is enkel in de Zeeschelde nog een probleem. De onderliggende trend geeft een positief signaal voor de nabije toekomst, maar er is zeker nog ruimte voor verbetering, voornamelijk wat betreft de Zijrivieren en de segmenten stroomopwaarts. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Nitriet* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data die zich richt op de individuele overschrijdingen van het toetscriterium in de periode 2016-2021 gaat voorbij aan het doel van dit rapport, gezien er meer dan 700 overschrijdingen worden waargenomen. Het merendeel van de meest extreme overschrijdingen (> 0,3 mg/L) doet zich bovendien voor in de zomer (april t.e.m. september) en dat deze voornamelijk voorvallen in de zoete zones van de Zeeschelde en in het Rupelbekken.

Een afname van de nitrietconcentratie komt voort uit een afname van de hoeveelheid nitriet die rechtstreeks of via het bekken in de Schelde terechtkomen. Een eerste verklaring voor de waargenomen trend is dan ook de instroom via de grenzen van het estuarium. Een aantal van deze meetstations vertonen een duidelijke afname van de nitrietconcentratie in de periode 2004-2015, maar deze afname zet zich niet door in de periode 2016-2021 (met uitzondering van het meetstation *Dijle Mechelen*). Voornamelijk de Zenne wordt gekenmerkt door een hoge nitrietconcentratie, met jaarlijkse maxima die frequent hoger liggen dan 0,5 mg/L. Daarnaast dragen ook de Bovenschelde, Dender, Kleine Nete, Dijle en de Haven bij aan de nitrietconcentratie met jaarlijkse maxima rond 0,2 mg/L.

Het is ook mogelijk dat de bijdrage van directe lozingen in de Schelde is afgenomen, hetgeen deels gesuggereerd wordt door een lichte toename in de riolerings- en zuiveringsgraad van de beschouwde bekkens. Het is evenwel waarschijnlijker dat de algemene toename van de zuurstofconcentratie (ondanks het niet voldoen aan de vooropgestelde criteria) een bijdrage levert aan de afname van de nitrietconcentratie. Hoe meer zuurstof er beschikbaar is, hoe eenvoudiger nitrificatie kan doorgaan en hoe lager de nitrietconcentratie is. Desalniettemin blijft er ook hier ruimte voor verbetering in zowel de Zeeschelde als de Zijrivieren.

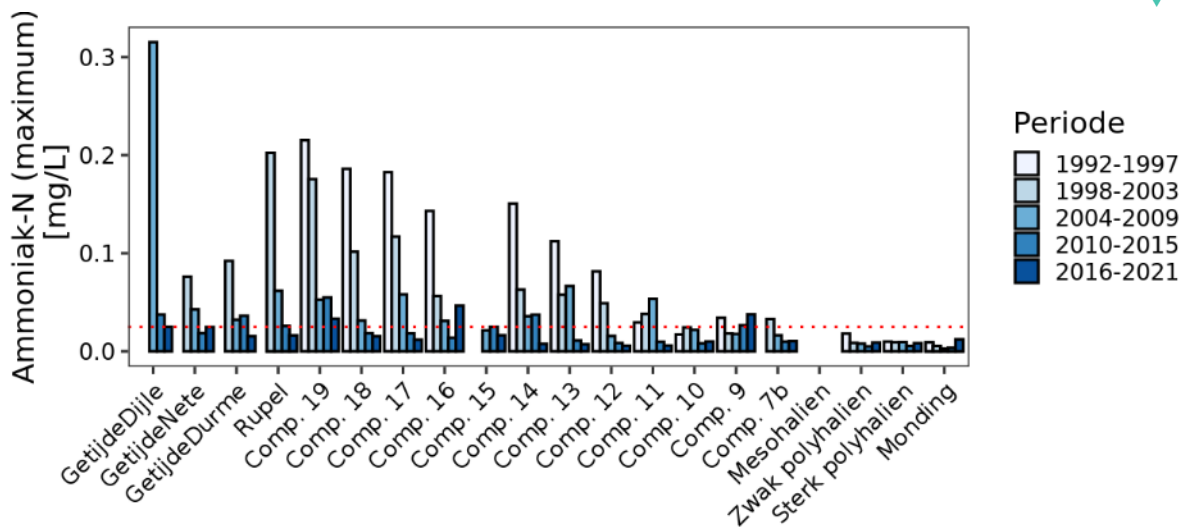
3.3.10. Ammoniak

Definitie

De stikstofcyclus wordt gekenmerkt door het creëren van (tussen)producten die toxisch kunnen zijn in een aquatische leefomgeving, waaronder ammoniak (NH_3). Ammoniak (NH_3) heeft bij concentraties boven 0,025 mg/L $\text{NH}_3\text{-N}$ een schadelijke invloed op diverse organismen in het aquatische ecosysteem. De bovengrens wordt bijgevolg gelegd op 0,025 mg/L en wordt beschouwd in elk segment (Zeeschelde) of zone (Westerschelde).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde segmenten en zones een maximale ammoniakconcentratie vertoont die in de periode 2016-2021 lager ligt dan de toetswaarde (zie Figuur 3-20). Echter, drie segmenten (*Comp. 19*, *Comp. 16* en *Comp. 9*) halen deze toetswaarde niet en vertoonden in de periode 2016-2021 een maximale ammoniakstikstofconcentratie die hoger ligt dan 0,025 mg/L. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 net iets beter dan in de periode 2010-2015, toen ook nog drie van de vier Zijrivieren de voorgeschreven toetswaarde overschreden.



Figuur 3-20: Hoogste ammoniakstikstofconcentratie die afgeleid werd in de verschillende segmenten (Zeeschelde) en zones (Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Maxima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippelijne geeft het toetscriterium weer (0,025 mg/L).

De ammoniakconcentratie blijkt vooral in de Zeeschelde nog een probleem te zijn, met overschrijdingen van de toetswaarde in een beperkt aantal (niet-aansluitende) segmenten. Een vergelijking van de maximale ammoniakconcentraties tussen de verschillende 6-jarige periodes toont evenwel aan dat dit maximum afneemt in de tijd (zie Figuur 3-20). De onderliggende trend geeft dus een positief signaal voor de nabije toekomst, maar er is zeker nog ruimte voor verbetering. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Ammoniak* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont aan dat bovenvermelde hoge ammoniakwaarden voorkomen op drie verschillende momenten. Zo wordt in het segment *Comp. 19* de hoogste concentratie afgeleid in het meetstation *Dendermonde* op 4 september 2019, terwijl de hoogste concentratie in het segment *Comp. 16* is afgeleid in het meetstation *Melle* op 8 augustus 2018. In het segment *Comp. 9* wordt de hoogste concentratie dan weer afgeleid in meetstation *Schaar van Ouden Doel* op 5 augustus 2019. In elk van deze stations voldoen de metingen net voor en na het moment van de overschrijding aan de voorgeschreven toetswaarde.

De ammoniakconcentratie wordt niet standaard gemeten binnen het MONEOS monitoringsprogramma en wordt daarom afgeleid op basis van de ammoniumconcentratie, pH-waarde en watertemperatuur door gebruik van Vergelijking 4.5 en Vergelijking 4.6.

$$pH - pKa = \log\left(\frac{[NH_3]}{[NH_4^+]}\right) \quad (4.5)$$

$$pKa = 0,09018 + \frac{2729,92}{T} \quad (4.6)$$

Met T de temperatuur (Kelvin).

Bovenstaande vergelijkingen maken inzichtelijk dat een afname van de ammoniakconcentratie gestuurd kan worden door (1) een afname van de ammoniumconcentratie, (2) een toename van de pH-waarde

of (3) een toename van de temperatuur. De analyse van de stikstofzuurstofvraag (NOD, bestaande uit ammonium en nitriet) toonde reeds een afname van de NOD aan (zie Sectie 3.3.1), hetgeen deels verklaard wordt door een afname van de hoeveelheid ammonium. Deze afname ligt eveneens aan de basis van de afname van de ammoniakconcentratie.

De overschrijdingen die worden waargenomen zijn beperkt in aantal en worden gekenmerkt door een combinatie van omstandigheden. Zo wordt de overschrijding in het meetstation *Dendermonde* gekenmerkt door een hoge ammoniumconcentratie en een relatief hoge temperatuur en pH (zie Tabel 3-2). De overschrijdingen in de meetstations *Schaar van Ouden Doel* en *Melle* worden dan weer gekenmerkt door hoge temperatuur- en pH-waarden.

Tabel 3-2: Meetstations die een overschrijding van de toetswaarde voor ammoniak vertonen, inclusief het moment van overschrijding en de parameterwaarden die een invloed hebben op de berekende ammoniakconcentratie. Voor de parameters wordt ook weergegeven hoeveel metingen (in het estuarium in de periode 2016-2021, uitgezonderd de stations aan de grenzen van het estuarium; N = 5043) de weergegeven waarde overschrijden.

Station	Datum	Ammonium (mg/L)	pH (-)	Temperatuur (°C)
Dendermonde	04/09/2019	1,25 (1,06%)	7,92 (28,7%)	20,9 (14,7%)
Schaar van Ouden Doel	05/08/2019	0,41 (22,2%)	8,24 (3,81%)	23,2 (3,5%)
Melle	08/08/2018	0,30 (29,9%)	8,26 (3,4%)	25,2 (0,5%)

3.4. Toetsparameter Abiotisch klimaat

Het functioneren van aquatische organismen wordt in grote mate bepaald door de heersende omgevingscondities. De abiotische omstandigheden waarin organismen zich voeden, verschuilen en reproduceren bepalen de efficiëntie waarmee deze ecologische processen plaatsvinden. In optimale omstandigheden kan er meer energie afgeleid worden voor de opbouw van biomassa en de reproductie, hetgeen de ontwikkeling van robuuste populaties en gemeenschappen ondersteunt. Echter, suboptimale omstandigheden ondermijnen deze ontwikkeling en zetten de bestaande populaties en interacties onder druk, waardoor energieverlies optreedt. Om een optimale energiedoorstroming te bekomen, dient dit energieverlies zo veel mogelijk beperkt te worden. Bijgevolg is het dan ook nuttig om een analyse en evaluatie van de heersende omstandigheden uit te voeren.

De habitatkwaliteit is een essentiële factor in het ondersteunen van de fauna en flora in het Schelde-estuarium. Naast de determinerende rol die zuurstof (zie Sectie 3.2) en nutriënten (zie Sectie 3.3) spelen in het definiëren van de habitatkwaliteit, dienen er nog verscheidene andere factoren beschouwd te worden. Zo kan de groei van algen (als basis van de voedselketen) sterk beïnvloed worden door variaties in het chloridegehalte, hetgeen op korte termijn kan leiden tot stress en een verminderde productie. Ook een toename in zwevende stof heeft een negatieve invloed op de primaire productie door een reductie van de eufotische diepte en een algemene afname van de lichtbeschikbaarheid. Hierdoor worden zowel de zoutgradiënt als de troebelheid beschouwd als belangrijke sturende factoren van de energiedoorstroming in het Schelde-estuarium.

Deze twee sturende factoren worden in het kader van deze toetsparameter verder aangevuld met de watertemperatuur. Deze heeft een rechtstreekse invloed op de stofwisseling van veel organismen en als dusdanig ook op de algemene habitatkwaliteit. Bijgevolg worden de volgende drie abiotische omgevingsvariabelen beschouwd: *Chloridegehalte* (Sectie 3.4.1), *Zwevende stof* (Sectie 3.4.2) en *Watertemperatuur* (Sectie 3.4.3).

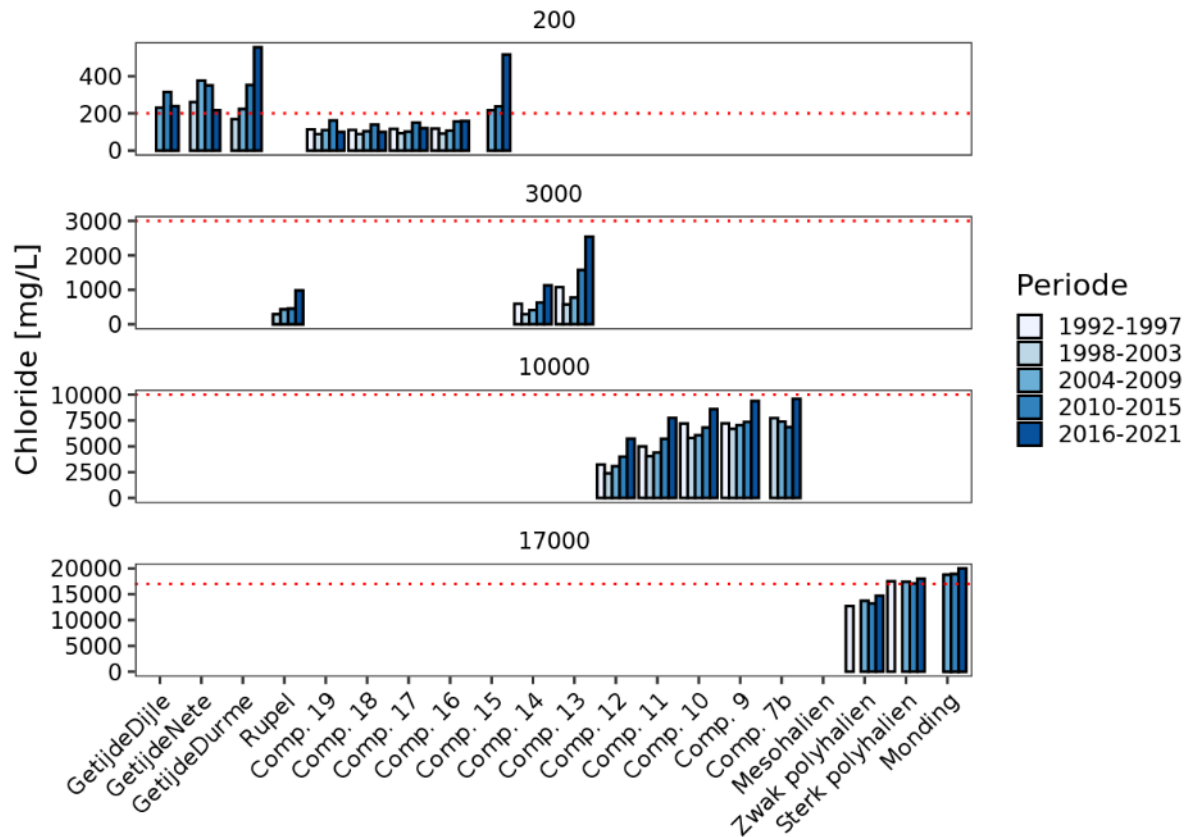
3.4.1. Chloridegehalte

Definitie

Het chloridegehalte (en de geassocieerde zoutgradiënt) is een essentieel kenmerk van het Schelde-estuarium en bepaalt in sterke mate de structurele en functionele kenmerken van het aquatische ecosysteem (Lionard *et al.*, 2005; Wolff, 1973). Stroomopwaarts zorgt de instroom van verscheidene zoetwaterrivieren voor een lage zoutconcentratie, dewelke gradueel toeneemt in afwaartse richting door binnendringen van het getij. Aangezien de huidige volledige gradiënt van een zoet over een brak naar een zout estuarien ecosysteem zeer waardevol en vrij zeldzaam geworden is in Europa, vermeldt de langetermijnvisie dan ook duidelijk dat deze karakteristieke gradiënt zo goed mogelijk behouden dient te worden. Verschuivingen van deze gradiënt en de onderliggende dynamiek op lange termijn (enkele jaren tot decennia) kunnen leiden tot verschuivingen in de soortendiversiteit en in het functioneren van het volledige ecosysteem. Om deze verschuivingen in het zoutgehalte te detecteren, worden zone-specifieke bovengrenzen voor de 90-percentielwaarde gedefinieerd (zie verder), dewelke beschouwd worden in elk segment (Zeeschelde) of zone (Westerschelde).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde segmenten en zones een chlorideconcentratie vertoont die in de periode 2016-2021 lager ligt dan de toetswaarde (zie Figuur 3-21). Echter, vier segmenten (*GetijdeDijle*, *GetijdeNete*, *GetijdeDurme* en *Comp. 15*) en de zone *Sterk polyhalien* halen deze toetswaarde niet en vertoonden in de periode 2016-2021 een 90-percentielwaarde voor chloride die hoger ligt dan 200 mg/L (17 g/L voor de zone *Sterk polyhalien*). Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 niet beter dan in de periode 2010-2015, toen dezelfde segmenten en zones de voorgeschreven toetswaarde overschreden.



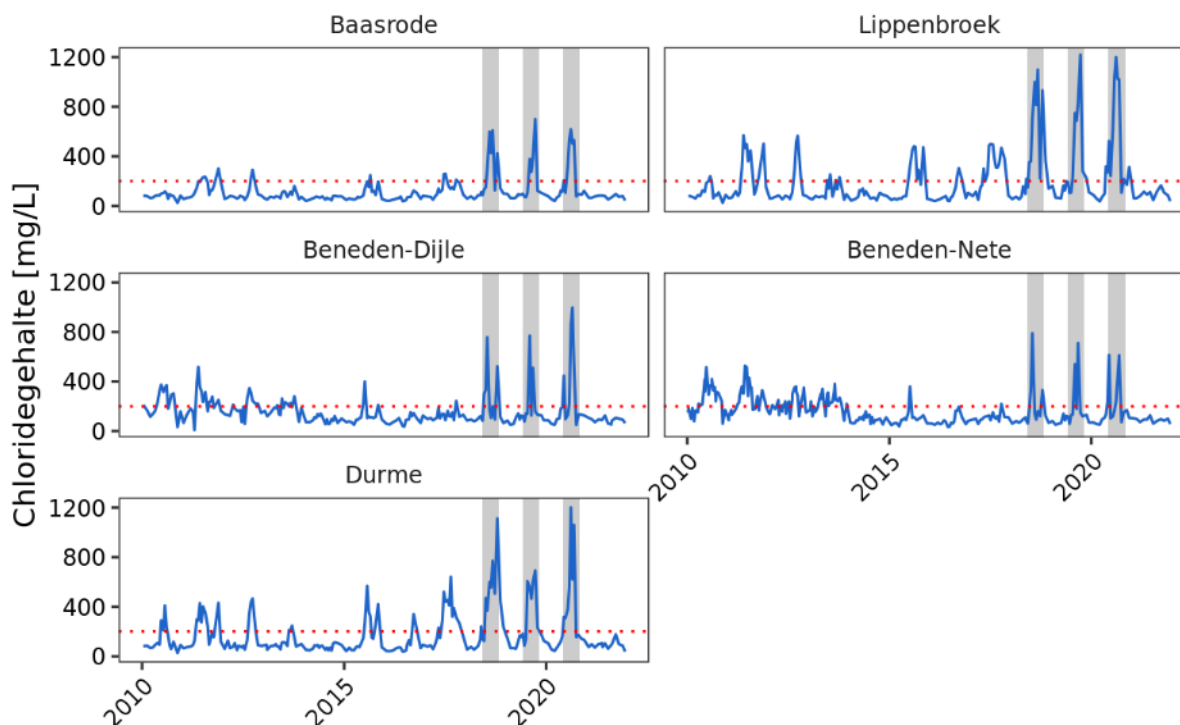
Figuur 3-21: 90-percentielwaarde van chloride die afgeleid werden in de verschillende segmenten (Zeeschelde) en zones (Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Percentielen zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn (en de subtitels) geeft de zone-specifieke toetscriteria weer (200 mg/L; 3000 mg/L; 10000 mg/L; 17000 mg/L).

De chlorideconcentratie blijkt vooral in de Zijrivieren nog een probleem te zijn, met overschrijdingen van de toetswaarde in drie van de vier segmenten. In vergelijking met de periode 2010-2015 is er in de segmenten *GetijdeDijle* en *GetijdeNete* wel een duidelijke afname van de chlorideconcentratie in de periode 2016-2021, maar niet voldoende om aan het toetscriterium te voldoen. Een vergelijking van de 90-percentielwaarde tussen de verschillende 6-jarige periodes toont bovendien aan dat dit percentiel in de Zeeschelde stroomafwaarts van *Comp. 16* toeneemt in de tijd (zie Figuur 3-21). Ook in de Westerschelde en Monding wordt de hoogste 90-percentielwaarde in de periode 2016-2021 waargenomen, maar is het verschil met de voorgaande periodes minder uitgesproken dan in de Zeeschelde (zie Figuur 3-21). De onderliggende trend in de Zeeschelde en de overschrijdingen in de Westerschelde en Monding geven dus een negatief signaal voor de nabije toekomst, waardoor er zeker nog ruimte is voor verbetering. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter **Chloride negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont ook hier aan dat de bovenvermelde hoge 90-percentielwaarden worden gestuurd door ongeveer dezelfde periodes, namelijk de zomers van 2018, 2019 en 2020. Zo wordt de waarde voor segment *Comp. 15* bepaald door twee meetstations (*Baasrode*

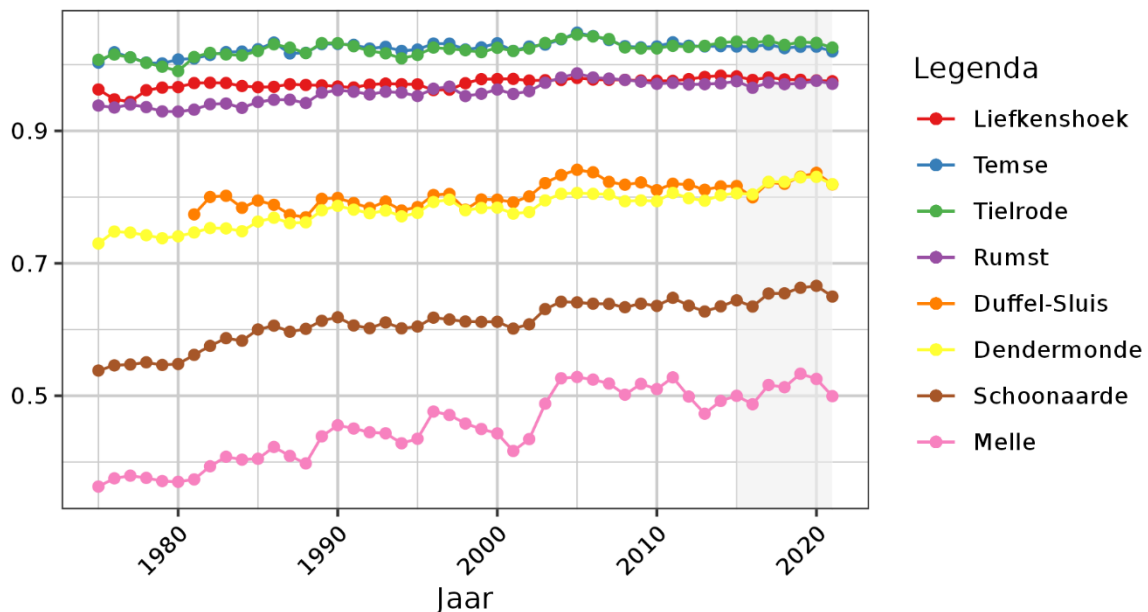
en *Lippenbroek*) die beide een gelijkaardige patroon van de gemeten chlorideconcentratie vertonen (zie Figuur 3-22). Deze zomers komen ook duidelijk naar voor in de segmenten *GetijdeDijle* (meetstation *Beneden-Dijle*), *GetijdeNete* (meetstation *Beneden-Nete*) en *GetijdeDurme* (meetstation *Durme*). De voorgeschreven milieukwaliteitsnorm van 200 mg/L wordt in elk van deze stations frequent overschreden, met zeer duidelijke overschrijdingen in voormelde zomerperiodes (zie Figuur 3-22).



Figuur 3-22: Verloop van het chloridegehalte sinds 2010 tot en met 2021 voor een selectie van periodieke meetstations in het Schelde-estuarium. De grijze balken geven de zomers van 2018, 2019 en 2020 weer (juni tot en met oktober). De rode stippellijn geeft de milieukwaliteitsnorm voor zoet oppervlaktewater weer (200 mg/L).

Net zoals voor de toetsparameter *Zuurstof* (Sectie 3.2) speelt het debiet een rol in de afgeleide percentielwaarden. De jaren 2016 en 2021 waren de natste jaren van de periode 2016-2021 en vertoonden daardoor een getij-indringing die beperkter was dan de jaren ervoor (Vandenbruwaene *et al.*, 2022), terwijl de zomers van de overige jaren uitzonderlijk droog waren. Door de beperkte hoeveelheid neerslag en een verhoogde verdamping in de zomer neemt het debiet af (en neemt de verblijftijd toe), waardoor het getij verder in het estuarium kan doordringen. Daarnaast zijn er ook verschillende menselijke ingrepen die de zoetwatertoevoer beïnvloeden door het weg leiden van grote zoetwaterdebieten. Zo wordt het debiet van de Bovenschelde 's zomers vaak voor meer dan de helft omgeleid naar kanalen, waardoor het niet meer terechtkomt in de meest stroomopwaartse zone van het estuarium. Bij langdurige droogte zijn er zelfs dagen dat helemaal geen bovendebiet vanuit de Schelderivier in het estuarium komt (Maris *et al.*, 2018), waardoor het getij verder het estuarium kan indringen. Deze geassocieerde getij-indringing werd reeds aangetoond d.m.v. de verklarende parameter *Relatieve Getijslag* (zie Figuur 3-23), waarbij een toename in de amplificatie van het getij waargenomen wordt in de stations stroomopwaarts (meetstations *Melle* en *Schoonaarde*).

Relatieve getijslag (amplificatie) t.o.v. Antwerpen



Figuur 3-23: Relatieve getijslag van de belangrijkste stations in de Zeeschelde en geassocieerde Zijrivieren ten opzichte van Antwerpen voor de periode 1975-2021. Een toename in de relatieve getijslag kan voor alle stations waargenomen worden, met een uitgesproken toename in de meer stroomopwaartse stations (Melle en Schoonaarde). Overgenomen uit Consortium Schelde in Beeld (2023).

De afname van de percentielwaarden in de Zijrivieren kan deels toegeschreven worden aan verbeterde omstandigheden aan de grenzen van het estuarium. Zo tonen de meetstations *Grote Nete* en *Dijle Mechelen* een duidelijke afname van de afgeleide percentielwaarde sinds 2014 ten gevolge van een heronderhandeling van de milieuvergunning van Tessenderlo Chemie. Sinds 2014 dient dit bedrijf een interne zuivering te voorzien, waardoor er minder chloride in de Nete en de Grote Laak (deel van het Demer- en Dijlebekken) worden geloosd. Een aantal van de overige meetstations aan de grenzen van het estuarium (o.a. *Dender*, *Kleine Nete*, *Zenne Zemst* en *Durme*) vertonen echter wel een toename van het 90-percentiel van chloride, hetgeen eveneens deels aan de verdere getijndringing gekoppeld kan worden (met uitzondering van het meetstation *Dender*). Een algemene toename van het chloridegehalte doorheen het ganse bekken kan daarnaast ook bijdragen aan de waargenomen toename (Maris *et al.*, 2020).

De waarnemingen voor de periode 2016-2021 liggen in de lijn van de resultaten van de T2015-rapportage, toen bleek dat het zoutgehalte in Dendermonde sinds 2009 niet meer gecorreleerd is met de Boven-Zeeschelde, maar eerder met het meer stroomafwaarts gelegen Temse (Cox *et al.*, 2015). De langere en/of extremere droogteperiodes van de recentere jaren voorzien hiervoor een mogelijke logische verklaring, aangezien deze zich manifesteren als hogere verblijftijden in de laatste T-periode. Deze verschuivingen op lange termijn (enkele jaren tot decennia) kunnen leiden tot verschuivingen in de soortendiversiteit en in het functioneren van het volledige ecosysteem.

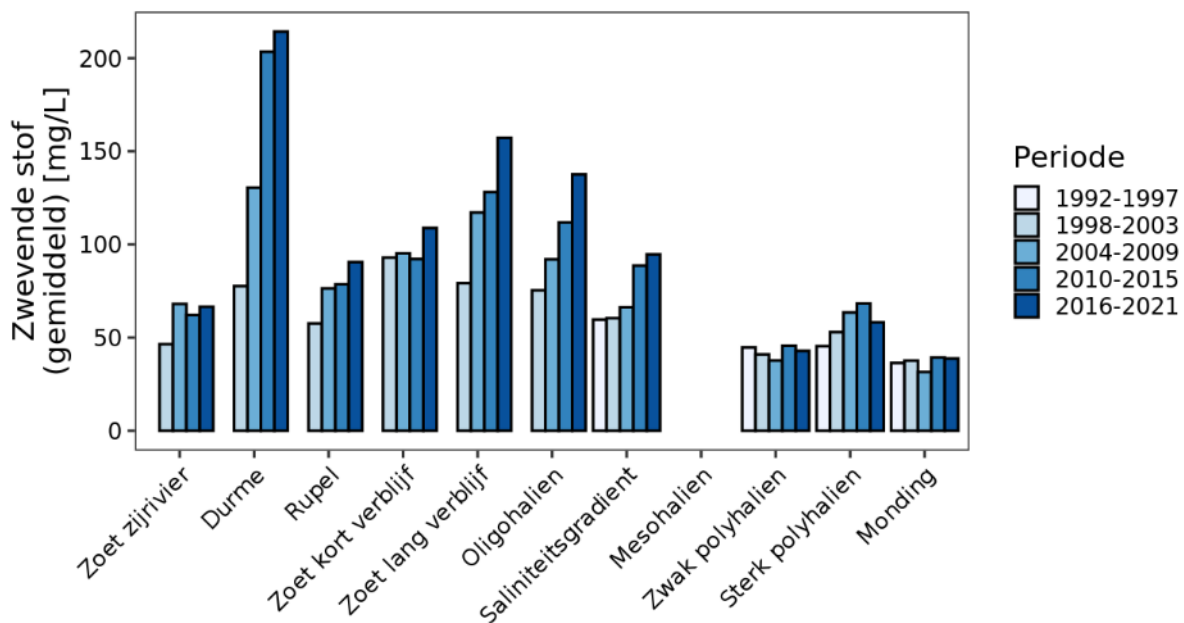
3.4.2. Zwevende stof

Definitie

De hoeveelheid zwevende stof in het water bepaalt de troebelheid van de waterkolom en heeft daardoor een invloed op het lichtklimaat (en bijgevolg de primaire productie). Veranderingen in de hoeveelheid zwevende stof zullen dus bepalend zijn voor de primaire productie en het functioneren van het volledige ecosysteem. Een toename in de hoeveelheid zwevende stof wordt beschouwd als een ongewenste evolutie, ongeacht de zone. De bovengrens wordt gelegd op het 6-jarig gemiddelde gedurende de periode 2004-2009 (i.e. de T2009-periode) en wordt beschouwd in elke zone (Zeeschelde en Westerschelde). Additionele bovengrenzen worden voorzien voor de zones *Zoet korte verblijftijd* en *Zoet lange verblijftijd*, met 130 mg/L als maximale waarde voor het 6-maandelijks glijdend gemiddelde en 200 mg/L als maximale absolute bovengrens.

Observatie en evaluatie

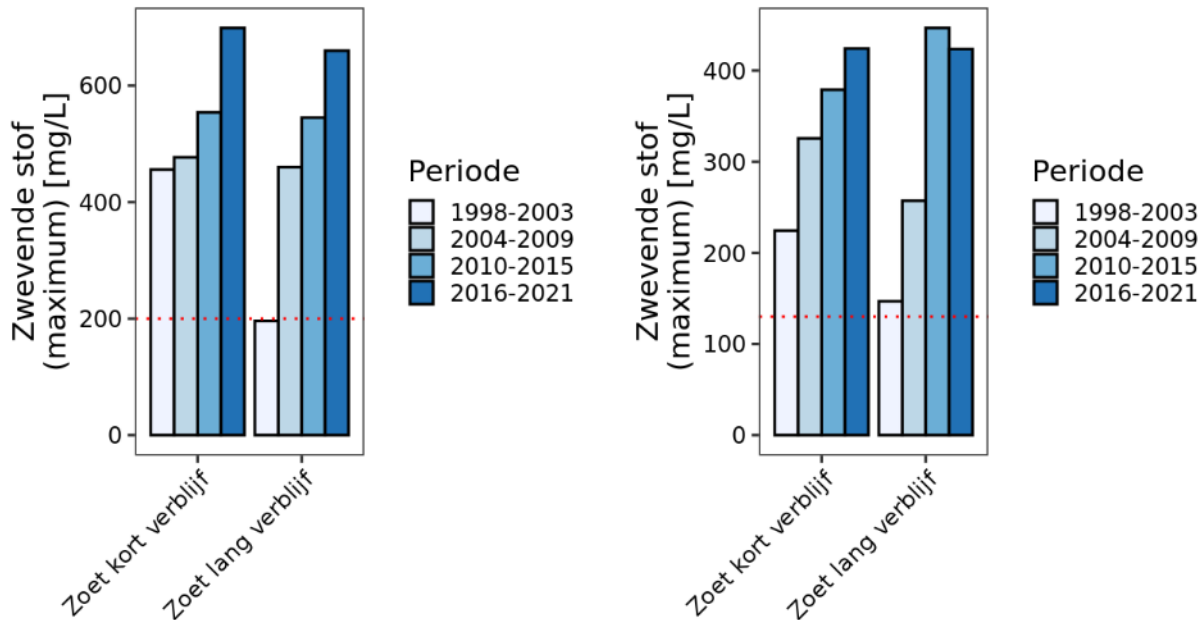
De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde zones een hoeveelheid zwevende stof vertoont die in de periode 2016-2021 hoger ligt dan de toetswaarde (zie Figuur 3-24). Enkel de zones *Zoet zijrivier* en *Sterk polyhalien* voldoen aan de vooropgestelde toetswaarde (i.e. de T2009-periode) en vertoonden in de periode 2016-2021 een gemiddelde hoeveelheid zwevende stof die (iets) lager ligt dan in de periode 2004-2009. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 niet beter dan in de periode 2010-2015, toen eenzelfde aantal zones de voorgeschreven toetswaarde overschreden.



Figuur 3-24: Gemiddelde hoeveelheid zwevende stof die waargenomen werd in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Gemiddeldes zijn berekend per periode van zes jaar.

Niet alleen de gemiddelde hoeveelheid zwevende stof voldoet in de meeste zones niet aan het vooropgestelde criterium, ook de additionele toetscriteria voor de zones *Zoet, kort verblijf* en *Zoet, lang verblijf* worden in beide zones niet gehaald (zie Figuur 3-25). Zo toont het 6-maandelijks glijdend

gemiddelde duidelijk hogere maximale waarden in de periode 2016-2021 in vergelijking met de periode 2004-2009 in beide zoete zones. Ook het maximale maandgemiddelde lag in de periode 2016-2021 beduidend hoger dan in de periodes 2004-2009 en 2010-2015. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 niet beter dan in de periode 2010-2015, toen eveneens beide toetscriteria in beide zones werden overschreden.



Figuur 3-25: Hoeveelheid zwevende stof die waargenomen werd in de zoete zones van de Zeeschelde. Links: Maximale maandelijkse hoeveelheid zwevende stof; Rechts: Maximale gemiddelde hoeveelheid zwevende stof, gebaseerd op het 6-maandelijks glijdend gemiddelde. Maxima werden telkens bepaald per periode van zes jaar.

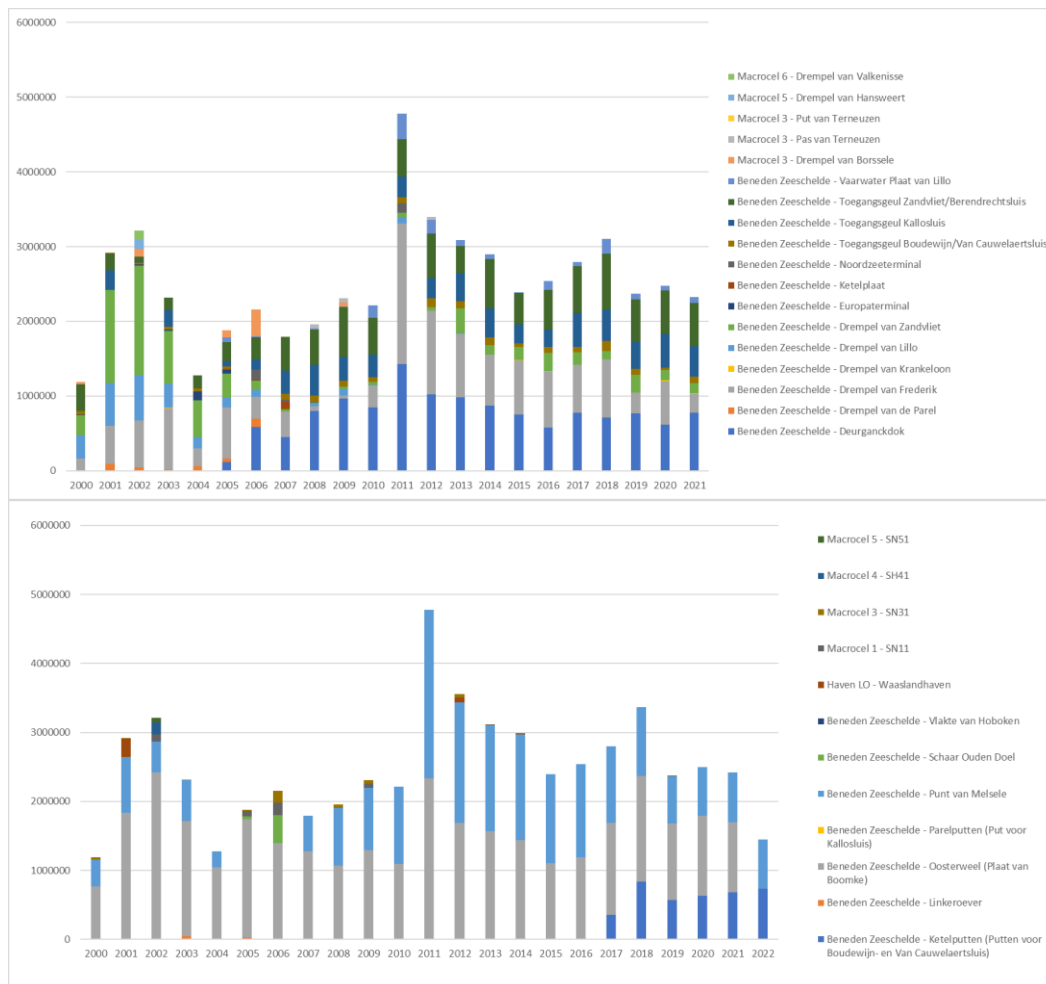
De hoeveelheid zwevende stof blijkt vooral in de Zeeschelde nog een probleem te zijn, met overschrijdingen van de toetswaarde in alle zones. In vergelijking met de periode 2010-2015 is er in alle zones in de Zeeschelde (en de Zijrivieren) zelfs een toename in de gemiddelde hoeveelheid zwevende stof (zie Figuur 3-24). Ook het maximale maandgemiddelde vertoont een duidelijke toename in beide zoete zones (zie Figuur 3-25). De onderliggende trend geeft dus nog een additioneel negatief signaal voor de toekomst, waardoor er zeker nood is voor verbetering. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Zwevende stof* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data die zich richt op de metingen die het meeste invloed hebben op de 90-percentielwaarden in de periode 2016-2021 gaat voorbij aan het doel van dit rapport, gezien er duidelijke overschrijdingen plaatsvinden zonder een onderliggende neerwaartse temporele trend te vertonen. Wel wordt opgemerkt dat de grootste verschillen zich voordoen in de Zeeschelde, terwijl de Westerschelde en Monding een beperktere variatie vertonen (zie Figuur 3-24). Dit kan gestuurd worden door een verhoogde indringing van het getij en de geassocieerde stroomopwaartse verplaatsing van sediment (Depreiter *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2019) en/of een verhoogde aanvoer vanuit het bekken. Zo varieert de ingeschatte aanvoer vanuit het bekken naar de Zeeschelde in de periode 2012-2020 tussen de 341 618 en 509 832 ton per jaar, waarbij hoge jaargemiddelde debieten geassocieerd worden met een hoge sedimentaanvoer. Deze relatie is minder duidelijk voor lage debieten, met nog steeds

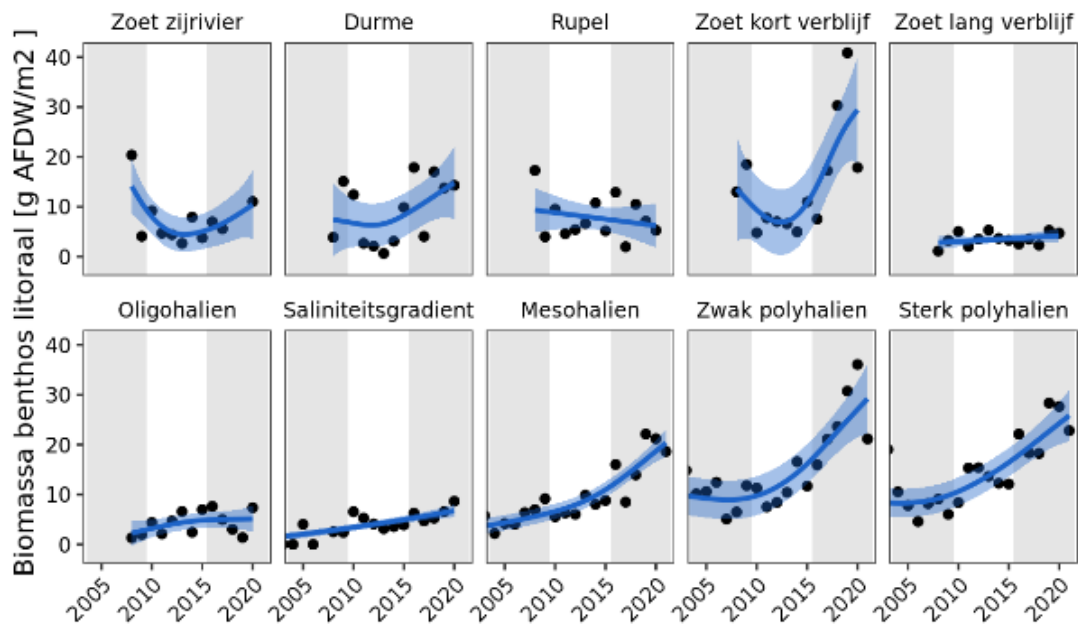
relatief hoge sedimentaanvoer in de laatste jaren (2018 t.e.m. 2020) (Vandenbruwaene *et al.*, 2022). Hierdoor worden droge jaren gekenmerkt door hogere gehalten aan zwevende stof dan natte jaren.

Er kan ook een link gelegd worden met de verschillende antropogene activiteiten die in en rond de Zeeschelde uitgevoerd worden. Zo veranderde de relatie tussen de hoeveelheid zwevende stof en het heersende debiet rond 2009, terwijl er sinds 2010 meer gebaggerd en teruggestort dan in de jaren ervoor (zie Figuur 3-26). Bovendien vond een verdere verdieping van de vaargeul plaats in de periode 2010-2011 (de derde verruiming), hetgeen in andere estuaria reeds aanleiding was voor de transitie naar een hypertroebel systeem (bijv. Eems, Loire). Echter, op basis van modelresultaten wordt gesteld dat een verdere verdieping van de Zeeschelde eerder zou leiden tot een afname van het gehalte zwevende stof, net omdat de zones met hoogste turbiditeit erosie-gelimiteerd zouden zijn (Dijkstra *et al.*, 2019). Hierbij dient wel vermeld te worden dat een verdieping in specifieke scenario's wel tot een lichte toename van het gehalte zwevende stof kan leiden, maar dat voornamelijk een verhoogde erosiegevoeligheid leidt tot een toename. In de Zeeschelde lijkt dit op basis van de bekomen resultaten evenwel niet de onderliggende oorzaak te zijn, aangezien er geen duidelijke afname in de ecotooppervlaktes waar te nemen is (zie verder, hoofdstuk *Leefomgeving voor flora en fauna*, Sectie 4.5). Een toename in het slikoppervlak kan evenwel tot een veranderde slibdynamiek leiden, maar hiervoor is nog onvoldoende informatie beschikbaar.



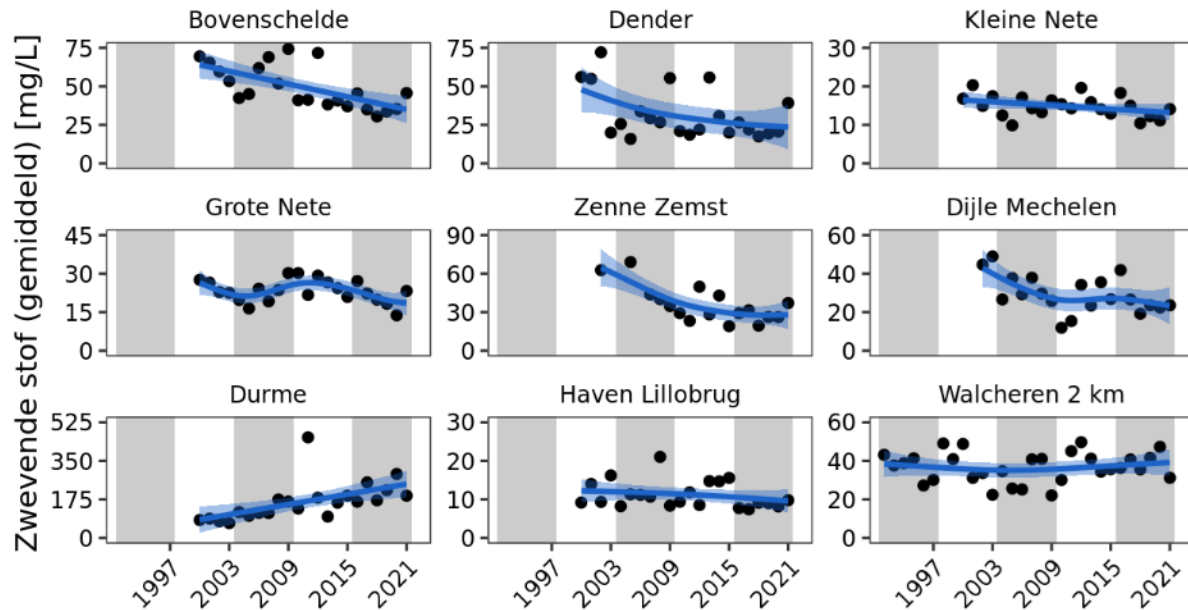
Figuur 3-26: Onderhoudsbaggervolume slib, fijn zand of mengeling fijn zand en kleinere fracties (gereduceerd volume) in de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde. Boven: Allocatie per baggerlocatie; Onder: Allocatie per stortlocatie. Overgenomen uit Consortium Schelde in Beeld (2023).

Ook de verbeterde waterkwaliteit van de Zeeschelde kan mee aan de basis liggen van de veranderde dynamiek. De zuurstofconcentratie ligt sinds 2010 duidelijk hoger dan in de jaren ervoor (zie Sectie 5.2) en de biotische gemeenschap lijkt zich langzaam te herstellen (zie verder, hoofdstuk *Ecologie*). Zo toont het macrozoöbenthos een toename van de biomassa in het litoraal van de Zeeschelde (zie Figuur 3-27) en ook de biomassa van benthivore vissen in de fuik- en ankerkuilvangsten lijkt toe te nemen (Consortium Schelde in Beeld, 2023). Beide soortgroepen zijn actief in en op het sediment, waardoor bioturbatie en resuspensie van het sediment kan optreden. Echter, de bijdrage van deze processen wordt als relatief beperkt ingeschat in vergelijking met de abiotische processen (o.a. stroomsnelheid, erosie, sedimentatie) (Fang *et al.*, 2019).



Figuur 3-27: Ontwikkeling van de biomassa van het macrozoöbenthos (g asvrij drooggewicht per m²) in het litoraal van de tien zones van het Schelde-estuarium. Overgenomen uit Consortium Schelde in Beeld (2023).

Daarnaast dient er ook vermeld te worden dat er zowel in de Zeeschelde als langs de bovenstromen intensief wordt gewerkt aan doorgedreven waterzuivering en erosie-beperkende maatregelen (bijv. de installatie van bufferstroken, grasbermen en opvangbekkens). In de meeste bovenstromen daalde de jaargemiddelde zwevende stofconcentraties verder (Figuur 3-28). De totale jaarlijkse fluviatiele sedimentaanvoer die vanuit alle bovenstromen het estuarium binnenkomt vertoont echter nog geen duidelijke daling (Vandenbruwaene *et al.*, 2022). De aanvoer vanuit de Bovenschelde die langs Melle het estuarium binnenkomt vertoont wel een dalende trend (Vandenbruwaene *et al.*, 2022).



Figuur 3-28: Gemiddelde hoeveelheid zwevende stof die geobserveerd werd in de verschillende meetstations aan de grenzen van het Schelde-estuarium.

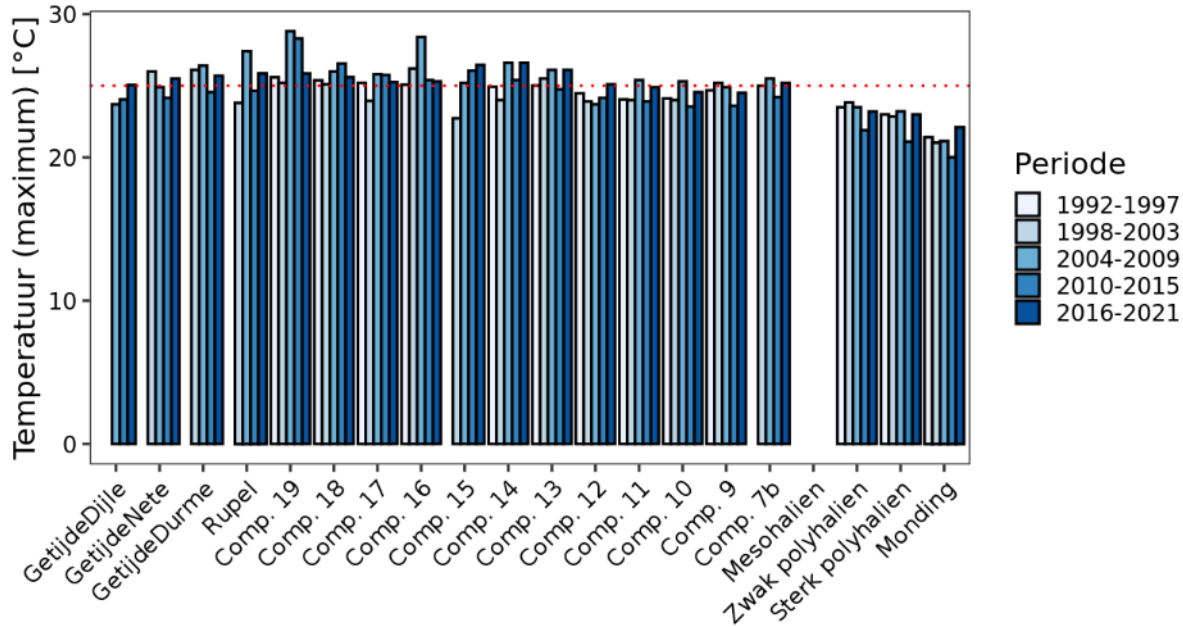
3.4.3. Watertemperatuur

Definitie

De watertemperatuur heeft een belangrijke invloed op het functioneren van een aquatisch ecosysteem. Enerzijds beïnvloedt het de maximale opgeloste zuurstofconcentratie en anderzijds heeft het een effect op de respiratie en activiteit van organismen. Hierdoor beïnvloedt watertemperatuur direct én indirect de aanwezigheid van heterotrofe organismen. Voor vele hogere organismen in het Schelde-estuarium zijn hoge watertemperaturen dan ook eerder ongewenst, waardoor bestaande milieukwaliteitsnormen (o.a. de KRW) een maximale watertemperatuur van 25 °C voorschrijven. De bovengrens wordt bijgevolg gelegd op 25 °C en wordt beschouwd in elk segment (Zeeschelde) of zone (Westerschelde).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde zones een maximale watertemperatuur vertoont die in de periode 2016-2021 hoger ligt dan de toetswaarde (zie Figuur 3-29). Enkel de segmenten stroomafwaarts (vanaf Comp. 11) voldoen aan de vooropgestelde toetswaarde van maximaal 25 °C en vertoonden in de periode 2016-2021 een maximale watertemperatuur die hoger ligt dan in de periode 2010-2015. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 niet beter dan in de periode 2010-2015, toen een hoger aantal segmenten aan de voorgeschreven toetswaarde voldeed.



Figuur 3-29: Hoogste watertemperatuur die afgeleid werd in de verschillende segmenten (Zeeschelde) en zones (Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Maxima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft het toetscriterium weer (25 °C).

De watertemperatuur blijkt vooral stroomopwaarts nog een probleem te zijn, met overschrijdingen van de toetswaarde in de Zeeschelde en Zijrivieren. Een vergelijking van de maximale watertemperatuur tussen de verschillende 6-jarige periodes toont bovendien aan dat dit maximum in de Zeeschelde varieert tussen de verschillende periodes, zonder een eenduidige trend te volgen (zie Figuur 3-29). Zo blijkt de periode 2010-2015 iets kouder te zijn geweest dan de periodes 2004-2009 en 2016-2021, waardoor er ook meer segmenten aan het toetscriterium voldeden. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Watertemperatuur* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont aan dat het merendeel van de bovenvermelde hoge watertemperaturen voorkomen op ongeveer hetzelfde moment, namelijk augustus 2018 en augustus 2020. Zo vertoont het segment *Comp. 19* (meetstations *Melle* en *Wetteren*) de hoogste temperaturen op 12 augustus 2020, 8 augustus 2018 en 21 juni 2017. Ook in de segmenten *Comp. 18* (meetstation *Uitbergen*) en *Comp. 17* (meetstations *Appels* en *Sint Onolfs*) worden overschrijdingen waargenomen op 12 augustus 2020 en 8 augustus 2018. Verder stroomafwaarts wordt in segment *Comp. 16* (meetstation *Dendermonde*) enkel een overschrijding waargenomen op 8 augustus 2018 en een dag eerder in segment *Comp. 15* (meetstations *Lippenbroek* en *Baasrode*), aangevuld met 17 juli 2018. Ook de segment *Comp. 14* (meetstations *Steendorp* en *Temse*), *Comp. 13* (meetstations *Kruibeke* en *Bazel*), *Comp. 12* (meetstation *Antwerpen*) en *Comp. 7b* (meetstation *Grens – VMM*) worden gekenmerkt door overschrijdingen op 6 augustus 2018. Eenzelfde patroon wordt gevonden in het segment *Rupel* (meetstations *Niel*, *Boom* en *Terhagen*) en de segmenten *GetijdeDijle* en *GetijdeNete*, met overschrijdingen op 7 augustus 2018. In het segment *GetijdeDurme* wordt de hoogste waarde dan weer waargenomen op 11 augustus 2020, gevolgd door 7 augustus 2018.

Een eerste mogelijke verklaring voor de waargenomen trend is de instroom via de grenzen van het estuarium. Een aantal van deze meetstations vertonen een lichte toename van de maximale jaarlijkse watertemperatuur in de periode 2009-2021, terwijl andere meetstations nauwelijks een toename vertonen. Voornamelijk de Dender wordt gekenmerkt door een toename van de maximale watertemperatuur, maar ook de Zenne, de Dijle en de Durme tonen een toename sinds 2009.

Een tweede verklaring voor de toename van de maximale watertemperatuur kan gevonden worden in het algemeen veranderende klimaat, met drogere en warmere zomers. Zoals reeds eerder aangehaald, worden de jaren 2017 t.e.m. 2019 gekenmerkt door zeer lage debieten (en dus hoge ververstijden). In de zomerperiode leidt dit tot de opwarming van de waterkolom doordat deze niet frequent ververst wordt. Deze opwarming speelt zich niet enkel af in de Zeeschelde, maar in het volledige bekken en heeft daardoor ook invloed op de watertemperatuur van de Zijrivieren. Het beperkte debiet (door de lage hoeveelheid neerslag) heeft dus zowel direct als indirect een invloed op de waargenomen watertemperaturen in het Schelde-estuarium. Bovendien werd de zomer van 2018 gekenmerkt door twee hittegolven, namelijk van 13 tot 27 juli en van 29 juli tot 7 augustus. Ook in 2020 was er een hittegolf van 5 tot 16 augustus, ditmaal met 8 hittedagen ($> 30\text{ °C}$) en een absoluut record op 8 augustus ($35,9\text{ °C}$ in Ukkel). Het is dus zeer waarschijnlijk dat deze hittegolven tot het overschrijden van de toetswaarden in 2018 en 2020 hebben geleid.

Het is in dit kader ook relevant om even terug te komen op het belang van de watertemperatuur voor het functioneren van het estuarium. Een verhoogde temperatuur leidt namelijk tot een gereduceerde capaciteit voor het vasthouden van zuurstof en een verhoogde activiteit bij meerdere micro-organismen. Deze verhoogde activiteit kan enerzijds leiden tot zuurstofverzadiging (en eventueel oververzadiging) indien er voldoende licht en nutriënten aanwezig zijn voor het ondersteunen van algengroei. Anderzijds kan het leiden tot een reductie in zuurstof door een verhoogd verbruik door heterotrofe, nitrificerende en nitriet-oxiderende bacteriën. Hierdoor beïnvloedt watertemperatuur direct én indirect de aanwezigheid van heterotrofe organismen, inclusief macrofauna en vissen. Zo worden de massale kokkelsterftes in de Oosterschelde en Waddenzee tijdens de zomers van 2018, 2019 en 2020 gezien als een potentieel gevolg van een verhoogde watertemperatuur ($> 25\text{ °C}$), door de snelle opwarming van ondiepe wateren boven de platen (Troost *et al.*, 2021). In dezelfde lijn leidt ook het droogvallen van de platen en de bijhorende hittestress tot een verhoogde sterfte bij het macrozoöbenthos.

3.5. Toetsparameter Verontreinigende stoffen

Naast de determinerende invloed die de organische belasting, de aanwezigheid van nutriënten en het abiotische omstandigheden uitoefenen op het ecosysteem, dient ook aandacht besteed te worden aan de aanwezigheid van verontreinigende stoffen. Deze stoffen kunnen eveneens interfereren met de groei of voortplanting van diverse organismen en zijn in bepaalde gevallen zelfs acuut toxisch. Daarnaast worden deze stoffen doorgegeven in de voedselketen naar hogere trofische niveaus, waar accumulatie kan optreden met potentieel toxische gevolgen. Monitoring en evaluatie van deze stoffen is daarom essentieel, maar een evaluatie vanuit het functioneren van het ecosysteem is echter niet vanzelfsprekend. Bijgevolg worden binnen deze toetsparameter de volgende rekenparameters gehanteerd: *Verontreinigende stoffen in het oppervlaktewater* (Sectie 3.5.1), *Verontreinigende stoffen in de waterbodem* (Sectie 0) en *Verontreinigende stoffen in biota* (Sectie 3.5.3).

Doorheen de uitgevoerde analyses en evaluaties van de betreffende rekenparameters wordt gebruik gemaakt van een specifiek veiligheidsprincipe. Dit wilt zeggen dat metingen onder de rapportagegrens (ook gekend als bepalingsgrens of kwantificeringslimiet) gelijkgesteld werden aan een specifieke

waarde, bijv. de gehanteerde grenswaarde⁴. Dit ondersteunt een completere analyse en opvolging van de gemeten stoffen, maar neemt ook die stoffen mee waarvan de analytische grenswaarde hoger ligt dan de beschouwde referentie- of normwaarde. Merk op dat er doorheen deze sectie gebruik wordt gemaakt van de algemene term "grenswaarde", waarmee gerefereerd wordt naar (synoniemen van) de bepalingsgrens.

3.5.1. Verontreiniging in oppervlaktewater

Definitie

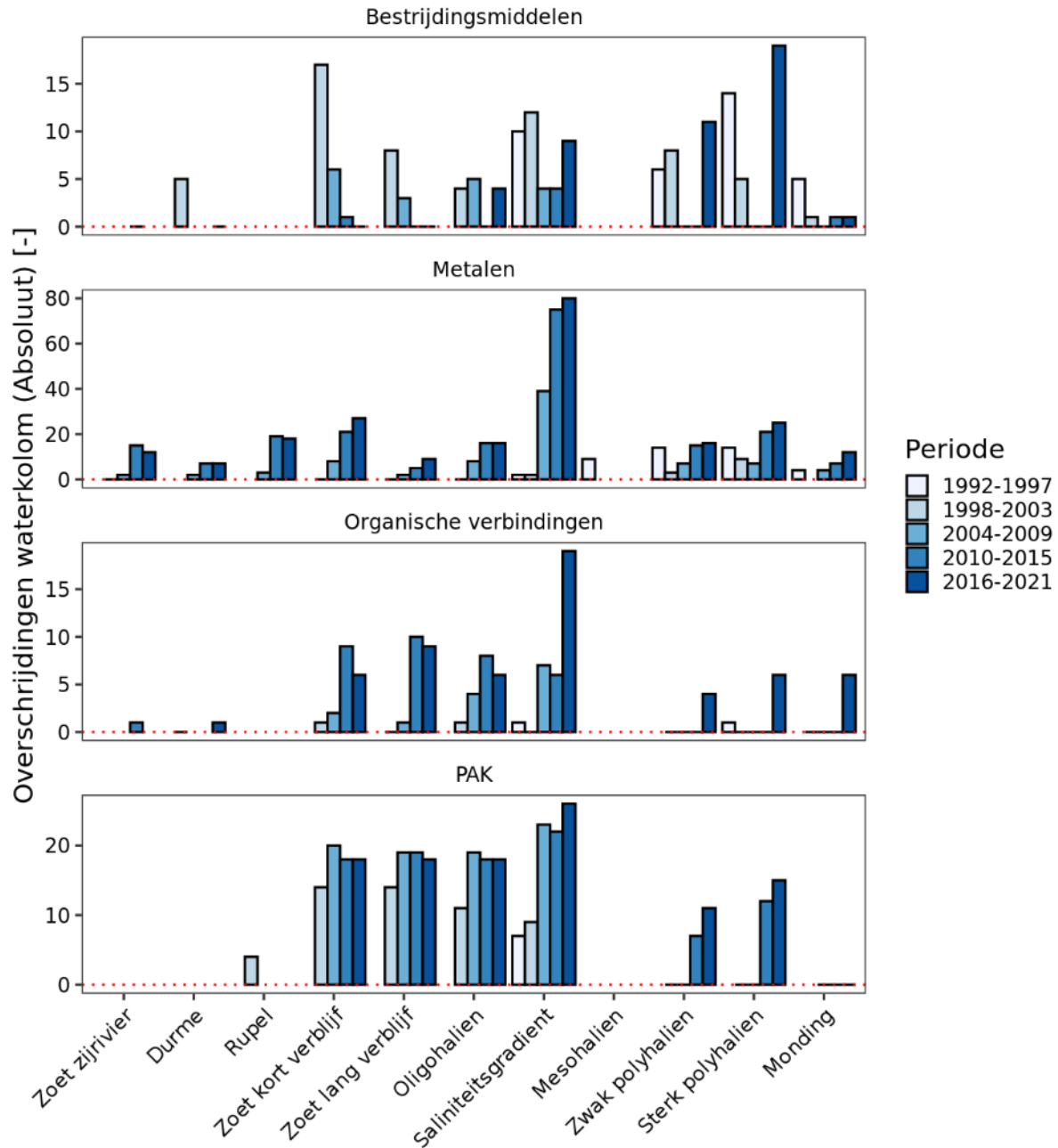
Voor de aanwezigheid van verontreinigende stoffen in de waterkolom zijn er zone-specifieke normen voorhanden. Zo worden voor de zones *Zoet korte verblijftijd* en *Zoet lange verblijftijd* de Vlaamse normen voor oppervlaktewaters en meren gehanteerd, terwijl voor de zones *Oligohalien* en *Sterke saliniteitsgradiënt* de normen voor overgangswateren gelden (VLAREM normen; Vlaamse Regering, 2012). Voor de zones *Mesohalien*, *Zwak polyhalien* en *Sterk polyhalien* wordt gebruik gemaakt van de Nederlandse normen voor overgangswateren. De stof-specifieke verhoudingen van de waargenomen concentraties ten opzichte van de toetswaarden worden samengebracht voor het uitvoeren van een overzichtelijke (doch gesimplificeerde) analyse in elke zone (Zeeschelde en Westerschelde).

Observatie en evaluatie

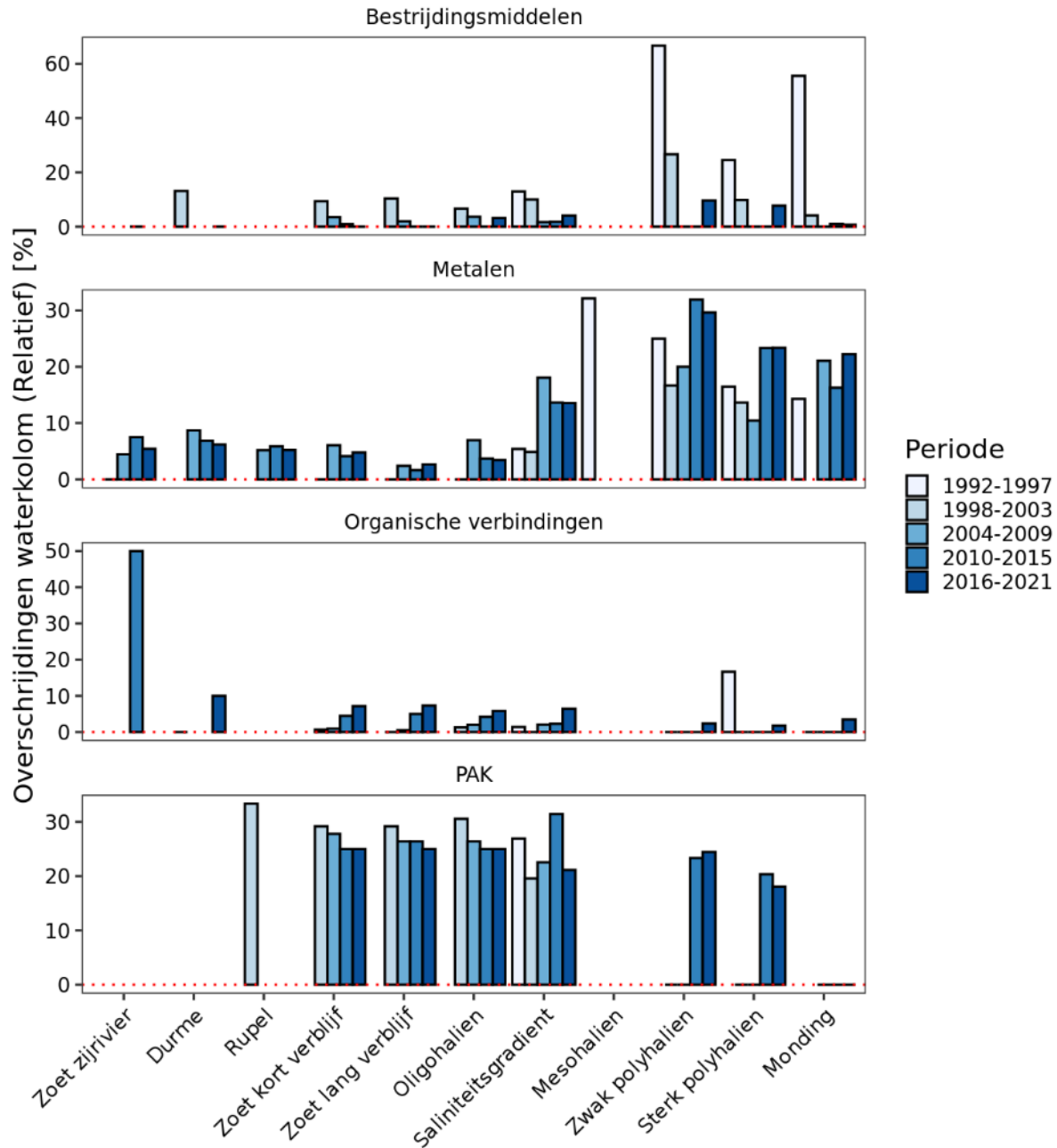
De observaties in het Analyserapport tonen dat in alle beschouwde zones minstens 1 stof de voorgeschreven jaargemiddelde norm overschrijdt (zie Figuur 3-30). In de Zijrivieren en de Monding worden minder overschrijdingen waargenomen dan in de Zeeschelde en Westerschelde, hetgeen ook deels gestuurd wordt door een verschil in bemonsteringsinspanning tussen de verschillende zones. Zo worden verschillende stoffen (nog) niet voldoende gemeten in de Zijrivieren. Het merendeel van de zones vertoont een (lichte) toename van het aantal overschrijdingen in de periode 2016-2021 ten opzichte van de periode 2010-2015, zowel wat betreft het absoluut als het relatief aantal overschrijdingen⁵. Enkel in de Zijrivieren wordt er eerder een (lichte) afname waargenomen, zowel wat betreft het absoluut als relatief aantal overschrijdingen. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 niet beter dan in de periode 2010-2015, toen eveneens alle zones de voorgeschreven toetswaarde overschreden en het aantal overschrijdingen lager lag.

⁴ Merk op dat deze rapportagegrens verschilt van de detectiegrens. Deze detectiegrens is de laagste concentratie waarbij de aanwezigheid van een bepaalde stof in het monster kan worden opgemerkt (ook gekend als de aantoonbaarheidsgrens). Een stof die aangetoond/gedetectedeerd wordt, is bijgevolg niet noodzakelijk kwantificeerbaar. Aangezien de analyses berusten op kwantitatieve metingen (concentraties) wordt hier gewerkt met de rapportagegrens (ook gekend als de bepalingsgrens).

⁵ Voor verontreinigende stoffen wordt gekeken naar zowel het absoluut als relatief aantal overschrijdingen. De bemonsteringsinspanning van deze stoffen varieert namelijk sterk tussen opeenvolgende jaren, waardoor het relatief aantal overschrijdingen een verkeerd beeld zou kunnen geven (bijv. 2 overschrijdingen uit 10 metingen (20 %) in het ene jaar en 1 overschrijding uit 4 metingen (25 %) in het volgende jaar).



Figuur 3-30: Absoluut aantal overschrijdingen van stof-specifieke normen (op basis van jaargemiddelden) die afgeleid werden in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Aantallen zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippelijijn geeft de zone-specifieke toetscriteria weer (0 overschrijdingen).



Figuur 3-31: Relatief aantal overschrijdingen van stof-specifieke normen (op basis van jaargemiddelden) die afgeleid werden in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Aantallen zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft de zone-specifieke toetscriteria weer (0% overschrijdingen).

De verontreiniging van het oppervlaktewater blijkt vooral in de Zeeschelde nog een groot probleem te zijn, met maar liefst 134 overschrijdingen doorheen de periode 2016-2021 in de zone *Saliniteitsgradient* (gelijk aan 11% van het totale aantal toetsbare metingen). In vergelijking met de periode 2010-2015 is er in geen enkel segment een duidelijke afname van de verontreiniging in de periode 2016-2021, waardoor dus niet aan het toetscriterium wordt voldaan. Een vergelijking van de verontreinigingen

tussen de verschillende 6-jarige periodes toont bovendien aan dat dit aantal in de volledige Schelde toeneemt in de tijd (zie Figuur 3-30). De onderliggende trend geeft dus een negatief signaal voor de nabije toekomst, waardoor er zeker nog ruimte is voor verbetering. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Verontreinigende stoffen in het oppervlaktewater* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

De rekenparameter *Verontreinigende stoffen in oppervlaktewater* wordt gekenmerkt door het samenbrengen van een uitgebreide lijst van stoffen. Een gedetailleerde bespreking van deze stoffen gaat dan ook voorbij aan het doel van dit rapport en kan eerder gevonden worden in de relevante eerstelijnsrapportages. Zo rapporteren CBS, PBL, RIVM en WUR samen over de specifiek verontreinigende stoffen m.b.t. de KRW (CBS *et al.*, 2022), terwijl de VMM eerder een groep-specifieke rapportage voor metalen en pesticiden hanteert (VMM, 2020a; VMM, 2021). Desalniettemin zijn er een aantal elementen die aangehaald kunnen worden om de waargenomen aantallen te kaderen en te verklaren. Zo speelt de bemonsteringsinspanning een belangrijke rol in het absoluut aantal overschrijdingen, maar ook verbeterde technieken kunnen tot een toename leiden.

Het is in dit kader ook belangrijk om rekening te houden met historische verontreiniging. Continue lozingen van effluënten met verontreinigende stoffen wordt sterk gereguleerd en opgevolgd, maar kan niet vermijden dat sporadische calamiteiten plaatsvinden en leiden tot een tijdelijke overschrijding (zie verder). Historische verontreiniging is dan weer een gevolg van beperkte regulering (en/of kennis) van lozingen in het verleden, met verhoogde concentraties in het sediment tot gevolg. Ondanks strikte huidige regulering kunnen er dan ook nog steeds overschrijdingen plaatsvinden als gevolg van nalevering uit het sediment. Dit maakt dat een overschrijding van de norm door bepaalde stoffen dan ook geen verrassing is, aangezien deze ook in de voorgaande periodes de norm overschrijden. Dit kan evenwel niet als excuus gebruikt worden om geen verdere actie te ondernemen.

De stoffen die in de periode 2016-2021 leiden tot een overschrijding van de voorgeschreven norm liggen in dezelfde lijn als (1) in de periode 2010-2015 en (2) de algemene bevindingen over verschillende rivierbekkens heen, zowel in Nederland als in Vlaanderen (zie bijvoorbeeld CBS *et al.* (2022), VMM (2020a) en VMM (2021)). Een aantal stoffen tonen een duidelijke afname van het (relatief) aantal overschrijdingen: cadmium, kobalt, zink, diflufenican en nonylfenol. Het merendeel van de stoffen die in de periode 2010-2015 de norm overschrijden, toont evenwel geen afname van het aantal overschrijdingen, met in sommige gevallen (o.a. arseen, uranium, tributyltin en flufenacet) zelfs eerder een toename. Daarnaast zijn er ook nog enkele stoffen die (relatief) recent aan de bemonstering zijn toegevoegd en frequent tot een overschrijding van de voorgeschreven norm leiden (o.a. imidacloprid, dicofol, perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) en perfluorooctaanzuur (PFOA)). Een globaal overzicht van de stoffen die tot een overschrijding van de norm leiden wordt gegeven in Tabel 3-3.

Tabel 3-3: Aantal overschrijdingen van de jaargemiddelde normwaarden voor de "toetsbare" stoffen in de periodes 2010-2015 en 2016-2021, weergegeven als aantal overschrijdingen ten opzichte van het aantal metingen. Resultaten worden weergegeven als 'X/Y', met 'X' het aantal overschrijdingen en 'Y' het aantal jaargemiddeldes dat werd berekend. '-': Geen toetsbare bemonstering van de stof.

Stof	2010-2015	2016-2021
Metalen		
Arseen	50/162	56/162
Boor	18/138	24/138
Cadmium	2/91	0/116
Kobalt	60/138	40/138
Kwik	8/8	23/23
Selenium	1/137	2/138
Uranium	46/138	61/138
Zink	16/162	6/153
PAK's		
Benzo(a)antraceen	12/36	15/45
Benzo(a)pyreen	35/35	41/41
Fenantreen	1/48	0/54
Fluorantheen	28/52	30/54
Pyreen	20/22	20/49
Bestrijdingsmiddelen		
Azinfos-ethyl	1/11	0/14
Dichloorvos	0/6	1/4
Dimethoat	1/41	0/51
Heptachloorepoxiden	4/4	2/2
Imidacloprid	-	14/23
Triazofos	0/6	1/38
Tributyltin	0/10	26/35
(Overige) organische stoffen		
Di(2-ethylhexyl)-ftalaat	1/47	1/37
Dicofol	-	16/16
Diflufenican	17/25	0/22
Flufenacet	0/25	7/21
Nonylfenol	7/16	2/7
PCB's	7/7	15/17
Perfluorooctaansulfonzuur (PFOS)	-	7/7
Perfluorooctaanzuur	-	9/9

De aanwezigheid van verontreinigende stoffen in de waterkolom wordt sterk gestuurd door het omgevende landgebruik, maar ook door de heersende wetgeving en technologische innovatie. Zo dragen atmosferische depositie, gebruik van kunstmest en algemene bodemerosie bij aan de aanwezigheid van verscheidene zware metalen (kobalt, uranium, zink). Het arseengehalte in de zoete zones van de Boven-Zeeschelde wordt voornamelijk bepaald door bodemerosie en RWZI-effluent, terwijl bedrijven en diensten een grotere bijdrage leveren verder stroomafwaarts in de Zeeschelde, gevolgd door atmosferische depositie in de Westerschelde (Schelde in Beeld, 2023). Ook de aanwezigheid van kwik

wordt in sterke mate gestuurd door atmosferische depositie in zowel Zeeschelde als Westerschelde, aangevuld met RWZI-effluent (stroomopwaarts in de Zeeschelde) en Bedrijven en diensten (stroomafwaarts in de Zeeschelde). PAK's komen voornamelijk terecht in het oppervlaktewater door de transportsector en atmosferische depositie in zowel Zeeschelde als Westerschelde (Schelde in Beeld, 2023). De aanwezigheid van het bestrijdingsmiddel imidacloprid wordt dan weer sterk gestuurd door historisch gebruik, gezien de beperking op het gebruik ervan sinds 2013

Een tweede factor die invloed heeft op de aanwezigheid van verontreinigende stoffen in de waterkolom is de instroom via de grenzen van het estuarium. Het merendeel van deze meetstations vertoont evenwel een beperkt (< 5) aantal overschrijdingen aan in de periodes 2010-2015 en 2016-2021, terwijl een afname van het aantal overschrijdingen wordt gesuggereerd door de onderliggende trend. Zo lijkt het aantal overschrijdingen door metalen en PAK's in meerdere Zijrivieren af te nemen, met uitzondering van het meetstation *Durme*. In alle meetstations wordt ook minstens 1 overschrijding van de voorgeschreven normen waargenomen, waardoor invoer vanuit het bekken niet ondenkbaar is.

Kader 4-1 - Additionele opmerkingen met betrekking tot PFAS/PFOS

De recente media-aandacht voor de aanwezigheid van PFOS en andere perfluoroctaanverbindingen in het grondwater rond de fabriek van 3M en de gerelateerde lozingen in de Schelde kunnen in dit rapport niet zomaar genegeerd worden. Wel dient benadrukt te worden dat deze (en voorgaande) T-rapportages tot doel hebben om de toestand van het estuarium te analyseren en te evalueren, waarna de nodige instanties op basis van de bevindingen de noodzakelijke uitvoerende kaders opzetten. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een specifieke set van stoffen, gebaseerd op Europese en nationale normen voor oppervlaktewater. Van alle mogelijke PFAS-verbindingen (de overkoepelende groep van perfluoroctanzuren) zijn enkel PFOS en PFOA opgenomen in de lijst.

Het hoeft niet te verrassen dat PFOS in de periode 2016-2021 in de waterkolom gemeten is en telkens de voorgeschreven norm overschrijdt (zie Tabel 3-3). Wel is het hierbij belangrijk om op te merken dat PFOS slechts sinds 2017 stelselmatig door VMM in het oppervlaktewater wordt gemeten in een selectie van meetpunten in de Zeeschelde. Vanuit RWS zijn er zelfs slechts metingen sinds 2019. Sinds 2021 is het aantal meetpunten in de Zeeschelde verder uitgebreid en worden er standaard meerdere PFAS-verbindingen gemonitord.

Voor meer informatie omtrent de aanwezigheid van PFAS-verbindingen in oppervlaktewater, drinkwater en afvalwater wordt aangeraden om de website van VMM te bezoeken: www.vmm.be en de zoekterm 'PFAS' te hanteren. Voor de Westerschelde kunnen de metingen geraadpleegd worden via Waterinfo (waterinfo.rws.nl). Verder onderzoek omtrent PFAS (o.a. normering, aanwezigheid in de zee, aanwezigheid in het bloed, ...) wordt eveneens gebundeld op de website van de Vlaamse Overheid: www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling.

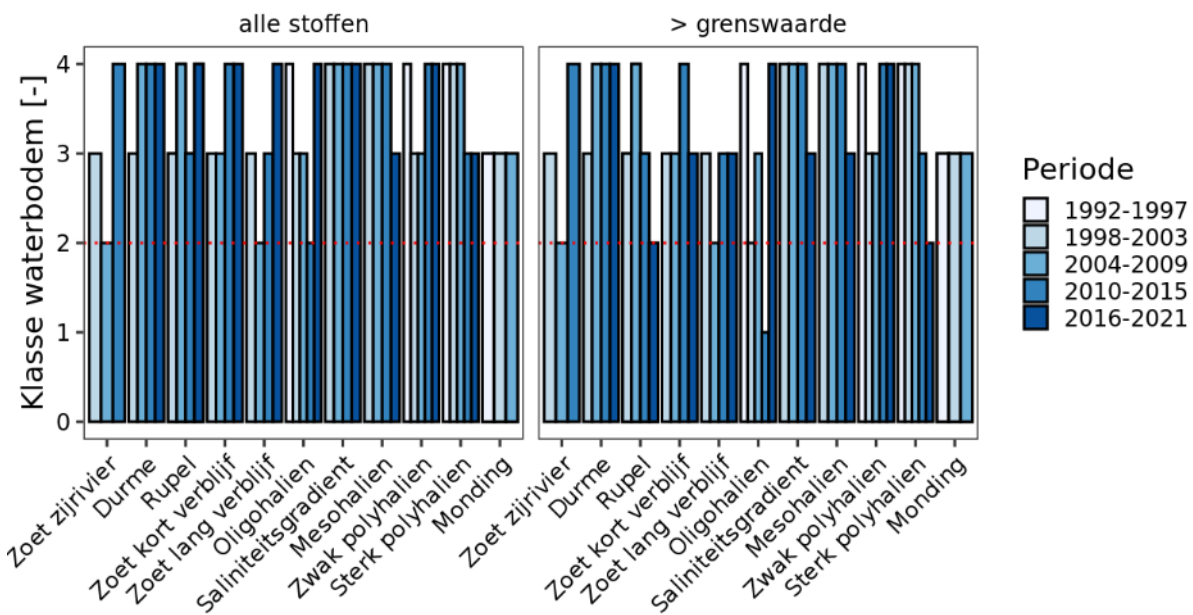
3.5.2. Verontreiniging in waterbodem

Definitie

Voor de aanwezigheid van verontreinigende stoffen in de waterbodem zijn er normen voor zoetwaterbodems voorhanden via de Vlaamse Triade-methodiek (de Deckere *et al.*, 2000). De analyse maakt gebruik van **dezelfde normen voor zoete, brakke en zoute zones**, tenzij expliciet anders aangegeven. Deze stof-specifieke verhoudingen van de waargenomen concentraties ten opzichte van de norm worden samengebracht in een samenvattende index, die werd uitgewerkt voor de Vlaamse Triade-methodiek. Deze index wordt gehanteerd voor het uitvoeren van een overzichtelijke (doch gesimplificeerde) analyse in elke zone (Zeeschelde en Westerschelde). De analyse leidt tot het toekennen van een klasse (gaande van 1 t.e.m. 4), waarbij de bovengrens wordt gelegd op klasse 2.

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat in alle beschouwde zones verontreiniging voorkomt (zie Figuur 3-32). Enkel in de zone *Rupel* leidt de combinatie van kwantificeerbare stoffen niet tot een *Frequent effect* (i.e. klasse 2), maar dit blijkt wel het geval te zijn wanneer alle stoffen beschouwd worden (zijnde het gelijkstellen van niet-quantificeerbare stoffen aan de grenswaarde). Het merendeel van de zones vertoont een gelijkaardige klasse-score in de periode 2016-2021 ten opzicht van de periode 2010-2015, zowel wat alle stoffen als de subset van kwantificeerbare stoffen betreft. Op basis van de kwantificeerbare stoffen komt de hoogste klasse-score evenwel net iets minder frequent voor dan in de periode 2010-2015. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 niet beter dan in de periode 2010-2015, toen eveneens bijna alle zones de voorgeschreven toetswaarde overschreden.



Figuur 3-32: Hoogste klasse-scores van verontreinigende stoffen in de waterbodembodem die afgeleid werden in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Maxima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft het toetscriterium weer (Klasse 2).

De verontreiniging van de waterbodembodem blijkt vooral in de Zeeschelde nog een groot probleem te zijn, met frequent de hoogste of tweede-hoogste klasse als resultaat in de periode 2016-2021. Een vergelijking van de verontreiniging in de waterbodembodem tussen de verschillende 6-jarige periodes toont bovendien aan dat deze in de volledige Schelde niet afneemt in de tijd (zie Figuur 3-32). In de Westerschelde vertoont enkel de zone *Zwak polyhalieren* een toename in de afgeleide klasse, waarbij tevens vermeld moet worden dat de onderliggende bemonstering voornamelijk uitgevoerd wordt op zandige monsters afkomstig van sedimentatierijke locaties. Dit maakt de bemonstering niet representatief voor de volledige Westerschelde, maar het geeft wel een indicatie van het verloop van de waargenomen verontreinigende stoffen. De onderliggende trend geeft dus een negatief signaal voor de nabije toekomst, waardoor er zeker nog ruimte is voor verbetering. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Verontreinigende stoffen in de waterbodembodem* voor de Zeeschelde **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

De rekenparameter *Verontreinigende stoffen in de waterbodem* wordt gekenmerkt door het samenbrengen van een uitgebreide lijst van stoffen. Een gedetailleerde bespreking van deze stoffen gaat dan ook voorbij aan het doel van dit rapport en kan eerder gevonden worden in de relevante eerstelijnsrapportages. Desalniettemin zijn er een aantal elementen die aangehaald kunnen worden om de waargenomen klasse-scores te kaderen en te verklaren. Zo speelt de bemonsteringsinspanning een belangrijke rol in het absoluut aantal overschrijdingen, maar ook verbeterde technieken kunnen een invloed hebben.

Net zoals voor de parameter *Verontreinigende stoffen in het oppervlaktewater* is het voor de verontreiniging van de waterbodem belangrijk om rekening te houden met historische verontreiniging. Dit maakt dat een overschrijding van de norm door bepaalde stoffen ook geen verrassing is, aangezien deze ook in de voorgaande periodes de norm overschrijden. Dit kan evenwel niet als excuus gebruikt worden om geen verdere actie te ondernemen. Zo is er het voorbeeld van de purperslak (*Nucella lapillus*) die sinds het verbod op het gebruik van tributyltin (TBT) terug een duidelijke toename in biomassa vertoont (zie verder, Sectie 5.5.1).

De stoffen die in de periode 2016-2021 leiden tot een overschrijding van de voorgeschreven norm liggen in dezelfde lijn als in de periode 2010-2015. Een aantal stoffen tonen een duidelijke afname van het aantal overschrijdingen: chroom, lood, PCB101, PCB138. Het merendeel van de stoffen die in de periode 2010-2015 de norm overschrijden toont evenwel geen duidelijke afname van het aantal overschrijdingen, doch voor geen enkele stof wordt een toename waargenomen. Daarnaast wordt wel opgemerkt dat de bemonsteringsinspanning in de periode 2016-2021 lager ligt dan in de periode 2010-2015, waardoor sommige afnames eerder artificieel van aard zijn. Een globaal overzicht van de stoffen die tot een overschrijding van de norm leiden, wordt gegeven in Tabel 3-4.

Tabel 3-4: Aantal overschrijdingen van de 2^{de} referentiewaarde voor de "toetsbare" stoffen in de periodes 2010-2015 en 2016-2021, weergegeven als aantal overschrijdingen ten opzichte van het aantal metingen. Resultaten worden weergegeven als 'X/Y', met 'X' het aantal overschrijdingen en 'Y' het aantal jaargemiddeldes dat werd berekend. '-': Geen toetsbare bemonstering van de stof.

Stof	2010-2015	2016-2021
Metalen		
Arseen	20/24	20/24
Cadmium	6/29	3/25
Chroom	6/34	0/29
Kwik	5/35	4/29
Lood	18/32	11/28
Nikkel	19/34	18/29
Zink	8/34	3/29
PAK's		
Anthraceen	1/28	0/21
Fenantreen	1/29	0/22
Bestrijdingsmiddelen		
Dieldrine	3/3	-
Hexachloorbenzeen	6/6	2/2
Tributyltin	8/14	1/3

Stof	2010-2015	2016-2021
PCB's		
PCB28	17/17	9/9
PCB52	21/22	15/15
PCB101	20/29	13/29
PCB118	18/28	10/22
PCB138	18/31	9/25
PCB153	15/31	9/24
PCB180	22/31	16/26

In tegenstelling tot de overige rekenparameters wordt er voor de verontreiniging van de waterbodems minder aandacht besteed aan de invloed van het bekken. Meetstations aan de grenzen van het estuarium kunnen dan wel verontreinigd zijn, maar zonder extensieve beheersmaatregelen (of een andere vorm van verstoring) zal deze verontreiniging vrij lokaal blijven. Hoe de verontreiniging van de waterbodems in deze stations tot stand is gekomen, volgt in grote lijnen dezelfde redenering als de verontreiniging van de waterbodems in de Schelde (en Zijrivieren): historische verontreiniging die slechts gestaag afneemt door natuurlijke processen en (soms) menselijke ingrepen.

Naast een actieve behandeling van het sediment is het ook mogelijk dat ingrepen in het estuarium indirect een invloed hebben op het gedrag van verontreinigende stoffen. Zo kan de historische contaminatie die in de bodem is opgeslagen, vrijkomen door erosie ten gevolge van veranderingen in de hydromorfologie. Ook door veranderingen in het zuurstofgehalte of de redoxpotential kunnen verontreinigende stoffen adsorberen aan het sediment of terug in oplossing komen, waardoor deze beschikbaar worden voor de biotische componenten.

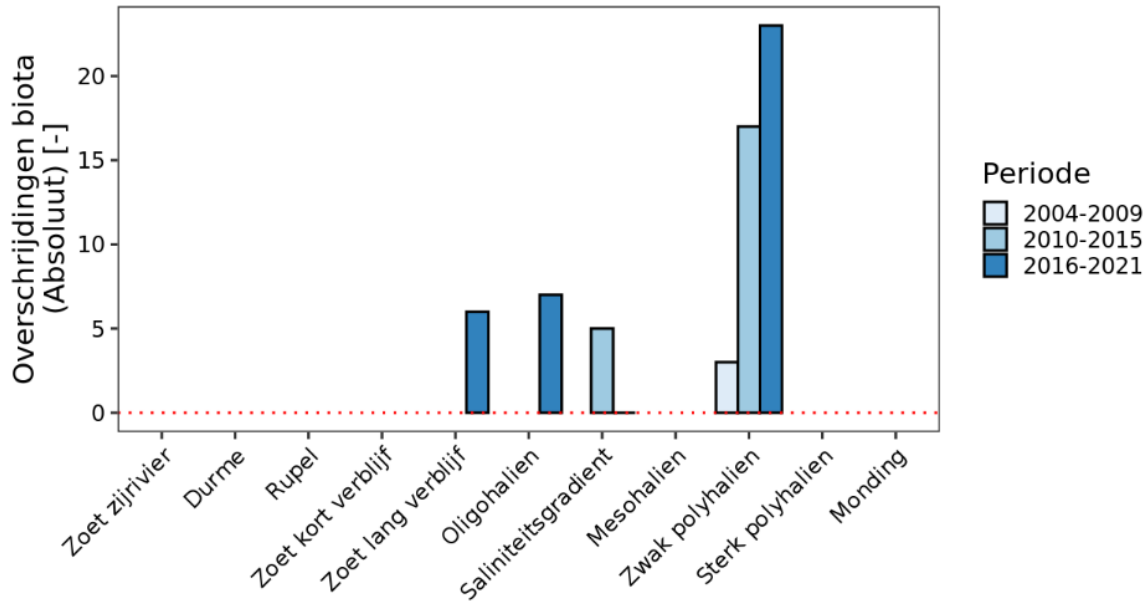
3.5.3. Verontreiniging in biota

Definitie

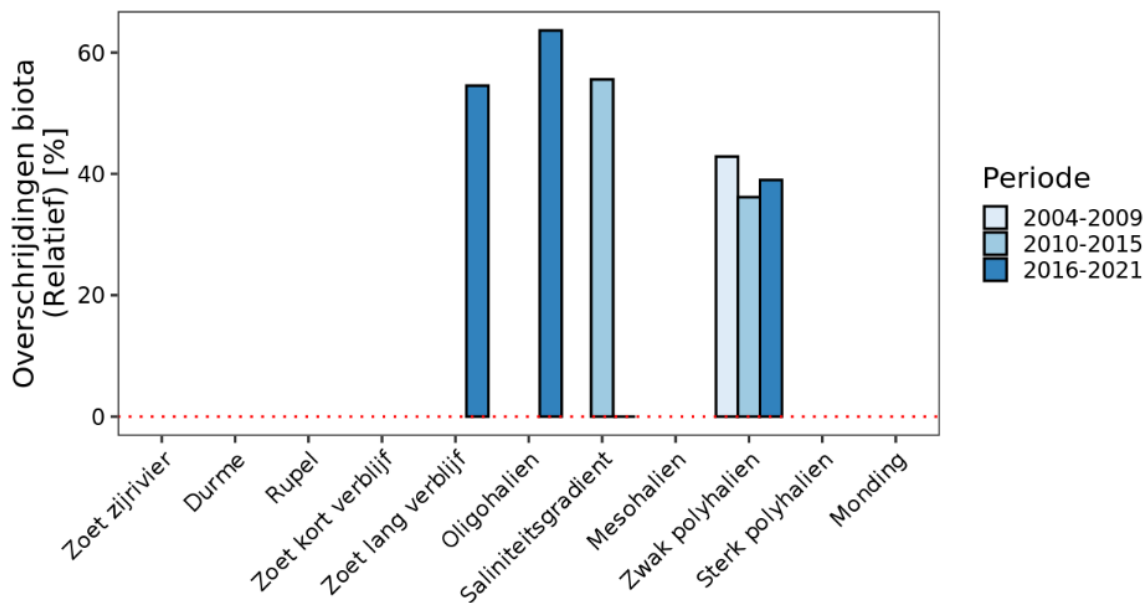
Voor de aanwezigheid van verontreinigende stoffen in biota zijn er stof- en soort-specifieke normen voorhanden. Voor de Zeeschelde zijn gegevens beschikbaar van paling en baars, terwijl er voor de Westerschelde gebruik gemaakt wordt van mosselen en bot voor de KRW (De Jonge *et al.*, 2014). Naast deze metingen wordt in de Westerschelde ook gebruik gemaakt van onder andere blauwe mosselen, Japanse oester, bot en schol in het kader van OSPAR. Voor KRW wordt er evenwel geen verschil gemaakt tussen de verschillende organismen, terwijl er binnen OSPAR wel organisme-specifieke normen zijn opgesteld. Aangezien de informatie omtrent het bemonsterde organisme ontbreekt in de beschikbare data, werd enkel de KRW-methodiek toegepast in elke zone (Zeeschelde en Westerschelde). Deze laatste omvat de opvolging en toetsing van 11 stoffen (of stofgroepen).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat in bijna alle beschouwde zones minstens 1 stof de voorgeschreven jaargemiddelde norm overschrijdt (zie Figuur 3-33 en Figuur 3-34). Enkel in de zone *Saliniteitsgradiënt* zijn er in de periode 2016-2021 geen overschrijdingen waargenomen (merk op dat het hier slechts om 2 metingen gaat). Voor overige zones in de Zeeschelde blijft een vergelijking tussen de verschillende periodes uitdagend door de beperkte hoeveelheid data. Hiermee kan dus geen vaststelling gemaakt worden omtrent de toestand van het estuarium in vergelijking met de voorgaande periode.



Figuur 3-33: Absoluut aantal overschrijdingen van stof-specifieke normen (op basis van jaargemiddelden) die afgeleid werden in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Aantallen zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft de zone-specifieke toetscriteria weer (0 overschrijdingen).



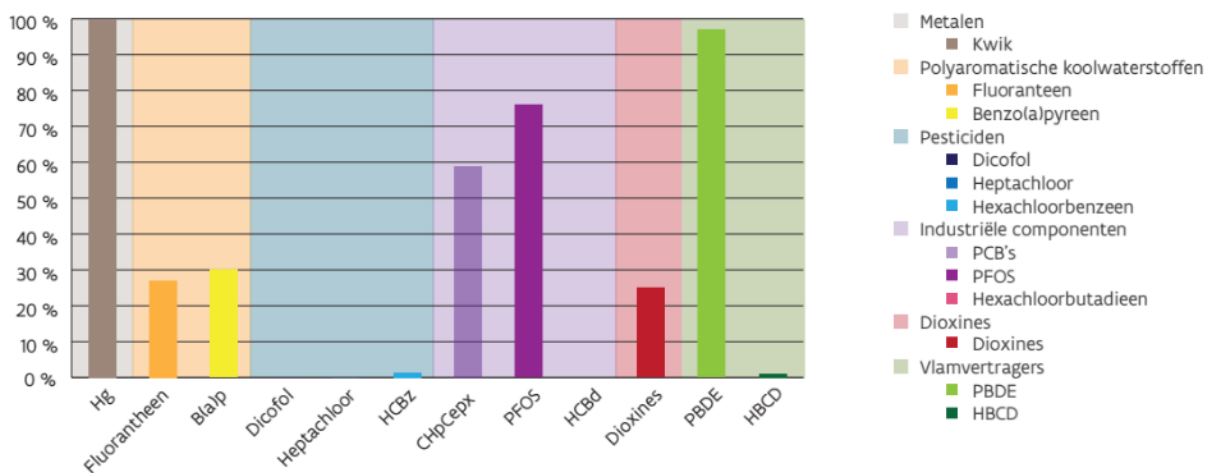
Figuur 3-34: Relatief aantal overschrijdingen van stof-specifieke normen (op basis van jaargemiddelden) die afgeleid werden in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Aantallen zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft de zone-specifieke toetscriteria weer (0% overschrijdingen).

De verontreiniging van biota blijkt in alle beschouwde zones nog een groot probleem te zijn, met maar liefst 23 overschrijdingen doorheen de periode 2016-2021 in de zone *Zwak polyhalien* (gelijk aan 39% van het totale aantal toetsbare metingen) en 36 overschrijdingen in het volledige estuarium (uit 83 metingen). Zowel heptachloorepoxiden (13 overschrijdingen uit 13 metingen) en PBDEs (8 overschrijdingen uit 8 metingen) vertonen te hoge concentraties, maar ook kwik (6 overschrijdingen uit 8 metingen), benzo(a)pyreen (3 overschrijdingen uit 9 metingen), fluorantheen (2 overschrijdingen uit 9 metingen), dioxinen (2 overschrijdingen uit 2 metingen) en PFOS (2 overschrijdingen uit 8 metingen) vertonen te hoge concentraties. Deze resultaten geven dus een negatief signaal voor de nabije toekomst, waardoor er zeker nog ruimte is voor verbetering. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Verontreinigende stoffen in biota* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

De rekenparameter *Verontreinigende stoffen in biota* wordt gekenmerkt door het samenbrengen van een relatief beperkte lijst van stoffen (doch het samenbrengen van verschillende PBDE-verbindingen). Een gedetailleerde bespreking van deze stoffen gaat dan ook voorbij aan het doel van dit rapport en kan eerder gevonden worden in de relevante eerstelijnsrapportages. Zo kan er voor de Nederlandse wateren meer info en details gevonden worden in het rapport van Sneekes *et al.* (2022), terwijl er voor de Vlaamse wateren gekeken kan worden naar de studie van Teunen *et al.* (2020). Desalniettemin zijn er een aantal elementen die aangehaald kunnen worden om de waargenomen aantallen te kaderen en te verklaren. Zo speelt de bemonsteringsinspanning een belangrijke rol in het absoluut aantal overschrijdingen, maar ook verbeterde technieken kunnen tot een toename leiden.

De stoffen die in de periode 2016-2021 leiden tot een overschrijding van de voorgeschreven norm liggen in dezelfde lijn als (1) de stoffen die de norm in het oppervlaktewater overschrijden (zie Sectie 3.5.1) en (2) de algemene bevindingen over verschillende rivierbekkens heen, zowel in Nederland als in Vlaanderen (zie bijvoorbeeld Sneekes *et al.* (2022) en Teunen *et al.* (2020), aangevuld met Figuur 3-35 voor Vlaanderen). Zo worden zowel in Vlaanderen als in het Schelde-estuarium een overschrijding waargenomen voor benzo(a)pyreen, fluorantheen, heptachloorepoxiden, kwik en PFOS. Dit toont aan dat de aanwezigheid van deze stoffen in de waterkolom effectief leidt tot de aanwezigheid ervan in biota.



Figuur 3-35: Procentueel aantal overschrijdingen van metingen in biota voor een specifieke stof, uitgevoerd in Vlaanderen in de periode 2015-2018. Afbeelding afkomstig van VMM (2020b), gebaseerd op de studie van Teunen *et al.* (2020).

3.6. Samenvatting Evaluatie

De communicatie-indicator *Waterkwaliteit* geeft de status van de klassieke fysicochemie (chemische waterkwaliteit) in de waterkolom van het Schelde-estuarium weer en wordt geëvalueerd op basis van vier toetsparameters: (1) *Zuurstof* (Sectie 3.2), (2) *Nutriënten* (Sectie 3.3), (3) *Abiotisch klimaat* (Sectie 3.4) en (4) *Verontreinigende stoffen* (Sectie 3.5). De evaluatie bouwt voort op verschillende rekenparameters, waarvoor eveneens de evolutie opgevolgd wordt. Zo kan een rekenparameter negatief geëvalueerd worden en toch een positieve evolutie kennen.

3.6.1. Zuurstof

De toetsparameter *Zuurstof* bestaat uit drie rekenparameters (*Absoluut minimum*, *95% overschrijding* en *Duur zuurstofdip*) die allemaal negatief geëvalueerd worden. Deze beoordeling wordt in grote mate gestuurd door de omstandigheden in de Zeeschelde, terwijl de Westerschelde voldoet aan de voorgeschreven criteria. Opvallend is dat het absoluut minimum in de Zeeschelde niet overal gehaald wordt, terwijl dit in de periode 2010-2015 wel het geval was. De algemene zuurstofhuishouding verbetert echter wel, met toenames van de 5-percentielwaarde in zowel zomer als winter. Voor de duur van de zuurstofdip worden wisselende resultaten waargenomen, doch enige voorzichtigheid bij de interpretatie is aangeraden.

Algemeen gesteld wordt de toetsparameter *Zuurstof* **negatief geëvalueerd**.

3.6.2. Nutriënten

De toetsparameter *Nutriënten* bestaat uit tien rekenparameters (*fastNOD*, *BOD-C*, *TDIN*, *Fosfaat*, *Silicaat*, *ICEP-DSi*, *ICEP-TSi*, *TDINflux*, *Nitriet* en *Ammoniak*) die nagenoeg allemaal negatief geëvalueerd worden (met uitzondering van *TDIN* en *Fosfaat*). Hierbij dient wel gesteld te worden dat *TDIN* en *Fosfaat* als enige rekenparameters niet getoetst worden aan vaste toetscriteria, maar aan de afgeleide waarde in de periode 2004-2009 (de T2009-rapportage). Dit komt de evaluatie ten goede, ondanks het feit dat de waargenomen TDIN-concentraties hoger liggen dan de heersende milieukwaliteitsnormen. Bovendien wordt er de laatste jaren een lichte toename in de TDIN-concentratie waargenomen, hetgeen noopt tot enige voorzichtigheid en verdere opvolging. Hier kan een link met de lagere debieten gelegd worden, gezien de afgeleide vrachten (*TDINflux*) nagenoeg onveranderd zijn gebleven.

De overige rekenparameters binnen de toetsparameter *Nutriënten* voldoen niet aan het opgestelde toetscriterium, maar vertonen wel een algemene afname. Dit leidt tot een negatieve beoordeling binnen deze rapportage, maar geeft wel een positief signaal voor de nabije toekomst. Ook hier wordt de negatieve beoordeling sterk gestuurd door de Zeeschelde, terwijl de Westerschelde nagenoeg steeds voldoet aan de voorgeschreven criteria. Enige aandacht dient nog wel besteed te worden aan de instroom van nutriënten uit de Zijrivieren (o.a. Bovenschelde, Dender en Zenne) en het tekort aan silicium dat (1) tijdens fytoplanktonbloei ontstaat in de Zeeschelde en (2) bijna continu heerst in de Westerschelde en Monding.

Algemeen gesteld wordt de toetsparameter *Nutriënten* **negatief geëvalueerd**.

3.6.3. Abiotisch klimaat

De toetsparameter *Abiotisch klimaat* bestaat uit drie rekenparameters (*Chloridegehalte*, *Zwevende stof* en *Watertemperatuur*) die allemaal negatief geëvalueerd worden. Opvallend is de blijvende toename van het chloridegehalte en de zwevende stof in de Zeeschelde, hetgeen een verklaring vindt in de waargenomen debieten (en geassocieerde getij-indringing). De toename in het chloridegehalte valt voor de meeste delen nog binnen de (artificiële) grenzen van de afgebakende saliniteitszones, met uitzondering van de compartimenten die grenzen aan compartimenten met een afwijkend geaccepteerd gedrag van het chloridegehalte. Zo overschrijdt *Comp. 15* (meetstations *Lippenbroek* en *Baasrode*) regelmatig de zoetwaternormen, met gelijkaardige chloridegehaltenes als in station *Temse* (beschouwd als *Oligohalien*) in de periode 2004-2009. Ondanks de potentieel positieve effecten (i.e. afname van toxiciteit van verschillende metalen met toenemende saliniteit) wordt deze toename toch als negatief beschouwd, onder andere door de invloed op de ecologie (zie verder).

De link tussen de hoeveelheid zwevende stof en het heersende debiet werd reeds eerder gedocumenteerd en gebruikt voor het aantonen van een regimeshift in 2008-2009. Vanaf die periode ligt de hoeveelheid zwevende stof beduidend hoger in de Zeeschelde (maar niet in de Westerschelde), ten gevolge van een gewijzigde relatie met het debiet. Ook hier (net zoals bij *TDIN*) wordt de toename in de hoeveelheid zwevende stof in de periode 2016-2021 in de Zeeschelde eerder gestuurd door een afname in debiet, terwijl de totale vracht op een gelijkaardig niveau blijft. Desalniettemin blijft een toename ongewenst door de geassocieerde negatieve effecten op het lichtklimaat.

Ook de rekenparameter *Watertemperatuur* voldoet in meerdere compartimenten van de Zeeschelde niet aan het voorgeschreven toetscriterium, terwijl er geen overschrijdingen in de Westerschelde worden waargenomen. Op zich is dit niet verrassend in het kader van de algemene klimaatsverandering en de toegenomen frequentie van hittegolven, maar het toont wel aan dat het Schelde-estuarium (nog) niet bestand is tegen deze veranderingen. De hoogste watertemperaturen worden gemeten op het einde van gekende hittegolven en in de compartimenten met de laagste debieten. Hier verloopt de opwarming het snelst door de kleinere volumes aan water, waardoor ook de lokale ecologie effecten kan ondervinden.

Algemeen gesteld wordt de toetsparameter *Abiotisch klimaat* **negatief geëvalueerd**.

3.6.4. Verontreinigende stoffen

De toetsparameter *Verontreinigende stoffen* bestaat uit drie rekenparameters (*Verontreiniging in oppervlaktewater*, *Verontreiniging in waterbodem* en *Verontreiniging in biota*) die allemaal negatief geëvalueerd worden. Hiermee ligt de beoordeling in lijn met de T2015-rapportage en de verwachtingen, onder andere door de aanwezige industrie en historische verontreiniging. Ook de aangepaste methodologie (negatief bij een enkele overschrijding, in lijn met KRW-beoordeling) draagt hiertoe bij en maakt een positieve beoordeling in het Schelde-estuarium enorm uitdagend. Desalniettemin valt het op dat er nauwelijks verbetering waar te nemen is in het aantal overschrijdingen (zowel absoluut als relatief) van verontreinigende stoffen in de waterkolom, met slechts afnames voor een beperkt aantal stoffen (cadmium, kobalt, zink, diflufenican en nonylfenol).

Ook voor de verontreinigende stoffen in de bodem blijkt er weinig te zijn veranderd ten opzichte van de voorgaande periode, met hoge klasse-scores voor bestrijdingsmiddelen en PCB's. Verschillende stoffen worden echter gekarakteriseerd door een toetscriterium dat lager ligt dan de bepalingsgrens, waardoor metingen die onder de bepalingsgrens vallen tot een artificiële verhoging van de klasse-score kunnen leiden. Door enkel de kwantificeerbare stoffen mee te nemen, wordt een iets positiever beeld bekomen

(doch met nog steeds overschrijdingen in nagenoeg alle zones). Desalniettemin blijven PCB's en meerdere metalen in te hoge concentraties aanwezig in de waterbodem van de Zeeschelde.

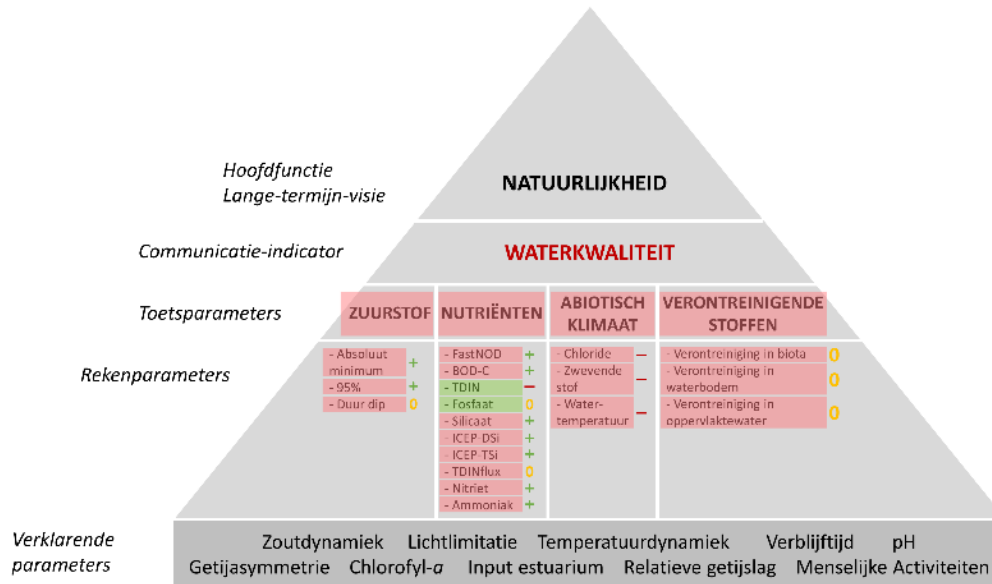
Verontreinigende stoffen in biota blijven iets uitdagender om op te volgen, onder andere door de nodige tijdsinvestering. Langjarige tijdsreeksen zijn nauwelijks voorhanden en bevatten niet altijd dezelfde stoffen. Door aan te sluiten bij de KRW-beoordeling worden slechts een 11-tal stoffen (en stofgroepen) meegenomen, waarvan slechts vier het voorgeschreven toetscriterium geen enkele keer overschrijden. Opvallend is dat de stoffen die tot een overschrijding in biota leiden, in lijn liggen met de stoffen die in de waterkolom tot een overschrijding leiden. Verdere opvolging is dus aangeraden, alsook het uitbreiden van de beschouwde stoffen met soort-specifieke toetscriteria.

Als nabrander dient hier nog vermeld te worden dat de analyse en evaluatie van verontreinigende stoffen allesbehalve rechtlijnig is. Zo kan de gevoeligheid van een organisme voor een bepaalde verontreiniging toenemen bij een wijzigend zoutgehalte en kunnen organismen die reeds aanzienlijke stress ondervinden ten gevolge van bijvoorbeeld zuurstoftekorten of toenemende zoutschommelingen, een grotere gevoeligheid hebben voor diverse verontreinigende stoffen. Deze gevoeligheid kan slechts in zeer beperkte mate meegenomen worden en vereist specifieke studies voor verdere doorgronding.

Algemeen gesteld wordt de toetsparameter *Verontreinigende stoffen* **negatief geëvalueerd**.

3.6.5. Overzicht

De communicatie-indicator *Waterkwaliteit* wordt geëvalueerd op basis van vier toetsparameters: *Zuurstof* (Sectie 3.6.1), *Nutriënten* (Sectie 3.6.2), *Abiotisch klimaat* (Sectie 3.6.3) en *Verontreinigende stoffen* (Sectie 3.6.4). Elk van deze toetsparameters wordt echter negatief geëvalueerd, doordat nagenoeg alle onderliggende rekenparameters negatief worden geëvalueerd. De enige uitzonderingen hierop zijn de rekenparameters *TDIN* en *Fosfaat*. Een overzicht van de evaluatie van de toets- en rekenparameters wordt voorzien in Figuur 3-36 en toont een overwegend negatieve evaluatie. Hierbij dient wel gesteld te worden dat (1) de evaluatie het *one-out-all-out*-principe conform de KRW-methodiek hanteert en (2) voor veel rekenparameters een verbetering vertoont ten opzichte van de periode 2010-2015.



Figuur 3-36: Schematische weergave van de Communicatie-indicator Waterkwaliteit, inclusief evaluatie van de reken- en toetsparameters op basis van de data uit de periode 2016-2021 en met behulp van de Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium. Parameters in een rode kleur worden negatief geëvalueerd, terwijl parameters in een groene kleur positief worden geëvalueerd. Voor de periode 2016-2021 vertonen slechts twee rekenparameters een positieve evaluatie. Aanvullend wordt ook de evolutie van de rekenparameters weergegeven, waarmee een indicatie wordt gegeven van een positieve ('+') of negatieve ('-') evolutie van de beschouwde rekenparameter (of '0' in geval van min of meer status quo).

4. Leefomgeving voor flora en fauna

4.1. Inleiding

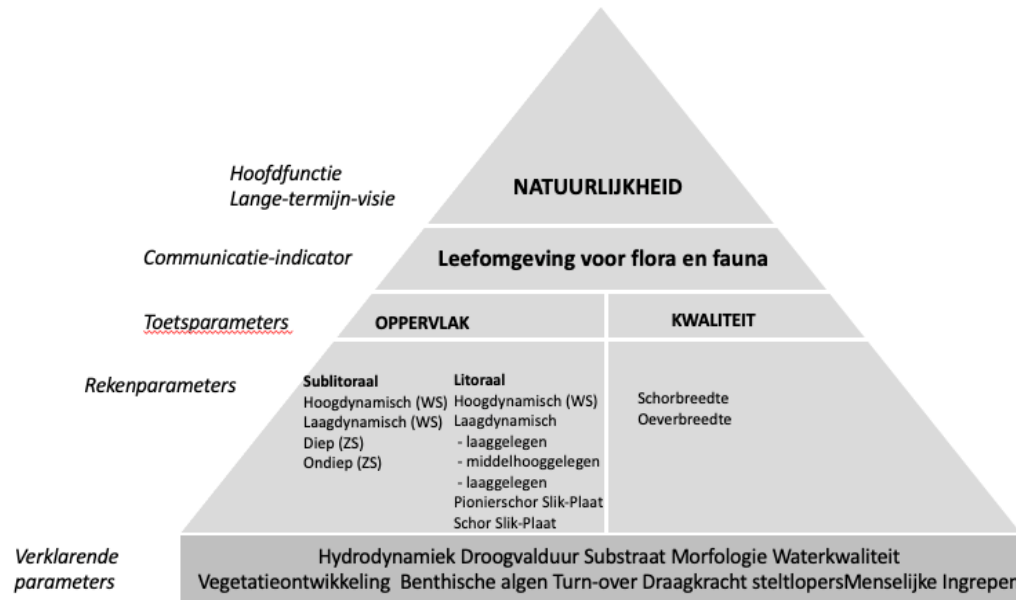
De leefomgeving is de resultante van enerzijds de hydromorfologische processen en anderzijds de invloed van flora en fauna op deze processen. Dit resulteert in een aantal fysische en chemische karakteristieken per locatie. Deze locaties leveren typische habitats en levensgemeenschappen op. Er wordt hier gesproken van habitats, omdat het gaat om leefgebied voor flora en fauna. De grenzen tussen de verschillende habitats worden bepaald op basis van fysische kenmerken, zoals beschreven in het ZES.1 (Bouma *et al.*, 2005). Er wordt daarom in plaats van habitats ook wel gesproken van fysiotopten of ecotopten.

De leefomgeving voor de flora en fauna van het Schelde-estuarium kent drie grote gradiënten: een oost-west gradiënt van volledig zoet naar volledig zout, een verticale gradiënt van het diepste punt van de geul tot het hoogste deel van het schor, en een interne gradiënt van een cyclische variatie in habitat turn-over en schordynamiek. De habitats en hun kenmerken zijn enerzijds de resultante van de bestaande morfo- en hydrodynamiek en de wisselwerking met flora en fauna. Anderzijds is het Schelde-estuarium continu onderhevig aan veranderingen door menselijk ingrijpen, zoals het uitbaggeren van de vaargeul en het terugstorten van het gebaggerde materiaal in het systeem. Deze ingrepen zijn weer van invloed op de morfo- en hydrodynamiek en de daaruit resulterende leefomgeving voor flora en fauna.

De Westerschelde en de Zeeschelde met zijrivieren vormen samen het Schelde-estuarium, maar er zijn duidelijke verschillen tussen beide deelsystemen. De Zeeschelde is in essentie een ééngestuursysteem, hoewel hier en daar vroeger wel kleine nevengeulen en platen voorkwamen (Van Braeckel *et al.*, 2006). Door de realisatie van delen van het Sigmaplan is de diversiteit toegenomen door natuurontwikkelingsprojecten en de realisatie van Gecontroleerd gereduceerd getijdegebieden (GGG's). De Westerschelde is een meergeuulensysteem waar zowel laagdynamische als hoogdynamische delen naast elkaar voorkomen. In het kader van het natuurpakket Westerschelde heeft hier uitbreiding en verbetering van 600 ha estuariene natuur (schorren en slikken) plaatsgevonden. De uitbreiding gebeurt op verschillende locaties langs de Westerschelde, waaronder de Hedwigepolder, natuurgebied het Zwin, Perkpolder (ontpoldering) en Waterdunen (gebied met gereduceerd getij), terwijl op vijf locaties in het Middengebied van de Westerschelde verbetering van de kwaliteit van het foerageergebied voor steltlopers plaatsvindt zoals bij Baalhoek, Knuitershoek, Bath, Zimmerman en Ossensisse. Dit alles resulteert in een grote diversiteit aan habitats.

Voor een natuurlijk functionerend Schelde-estuarium dient de oppervlakte aan verschillende habitats evenwichtig verdeeld te zijn, het aanwezige laagdynamisch habitat van voldoende kwaliteit en er moet sprake zijn van voldoende stabiliteit van habitats. Enerzijds is stabiliteit gewenst voor de ontwikkeling van een rijke bodemfauna en schorvegetatie en anderzijds moet er plaatselijk voldoende dynamiek zijn om de successie terug te zetten en jonge successiestadia te realiseren. De indicator *Leefomgeving* bestaat uit twee toetsparameters: *oppervlak* en *kwaliteit*.

Figuur 4-1 geeft de communicatie-indicator *Leefomgeving* weer, zoals deze is opgenomen in de Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium (Consortium Schelde in Beeld, 2022).



Figuur 4-1: Weergave Communicatie-indicator *Leefomgeving voor flora en fauna*.

4.2. Toetsparameter Oppervlak

De toetsparameter Oppervlak vergelijkt, op basis van de ecotopenkaarten, de waargenomen ontwikkeling van de ecotopen in de Zeeschelde en de Westerschelde met de gewenste ontwikkeling. Dit kan uitgedrukt worden als een gewenste trend, maar ook kan een criterium negatief geformuleerd zijn; dat er geen ongewenste trend mag voorkomen. Voor een aantal ecotopen van de Zeeschelde is in de Evaluatiemethodiek (Consortium Schelde in Beeld, 2022) een specifieke oppervlakte-eis met minimumoppervlakte gegeven. Wordt deze oppervlakte niet gehaald, is er sprake van een negatieve evaluatie. Indien er wel aan wordt voldaan is er sprake van een positieve evaluatie.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen sublitorale en litorale ecotopen. Bij de Zeeschelde wordt het sublitoraal opgesplitst in diep en ondiep water, waarbij matig diep sublitoraal (-2 tot -5 m beneden de laagwaterlijn) ook tot het diep sublitoraal wordt gerekend. Hierbij wordt dus een andere indeling gehanteerd dan bij de fysiotopenindeling (Tabel 1-3). In de Westerschelde wordt onderscheid gemaakt tussen hoog- en laagdynamisch sublitoraal. Het litoraal in de Westerschelde wordt opgesplitst in hoog- en laagdynamisch litoraal, waarbij het laagdynamisch litoraal verder wordt opgesplitst in laag-, middelhoog- en hooggelegen litoraal. Voor de Zeeschelde wordt vanaf 2001 onderscheid gemaakt tussen de verschillende litorale hoogtezones.

In de Westerschelde onderscheiden we pioniervegetatie en schorvegetatie. Bij de Zeeschelde wordt conform de evaluatiemethodiek geen onderscheid gemaakt tussen deze typen vegetaties.

In de volgende paragrafen worden eerst de onderscheiden ecotopen van de Zeeschelde besproken en vervolgens die van de Westerschelde. Hierdoor is het mogelijk om meer de samenhang in de

ontwikkeling van de verschillende ecotopen per watersysteem aan te geven. Bijlage C geeft een overzicht van de namen die gebruikt zijn voor de verschillende slikken en platen in de Westerschelde.

4.3. Zeeschelde

4.3.1. Diep en Ondiep sublitoraal Zeeschelde

Definitie

Diep sublitoraal in de Zeeschelde omvat de oppervlakte van de zones matig diep en diep water op de ecotopenkaarten van de Zeeschelde. Diep sublitoraal is geen doelhabitat voor de Zeeschelde. Hiervoor is dan ook geen minimumareaal afgeleid. Een toename van het Diep sublitoraal ten koste van ondiep sublitoraal per zone is ongewenst.

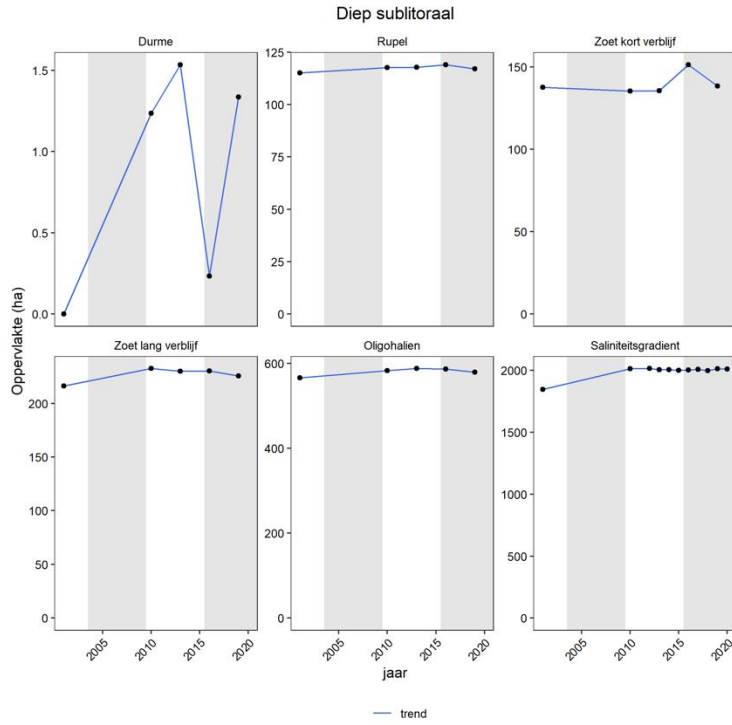
Het Ondiep sublitoraal in de Zeeschelde wordt gedefinieerd als de oppervlakte van de zone ondiep water van de gemiddelde laagwaterlijn tot 2 m beneden de gemiddelde laagwaterlijn. In de Evaluatiemethodiek wordt voor de oppervlakte Ondiep sublitoraal in de verschillende zones van de Zeeschelde een gewenst minimumareaal aangegeven: *Sterke saliniteitsgradiënt* 540 ha, *Oligohalien* 150 ha, *Zoet lange verblijftijd* 120 ha en *Zoet korte verblijftijd* 60 ha. Voor de *Rupel* en de *Durme* is geen gewenst minimumareaal Ondiep sublitoraal gedefinieerd (Maris *et al.*, 2013).

Ontwikkeling

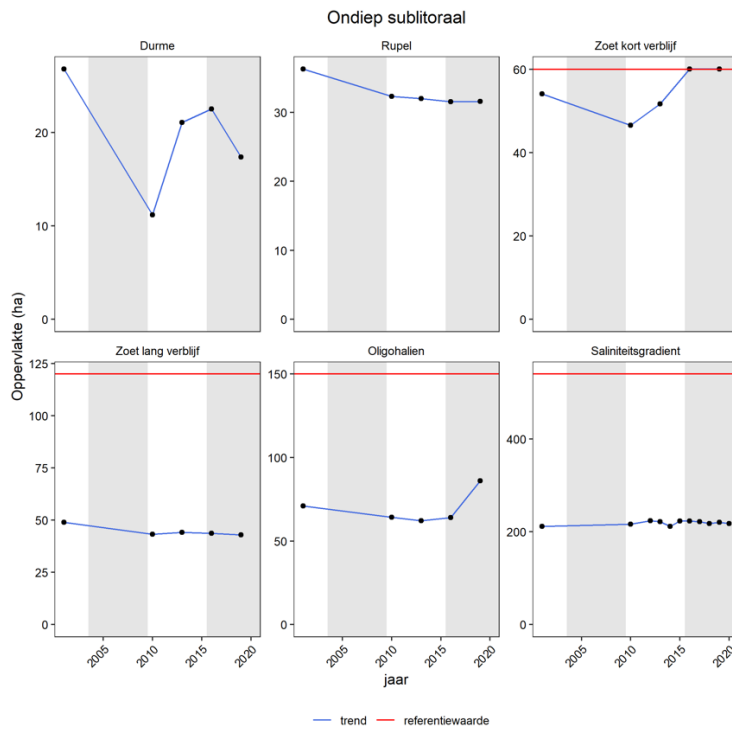
De ontwikkeling van het Diep en het Ondiep sublitoraal wordt per zone van de Zeeschelde weergegeven in resp. Figuur 4-2 en Figuur 4-3. De oppervlakte Diep sublitoraal is stabiel in *Rupel*, *Oligohalien*, *Zoet lange verblijftijd* en neemt iets toe in de zones *Zoet korte verblijftijd* en *Saliniteitsgradiënt*. In de *Durme* is er een sterk wisselend verloop zien, maar het betreft een geringe oppervlakte. Als de gemiddelde waarde van de T2015 met die van de T2021 wordt vergeleken is er sprake van een lichte afname. Wanneer naar de wat langere termijn wordt gekeken (inclusief T2009) dan neemt met uitzondering van de zone *Zoet korte verblijftijd* in alle zones het Diep sublitoraal toe.

De oppervlakte Ondiep sublitoraal voldoet alleen in de zone *Zoet korte verblijftijd* aan het minimumareaal door een sterke toename van het areaal. In de *Rupel*, *Zoet lange verblijftijd* en *Saliniteitsgradiënt* is de oppervlakte Ondiep sublitoraal min of meer stabiel. In de *Durme* en het *Oligohalien* is sprake van een toename in de T2021 ten opzichte van de T2015, waarbij in de *Durme* er grote verschillen zijn in de opeenvolgende ecotopenkaarten.

Op de langere termijn heeft in de meeste zones, met uitzondering van de *Saliniteitsgradiënt* aanvankelijk een afname van het Ondiep sublitoraal plaatsgevonden. Dit gaat in de meeste zones samen met een toename van het Diep sublitoraal op de lange termijn.



Figuur 4-2: Ontwikkeling van de oppervlakte Diep sublitoraal in de verschillende zones van de Zeeschelde.



Figuur 4-3: Ontwikkeling van de oppervlakte Ondiep sublitoraal in de verschillende zones van de Zeeschelde.

4.3.2. Litoraal Zeeschelde

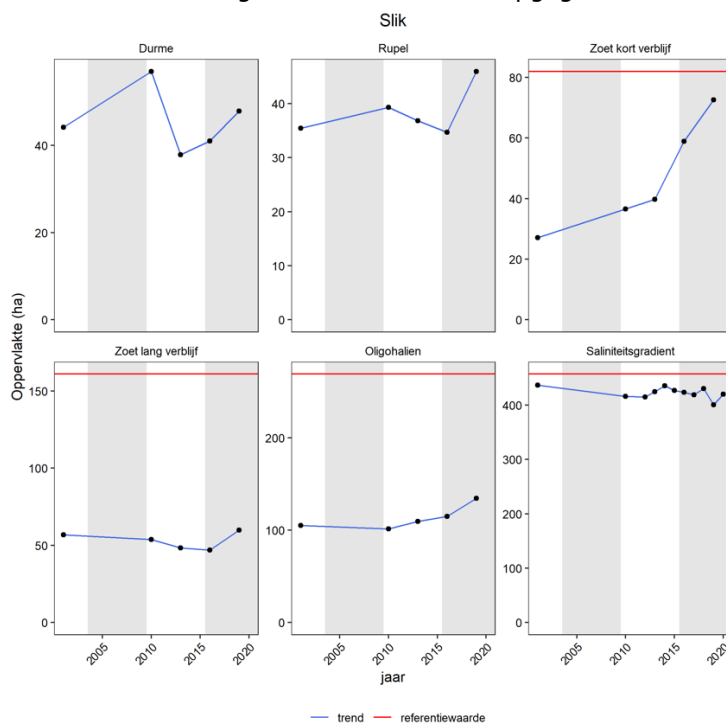
Definitie

Onder het Litoraal vallen alle natuurlijke ecotopen die met laagwater droogvallen en die geen begroeiing hebben. Antropogene ecotopen zijn buiten beschouwing gelaten, tenzij ze afgedekt zijn met een laag natuurlijk sediment; ze worden dan gekarteerd als zacht slik en behoren tot het Litoraal. Natuurlijke harde substraten zoals klei en veen zijn wel meegenomen als Litoraal. In de oudste ecotopenkaarten werd geen onderscheid gemaakt tussen laag, middelhoog en hoog litoraal. Vanaf 2001 wordt dit onderscheid wel in de ecotopenkaarten gemaakt.

Als het gewenste minimumoppervlakte Litoraal in de verschillende zones van de Zeeschelde gelden de volgende waarden: *Zoet korte verblijftijd* 82 ha, *Zoet lange verblijftijd* 161 ha, *Oligohalien* 269 ha en *Sterke saliniteitsgradiënt* 457 ha. Voor de *Durme* en de *Rupel* zijn geen gewenste minimumoppervlakten gegeven (zie Maris *et al.*, 2013).

Ontwikkeling

In de *Rupel*, *Zoet korte verblijftijd*, *Zoet lange verblijftijd* en *Oligohalien* is sprake van een toename van de oppervlakte Litoraal in de periode 2001-2021 (in Figuur 4-4). In de *Durme* is de situatie sterk wisselend en in de zone *Saliniteitsgradiënt* neemt de oppervlakte op de lange termijn licht af. In de *Durme*, *Rupel*, *Zoet korte verblijftijd*, *Zoet lange verblijftijd* en *Oligohalien* is sprake van een duidelijke toename van de oppervlakte Litoraal tijdens de T2021. Bij vergelijking van de T2015 met de T2021 is bij de *Durme* wel sprake van een afname. In de *Saliniteitsgradiënt* neemt de oppervlakte Litoraal ten opzichte van de T2015 licht af. In geen enkele zones wordt het minimumareaal gehaald. Voor de *Rupel* en de *Durme* werd geen minimumareaal opgegeven.



Figuur 4-4: Ontwikkeling van de oppervlakte Litoraal in de verschillende zones van de Zeeschelde.

4.3.3. Evaluatie Zeeschelde

Tabel 4-1 geeft de evaluatie conform het Analyserapport weer. De ontwikkeling van het Diep sublitoraal wordt positief geëvalueerd, omdat bij vergelijking van de T2021 met de T2015 dit niet ten koste gaat van het Ondiep sublitoraal. Wel neemt het Diep sublitoraal in volume toe.

Alleen de zone *Zoet korte verblijftijd* haalt het gewenste minimumareaal Ondiep sublitoraal. Voor de Rupel en de Durme wordt geen minimumareaal gegeven, maar in het eerste gebied neemt de oppervlakte Ondiep Sublitoraal toe en in het twee gebied af.

In geen enkele zone wordt het minimumareaal Litoraal gehaald, maar wel is er in de meeste zones sprake van een toename van de oppervlakte Litoraal. Voor de Durme en Rupel zijn geen minimumarealen opgegeven: in de Rupel neemt de oppervlakte litoraal af bij vergelijking met de T2015, terwijl in de Rupel de oppervlakte toeneemt.

Hoewel in de meeste zones niet voldaan wordt aan de eisen ten aanzien van de minimumarealen Ondiep sublitoraal en Litoraal is er wel vaak sprake van een toename in verschillende zones van de oppervlakte van deze ecotopen. Dit geldt in de zones *Zoet korte verblijftijd* en *Oligohalien* voor beide ecotopen, en voor de zone *Zoet lange verblijftijd* alleen voor het Litoraal. In de zone *Zoet korte verblijftijd* benadert de oppervlakte Litoraal het minimumareaal, terwijl in de zones *Zoet lange verblijftijd* en *Oligohalien* er weliswaar sprake is van een toename, maar het gewenste areaal wordt nog lang niet bereikt.

Tabel 4-1: Evaluatie van de ecotopen van de Zeeschelde in het Analyserapport. Groen betekent een positieve beoordeling, rood een negatieve beoordeling. + = beoordeling niet mogelijk maar oppervlakte neemt toe; - = beoordeling niet mogelijk, maar oppervlakte neemt af.

parameter	Zeeschelde					
	Durme	Rupel	Zoet kort verblijf	Zoet lang verblijf	Oligohalien	Saliniteitsgradiënt
Diep sublitoraal						
Ondiep sublitoraal	+	-				
Litoraal	-	+				

4.3.4. Verklaring Zeeschelde

In de Zeeschelde en zijrivieren zijn meerdere processen actief die van invloed zijn op de ontwikkeling van de onderscheiden ecotopen. Enerzijds is er de ontwikkeling binnen de “enge” begrenzing van de Zeeschelde, die bij de eerste ecotopenkaarten werd gekarteerd. Daarnaast zijn er in het kader van het Sigmaplan nieuwe natuurontwikkelingsgebieden en Gecontroleerd Gereduceerd Getijdengebieden (GGG’s) ontwikkeld, die in verbinding staan met de Zeeschelde en/of zijrivieren en bij de ecotopenkartering worden meegenomen na het afronden van de inrichting. Deze nieuwe gebieden worden tot de “ruime” begrenzing gerekend. De veranderingen worden steeds beoordeeld op de ruime begrenzing. Tenslotte kan door lage waterstanden ten gevolge van een verlaagde rivierafvoer ook de begrenzing van ecotopen veranderen (Van Ryckegem *et al.*, 2022).

Hieronder zal eerst op de ontwikkeling binnen de enge begrenzing worden ingegaan. In de periode 2010-2013 was sprake van een toegenomen dynamiek in de Beneden-Zeeschelde, waardoor er een tendens was van een toename van natuurlijk hard substraat in de vorm van hard veen of kleilenzen. Tegelijk was er door een daling van het laagwater in de periode 2010-2013 sprake van een toename van het Ondiep sublitoraal en Litoraal (Van Ryckegem *et al.*, 2015). De nieuwe ecotopenkaart van 2014 laat zien dat er over de periode 2010-2014 echter sprake is van een doorgaande vermindering van het oppervlak Ondiep sublitoraal en laag Litoraal en een toename van het areaal hoog Litoraal. Dit komt neer op een opbolling van de slikken. De ecotopenkaart van 2015 laat een verdere afname van het areaal Litoraal zien, zowel van het laag als het middelhoog Litoraal; dit wijst op een verdere uitruiming van de vaargeul met steiler wordende oevers tot gevolg (Van Ryckegem *et al.*, 2018). In 2018 is er een tijdelijke toename van laag Litoraal ten koste van het Ondiep sublitoraal (Van Ryckegem *et al.*, 2020), maar in 2019 zet de afname van laag Litoraal naar Ondiep sublitoraal zich weer voort, zodat de uitruiming van de vaargeul met steiler wordende oevers zich voortzet (Van Ryckegem *et al.*, 2021). De ecotopenkaart van 2020 laat een vergelijkbare ontwikkeling zien, waarbij vooral ook de afname van middelhoog Litoraal op de lange termijn duidelijk wordt (Van Ryckegem *et al.*, 2022).

In de Boven-Zeeschelde was er in de periode 2010-2013 sprake van een toename van het Diep sublitoraal en een afname van het Litoraal (Van Ryckegem *et al.*, 2015). Ook de ecotopenkaart van 2017 laat een verdere uitruiming van de vaargeul met steiler wordende oevers zien met verlies van middelhoog en hoog Litoraal. Wel is er na 2015 een toename van zacht laag slik, door enerzijds erosie van middelhoog slik en een beperkte laterale uitbreiding in sommige binnenbochtlocaties, doordat de zandwinning hier is weggevallen (Van Ryckegem *et al.*, 2018). De meest recente ecotopenkaart van de Boven-Zeeschelde uit 2019 laat een afname van het Ondiep sublitoraal (20 ha) zien en een toename van het Litoraal en het supralitoraal. Van Ryckegem *et al.* (2022) geven aan dat dit veroorzaakt wordt door de lagere laagwaters als gevolg van de droogteperiodes die zijn geweest. Tevens is een deel van het antropogeen hard substraat (breuksteen) ondergesedimenteerd.

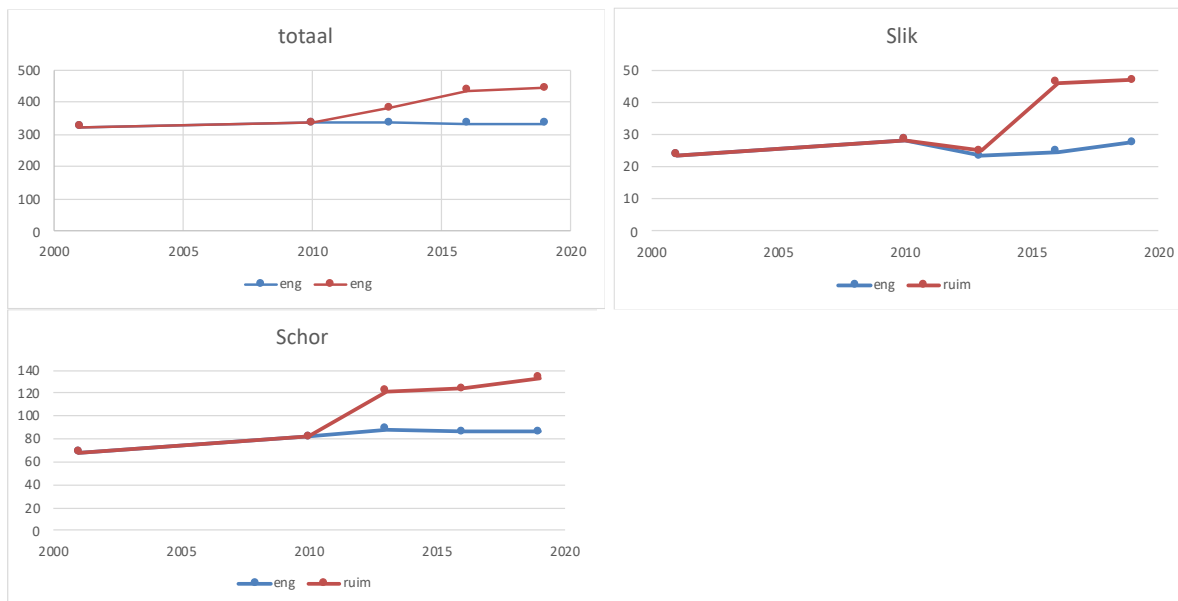
Van Ryckegem *et al.* (in serie) geven aan dat de situatie in de *Rupel* over het algemeen stabiel is geweest tijdens de onderzoeksperiode. In de *Durme* voltrokken zich daarentegen flinke veranderingen gedurende 2010-2014. Het oppervlakte Litoraal daalde met 19,4 ha. Voor de helft kwam dit door zandwinning en uitruiming, wat een sterke toename van de wateroppervlakte tot gevolg had. De andere helft van het verlies werd veroorzaakt door een laterale toename van het schor langs de gehele *Durme*, maar vooral langs de meest stroomopwaartse delen (Van Ryckegem *et al.*, 2016). De baggerwerken hadden in de *Durme* gezorgd voor een verruiming van de geul. Vervolgens heeft dit in 2020 tot een sterke sedimentatie geleid met omzetting van Ondiep sublitoraal naar Litoraal (Van Ryckegem *et al.*, 2022).

Tabel 4-2: Ontwikkeling van de totale gekarteerde oppervlakte in ha binnen de enge en de ruime begrenzing van de verschillende zones in de Zeeschelde.

Zone	jaar	Enge begrenzing	Ruime begrenzing	Totaal
Saliniteitsgradiënt	2001	2.725	1	2.726
	2020	2.882	22	2.904
Oligohalien	2001	902	1	903
	2019	900	212	1112
Zoet lange verblijftijd	2001	538	0	538
	2019	545	0	545
Zoet korte verblijftijd	2001	323	1	324
	2019	334	110	444
Durme	2001	154	3	157
	2019	149	2	151
Rupel	2001	246	1	247
	2019	245	3	247

In grote lijnen zien we in zowel de Boven- als de Beneden-Zeeschelde een verdieping van de vaargeul met een verstelling van de oevers, waardoor het lage Litoraal in oppervlakte achteruit gaat, alsook opbolling met extra sedimentatie op de hogere delen. Dit biedt de schorvegetatie de mogelijkheid om zich uit te breiden (zie paragraaf 5.2.3).

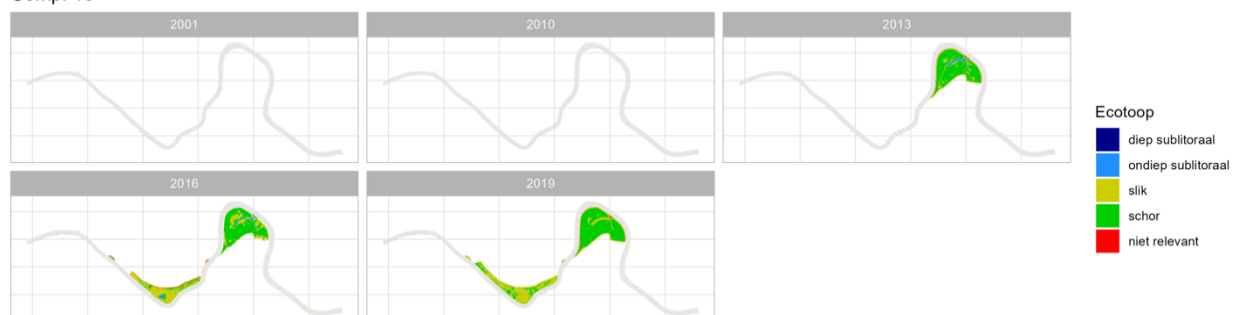
Tabel 4-2 geeft een overzicht van de ontwikkeling van de oppervlakte binnen de enge en ruime begrenzing van de verschillende zones in de Zeeschelde. Hieruit komt naar voren dat met name in de zones Oligohalien en Zoet korte verblijftijd er een aanzienlijke uitbreiding van de gekarteerde oppervlakte heeft plaatsgevonden binnen de ruime begrenzing.



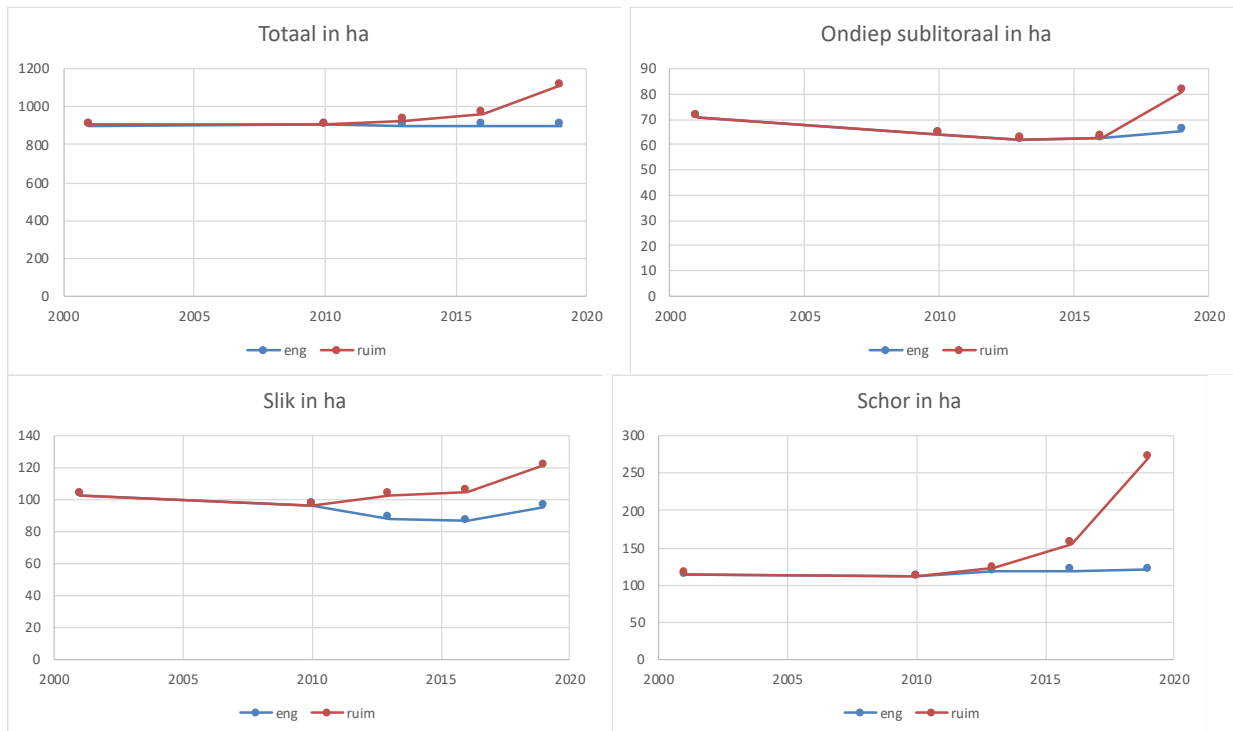
Figuur 4-5: Ontwikkeling van de totale oppervlakte binnen de enge en ruime begrenzing van compartiment 18 in de zone Zoet korte verblijftijd en van de ecotopen Litoraal en Schor in ha.

Indien in meer detail naar de zone *Zoet korte verblijftijd* wordt gekeken (Figuur 4-5), blijkt de totale gekarteerde oppervlakte na 2010 sterk toe te nemen, waarbij binnen de enge begrenzing de oppervlakten van de verschillende ecotopen redelijk stabiel zijn, maar hierbuiten vindt een duidelijke toename plaats. Figuur 4-5 laat voor compartiment 18, onderdeel van de zone *Zoet korte verblijftijd*, zien hoe de deelgebieden buiten de enge begrenzing bijdragen aan de toename van ecotopen. In 2013 is er een grote toename van schorvegetatie buiten de enge begrenzing. In 2016 zien we het areaal Litoraal buiten de enge begrenzing toenemen. Dit is goed in Figuur 4-5 en Figuur 4-6 te zien.

Comp. 18



Figuur 4-6: Ontwikkeling van de oppervlakte slik en schor in compartiment 18 buiten de enge begrenzing van de zone Zoet korte verblijftijd.



Figuur 4-7: Ontwikkeling van de totale oppervlakte binnen de enge en ruime begrenzing van compartiment 13 in de zone Oligohalien en van de ecotopen Ondiep sublittoraal, Littoraal en Schor in ha.

In compartiment 13 in de zone *Oligohalien* levert het gebied buiten de enge begrenzing ook een belangrijke bijdrage aan de toename van de oppervlakte Schor en Littoraal (Figuur 4-7). In 2013 neemt de oppervlakte Littoraal toe, vanaf 2016 de oppervlakte Schor en vanaf 2019 de oppervlakte Ondiep sublittoraal. Deze ontwikkelingsstappen zijn terug te vinden in Figuur 4-8.

Het realiseren van de minimumarealen Ondiep sublittoraal en Littoraal is alleen mogelijk indien er gebieden buiten de enge begrenzing van de zones bijkomen, waar deze ecotopen zich kunnen ontwikkelen of gerealiseerd kunnen worden. Zowel in compartiment 13 als 18 is goed te zien dat binnen de enge begrenzing de oppervlakte Littoraal na 2010 afneemt en zich vanaf 2016 weer herstelt, zodat in 2019 de uitgangssituatie weer bereikt is. Met de verdieping van de vaargeul en de versteiling van de oevers zijn de mogelijkheden om de oppervlakte Littoraal uit te breiden binnen de enge begrenzing minimaal. Alleen wanneer dit ten koste gaat van Schor is dat mogelijk. Voor dit type ecotoop geldt echter ook een minimumareaal (zie paragraaf 5.2.3). Alleen dankzij het meenemen van recent gerealiseerde Sigmagebieden bij de ecotopenkartering maakt het mogelijk om in de Zeeschelde de gewenste minimumarealen van de verschillende ecotopen te behalen of te benaderen.

Comp. 13



Figuur 4-8: Ontwikkeling van de oppervlakte van de verschillende ecotopen buiten de enge begrenzing van compartiment 13 in de zone Oligohalieu.

4.4. Westerschelde

4.4.1. Hoog- en laagdynamisch sublittoraal Westerschelde

Definitie

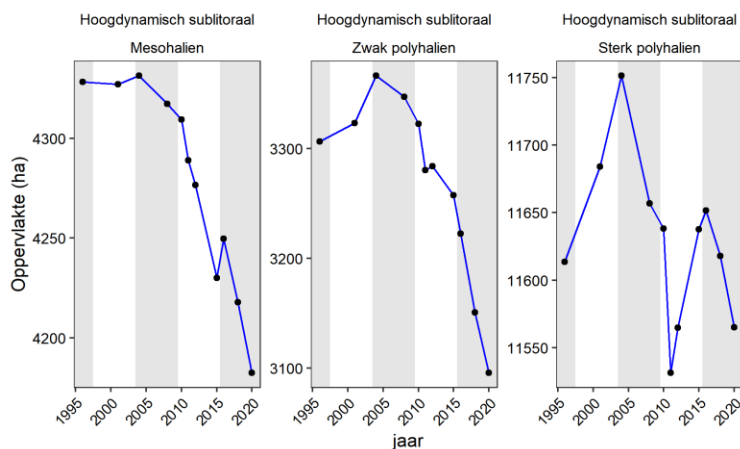
Voor de Westerschelde wordt onderscheid gemaakt tussen Hoogdynamisch en Laagdynamisch sublittoraal. Het Laagdynamisch sublittoraal is ecologisch gezien het meest belangrijke sublittorale habitat. Deze zone herbergt een grote diversiteit aan macrofauna, heeft een hoge productiviteit en kan een rol

als kinderkamer vervullen voor vissen. De ecopenkaarten van de Westerschelde zijn gebaseerd op het Zoute Ecotopen Stelsel (ZES.1; Bouma *et al.*, 2005).

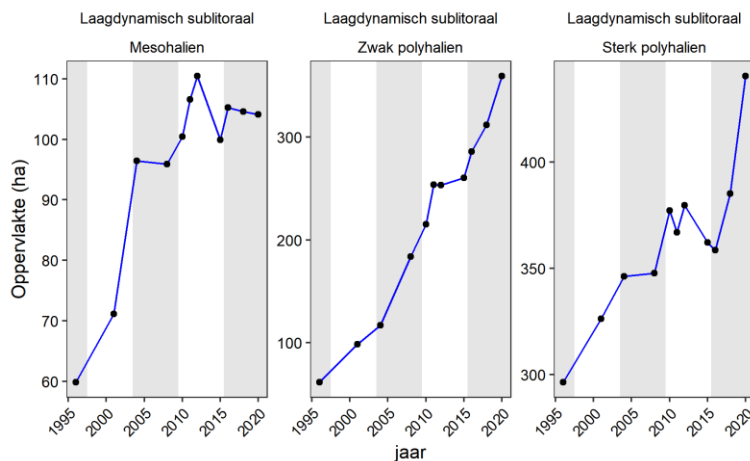
Er is geen exacte waarde afgeleid voor het gewenste oppervlak Hoogdynamisch sublitoraal. Binnen een zone mag het Hoogdynamisch sublitoraal niet toenemen ten koste van laagdynamisch gebied. Ook voor het gewenste areaal Laagdynamisch sublitoraal per zone is geen referentiewaarde beschikbaar. Een toename van het Laagdynamisch sublitoraal is wenselijk; een afname wordt negatief beoordeeld. Voor zowel de oppervlakte Hoogdynamisch sublitoraal als Laagdynamisch sublitoraal wordt de trend bepaald op basis van de ecotopenkaarten.

Ontwikkeling

In het *Mesohalien* en het *Zwak polyhalien* neemt op de lange termijn de oppervlakte Hoogdynamisch sublitoraal af, terwijl in het *Sterk polyhalien* de oppervlakte sterk wisselt in de tijd maar toch lijkt af te nemen. Op de korter termijn, vergelijking T2015 met T2021, is er bij het *Mesohalien* en *Zwak polyhalien* sprake van een duidelijke afname, maar bij het *Sterk polyhalien* is er gemiddeld sprake van een lichte toename (Figuur 4-9).



Figuur 4-9: Ontwikkeling van de oppervlakte Hoogdynamisch sublitoraal in de zones van de Westerschelde.



Figuur 4-10: Ontwikkeling van de oppervlakte Laagdynamisch sublitoraal in de zones van de Westerschelde.

Voor het Laagdynamisch sublitoraal is er sprake op de lange termijn van een toename van de oppervlakte in alle drie de zones, maar op de korte termijn van een stabilisatie van de oppervlakte in het *Mesohalien* en een positieve ontwikkeling (toename in oppervlakte) in het *Zwak* en *Sterk polyhalien* (Figuur 4-10). Wel dient opgemerkt te worden dat het Laagdynamisch sublitoraal in vergelijking met het Hoogdynamisch sublitoraal slechts een zeer klein aandeel heeft. In de zone *Zwak Polyhalien* is het aandeel Laagdynamisch sublitoraal relatief groot (bijna 10%), terwijl in de twee overige zones het aandeel slechts 2-4% is.

4.4.2. Hoog- en laagdynamisch litoraal Westerschelde

Definitie

De dynamiek in het litoraal is bepalend voor de indeling als hoog- of laagdynamisch gebied. In de Westerschelde wordt dit afgeleid uit de geomorfologische klassen op de geomorfologische kaarten en dit wordt overgenomen op de ecotopenkaarten.

In de Westerschelde wordt binnen het Laagdynamisch litoraal onderscheid gemaakt tussen laaggelegen, middelhooggelegen en hooggelegen litoraal. Deze indeling is gebaseerd op de droogvalduurkaart. De droogvalduur wordt bepaald aan de hand van het getij en de hoogteligging van het litorale gebied. Tabel 4-3 geeft de indeling weer.

Tabel 4-3: Indeling van het Laagdynamisch litoraal op basis van droogvalduur.

Droogvalduur	Ecotoop
< 25% van de tijd	Laaggelegen litoraal
Tussen de 25 en 75% van de tijd	Middelhooggelegen litoraal
>75% van de tijd	Hooggelegen litoraal

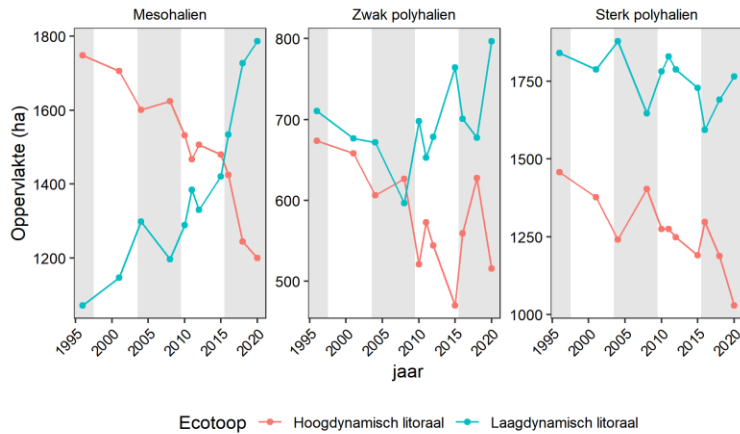
In het Hoogdynamisch litoraal is de dynamiek voor veel soorten bodemfauna te hoog, zodat de aantallen en de biomassa hier aanzienlijk lager zijn dan in het Laagdynamisch litoraal (Craeymeersch & Ysebaert, 2020). Het Laagdynamisch litoraal op de overgang van sublitoraal naar litoraal is van specifiek belang voor soorten die met het tij migreren, zoals jonge vis en hyperbenthos. Het Hoogdynamisch litoraal op deze overgang is door zijn hoge dynamiek veel minder aantrekkelijk als leefgebied voor benthos, hyperbenthos en vissen.

Voor het Hoogdynamisch litoraal is geen exacte referentiewaarde afgeleid. Het Hoogdynamische litoraal binnen een zone mag niet toenemen ten koste van Laagdynamisch litoraal. Ook voor het Laagdynamische litoraal in de Westerschelde is geen exacte referentiewaarde afgeleid. Er wordt dan ook uitgegaan van een trendanalyse. Op basis van de historische ontwikkeling en de ecologische waarde van deze habitats wordt gesteld dat een toename van het Laagdynamisch litoraal (laag, midden en hoog gecombineerd) gewenst is.

Door onderscheid te maken tussen laag-, middel- en hooggelegen Laagdynamisch litoraal wordt inzicht verkregen in het aandeel van de verschillende zones ten opzichte van elkaar. Een sterke afname van het laaggelegen litoraal kan wijzen op een verhoogde dynamiek of erosie, terwijl een afname van de hooggelegen zone veroorzaakt kan worden door een uitbreiding van de schorvegetatie.

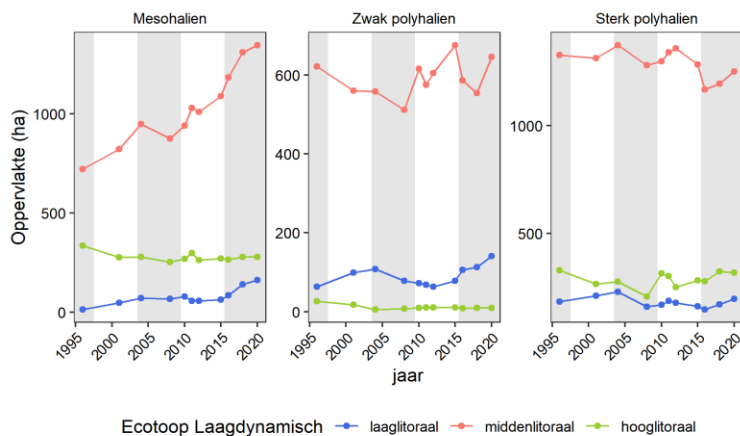
Ontwikkeling

Op de lange termijn is er in alle zones sprake van een afname van het Hoogdynamisch litoraal (Figuur 4-11). Met uitzondering van de zone *Zwak polyhalien* geldt dit ook voor de korte termijn. In deze laatste zone is de oppervlakte Hoogdynamisch litoraal gemiddeld ten opzichte van de T2015 iets toegenomen.



Figuur 4-11: Ontwikkeling van de oppervlakte Hoog- en Laagdynamisch litoraal in de zones van de Westerschelde.

In het *Mesohalies* laat de oppervlakte Laagdynamisch litoraal een continue en duidelijke toename zien. In het *Zwak polyhalies* is er gemiddeld een toename zien in de oppervlakte ten opzichte van de T2015. In het *Sterk polyhalies* neemt gemiddeld de oppervlakte Laagdynamisch litoraal af ten opzichte van de T2015. Weliswaar vallen pieken in de oppervlakte Laagdynamisch litoraal samen met dalen in de oppervlakte Hoogdynamisch litoraal en omgekeerd, maar beide ecotopen laten op langere termijn een afname in oppervlakte zien.



Figuur 4-12: Ontwikkeling van de onderscheiden droogvalduurzones binnen het Laagdynamisch litoraal in de zones van de Westerschelde.

De verschillende hoogtezones binnen het Laagdynamisch litoraal laten een wisselend beeld in hun ontwikkeling zien. Het middenlitoraal heeft verreweg de grootste oppervlakte in alle drie de zones, hetgeen ook verwacht wordt op basis van de verdeling over de verschillende droogvalduurzones. In het *Mesohalies* neemt het middenlitoraal op de lange termijn duidelijk toe, in het *Zwak polyhalies* is de zone min of meer stabiel en in het *Sterk polyhalies* is sprake van een afname. Het laaglitoraal laat in het *Mesohalies* en het *Zwak polyhalies* een duidelijke toename zien zowel op de lange termijn als ten

opzichte van de situatie tijdens de T2015 en in het *Sterk polyhalien is sprake* van een lichte afname. Het hooglitoraal is relatief goed vertegenwoordigd in het *Mesohalien* en heeft een zeer beperkte oppervlakte in het *Zwak polyhalien*. In beide zones is de situatie stabiel. In het *Sterk polyhalien* neemt de zone hooglitoraal ten opzichte van de situatie bij de T2015 iets toe.

4.4.3. Evaluatie

Tabel 4-4 vat voor de Westerschelde de beoordeling van het sublitoraal en litoraal samen. Alleen het oppervlak Laagdynamisch litoraal in het *Sterk polyhalien* wordt negatief geëvalueerd, omdat de oppervlakte hiervan afneemt. In het *Mesohalien* wordt de ontwikkeling van het Laagdynamisch sublitoraal neutraal geëvalueerd, omdat de oppervlakte hiervan stabiel is, terwijl voor een positieve evaluatie de oppervlakte moet toenemen.

De verdeling van het Laagdynamisch litoraal in laag, middelhoog en hoog litoraal wordt niet beoordeeld, maar vooral het middelhoog litoraal is van groot belang als foerageergebied voor watervogels (Zwarts *et al.*, 2011; Boudewijn *et al.*, 2022). Enerzijds omdat het voedselaanbod hier groot is (Craeymeersch en Ysebaert, 2020) en anderzijds omdat het gebied voldoende lang droog ligt om te kunnen foerageren.

Zowel in het *Mesohalien* als het *Zwak polyhalien* neemt de oppervlakte middelhoog slik toe, zodat de foerageermogelijkheden voor watervogels hier alleen maar toenemen. Watervogels zijn een belangrijke natuurwaarde voor het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe, zodat uitbreiding van het oppervlak middelhoog litoraal als gunstig beschouwd kan worden. Een afname hiervan, zoals in het *Sterk polyhalien* moet dan ook als ongunstig beschouwd worden. Hier worden echter wel de hoogste dichtheden aan foeragerende watervogels in de Westerschelde aangetroffen (Boudewijn *et al.*, 2022)

Tabel 4-4: Samenvatting van de evaluatie van de rekenparameters Hoog- en Laagdynamisch sublitoraal en litoraal van de Communicatie-indicator Leefomgeving voor de Westerschelde. Groen: evaluatie positief; rood: evaluatie negatief, wit: evaluatie neutraal.

Rekenparameter	Westerschelde		
	Mesohalien	Zwak polyhalien	Sterk polyhalien
Hoogdynamisch sublitoraal			
Laagdynamisch sublitoraal			
Hoogdynamisch litoraal			
Laagdynamisch litoraal			

4.4.4. Verklaring Westerschelde sublitoraal en litoraal

In de Westerschelde hebben in de periode 1955-2019 duidelijke ontwikkelingen plaatsgevonden: de hoofdgeulen zijn gemiddeld dieper geworden en de nevengeulen ondieper. Op de platen en slikken is het sedimentvolume toegenomen, waardoor ze gemiddeld hoger zijn geworden (Schrijver, 2020). Wanneer echter per zone wordt gekeken, zijn er duidelijke verschillen tussen de zones. In het Sterk polyhalien bleven de hoofdgeulen gelijk in volume en oppervlakte. Dit geldt in grote lijnen ook voor de nevengeulen. Wel is de oppervlakte van het intergetijdengebied afgenomen, maar het volume is gestegen, zodat de gemiddelde hoogte van het intergetijdengebied is toegenomen. In het Zwak

polyhalien is de diepte van de hoofdgeul sterk toegenomen en de oppervlakte iets toegenomen sinds 1995. De diepte van de nevengeul is afgenomen en de oppervlakte de laatste jaren is iets gedaald. Het intergetijdengebied is hier sinds 2000 in oppervlakte afgenomen om pas na 2015 weer in oppervlakte toe te nemen. De gemiddelde hoogte is hier sinds 2014 gedaald. In het Mesohalien is het volume van de hoofdgeul sterk toegenomen en de oppervlakte slechts beperkt, zodat de geul vooral dieper is geworden. De nevengeulen zijn in oppervlakte afgenomen, terwijl het volume licht gedaald is, zodat deze vooral ondieper zijn geworden. De oppervlakte van het intergetijdengebied is de laatste jaren weer wat gestegen, terwijl het volume een vergelijkbare toename laat zien, zodat de veranderingen in hoogte minimaal zijn (Schrijver, 2020).

De verdieping van de hoofdgeulen leidt tot een afname van de dynamiek in de intergetijdzone. In het Sterk polyhalien verdiept de hoofdgeul zich niet en de dynamiek in de intergetijdzone is dan ook hoog, waardoor er sediment op de platen wordt afgezet en deze ophogen. In het Zwak polyhalien en het Mesohalien verdiepen de geulen waardoor de dynamiek op de platen en slikken afnemen. Hier zien we dan ook een uitbreiding van de oppervlakte platen en slikken, waardoor met name de oppervlakte laaggelegen Laagdynamisch litoraal toeneemt (Figuur 4-10).

Figuur 4-13 geeft de ontwikkeling van de oppervlakte van de verschillende droogvallende ecotopen in de periode 1996-2021, waarbij de oppervlaktes per T-periode zijn gemiddeld. In alle zones is er een duidelijk afname van de oppervlakte Hoogdynamisch litoraal. In het *Mesohalien* is er een duidelijke toename van het Laagdynamisch litoraal (583 ha), in het *Zwak polyhalien* een kleine toename (30 ha) en in het *Sterk polyhalien* een afname (175 ha) in vergelijking met de situatie rond de eeuwwisseling. De afname van het Laagdynamisch litoraal in het Sterk polyhalien wordt vooral veroorzaakt door de sterke uitbreiding van de schorvegetatie (324 ha) en in mindere mate door de uitbreiding van de pioniervegetatie (36 ha). Wel was er in de periode 2004-2009 een tijdelijke uitbreiding van het pionierschor.



Figuur 4-13: Ontwikkeling van de gemiddelde oppervlakte van ecotopen boven Gemiddelde Laagwater bij vergelijking van de periode 1996-2001 met 2018-2020.

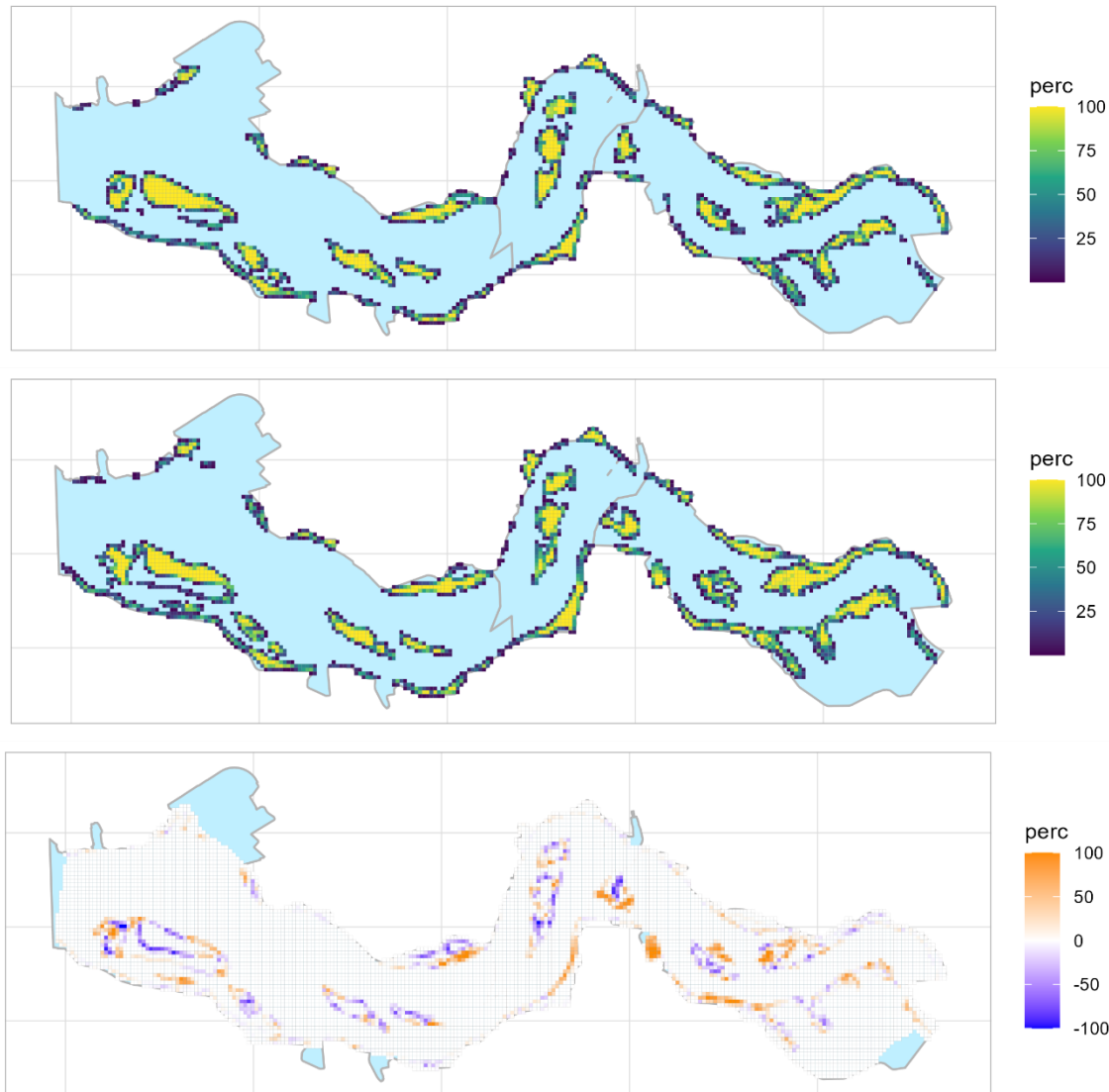
Als de ecotopenkaarten van verschillende jaren in GIS één op één met elkaar vergeleken worden zijn veranderingen op grotere schaal moeilijk te visualiseren doordat er veel kleine vlakken met verschillende overgangen in eenzelfde gebied voorkomen die elkaar vervolgens ook weer kunnen opheffen (overgangen van hoog- naar laagdynamisch of vice versa naast elkaar). Door de oppervlaktes per 200 bij 200 m gridcel te berekenen kunnen ruimtelijke patronen beter in beeld worden gebracht. Voor de beoordeling van de ontwikkelingen in ecotopen zijn de kaarten van 2015 en 2020 met elkaar vergeleken. De afname in dynamiek komt goed tot uiting wanneer de veranderingen in het ecotoop Laagdynamisch litoraal (Figuur 4-14).

In de zone Sterk polyhalien kan per plaat de situatie sterk verschillen. Op de Hooge Platen is aan de westkant plaatselijk zowel een toename als een afname van de oppervlakte Laagdynamisch litoraal. Aan de noordzijde is meer westelijk een toename aan de rand van de plaat en meer oostelijk een afname. Goed te zien is ook de afname van het Laagdynamisch litoraal midden op de Hooge platen, waar dit ecotoop vervangen is door schorvegetatie.

Op de Rug van Baarland overheerst de afname van Laagdynamisch litoraal en dan met name in het zuidwestelijke deel. Hier treedt plaatselijk erosie op. Op de Platen van Hulst, waar ook strekdammen zijn aangelegd om de sedimentatie te bevorderen (Knuitershoek) is het areaal Laagdynamisch litoraal duidelijk toegenomen. Op de Plaat van Ossensisse neemt in het meer zuidelijke deel de oppervlakte laagdynamisch slik toe, terwijl in het noordelijke deel de oppervlakte afneemt.

Bij Perkpolder heeft ontpoldering plaatsgevonden en hier heeft zich bijna 65 ha Laagdynamisch litoraal ontwikkeld. Bij Baalhoek zijn strekdammen aangelegd om de ontwikkeling van Laagdynamisch litoraal te bevorderen. Hier is een duidelijke strook laagdynamisch slik ontstaan. Hier tegenover op de Plaat van Walsoorden geeft aan de zuidzijde een afname van de oppervlakte Laagdynamisch litoraal plaatsgevonden, terwijl aan de noordzijde van de plaat juist een toename heeft plaatsgevonden. Dit gaat samen met erosie aan de zuidoostzijde en sedimentatie – dankzij plaatrandstortingen – aan de noordwestzijde (IMDC, 2022).

Laagdynamisch litoraal



Figuur 4-14: Vergelijking van de ontwikkeling van het laagdynamisch litoraal in de Westerschelde in 2015 (boven) en 2020 (midden). De onderste kaart geeft het verschil weer als percentage toe- of afname.

4.4.5. Pionierschor Slik-Plaat

Definitie

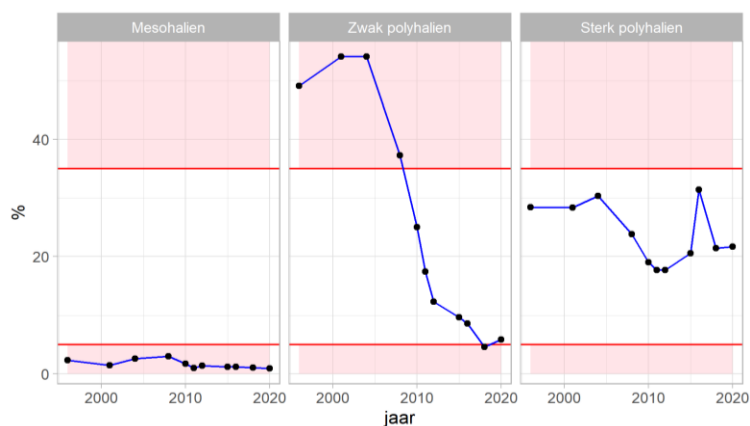
De pioniervegetaties van de Westerschelde bestaan onder andere uit biezen, zeekraalvegetaties en slijkgrasvegetaties en de oppervlakte hiervan kan afgeleid worden uit de ecotopenkaarten. De pionierzone heeft een vegetatiebedekking van 2-50% (Paree, 2017). Er wordt onderscheid gemaakt tussen Pionierschor op slikken en op platen. Voor slikken en platen wordt hier gebruik gemaakt van een vaste begrenzing zoals gedefinieerd in Schrijver (2020). Slikken zijn gebieden die grenzen aan dijken en platen liggen geïsoleerd in de Westerschelde, zoals bijvoorbeeld de Hooge Platen.

De gewenste oppervlakte aan pioniervegetaties op de slikken heeft een aandeel tussen 5 – 35% van de totale schoroppervlakte per zone. Een aandeel boven 35% of beneden 5% wijst op een onevenwichtig aandeel van Pionierschor in de schorontwikkeling. Een groot oppervlak Pionierschor in een zone kan wijzen op het ontstaan van een groot aandeel laagdynamisch habitat, bijvoorbeeld na een ontpoldering.

Pionierschor op de platen wordt gezien als een ongunstige ontwikkeling, aangezien dit veelal het gevolg is van het hoger en droger worden van de platen. De platen vormen een belangrijk foerageergebied voor watervogels, omdat hier weinig verstoring plaatsvindt. Een versnelde toename van de oppervlakte pioniervegetatie op de platen is daarom niet gewenst.

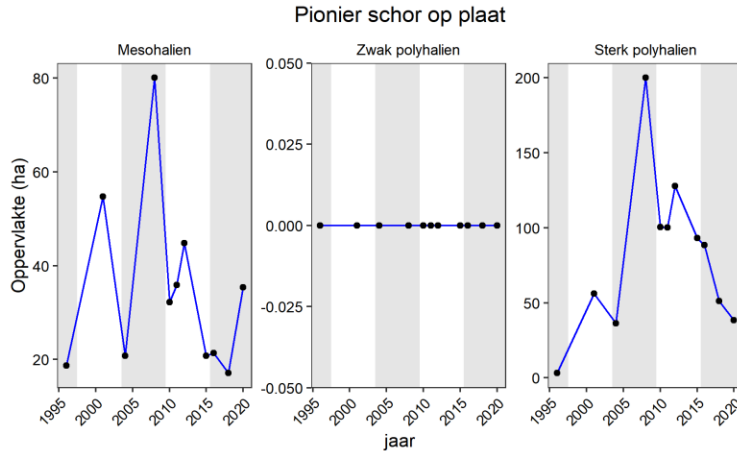
Ontwikkeling

Het aandeel Pionierschor op de slikken in het *Mesohalien* de afgelopen 25 jaren lag altijd beneden de 5%. In het *Zwak polyhalien* was aanvankelijk het aandeel Pionierschor bijna 50%, maar dit is na 1995 sterk afgenomen en ligt nu gemiddeld nog net boven de 5%. Alleen in het *Sterk polyhalien* is het aandeel pionierschor steeds globaal tussen de 20-25% geweest (Figuur 4-15). Rond 2013 heeft er een tijdelijke toename plaatsgevonden, maar daarna is het aandeel weer afgenomen.



Figuur 4-15: Ontwikkeling van het aandeel pionierschor op de slikken ten opzichte van de totale begroeide oppervlakte van de slikken per zone in de Westerschelde. Met rode lijnen zijn de kritische waarden van 5 en 35% aangegeven. De rode vlakken geven de ongewenste situaties aan.

De oppervlakte Pionierschor op de platen laat in het *Mesohalien* en het *Sterk polyhalien* in grote lijnen hetzelfde patroon zien: een sterke ontwikkeling vanaf 2004 en na 2009 weer een sterke afname (Figuur 4-16). In het *Zwak polyhalien* kwam geen pionierschor op de platen voor.



Figuur 4-16: Ontwikkeling van de oppervlakte pioniervegetatie op de platen in de verschillende zones van de Westerschelde.

4.4.6. Schor Slik-Plaat

Definitie

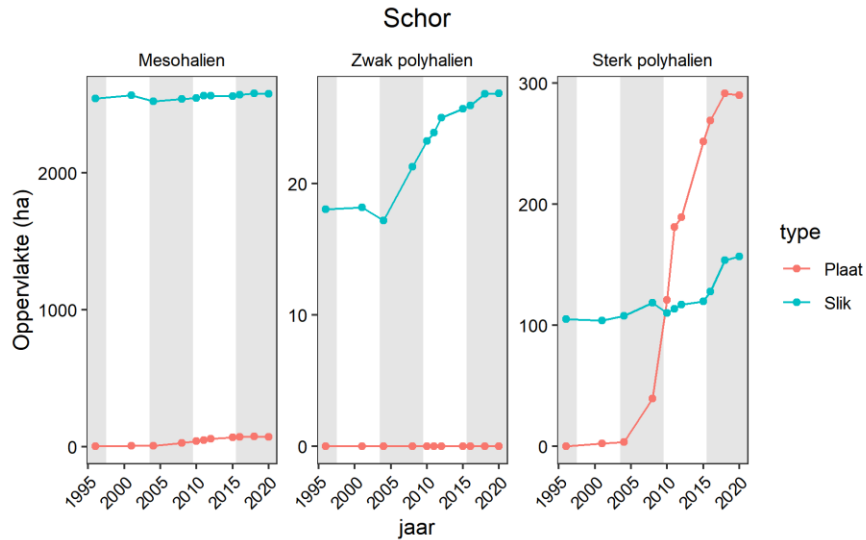
Schorvegetaties bestaan uit begroeide gebieden die alleen bij hoge waterstanden worden overstroomd en die niet tot het Pionierschor worden gerekend. Voor de slikken is een afname van de oppervlakte Schorvegetatie onwenselijk, terwijl op de platen juist de ontwikkeling van Schorvegetaties ongewenst is, omdat dit betekent dat de platen hoger en droger worden en daardoor minder geschikt worden als foerageergebied voor slikgebonden watervogels.

Schorvegetaties kunnen voor vogels ook andere functies hebben zoals die van hoogwatervluchtplaats en broedgebied. De Hooge Platen vormen de belangrijkste hoogwatervluchtplaats voor vogels in de Westerschelde en zijn van groot belang als broedgebied voor kustbroedvogels. In dit opzicht kan schorvegetatie op platen een belangrijke functie vervullen.

Voor het bepalen van de exacte gewenste oppervlakte Schorvegetatie per zone dient bekend te zijn bij welke verdeling van schor op platen en slikken het systeem ecologisch goed functioneert. Aangezien een exacte referentiewaarde per zone niet beschikbaar is, wordt een trendanalyse gebruikt. Het afnemen van het Schorvegetatie op slikken wordt binnen een zone als ongewenst beschouwd. Op de platen wordt het toenemen van het areaal Schorvegetatie daarentegen als ongewenst beschouwd.

Ontwikkeling

De ontwikkeling van de Schorvegetatie exclusief Pionierschor is in de drie zones van de Westerschelde sterk verschillend. In het *Mesohalien* is er een lichte toename van de Schorvegetatie op de platen, maar in grote lijnen is de situatie redelijk stabiel. In het *Zwak polyhalien* ontbreekt Schorvegetatie op de platen, maar is er wel een relatief flinke toename op de slikken. De grootste veranderingen treden op in het *Sterk polyhalien*, waar de oppervlakte Schorvegetatie op de platen steeg van ongeveer 0 ha in 2004 naar 290 ha in 2018. Ook op de slikken was er een toename maar deze was veel minder sterk dan op de platen (Figuur 4-17).



Figuur 4-17: Ontwikkeling van de oppervlakte Schorvegetatie op de slikken en platen in de verschillende zones van de Westerschelde.

4.4.7. Evaluatie (Pionier)Schorvegetatie op slikken en platen Westerschelde

In het *Mesohalien* wordt de situatie voor het pionierschor op de slikken als ongunstig beoordeeld, omdat het aandeel pioniervegetatie te laag is en zich niet in gunstige zin ontwikkelt. Op de platen neemt de oppervlakte pionierschor af, hetgeen als gunstig wordt beoordeeld. In het *Zwak polyhalien* is het aandeel pionierschor gemiddeld hoger dan 5% en het aandeel lijkt weer na de dip in 2018 weer toe te nemen. Op platen ontbreekt pionierschor. Hierdoor krijgt het pionierschor een positieve beoordeling. De oppervlakte pioniervegetatie op de slikken in het *Sterk polyhalien* heeft het gewenste aandeel en de trend wordt ook positief beoordeeld. Op de platen is de oppervlakte pionierschor na een piek van 200 ha in 2008 afgenomen tot zo'n 40 ha in 2020, hetgeen als gunstig wordt beoordeeld.

In het Beheerplan voor het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saefthinghe zijn als doelstellingen uitbreiding van de omvang en verbetering van de kwaliteit van schorren en zilte graslanden geformuleerd en uitbreiding van de oppervlakte zilte pionierbegroeiingen (zeekraal). Daarnaast wordt aangegeven dat knelpunten zijn ten aanzien van steltlopers door afname van oppervlakte foerageergebied en draagkracht (Ministerie van I&M, 2016). Enerzijds is uitbreiding van schorren gewenst en anderzijds van vergroting van de draagkracht van de slikgebieden voor steltlopers. Praktisch is dit vertaald naar uitbreiding van schorvegetaties op de slikken en behoud van de onbegroeide platen, zodat de foerageermogelijkheden voor slikgebonden watervogels niet afnemen.

Een toename van schorvegetatie op slikken wordt dan ook als gunstig beoordeeld en op de platen als ongunstig. De ontwikkelingen op de slikken zijn in alle zones met een toename van de schorvegetatie gunstig, maar in het *Mesohalien* als het *Sterk polyhalien* wordt de ontwikkeling als ongunstig, omdat hier schorontwikkeling ongewenst is. De overgang van pionierschor naar schorvegetaties op de platen krijgt hier een tegenstrijdige beoordeling: afname pionierschor is positief en de toename van schorvegetaties negatief. In feite is hier sprake van successie, waarbij pionierschor vervangen wordt door schorvegetatie: de proces als geheel zou negatief beoordeeld moeten worden.

In feite zijn de criteria van pionierschor en schor op platen vooral gericht op het behouden van foerageergebied voor slikgebonden watervogels. Toename van (pionier)schor op platen wordt dan ook als negatief beschouwd. Dit is echter ook deels strijdig met de wensen vanuit de Kaderrichtlijn Water (KRW), die voor de Westerschelde minstens 2.300 ha schorvegetatie nastreeft, waarvan 500 ha ten westen van Hansweert. Voor de KRW maakt het niet uit of de schorvegetatie al dan niet op platen groeit. Zoals al eerder is opgemerkt kan schorvegetatie op platen voor vogels ook gunstig zijn. In de Westerschelde moeten de vogels met hoogwater gedwongen rusten, omdat dan de foerageergebieden op het slik niet bereikbaar zijn. Bij voorkeur dienen deze hoogwatervluchtplaatsen (hvp's) dicht bij de foerageergebieden te liggen en weinig verstoring kennen. De (pionier)schorvegetaties op de platen voldoen aan deze eis en vormen dan ook een belangrijke meerwaarde. Daarnaast kunnen schorvegetaties op platen broedgebied bieden voor kustbroedvogels. De sterke afname van de kustbroedvogels in Saeftinghe na het in gebruik nemen van het gebied door de vos (Meininger, 2022), laat zien dat de aanwezigheid van grondpredatoren het voorkomen van kustbroedvogels sterk kan beïnvloeden. Stichting Het Zeeuwse Landschap heeft in september 2022 op de Hoge Springer nieuw broedgebied voor kustbroedvogels gerealiseerd door zand op te brengen en een laag schelpen.

De tegenstrijdigheid in het criterium (pionier)schor op platen zal dan ook in de Evaluatie van de Evaluatiemethodiek nader bekeken moeten worden.

Tabel 4-5: Samenvatting van de evaluatie van de rekenparameter Pionierschor en Schorvegetatie van de Communicatie-indicator Leefomgeving voor de Westerschelde. Groen: evaluatie positief; rood: evaluatie negatief, wit: evaluatie neutraal.

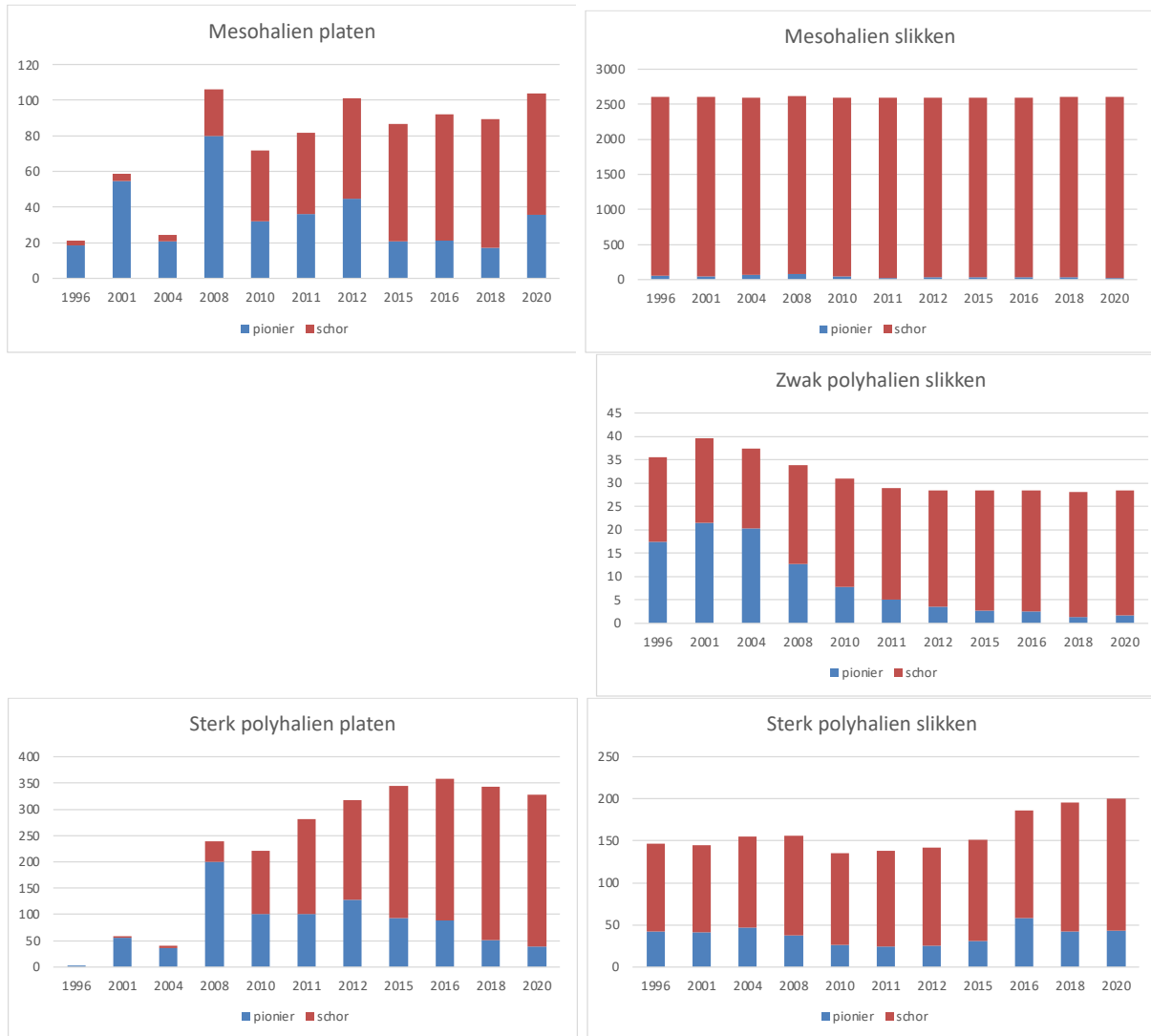
parameter	specificatie	Westerschelde		
		Mesohallien	Zwak polyhallien	Sterk polyhallien
Pionierschor	slikken: oppervlakteaandeel			
	slikken trend			
	platen			
Schor	slikken			
	platen			

4.4.8. Verklaring (pionier)schor slikken en platen Westerschelde

In een estuarium treden cyclische processen in de schorontwikkeling op. Indien het intergetijdengebied een voldoende hoogte heeft bereikt kan zich tijdens een gunstige situatie Pionierschor vestigen, dat het proces van ophoging versterkt, door zwevende stof in te vangen, waarna zich geleidelijk Schorvegetatie kan ontwikkelen. Onder invloed van veranderingen in stromingen kan erosie van het schor gaan optreden, vaak gepaard gaand met de ontwikkeling van een steilrand. Op termijn kan zich hier weer een slikplaat ontwikkelen. Indien erosie achterwege blijft, zoals bij grote delen van het Verdronken Land van Saeftinghe, kan de ophoging voortduren, waardoor uiteindelijk in de bodem op het zoute grondwater zich een zoetwaterbel kan vormen, waardoor zich riet kan vestigen en op termijn zelfs bomen en struiken.

Figuur 4-18 geeft de ontwikkeling van Pionierschor en Schorvegetatie in de verschillende zones van de Westerschelde weer. Opmerkelijk is de vergelijkbare ontwikkeling op de platen in zowel het *Mesohallien*

als het *Sterk polyhalien*, waar in beide gevallen de oppervlakte Pionierschor in de periode 2004-2008 zeer sterk toenam.



Figuur 4-18: Ontwikkeling van de oppervlakte Pionierschor en Schorvegetatie (in ha) op de platen en slikken van de onderscheiden zones in de Westerschelde.

Schorvorming in de Westerschelde is enerzijds afhankelijk van een geschikte hoogteligging en anderzijds dient de hellingshoek van het slik of plaat minder te bedragen dan 0,3°, zodat zich microtopografische verschillen in de morfologie op de plaat kunnen ontwikkelen (Fivash *et al.*, 2023). Over het algemeen geldt dat alleen onder extreme omstandigheden een plaat kan veranderen van onbegroeid naar begroeid. Er moet een “window of opportunity” zijn waarin een pioniersoort zich uit zaad kan vestigen, waardoor het de extreme omstandigheden kan overleven (Balke *et al.*, 2014). De studie van Fivash *et al.* (2021) laat zien dat zeekraal zich alleen kan vestigen op plaatsen met een inundatiefrequentie van minder dan 25% en dan vooral op plaatsen met een kleine sedimentverhoging.

Balke *et al.* (2014) hebben laten zien, ervan uitgaande dat zeekraal-zaailingen een periode van 3 dagen zonder inundaties nodig hebben om zich te kunnen vestigen, dat er geen vestigingsmogelijkheden waren in de periode 1998-2004 en 2008-2010, maar daartussen wel (2003-2006). Luchtfoto's van de vegetatie laten een flinke uitbreiding van de pioniervegetatie in 2008 zien. Zij geven aan dat de nodale getijcyclus van 18,6 jaar, van invloed is op de waterstanden. Uit het hoofdstuk Hydrologie blijkt dat als gevolg van het nodale getijcyclus van 18,6 jaar er rond 2004 sprake was van verlaagde hoogwaterstanden in de Westerschelde. Dit heeft misschien bijgedragen aan het zich grootschalig vestigen van zeekraalvegetaties in de Westerschelde rond dat jaar. Door de zeekraalvestiging vindt er verhoogde sedimentatie plaats, waardoor in het volgend groeiseizoen hier betere ontkiemingsmogelijkheden voor zeekraal zijn en geleidelijk kunnen zich ook andere schorsoorten vestigen. In Figuur 4-18 is ook goed te zien dat enkele jaren na de uitbreiding van de zeekraalvegetaties deze geleidelijk vervangen worden door schorvegetaties, die het proces van sedimentinvang en vasthouden nog verder versterken. In 2021 is er een kleine piek in de ontwikkeling van pioniervegetatie in het Mesohalien. Als deze ontwikkeling zich in 2022-2023 voortzet sluit dit aan bij verlaagde waterstanden van de nodale getijcyclus. Een nieuwe analyse van de waterstanden is dan zinvol.

Naast de periodiciteit in de waterstanden kunnen ook de plaatrandstoringen van invloed zijn geweest. Deze hebben plaatsgevonden bij onder andere de Hooge Platen, de Rug van Baarland en de Plaat van Walsoorden. Op de uiterste westpunt van de Hooge Platen is materiaal gestort dat grotendeels in oostelijke en zuidoostelijke richting is gemigreerd, waardoor rond de plaatpunt een verondieping is gerealiseerd. Ook het Plaatje van Breskens (ten westen van de Hooge Platen) is opgehoogd. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van een zandrug die zich geleidelijk oostwaarts en beperkt opwaarts beweegt. Netto is 37% van het gestorte materiaal ter plekke gebleven. Na de ophoging in 2019 is tussen 2020 en 2021 de hoogte van de zandrug vrijwel onveranderd gebleven (IMDC 2022), zodat dit niet heeft geleid tot vegetatie-ontwikkeling. De plaatrandstoringen aan de noordzijde van de Hooge Platen zijn uitgevoerd tussen 2009-2016, waarbij de grootste hoeveelheden zijn gestort in 2010-2012. Doel was om tussen twee zanddammen een luw, laagdynamisch gebied te realiseren, waarbinnen sedimentatie zou optreden. In januari 2022 was nog 49% van het gestorte materiaal aanwezig. Op de Hooge Platen zelf is de bodemhoogte sinds 2009 vrijwel continu toegenomen. Het schor breidt hier zich uit en ook in 2019 en 2021 werden op vaste meetlocaties vestiging van schor vastgesteld. Onduidelijk is in hoeverre de plaatrandstoringen en de autonome ontwikkeling van de schorvegetatie een rol hebben gespeeld. Vanaf 2018 wordt niet meer gestort bij de Hooge Platen-Noord omwille van een mogelijk verband met de ophoging van de plaat zelf (IMDC 2022). Al in 2008, voor de stortingen, was er een aanzienlijke toename van de oppervlakte pionierschorvegetatie. Deze vegetatie kan materiaal invangen, waardoor de bodemhoogte toeneemt. Mogelijk neemt door de plaatrandstoringen de dynamiek langs de rand van de platen af, waardoor ook op de plaat de dynamiek afneemt, waardoor daar meer sediment blijft liggen (VNSC 2019).

Op de slikken nam na 2005 de hoogte versneld toe (Schrijver, 2020). Dit wordt ook weerspiegeld in de sterke toename van schorvegetaties op de Plaat van Baarland. Aanvankelijk was hier op de oostpunt enige vegetatie aanwezig, maar die heeft zich in westelijke richting uitgebreid.

Bij de Rug van Baarland werden na 2010 aanvankelijk aan de zuidwestkant plaatrandstoringen uitgevoerd, maar na twee jaar is men hiermee gestopt, vanwege een afname van het nevengeulvolume in het Middelgat. Op de plaat zelf vindt zowel erosie als sedimentatie plaats. Sinds 1999 neemt in het Zwak polyhalien de oppervlakte van de platen af. Gelijktijdig nam ook het volume van de platen, maar dit is vanaf 2015 toegenomen, waardoor sindsdien de gemiddelde hoogte van de platen afneemt (Schrijver 2020). Tot nu toe zijn de omstandigheden hier ongeschikt voor de vestiging van schorvegetaties op de platen.

De oppervlakte van de platen in het Mesohalien is van 1965-1985 sterk toegenomen, gevolgd door een afname tot 2003, daarna neemt de oppervlakte weer in geringe mate toe. De gemiddelde hoogte van de platen is gestegen tot 1995 en hierna is er een geringe daling te zien. Aan de noordwestkant van de Plaat van Walsoorden hebben ook plaatrandstortingen plaatsgevonden, die geresulteerd hebben in een sterke uitbreiding van de plaat in noordwestelijke richting. De plaat zelf laat een beperkte ophoging zien, waardoor hier schor tot ontwikkeling is gekomen, terwijl aan de zuid- en oostkant erosie heeft plaatsgevonden (IMDC 2022). De oppervlakte van de slikken en schorren is sinds 1995 nagenoeg constant. Wel is het sedimentvolume iets toegenomen, waardoor de gemiddeld hoogte iets is gestegen (Schrijver 2020).

4.5. Toetsparameter Kwaliteit

De kwaliteit van het habitat wordt bepaald door de structuur (abiotische kwaliteit) en de aanwezigheid van verschillende organismen (biologische kwaliteit). De structurele kwaliteit van het habitat wordt voornamelijk beïnvloed door de fysische processen die zich afspelen in het estuarium. De biologische kwaliteit wordt bepaald door de diversiteit van aanwezige soorten, en de aanwezigheid en beschikbaarheid van voedsel voor hogere trofische niveaus. De kwaliteit van het habitat is gebaat bij geleidelijke overgangen in vorm, ligging en hoogtegradiënten (Dyer *et al.*, 2000; Brys *et al.*, 2005). Daarnaast wordt de samenstelling en productiviteit van de aanwezige levensgemeenschappen mede gestuurd door de saliniteit, sedimentsamenstelling van een habitat en de dynamiek ter plaatse. In hoogdynamische zones is de biodiversiteit en de biomassa van de aanwezig macrozoöbenthos aanzienlijk lager dan in vergelijkbare laagdynamische hoogtezones (Craeymeersch en Ysebaert, 2020).

De focus van deze toetsparameter ligt op de abiotische kwaliteit, aangezien de biotische aspecten onderdeel vormen van de integrale analyse in de communicatie-indicator *Ecologie*.

Voor het goed functioneren van het schorhabitat is er een minimale breedte nodig, zodat de verschillende kenmerkende onderdelen van het habitat, zoals de verschillende hoogte- en vegetatiezones, maar ook krekens en prielen naast elkaar kunnen bestaan. Voor het Schelde-estuarium wordt aangenomen dat de minimaal gewenste breedte van een schor 75 tot 100 m is. Voor de Westerschelde is een nadere onderbouwing van de minimumbreedte voor aanwezigheid van krekens, de verschillende hoogtezones en pionierschor gewenst.

De natuurlijke schordynamiek bestaat uit: (a) de vestiging van pioniersvegetaties op een hooggelegen slik, (b) de ontwikkeling daarvan tot een schor en (c) de geleidelijke erosie van het schor door (klif)erosie. Een voldoende brede oever is noodzakelijk voor de sedimentatie op het slik, zodanig dat de vestiging van pioniervegetatie mogelijk is en de verdere ontwikkeling tot schor. Voor een duurzame schorontwikkeling dient de totale oeverbreedte aan minimale eisen te voldoen. Dit is voor de Zeeschelde door Adriaensens *et al.* (2005) per compartiment gedefinieerd.

4.5.1. Schorbreedte

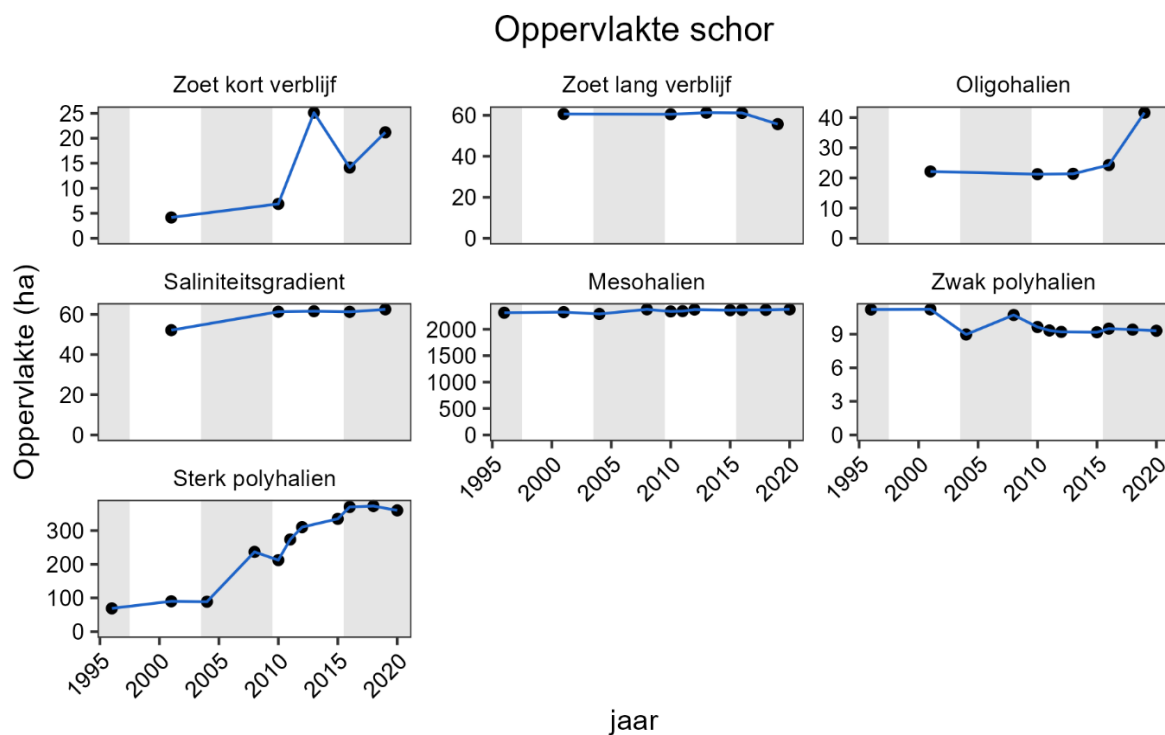
Definitie

Voor een goed functionerend schorhabitat is er een minimale breedte nodig, zodat de verschillende kenmerkende onderdelen van het habitat, zoals de verschillende hoogte- en vegetatiezones, maar ook krekens en prielen naast elkaar kunnen bestaan. Op basis van waarnemingen aan de Zeeschelde wordt

aangenomen dat de minimale breedte van een schor 75 tot 100 m is in het Schelde-estuarium. De aanname is dat dit ook van toepassing is voor de Westerschelde. Bij een schorbreedte minder dan 75-100 m is vaak sprake van een steiler profiel en deze schorren zijn vaak onderhevig aan erosieprocessen. Op basis van de ecotopenkaarten wordt bepaald per compartiment waar de schorbreedte 75 m of meer is. Vervolgens wordt de oppervlakte schor berekend die hierbij hoort. De ontwikkeling van de oppervlakte schor met een breedte van 75 m of meer kan vervolgens in de tijd grafisch worden weergegeven per compartiment en per zone. Een afname van het oppervlakte schorhabitat van 75 m breedte of meer wordt binnen een zone als ongewenst beschouwd. Een toename van het areaal wordt positief geëvalueerd.

Ontwikkeling

Figuur 4-19 geeft voor de verschillende zones de ontwikkeling van schor met een breedte van 75 m of meer in de tijd weer. In de Zeeschelde neemt in de zones *Zoet korte verblijftijd* en *Oligohalien* de oppervlakte toe, terwijl deze in de Saliniteitsgradiënt stabiel is en in de zone *Zoet lange verblijftijd* afneemt. In de Westerschelde is in het *Mesohalien* en het *Zwak polyhalien* de situatie in de T2021 stabiel ten opzichte van de situatie in de T2015. In het *Sterk polyhalien* neemt de oppervlakte toe.



Figuur 4-19: Overzicht van de ontwikkeling van de oppervlakte schor, dat een breedte heeft van minstens 75 m.

4.5.2. Oeverbreedte

Definitie

De minimale oeverbreedte benodigd voor een goed functionerende schorvegetatie is ontleend aan de instandhoudingsdoelstellingen voor de Zeeschelde (zie Adriaensen *et al.*, 2005). Dit betreft een sommatie van de voorgeschreven slik- + schorbreedte. Dit staat weergegeven in Tabel 4-6.

Voor de Westerschelde wordt uitgegaan van veel bredere oeverzones van 1 tot 2 km. Deze breedte is gebaseerd op de vuistregel dat schorgebieden in de Westerschelde hiermee voldoende ruimte hebben voor afbreek- en opbouwprocessen behorend bij de schorontwikkeling (mond. med. D. de Jong). De aanwezigheid van geulen en geulrelicten kan de potentiële ontwikkeling van schor beperken.

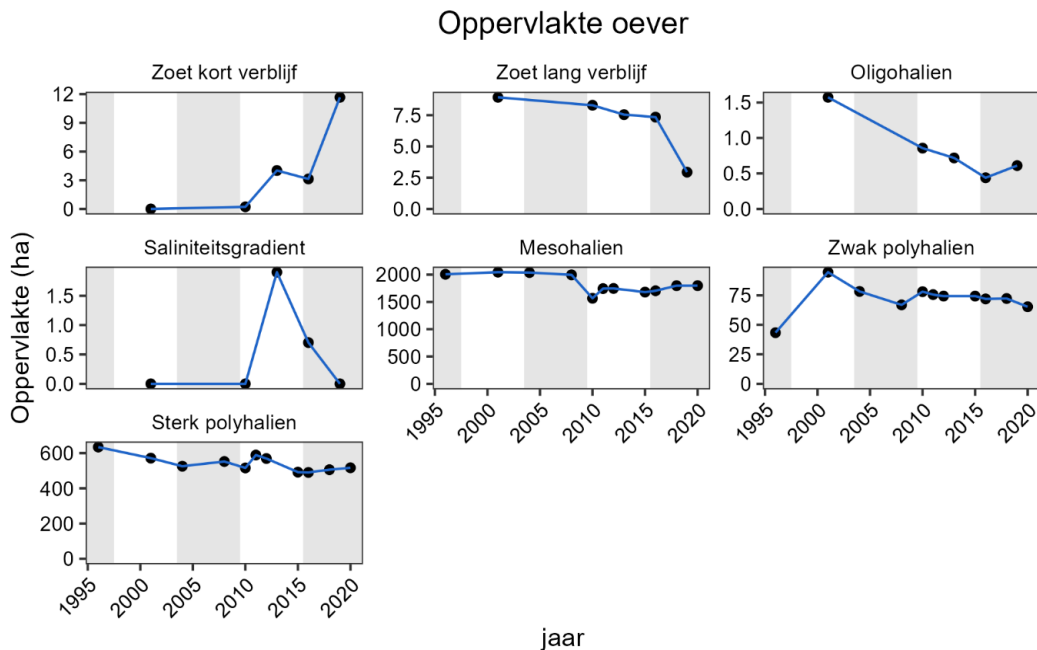
Tabel 4-6: Voorgescreven minimale oeverbreedte in de Zeeschelde (gebaseerd op Adriaensens et al., 2005).

OMES-segment	Oeverbreedte (m)	OMES-segment	Oeverbreedte (m)
9	464,25	15	224,43
10	319,30	16	213,47
11	313,24	17	200,89
12	260,85	18	185,24
13	245,31	19	172,77
14	229,86		

Op basis van de ecotopenkaarten wordt de oeverbreedte bepaald per OMES-segment. Indien de oeverbreedte aan de eis voldoet van Tabel 4-6 wordt het areaal hiervan berekend. Voor de Westerschelde wordt een minimale breedte van 1000 m aangehouden. Het areaal van de oeverzone, die minstens aan de referentiewaarde voldoet, wordt uitgezet tegen de tijd. Hieruit kan afgeleid worden of het areaal toe- of afneemt. Een toename wordt positief geëvalueerd en een afname negatief.

Ontwikkeling

Figuur 4-20 geeft de ontwikkeling van de oppervlakte oever per zone, die voldoet aan de vereiste oeverbreedte. In de zone *Zoet korte verblijftijd* neemt de oppervlakte toe en in de zone *Zoet lange verblijftijd* af. In de zones *Oligohalien* en *Saliniteitsgradiënt* gaat het hierbij om een dergelijke minimale oppervlakte, dat deze buiten beschouwing worden gelaten. In de Westerschelde neemt in het *Mesohalien* de oppervlakte iets toe, terwijl zowel in de *Sterk polyhalien* als het *Zwak polyhalien* de oppervlakte afneemt.



Figuur 4-20: Ontwikkeling van de oppervlakte oever dat voldoet aan de eis voor de oeverbreedte per compartiment.

4.5.3. Evaluatie schor- en oeverbreedte Schelde-estuarium

Tabel 4-7 geeft een samenvatting van de beoordeling van de rekenparameters schorbreedte en oeverbreedte per zone.

Tabel 4-7: Beoordeling kwaliteit Leefgebied voor schorbreedte en oeverbreedte. Rood = negatieve evaluatie, groen = positieve evaluatie, geen kleur = neutraal.

	Zeeschelde				Westerschelde		
	Zoet korte verblijftijd	Zoet lange verblijftijd	Oligohalien	Saliniteitsgradiënt	Mesohalien	Zwak polyhalien	Sterk polyhalien
Schorbreedte							
Oeverbreedte							

4.5.4. Verklaring ontwikkeling schor- en oeverbreedte Schelde-estuarium

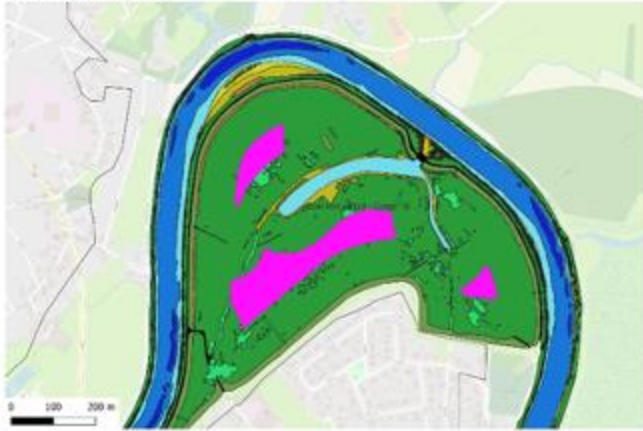
De ontwikkeling van de schorbreedte hangt zowel in de Zeeschelde als de Westerschelde samen met de opbolling van de oevers, waardoor de oppervlakte van de hogere delen, die geschikt zijn voor de vestiging van schorvegetatie, is toegenomen. Daarnaast vangt de bestaande schorvegetatie ook sediment in waardoor dit de hoogteligging versterkt.

Voor de ontwikkeling van de oeverbreedte was in eerste instantie geen verklaring te vinden. Nadere analyse van de aangeleverde gegevens laat zien dat de gebruikte methodiek bepalend is voor de resultaten. Langs de oever en langs de dijk zijn in GIS twee buffers getrokken die elk de helft bedragen van de gewenste oeverbreedte. Vervolgens is de oppervlakte van het deel van de oever dat zich tussen beide buffers bevindt bepaald. De oppervlakte van deze delen is vervolgens per zone bij elkaar opgeteld. Figuur 4-21 geeft een voorbeeld van de berekening in de verschillende jaren. In 2013 is in OMES-segment 18 een buffer getrokken langs de waterlijn, langs de kaden/hoog supralitoraal in het gebied en langs het in de oever aanwezige waterlichaam. Met paars is aangegeven welke oppervlakte meetelt voor de oever met voldoende breedte. Voor de ecotoopenkaart van 2016 is dezelfde exercitie toegepast, waarbij in de zuidoosthoek de paarse driehoek is verdwenen. Op de ecotoopenkaart uit 2019 is het water in het gebied volledig dichtgeslibd, waardoor de paarse oppervlakte zeer sterk toeneemt. Dit resulteert uiteindelijk ook in een sterke toename van de oeveroppervlakte van voldoende breedte in deze zone (*Zoet korte verblijftijd*; zie Figuur 4-20). Het wel of niet meerekenen van een kreek in de oever is in hoge mate bepalend voor de totale oeverbreedte.

Figuur 4-22 laat voor de overgang van *Oligohalien* naar *Zoet lange verblijftijd* het effect zien van de kartering van een strook hoog supralitoraal in 2019, waardoor de oppervlakte oever van voldoende breedte minstens gehalveerd wordt. In werkelijkheid is de oeverbreedte niet gehalveerd; er is alleen een extra ecotooptype in de kartering opgenomen.

Het gebruik van buffers om de bepalen of de oevers voldoende breed zijn levert geen goed beeld op. Figuur 4-22 laat zien dat het uitsluiten van hoog supralitoraal als onderdeel van de oever bepalend kan zijn of een oever al dan niet aan het criterium voldoet. De zone supralitoraal, hooggelegen zone zonder begroeiing, kan ook beschouwd worden als onderdeel van de oever. In hoeverre in Figuur 4-22 sprake is van een natuurlijke strook supralitoraal of dat er sprake is van een lage kade is niet duidelijk. Het verdient aanbeveling om methodiek voor het bepalen van de oeverbreedte nog eens nader te beschouwen. Met de huidige methodiek wordt geen goed beeld geschetst van de ontwikkeling van de oeverbreedte.

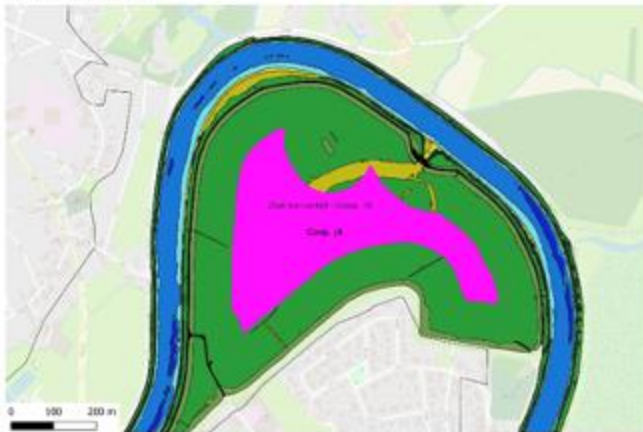
Zoet kort 2013 Comp 18



Zoet kort 2016 Comp 18

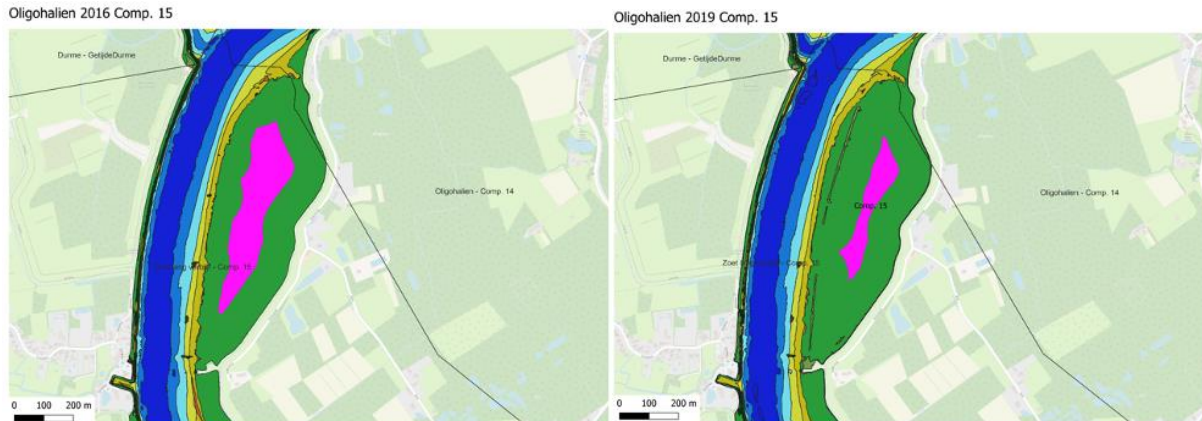


Zoet kort 2019 Comp 18



- antropogeen
- supralitoraal hard antropogeen
- hoog supralitoraal hard antropogeen
- hoog slik hard antropogeen
- middelhoog slik hard antropogeen
- laag slik hard antropogeen
- diep subtidaal
- matig diep subtidaal
- ondiep subtidaal
- getijdeplas
- hoog slik hard natuurlijk
- middelhoog slik hard natuurlijk
- laag slik hard natuurlijk
- hoog slik zacht substraat
- middelhoog slik zacht substraat
- laag slik zacht substraat
- hoog supralitoraal
- potentiële pionierzone
- schor
- oppervlakte oever breed genoeg

Figuur 4-21: Ontwikkeling van de oppervlakte oever van voldoende breedte (met paars aangegeven) op verschillende ecotopenkaarten van compartiment 18 (Zoet korte verblijftijd). Zie tekst voor toelichting.



Figuur 4-22: Ontwikkeling van de oppervlakte oever van voldoende breedte (met paars aangegeven) op verschillende ecotopenkaarten op de overgang van Oligohalien naar Zoet lange verblijftijd. Zie tekst voor toelichting.

4.6. Samenvatting Leefomgeving

4.6.1. Oppervlakte

Zeeschelde

Bij de Zeeschelde moet onderscheid gemaakt worden tussen de ontwikkelingen binnen de enge begrenzing, de oorspronkelijke begrenzing van de Zeeschelde, en de hier in meer recente jaren aan toegevoegde natuurontwikkelingsgebieden en GGG's: de ruime begrenzing. Binnen de enge begrenzing heeft een uitruiming van de vaargeul plaatsgevonden, waardoor de oppervlakte diep sublitoraal is toegenomen en de oevers verder onder druk kwamen. De oppervlakte litoraal is over het algemeen afgenomen. Het litoraal is steiler geworden en er heeft plaatselijk ook een opbolling plaatsgevonden.

In de *Durme* is sprake van een afwijkende situatie, omdat hier zowel zandwinning als uitruiming heeft plaatsgevonden, waardoor de wateroppervlakte aanvankelijk sterk toenam. Het litoraal nam daarna door laterale uitbreiding van het schor sterk af. Na de baggerwerken trad vervolgens een sterke sedimentatie op waardoor vervolgens ondiep sublitoraal weer werd omgezet in litoraal.

Wanneer naar de ruime begrenzing wordt gekeken is met name in het *Oligohalien* en de zone *Zoet korte verblijftijd* de gekarteerde oppervlakte met resp. ruim 200 en 100 ha toegenomen. Dit heeft een positief effect gehad op de oppervlakte ondiep sublitoraal, litoraal en schor in deze zones.

Voor het ondiep sublitoraal en het litoraal zijn minimumoppervlakten per zone geformuleerd. Dankzij de gebieden in de ruime begrenzing voldoet de zone *Zoet korte verblijftijd* aan de oppervlakte-eis voor ondiep sublitoraal, terwijl in het *Oligohalien* de oppervlakte ondiep sublitoraal zich in een positieve richting ontwikkelt. In de ruime begrenzing ontwikkelt het litoraal zich in de zones *Zoet korte verblijftijd*, *Zoet lange verblijftijd* en het *Oligohalien* in een positieve richting, maar in geen enkele zone wordt aan de minimum oppervlakte voldaan. In de *Saliniteitsgradiënt* is sprake van een lichte afname van het litoraal.

Westerschelde

De ontwikkelingen in de Westerschelde na 1955 kunnen in grote lijnen beschreven worden als een verdieping van de hoofdgeulen, een verondieping van de nevengeulen en een verhoging van het

intergetijdengebied in met name het Sterk polyhalien, waarbij de hoger gelegen delen begroeid raken met aanvankelijk pionierschor, dat geleidelijk vervangen wordt door andere schorvegetaties. In het Zwak polyhalien en Mesohalien is sprake van een toename van de oppervlakte van de platen, maar tegelijkertijd ook van een verlaging van de gemiddelde hoogte van de platen.

In het *Mesohalien* en het *Zwak polyhalien* is sprake van een afname van het hoogdynamisch sublitoraal, terwijl er in het *Sterk polyhalien* sprake is van gemiddeld een lichte toename van het hoogdynamisch sublitoraal, maar dat gaat niet ten koste van de oppervlakte laagdynamisch sublitoraal, die in de T2021 duidelijk is toegenomen. Ook in het *Zwak polyhalien* breidt de oppervlakte laagdynamisch sublitoraal zich uit, terwijl in het *Mesohalien* de oppervlakte hiervan stabiel is. Het aandeel laagdynamisch sublitoraal in de totale oppervlakte sublitoraal blijft over het algemeen gering.

De oppervlakte hoogdynamisch litoraal neemt in alle zones af. In het *Mesohalien* en het Zwak polyhalien gaat dit samen met een uitbreiding van het laagdynamisch litoraal. Alleen in het *Sterk polyhalien* neemt de oppervlakte laagdynamisch litoraal af. Wanneer in meer detail naar het laagdynamisch litoraal wordt gekeken, blijkt in het *Mesohalien* de oppervlakte middenlitoraal sterk toe te nemen, terwijl het laaglitoraal ook iets toeneemt. In het *Zwak polyhalien* blijft de oppervlakte middenlitoraal gelijk, maar neemt de oppervlakte laaglitoraal iets toe. In het *Sterk polyhalien* is er een duidelijke afname van het middenlitoraal, terwijl de oppervlakte hiervan in de overige zones gelijk blijft.

Voor de slikken dient het gewenste aandeel pioniervegetatie in de totale oppervlakte schorvegetatie tussen de 5 en 35% te liggen. In het *Mesohalien* ligt de oppervlakte pioniervegetatie op de slikken beneden de ondergrens van 5% en in het *Zwak polyhalien* hier nog net boven. Alleen in het Sterk polyhalien is het aandeel pionierschor steeds tussen de 20-25% geweest.

Op de platen is de oppervlakte pioniervegetatie na een piek tussen 2005-2010 geleidelijk weer afgenomen. Dit kan als een gunstige ontwikkeling, een afname, worden beschouwd, maar in feite vindt er een successie naar schorvegetatie plaats, waardoor deze delen definitief verloren gaan als foerageergebied voor slikgebonden watervogels. Op de slikken is er een duidelijke afname van de oppervlakte pioniervegetatie in het *Mesohalien* en *Zwak polyhalien*, terwijl er in het *Sterk polyhalien* juist een toename plaatsvindt.

De ontwikkeling van schorvegetaties in het *Mesohalien* is stabiel op de slikken maar neemt licht toe op de Platen. Vooral op de Plaat van Walsoorden is een goed ontwikkelde schorvegetatie aanwezig. In het Zwak polyhalien neemt de oppervlakte schorvegetatie op de slikken toe zoals op de Plaat van Baarland. In het *Sterk polyhalien* neemt de schorvegetatie op de slikken toe, maar vooral op de Hooge Platen is de oppervlakte schorvegetatie, met name tijdens de T2015, sterk toegenomen. Tijdens de T2021 lijkt deze ontwikkeling af te vlakken.

Tussen 2004-2008 is er een periode geweest dat er zich pioniervegetatie op de platen in het *Mesohalien* en het *Sterk polyhalien* kon vestigen door de combinatie van een geschikte hoogteligging en microtopografie, en een periode met waterstanden gunstig voor de vestiging van kiemplanten van pioniervegetaties. Deze pioniervegetatie is sindsdien geleidelijk vervangen door schorvegetaties.

4.6.2. Kwaliteit

De kwaliteit wordt beoordeeld op basis van de schor- en de oeverbreedte (combinatie van schor en slik). Dit betekent dat schor op platen buiten beschouwing wordt gelaten, omdat dit geen oever zijn.

Binnen het schor moet voldoende ruimte te zijn voor de verschillende schorzones en de oeverbreedte moet voldoende zijn om de schorvegetaties tot ontwikkeling te kunnen laten komen en tevens voldoende ruimte bieden voor de cyclische processen die horen bij schorontwikkeling en -afbraak. Bij een schorbreedte van minder dan 75-100 m is vaak sprake van een steiler profiel en deze schorren zijn dan vaak onderhevig aan erosieprocessen.

Voor de oeverbreedte zijn voor de verschillende OMES-segmenten minimale oeverbreedtes voorgeschreven, waarbij de gewenste oeverbreedte in stroomafwaartse richting toeneemt van 173 m in segment 19 naar 464 m in segment 9. Voor de Westerschelde wordt een breedte van minstens 1000 m aangehouden.

In de Zeeschelde neemt in de zones *Zoet korte verblijftijd*, *Oligohalien* en de *Saliniteitsgradiënt* de oppervlakte van schor met een breedte van 75 m of meer toe. Alleen in de zone *Zoet lange verblijftijd* neemt de oppervlakte af. In de Westerschelde is de situatie in het Mesohalien en het *Zwak polyhalien* stabiel en neemt de oppervlakte schor met voldoende breedte toe in het *Sterk polyhalien*.

De over het algemeen positieve ontwikkeling ten aanzien van schor van minstens 75 m breed wordt in de hand gewerkt door de opbolling van de oevers, waardoor op de hogere delen ruimte is voor de vestiging van schorvegetaties.

De ontwikkeling van de oeverbreedte laat een ander beeld zien. In de Zeeschelde ontwikkelt de oeverbreedte zich positief in de zone *Zoet korte verblijftijd*, terwijl in de zones *Zoet lange verblijftijd* en in het *Oligohalien* er sprake is van een afname van de oppervlakte na een piek tijdens de T2015. In de zone *Saliniteitsgradiënt* voldoet aan het begin van de T2021 een zeer klein deel van de oever korte tijd aan de minimale oeverbreedte. In de Westerschelde is de situatie stabiel in het Mesohalien, terwijl zowel in het *Zwak* als het *Sterk polyhalien* de ontwikkeling van de zone met een voldoende oeverbreedte een negatieve trend laat zien.

De waargenomen ontwikkelingen hangen samen met de versteiling van de oevers, waarbij in de Zeeschelde het (ondiep) sublitoraal zich uitbreidt ten koste van het litoraal, waardoor de totale oeverbreedte afneemt. In de zone *Zoet korte verblijftijd* wordt dit gecompenseerd door de realisatie van nieuwe gebieden binnen de ruime begrenzing. In de Westerschelde is de oppervlakte slik, hoogdynamisch + laagdynamisch, in het *Mesohalien* gelijk gebleven, terwijl het *Zwak polyhalien* een lichte afname en het *Sterk polyhalien* juist een sterkere afname laten zien. Dit komt terug in de oppervlakte van de oeverzone met een voldoende breedte: gelijkblijvend in het *Mesohalien*, lichte afname in het *Zwak polyhalien* en *Sterk polyhalien*.

4.6.3. Overzicht

In Tabel 4-8 wordt de beoordeling van de Oppervlakte conform de T2015 en de T2021 voor de Zeeschelde gegeven en in Tabel 4-9 die voor de Westerschelde. Tevens is de richting van de trend aangegeven.

De rekenparameter diep water werd tijdens de T2015 overwegend negatief geëvalueerd en tijdens de T2021 positief. Bij de T2015 ging de toename van diep water over het algemeen ten koste van ondiep water. Dit werd dan ook negatief geëvalueerd. Bij de T2021 nam de oppervlakte diep water niet toe ten koste van ondiep water, zodat er sprake is van een positieve beoordeling. De trend is evenwel neutraal of negatief. Bij het ondiep water nam de oppervlakte over het algemeen toe. Dit werd veroorzaakt door afname van het litoraal en door natuurontwikkelingsprojecten binnen de ruime begrenzing, maar alleen

in de zone *Zoet korte verblijftijd* werd het gewenste minimumareaal behaald. De trend is over het algemeen neutraal of positief.

Tabel 4-8: De beoordeling Communicatie-indicator Leefomgeving voor de rekenparameters voor de Zeeschelde in de T2015 en de T2021. Tevens is de trend weergegeven. + = in gewenste richting, 0 = geen trend, - = in ongewenste richting, ± = niet te beoordelen.

parameter	periode	Durme	Rupel	Zoet kort verblijf	Zoet lang verblijf	Oligohalien	Saliniteitsgradiënt
Diep water	T2015	[Red]		[Green]	[Red]		
	T2021	[Green]					
	trend	±	0	-	-	0	-
Ondiep water	T2015	+	-	[Red]			
	T2021	+	-	[Green]	[Red]		
	trend	+	0	+	0	+	0
Litoraal	T2015	-	+	[Red]			
	T2021	-	+	[Red]			
	trend	-	+	+	+	+	-

Het litoraal laat zowel in de T2015 als bij de T2021 een negatieve beoordeling zien. Binnen de enge begrenzing neemt de oppervlakte af en binnen de ruime begrenzing neemt de oppervlakte toe. Dit verklaart de veelal positieve trend, maar bij de *Durme* en de *Saliniteitsgradiënt* is de trend negatief. In geen enkele zone werd het minimumareaal behaald.

Voor de Westerschelde komt in grote lijnen de beoordeling van de T2015 en de T2021 overeen. De ontwikkeling van het Hoogdynamisch sublitoraal werd in de T2015 voor het Sterk polyhalien nog als neutraal beoordeeld, maar laat nu in de T2021 een afname zien, zodat deze rekenparameter positief beoordeeld wordt. In alle zones neemt de oppervlakte van dit ecotoop af. In het *Mesohalien* is tijdens de T2021 de oppervlakte Laagdynamisch sublitoraal stabiel, terwijl in de twee overige zones de oppervlakte toeneemt.

De ontwikkeling van het Hoogdynamisch litoraal wordt zowel tijdens de T2015 als de T2021 positief geëvalueerd. Een duidelijke verandering heeft in de beoordeling van de oppervlakte Laagdynamisch litoraal in het *Sterk polyhalien* plaatsgevonden: van een neutrale beoordeling tijdens de T2015 naar een negatieve beoordeling in de T2021. Was tijdens de T2015 de oppervlakte van dit ecotoop nog stabiel, tijdens de T2021 nam de oppervlakte af, hetgeen negatief beoordeeld wordt.

De ontwikkeling van pionierschor op slikken en platen en de ontwikkeling van het schor laat geen verschillen zien tussen de T2015 en de T2021. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de oppervlakte pionierschor op de platen weliswaar afneemt, hetgeen conform het criterium als positief wordt beoordeeld, maar dat deze pionierschorvegetatie vervangen wordt door schorvegetaties. Dit laatste wordt weer negatief geëvalueerd, omdat hierdoor de beperkte foerageermogelijkheden voor slikgebonden watervogels ter plaatse vrijwel verdwijnen.

Tabel 4-10 geeft de ontwikkeling van de kwaliteit in de periode T2015 en T2021 en de trend bij vergelijking van beide perioden. Als basis zijn Figuur 4-19 en Figuur 4-20 gebruikt. Tijdens de T2015 werd de schorbreedte overwegend positief beoordeeld. Alleen *Mesohalien* en *Zwak polyhalien* werd neutraal beoordeeld. Tijdens de T2021 werd de schorbreedte van de zone *Zwak lange verblijftijd* negatief geëvalueerd en werd ook de zone *Saliniteitsgradiënt* neutraal beoordeeld.

Tabel 4-9: De beoordeling Communicatie-indicator Leefomgeving voor de rekenparameters voor de Westerschelde in de T2015 en de T2021: rood = negatieve beoordeling, groen = positief en wit = geen verandering. Tevens is de trend weergegeven. + = in gewenste richting, o = geen trend, - = in ongewenste richting, ± = niet te beoordelen.

parameter	specificatie	periode	Mesohalien	Zwak Polyhalien	Sterk polyhalien
Hoogdynamisch sublitoraal		T2015	Green	Green	White
		T2021	Green	Green	Green
		trend	+	+	+
Laagdynamisch sublitoraal		T2015	Green	Green	White
		T2021	White	Green	Green
		trend	o	+	+
Hoogdynamisch litoraal		T2015	Green	Green	White
		T2021	Green	Green	White
		trend	+	o	+
Laagdynamisch litoraal		T2015	Green	Green	White
		T2021	Green	Green	Red
		trend	+	+	-
Pionierschor aandeel slikken		T2015	Red	Green	Green
		T2021	Red	Green	Green
		trend	-	-	o
Pionierschor slikken trend		T2015	Red	Green	Green
		T2021	Red	Green	Green
		trend	-	-	+
Pionierschor platen trend		T2015	Green	Green	White
		T2021	Green	Green	White
		trend	+	o	+
Schor slikken		T2015	Green	Green	White
		T2021	Green	Green	White
		trend	+	+	+
Schor platen		T2015	Red	Green	Red
		T2021	Red	Green	Red
		trend	-	o	-

Tabel 4-10: Beoordeling kwaliteit Leefgebied voor schorbreedte en oeverbreedte voor de T2015 en de T2021. Rood = negatieve evaluatie, groen = positieve evaluatie, geen kleur = neutraal. Vergelijking T2021 met T2015 (trend): + = positieve trend, o = geen trend, - = negatieve trend.

parameter	periode	Zeeschelde				Westerschelde		
		Zoet korte verblijftijd	Zoet lange verblijftijd	Oligohalien	Saliniteitsgradiënt	Mesohalien	Zwak polyhalien	Sterk polyhalien
Schorbreedte	T2015	Green	Green	Green	Green	White	White	Green
	T2021	Green	Red	Green	Green	White	White	Green
	trend	+	-	+	o	o	o	+
Oeverbreedte	T2015	Green	Red	White	White	Red	Green	Green
	T2021	Green	Red	White	White	Green	Red	Red
	trend	+	o	o	o	+	-	-

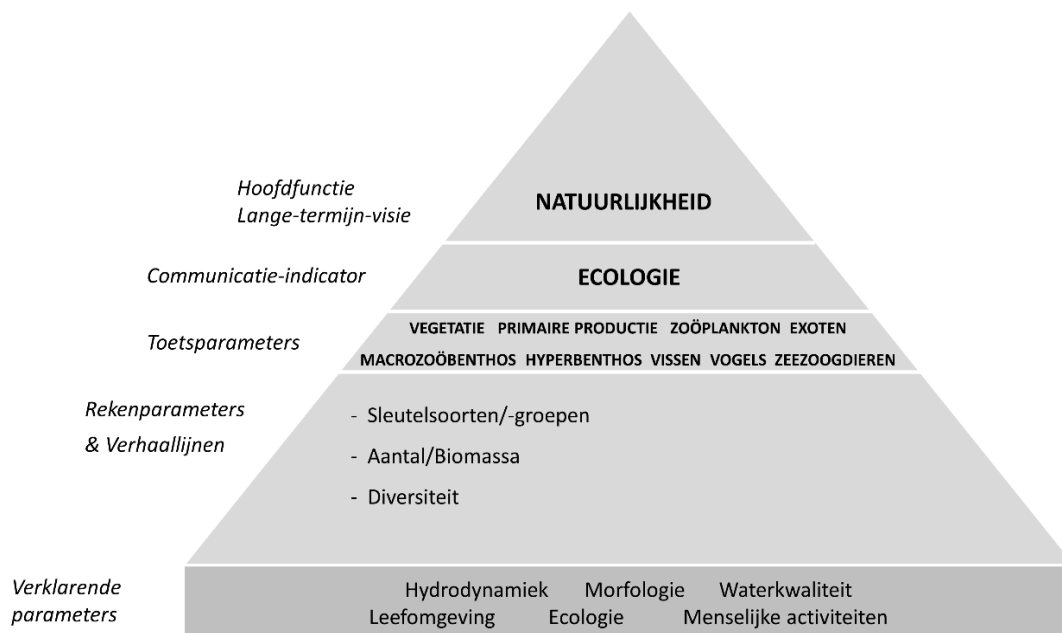
De beoordeling van de oeverbreedte in de Zeeschelde was stabiel. Deze was in de zone *Zoet korte verblijftijd* positief in de T2015 en bleef dit in de T2021. In de zone *Zoet lange verblijftijd* was de beoordeling negatief en dat bleef zo. In het *Oligohalien* en de *Saliniteitsgradiënt* was de beoordeling neutraal en dit veranderde niet. In de Westerschelde vonden wel veranderingen plaats. In het *Mesohalien* was aanvankelijk de beoordeling negatief en die werd vervolgens positief, terwijl in de zones *Zwak* en *Sterk polyhalien* de situatie omgekeerd was: in de T2015 positief en in de T2021 negatief.

5. Ecologie

5.1. Inleiding

De communicatie-indicator *Ecologie* omvat de analyse van het luik "Diversiteit soorten" uit de systeemmonitoring MONEOS, waarbij de focus ligt op het opvolgen van veranderingen en verschuivingen binnen functionele groepen. Het zoeken van potentiële verklaringen voor deze veranderingen in de onderliggende sturende abiotische factoren, wordt gestuurd door de groep-specifieke verhaallijnen en vormen een belangrijke basis voor het Evaluatierapport.

De biotiek van het Schelde-estuarium is een complex samenspel van trofische groepen, waardoor binnen de communicatie-indicator *Ecologie* de volgende toetsparameters worden geïdentificeerd: (1) *Vegetatie*, (2) *Primaire productie*, (3) *Zoöplankton*, (4) *Macrozoöbenthos*, (5) *Hyperbenthos*, (6) *Vissen*, (7) *Vogels* en (8) *Zeezoogdieren*. Deze toetsparameters worden ook in deze volgorde doorheen dit hoofdstuk behandeld, waarbij aandacht gegeven wordt aan (A) specifieke soorten en groepen (met toetscriterium) en (B) relevante rekenparameters voor de groep-specifieke verhaallijnen (zonder toetscriterium). Daarnaast wordt er binnen elke trofische groep ook aandacht gegeven aan de waargenomen exoten, hetgeen per individuele toetsparameter wordt besproken en finaal samengevat wordt in de toetsparameter *Exoten* (9).



Figuur 5-1: Weergave Communicator-indicator Leefomgeving voor flora en fauna.

De bovenstaande benadering toont aan dat de benadering voor de toetsparameter *Exoten* afwijkt van de overige toetsparameters, aangezien de benodigde analyses binnen de groep-specifieke toetsparameters worden uitgevoerd. Hiermee wordt evenwel het stramien van de voorgaande hoofdstukken gevolgd, waarin analyses thematisch gegroepeerd en behandeld worden. De finale toetsing gebeurt evenwel nog steeds binnen de toetsparameter *Exoten* zelf. Het blijft hierbij wel nog steeds belangrijk om duidelijk af te lijnen wat er verstaan wordt onder de term *Exoten* en welke analyses hiervoor voorzien worden.

Exoten zijn soorten die door toedoen van menselijk handelen in een nieuwe omgeving worden geïntroduceerd (EU, 2014). Met andere woorden, soorten die door natuurlijke migratie in een nieuwe omgeving terechtkomen (zogenaamde 'verschuivers'), worden hier niet als effectieve exoten beschouwd. De bewustwording dat exoten zich kunnen vestigen in het Schelde-estuarium en tot een verstoring van de lokale gemeenschap kunnen leiden, heeft er dan ook toe geleid dat er verschillende lijsten met exoten werden opgesteld. Logischerwijs varieert de inhoud van deze lijsten in functie van de beschouwde geografische regio, resulterend in specifieke lijsten voor Europa, België en Nederland.

Voor de analyse van de aanwezige exoten wordt er hier een onderscheid gemaakt tussen twee grote groepen: (1) *Invasieve exoten* en (2) *Overige exoten*. Deze indeling is gebaseerd op bestaande lijsten, waarbij de Europese regulering (de lijst van *Union Concern*) als basis wordt gebruikt voor de groep *Invasieve exoten*. Deze groep is vervolgens aangevuld worden met regio-specifieke lijsten, namelijk (1) de zwarte lijst, (2) de te-volgen lijst en (3) de aandachtlijst voor België en (4) de soorten die een nationaal gecoördineerde aanpak verdienen voor Nederland. Uitheemse soorten die niet op deze lijsten voorkomen, worden onderverdeeld in de groep *Overige exoten*, waarbij opgemerkt dient te worden dat deze dynamisch van aard is. De rekenparameters worden beschouwd per saliniteitszone (niveau 3), waarbij een toename ten opzichte van de voorgaande T-periode tot een negatieve beoordeling leidt.

5.2. Toetsparameter Vegetatie

Onder vegetatie worden de macrofyten verstaan die groeien op de schorren in het Schelde-estuarium. Macrofyten vormen de structurerende levensvorm op deze schorren. De soortensamenstelling en productie bepalen in belangrijke mate het belang en de functie van de schorren in het ecosysteem. Schorren hebben een belangrijke rol in het functioneren van een estuarium, voornamelijk als leefgebied c.q. ecotoop, als zuiveringsmechanisme, leverancier van silicium, en als foerageer-, rust- en broedgebied. De richtinggevende hypothesen over het ontstaan en de evolutie van het areaal schorvegetatie gaan in op de relatie tussen waterbeweging, sedimentaanbod en aangroei of erosie van schorren. Aanname is dat voor de vestiging van schorvegetatie er gedurende één (of meer) jaren een *window of opportunity* moet zijn, waardoor plotseling een sterke uitbreiding plaatsvindt, of dat er sprake is van een geleidelijke maar systematische uitbreiding van het schor. Na de blijvende komst van vegetatie zullen de planten zelf hun leefgebied vergroten, in het bijzonder door de invang van sediment. Dan ontstaat een niet-lineair proces, dat op enkele platen (bijvoorbeeld de Plaat van Walsoorden) goed zichtbaar is. Een belangrijk aspect aan schorvorming is dat er sprake is van een dynamisch proces, waardoor er ruimte moet zijn voor verandering in het ecosysteem. Schorren in het Schelde-estuarium zouden zich in de ideale situatie moeten kunnen ontwikkelen en weer afkalven, zodat er dynamiek ontstaat. Het voorkomen van pioniersvegetaties geeft aan dat het natuurlijke proces van schorvorming plaatsvindt. Het is van cruciaal belang dat bij een eventuele beoordeling niet alles te veel binnen strakke grenzen wordt vastgelegd. Binnen de evaluatiemethodiek moet er dus ruimte zijn voor dynamiek en veranderingen, omdat dit de essentie van een schorsysteem is.

De evaluatie van de toetsparameter vegetatie bestaat uit de rekenparameters oppervlakte schor, diversiteit schorvegetatie en sleutelsoorten/-vegetaties.

5.2.1. Oppervlakte

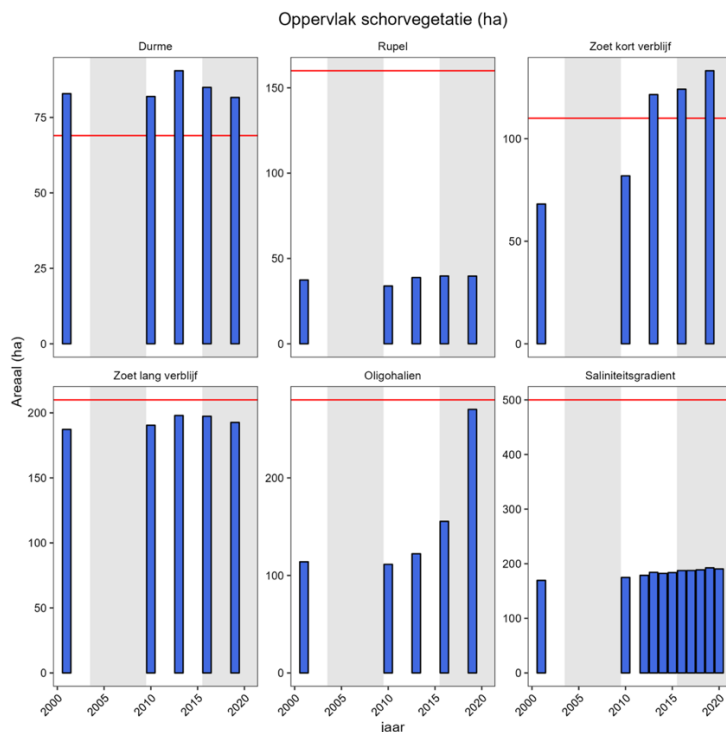
5.2.1.1. Zeeschelde

Definitie

Voor de Zeeschelde werden voor de verschillende zones minimumarealen gedefinieerd waaraan de oppervlakte schorvegetatie dient te voldoen. Deze criteria worden ook gebruikt voor de KRW:

- *Sterke saliniteitsgradiënt*: 500 ha;
- *Oligohalien*: 280 ha;
- *Zoet lange verblijftijd*: 210 ha;
- *Zoet korte verblijftijd*: 110 ha;
- Rupelbekken:
 - *Rupel*: 160 ha;
 - *Dijle & Zenne*: 148 ha,
 - *Grote & Kleine Nete*: 195 ha;
- *Durme*: 69 ha.

De beoordeling vindt dus plaats op niveau 3, maar voor het Rupelbekken vindt de beoordeling plaats op niveau 4, waarbij de beoordeling zich beperkt tot de *Rupel*.



Figuur 5-2: Oppervlakte schorvegetatie in de verschillende zones van de Zeeschelde. De rode lijn geeft de ondergrens voor een positieve evaluatie aan.

Ontwikkeling

Alleen in de *Durme* en de zone *Zoet korte verblijftijd* behaalt de oppervlakte schor het minimumareaal (Figuur 5-2). In de zone *Zoet korte verblijftijd* komt dit door een sterke uitbreiding van het oppervlakte schor. In de zone *Zoet lange verblijftijd* wordt de oppervlakte schor bijna behaald. In de *Rupel* en de zone *Saliniteitsgradiënt* blijft de oppervlakte schor ver beneden het minimumareaal. In het *Oligohalien* vindt in de periode van de T2021 een zeer sterke toename van het oppervlak schor plaats, zodat de gewenste oppervlakte schor bijna behaald wordt.

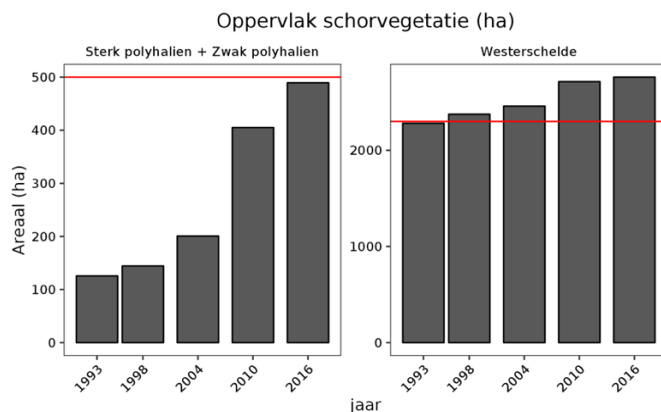
5.2.1.2. Westerschelde

Definitie

Voor de Westerschelde wordt in het meest recente beoordelingsdocument van de KRW de eis van 2.300 ha schor voor de gehele Westerschelde genoemd (STOWA, 2018). In eerdere versies werd ook de eis van 500 ha schor ten westen van Hansweert genoemd. In de evaluatiemethodiek wordt deze eis gehandhaafd, omdat hierdoor een evenwichtiger verdeling van het schoroppervlak over de Westerschelde ontstaat. In tegenstelling tot bij Leefomgeving wordt er nu geen onderscheid gemaakt tussen Pionierschor en Schorvegetatie. De begrenzing is gebaseerd op de vegetatiekaart, die de begrenzing van de vegetatie nauwkeuriger aangeeft dan de ecotopenkaart.

Ontwikkeling

De totale oppervlakte schor laat een geleidelijke ontwikkeling zien, waarbij tussen 2004 en 2010 een versnelde toename heeft plaatsgevonden (Figuur 5-3 en Figuur 4-3). De totale oppervlakte van het schor overschrijdt tijdens de periode van zowel de T2015 als de T2021 het minimumareaal van 2.300 ha. In het *Zwak* en *Sterk polyhalien* is de versnelde schortoename tussen 2004 en 2010 ook waar te nemen. Het minimumareaal van 500 ha ten westen van Hansweert wordt op basis van de vegetatiekaart van 2016 nog net niet behaald. Het grootste deel van de schorvegetatie (330 ha in 2016) bevindt zich op de Hooge Platen (zie Figuur 4-18).



Figuur 5-3: Oppervlakte schorvegetatie in het westelijke deel van de Westerschelde (links) en in de Westerschelde als geheel (rechts). De rode lijn geeft de ondergrens voor een positieve evaluatie aan.

5.2.2. Kwaliteit

Definitie

Voor de berekening van kwaliteit wordt zoveel mogelijk aangesloten bij de criteria van de KRW, maar de kwaliteit van schorvegetaties wordt in Nederland en Vlaanderen op verschillende wijzen berekend. Wel wordt in beide gevallen gekeken naar de verhouding van de verschillende vegetatiezones.

In de Zeeschelde wordt de Shannon-index gebruikt. Brys *et al.* (2005) hebben een koppeling gemaakt tussen de waarden van de Shannon-index en de beoordeling in het kader van de KRW. Dit wordt gebruikt om de vegetatiekwaliteit in de zones van de Zeeschelde te beoordelen. In de Zeeschelde wordt voor de berekening van de Shannon-index voor de brakwaterschorren gebruik gemaakt van de formaties pionier, ruigte en riet, en voor de zoetwaterschorren wordt hieraan de formatie struweel- en bos toegevoegd.

In de Westerschelde dienen de verschillende vegetatiezones binnen een bepaalde bandbreedte te liggen: er is sprake van een evenwichtige verhouding als het aandeel van iedere vegetatiezone (pionier, laag, midden, hoog+strandkweek) minimaal 5% en maximaal 35% van het totaal schorareaal is en het aandeel climaxvegetatie dient maximaal de helft van de zone hoog+strandkweek te zijn (zie STOWA, 2018).

Ontwikkeling

Voor de Zeeschelde was de laatste beschikbare complete vegetatiekaart uit 2013 afkomstig. De vegetatiekaart van 2019 was nog niet volledig beschikbaar. Gekeken is of delen hiervan gebruikt konden worden, maar dit leverde een afwijkend beeld op. Hierdoor was het niet mogelijk om de meest recente ontwikkelingen te schetsen. Wanneer de vegetatiekaart van 2013 met die van 2003 wordt vergeleken neemt in grote lijnen de kwaliteit toe in de verschillende zones of hij blijft gelijk. Alleen in de *Durme* nam de kwaliteit af.

In de Westerschelde is de kwaliteit in vergelijking met de T2015 niet gewijzigd. De kwaliteit is nog steeds matig en wordt dan ook negatief beoordeeld.

5.2.3. Evaluatie oppervlakte en kwaliteit schorvegetatie Schelde-estuarium

Tabel 5-1 geeft de beoordeling conform het analyserapport. In de Zeeschelde voldoen de *Durme* en de zone *Zoet korte verblijftijd* aan het oppervlakcriterium voor schorvegetaties en de overige zones niet. In de Westerschelde wordt wel voldaan aan de oppervlakte-eis van 2.300 ha schor voor de gehele Westerschelde maar nog niet aan de eis van 500 ha schor ten westen van Hansweert. Wel was er een sterke schortoename ten westen van Hansweert sinds 2004.

De kwaliteit van de vegetatie in de Zeeschelde kon alleen voor de Saliniteitsgradiënt beoordeeld worden, omdat van de andere zones de vegetatiekaart uit 2019 nog onvolledig is. De kwaliteit werd negatief beoordeeld net als de kwaliteit van de schorvegetatie in de Westerschelde.

Tabel 5-1: Beoordeling oppervlakte schorvegetatie Zeeschelde en Westerschelde. Rood is een negatieve evaluatie en groen een positieve evaluatie.

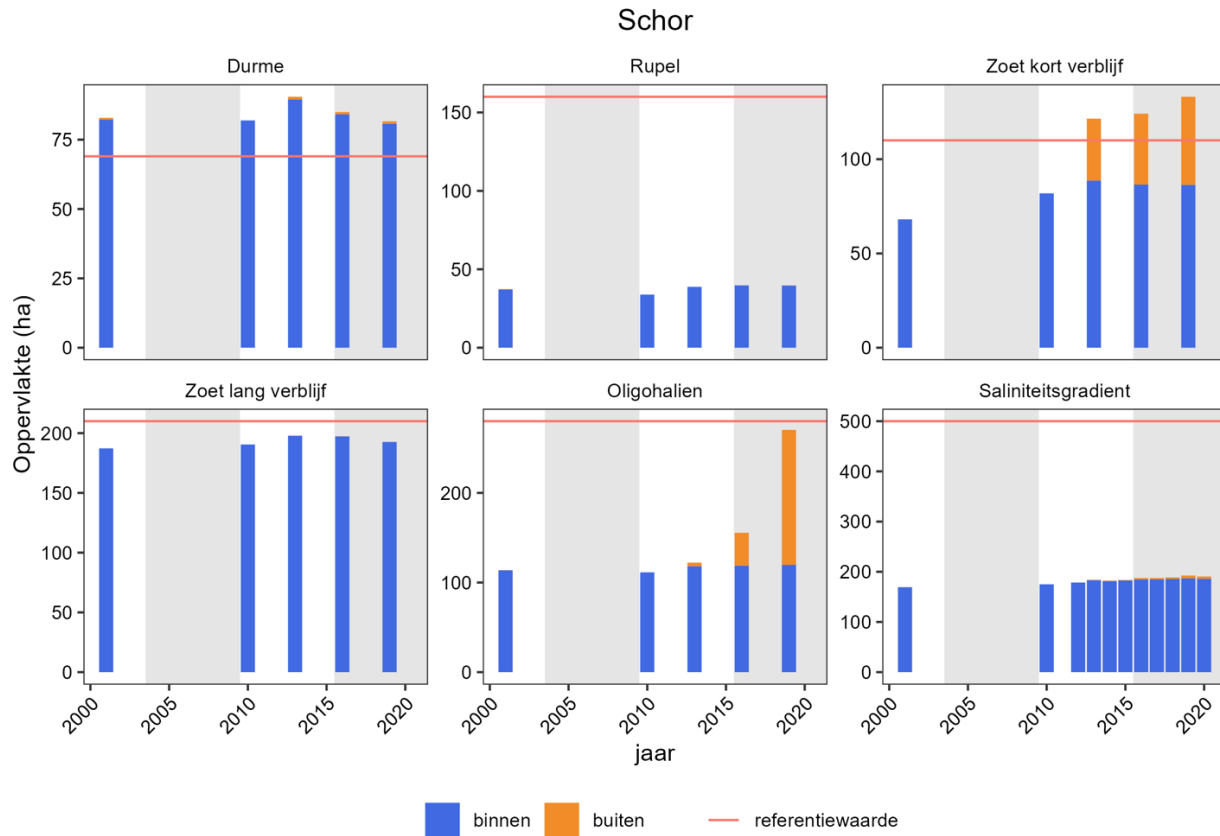
Zone	Durme	Rupel	Zoet kort	Zoet lang	Oligohallien	Sal.gradient	alle zones	mesohallien	Zwak Pol.	Sterk Pol.
Oppervlakte										
Oppervlakte zone <> eis										
≥2300 ha										
≥500 ha west Hansweert										
Kwaliteit	?	?	?	?	?					

5.2.4. Verklaring

In de eerstelijnsrapportages van het INBO wordt aangegeven dat onderscheid gemaakt moet worden tussen de schorontwikkeling in de enge begrenzing van de Zeeschelde, dat bestaat uit het oorspronkelijke stroombed van de Zeeschelde met de bijbehorende schorren, en de ruime begrenzing waaronder ook de natuurontwikkelingsgebieden en ontpolderingen vallen, die bij de vegetatiekarteringen worden meegenomen. Niet uit te sluiten is dat bijvoorbeeld een ongunstige ontwikkeling van het oppervlak schor in de enge begrenzing gemaskeerd wordt door het meenemen van het schor in een nieuw aangelegd GGG.

Figuur 5-4 geeft een overzicht van de oppervlakte schorvegetatie in de verschillende zones van de Zeeschelde, waarbij onderscheid is gemaakt tussen het gebied in de enge begrenzing en de gebieden die in de ruime begrenzing liggen.

In de *Durme* vindt in de T2015 eerst een toename van het schor plaats door laterale uitgroei van het schor (Van Ryckegem *et al.*, 2016), maar in de periode 2013-2016 vond directe oeverafgraving plaats in het stroomopwaartse deel waardoor het schor achteruit ging (Van Ryckegem *et al.*, 2018). Gedurende de T2021 zette de afname van de schoroppervlakte zich voort. Weliswaar wordt nog steeds aan de eis van het minimumareaal voldaan, maar de afname van het schor moet als ongunstig worden beoordeeld. Er is enig schor in het gebied van de ruime begrenzing aanwezig, maar dit is beperkt tot minder dan 1 ha.



Figuur 5-4: Oppervlakte schorvegetatie in de verschillende zones van de Zeeschelde, waarbij onderscheid is gemaakt tussen gebieden binnen de enge begrenzing (binnen) en later toegevoegde natuurontwikkelingsgebieden in de ruime begrenzing (buiten). De rode lijn geeft de ondergrens voor een positieve evaluatie aan.

Langs de *Rupel* was er gedurende de T2015 opbolling van de oever, waardoor het zacht middelhoog slikareaal afnam ten gunste van schor en hoog supralitoraal (Van Ryckegem *et al.*, 2018). Er werd geen schor toegevoegd door natuurontwikkelingsgebieden. De oppervlakte schor blijft ver onder het gewenste minimumareaal.

In de zone *Zoet korte verblijftijd* is de schorontwikkeling in de ontpoldering Wijmeers en door de realisatie van de GGG Bergenmeersen van grote invloed op het behalen van het minimumareaal. Met name Bergenmeersen leverde met 31,5 ha schor in 2013 een grote bijdrage (Van Ryckegem *et al.*, 2018). Tijdens de T2015 breidde het totale schoroppervlak zich verder uit. Dit vond echter alleen plaats in de natuurontwikkelingsgebieden, terwijl binnen de enge begrenzing zelfs sprake was van een zeer lichte achteruitgang.

De zone *Zoet lange verblijftijd* kende geen effectieve aansluiting van nieuwe natuurontwikkelingsgebieden gedurende de T2015 en de T2021. Voor de T2009 was GGG Lippenbroek al aangesloten. De oppervlakte schor was wel gedurende de T2015 licht toegenomen, maar vervolgens nam dit tijdens de T2021 weer af. In juli 2021 werd een ontpoldering nabij het Groot Schoor van Hamme (25 ha) aangesloten. Dit zal op termijn de oppervlakte schor doen toenemen.

In de zone *Oligohalien* is sprake van een zeer sterke uitbreiding van de oppervlakte schor. Hier zijn zes verschillende gebieden toegevoegd: in 2011 de Burchtse Weel, in 2015 KBR-GGG Bazel Noord en in

2017 KBR-Kruibeekse Kreek, KBR-GGG Kruibeke, Sluizen KBR en Fasseit polder: in totaal 219 ha estuarien gebied. De resulteerde in een lichte toename van de oppervlakte schor in 2016 en ruim een verdubbeling in 2019. Hiermee wordt bijna de gewenste doeloppervlakte van 280 ha behaald. De Fasseit polder ligt op slikhoogte (Van Ryckegem *et al.*, 2020), zodat bij een verdere opslibbing hier ook schor tot ontwikkeling zal komen, waardoor het totale oppervlak verder zal toenemen. Binnen de enge begrenzing heeft echter geen uitbreiding van de schoroppervlakte plaatsgevonden.

In de zone *Saliniteitsgradiënt* bedraagt de schoroppervlakte ongeveer 200 ha terwijl het gewenste minimumareaal 500 ha is. Verschillende natuurontwikkelingsprojecten hebben hier in 2003 en 2004 plaatsgevonden (resp. Ketenisse en Paardenschor), terwijl in 2012 en 2015 Potpolder Lilo en de dijkverlegging Fort St.-Filips zijn gerealiseerd. Deze effecten hiervan zijn in de kartering van 2016 meegenomen. Gedurende de T2021 hebben nog twee ingrepen plaatsgevonden: dijkverlegging Lillo – Kruisschans (2019) en Fort Filip (2021). De oppervlakte schor is hierdoor wel iets toegenomen, maar blijft nog steeds ver beneden het minimumareaal. De groei heeft zowel binnen de enge begrenzing als daarbuiten plaatsgevonden.

In grote lijnen kan geconcludeerd worden dat binnen de enge begrenzing de oppervlakte schor over het algemeen iets is afgenomen, terwijl er door de natuurontwikkelingsgebieden en GGG's sprake is van een toename van de oppervlakte schor buiten de enge begrenzing. Alleen bij de *Rupel* en de zone *Saliniteitsgradiënt* is de oppervlakte schor binnen de enge begrenzing stabiel of licht toenemend. Van Ryckegem *et al.* (2021) geven aan dat in de Beneden-Zeeschelde er een uitruiming van de vaargeul plaatsvindt, waarbij de oevers steiler worden en dus meer erosie plaatsvindt.

Aangezien de vegetatiekaart uit 2019 nog niet in volledig uitgewerkte vorm beschikbaar is, kan alleen over de kwaliteit van de vegetatie in de zone *Saliniteitsgradiënt* iets gezegd worden. De kwaliteit lijkt na de vorige vegetatiekaart in 2013 iets toe te nemen, maar valt nog steeds in de kwaliteitscategorie "matig".

Westerschelde

Paragraaf 4.4.6 heeft laten zien dat met name in het *Sterk polyhalien* de oppervlakte schorvegetatie zich heeft uitgebreid en dan met name op de platen. Vooral op de Hooge Platen heeft deze uitbreiding plaatsgevonden. In het *Mesohalien* is de oppervlakte schorvegetatie wel iets toegenomen, maar dit is relatief beperkt. Op de Plaat van Walsoorden in het *Mesohalien* heeft wel een duidelijke uitbreiding van de schorvegetatie plaatsgevonden. Zowel in het *Sterk polyhalien* als het *Mesohalien* heeft tussen 2004 en 2008 een flinke uitbreiding van het pionierschor plaatsgevonden dat geleidelijk grotendeels vervangen is door vegetaties van hogere schorzones. Plaatrandstortingen vinden pas sinds 2010 in de Westerschelde plaats, zodat deze niet verantwoordelijk zijn voor de uitbreiding van het pionierschor. Voor de factoren die van invloed zijn op de vestiging van pioniervegetaties wordt verwezen naar Paragraaf 4.4.6.

De plaatrandstortingen zijn in ieder geval plaatselijk van invloed op de ophoging van platen. Het materiaal van de stortlocatie Hooge Platen Noord is voor een deel op de plaat terechtgekomen. Met name ten oosten van de Bol is de ophoging na de plaatrandstortingen versnelde. Bij de Rug van Baarland daarentegen zijn de autonome ontwikkelingen zeer sterk, en lijken de plaatrandstortingen in 2010 en 2011 geen invloed op de ontwikkeling van de plaat zelf te hebben gehad. De trend van verhoging van platen was al voor de plaatrandstortingen zichtbaar (VNSC, 2019; IMDC., 2022). Bij de Plaat van Walsoorden neemt door de plaatrandstortingen het intergetijdenareaal op de noordwestpunt toe. Uit hoogtemetingen blijkt dat er ook een beperkte ophoging van de plaat zelf is (IMDC, 2022).

Schrijver (2020) geeft een overzicht van zowel de ontwikkeling van de platen als van de slikken en schorren in de Westerschelde in de periode 1955-2019. De hierin beschreven ontwikkelingen in de periode 2010-2019 (T2015 en eerste helft T2021) worden in Tabel 5-2 samengevat. In het *Mesohalien* neemt zowel de oppervlakte van de platen en slikken toe alsook het volume, maar de hoogte van platen en slikken verandert nauwelijks. In het *Zwak polyhalien* neemt de oppervlakte van de platen en slikken toe maar het volume neemt af of blijft gelijk. Dit resulteert in een verlaging van de gemiddelde hoogte. In het *Sterk polyhalien* is de oppervlakte van de platen iets afgenomen en van de slikken toegenomen. In beide typen gebieden is het volume toegenomen, zodat zowel de slikken als de platen hoger zijn geworden in de periode 2009-2019.

Tabel 5-2: Ontwikkeling van de platen en slikken in de Westerschelde per zones in de periode 2009-2019 op basis van Schrijver (2020). + = toename, - = afname, 0 = blijft gelijk, ~ = geringe daling

gebied	criterium	Mesohalien	Zwak polyhalien	Sterk polyhalien
Platen	oppervlakte	+	+	-
	volume	+	-	+
	hoogte	~	-	+
Slikken	oppervlakte	+	+	+
	volume	+	0	+
	hoogte	~	-	+

Tabel 5-2 laat zien dat de oppervlakte intergetijdengebied in de meeste zones is toegenomen, maar dat alleen in het *Sterk polyhalien* de gemiddelde hoogte van de slikken en platen toeneemt, terwijl in de overige zones de gemiddelde hoogte afneemt of gelijk blijft. De toename van de hoogte van zowel slikken als platen in het Sterk polyhalien gaat samen met een sterke uitbreiding van de schorvegetatie, die met name op de platen heeft plaatsgevonden, maar ook op de slikken is deze duidelijk zichtbaar (Figuur 4-18).

De sterke ontwikkeling van schorvegetatie op de platen, terwijl de totale oppervlakte iets is afgenomen, betekent dat de schorontwikkelig ten koste gaat van andere ecotopen. Dit wordt in Tabel 5-3 geïllustreerd: de totale oppervlakte neemt iets af, waarbij de ontwikkeling van (ponier)schor ten koste gaat van hoog- en laagdynamisch litoraal.

Tabel 5-3: Ontwikkeling van de gemiddelde oppervlakte van de verschillende ecotopen op de platen in het Sterk polyhalien op basis van de ecotopenkaarten. Let op: de oppervlakte van de schorvegetatie is hoger dan op basis van de vegetatiekaart.

Ecotoop	1996-2001	2004-2009	2010-2015	2016-2020
Hoogdynamisch litoraal	1.417	1.322	1.247	1.172
laagdynamisch litoraal	1.961	1.839	1.853	1.785
pionierschor	71	160	132	107
schor	106	135	301	430
overig	167	175	184	181
som	3.721	3.630	3.717	3.675

Dit brengt een belangrijk knelpunt tussen Natura 2000 en de KRW naar voren. Voor Natura 2000 is de oppervlakte foerageergebied voor steltlopers van groot belang en aantasting hiervan op de platen wordt als een negatieve factor beschouwd, omdat de platen in tegenstelling tot de slikken over het algemeen veel minder vaak verstoring kennen en daardoor belangrijk zijn als foerageergebied voor slikgebonden watervogels. Een sterke toename van de schorvegetatie op de platen betekent dat niet alleen de

oppervlakte litoraal is afgenomen maar ook dat de hoogte van delen van de platen is toegenomen, waardoor die minder geschikt worden als foerageergebied voor steltlopers. Boudewijn *et al.* (2022) laten zien dat vooral het middelhooggelegen litoraal van belang is voor steltlopers. Vanuit de KRW wordt een toename van de schorvegetatie als positief geëvalueerd, waarbij geen onderscheid wordt gemaakt tussen vegetatie op slikken of platen. Dit betekent dat een verdere toename van de schorvegetatie een positieve beoordeling vanuit de KRW oplevert, terwijl dit vanuit Natura 2000 als negatief wordt beoordeeld, omdat hierdoor de oppervlakte foerageergebied voor slikgebonden watervogels op de platen verder wordt aangetast.

De kwaliteit van de schorvegetatie in de Westerschelde wordt bepaald door een gelijkwaardige verdeling van de vier onderscheiden schorzones (pionier, laag, midden en hoog) en een niet te hoog aandeel van strandkweek in de hoge schorzone. In vergelijking met de T2015 is in de T2021 de oppervlakte pionierschor afgenomen door omzetting in lage schorvegetatie. De oppervlakte middelhoog schor is min of meer gelijk gebleven, maar door de toename van de totale oppervlakte schorvegetatie is het aandeel middelhoog schor beneden het minimaal gewenste aandeel van 5% komen te liggen. Het aandeel strandkweek in de hoge schorzone zone is nog steeds (te) hoog. Dit resulteert in de beoordeling "matig" voor de schorvegetatie in de Westerschelde. Er zal pas een kwaliteitsverbetering optreden als het aandeel pioniervegetatie in het Mesohalien en Zwak polyhalien toeneemt. Daarnaast is de dynamiek in het Mesohalien onvoldoende om de hoge schorren te laten eroderen en vervolgens nieuwe schorvegetaties tot ontwikkeling te laten komen.

5.2.5. Sleutelsoorten/groepen

Definitie

De sleutelsoorten/-vegetatietypen worden gebruikt voor een verdiepingsslag van de kwalitatieve analyse. Hierbij beperken we ons tot soorten/vegetaties die een indicatieve waarde hebben voor een bepaald deel van het ecosysteem en/of een bepaalde waarde hebben als habitat of voedselbron voor fauna. Zo wordt een toename van soorten/vegetaties, die als ongewenst worden beschouwd, als negatief geëvalueerd en van soorten/vegetaties die vanuit de verhaallijn als gewenst worden beoordeeld, juist als positief. De volgende indicatorsoorten/vegetatietypen zijn geselecteerd:

Zeeschelde

- Reuzenbalsemien: Indicator voor verruiging: de oppervlakte hiervan mag niet verder toenemen. Een afname kan een indicatie zijn voor toenemende zoutinvloed (Van Ryckegem *et al.*, 2020).
- Grote brandnetel: Indicator voor verruiging en verdroging: de oppervlakte hiervan mag niet verder toenemen.
- Driekantige bies: Indicator voor pioniervegetatie in zoet dynamisch slikmilieu (zoetwater-getijdengebied): een toename is gewenst.
- Rode en blauwe waterereprijs: Soorten van spaarzaam begroeide oevers van kreken en geulen, maar ook voorkomend als pioniersoorten op onbegroeide en schaars begroeide delen (in GGG's): een toename is gewenst.

De ontwikkeling van de bovenstaande sleutelsoorten is gebaseerd op de ontwikkeling in de permanente kwadranten (PQ's), waar de vegetatiesamenstelling aanvankelijk één keer in de drie jaar en sinds 2013 één keer in de zes jaar wordt opgenomen. Daarnaast wordt ook de ontwikkeling van het areaal brandnetelruigte en zilt grasland op basis van de vegetatiekaart als indicatie voor resp. een ongewenste

en gewenste ontwikkeling beschouwd. Aangezien de vegetatiekaart van 2019 nog niet volledig gereed was, was het niet mogelijk om deze laatste aspecten te beoordelen.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat de reuzenbalsemien een invasieve exoot is. De soort wordt hier meer in detail besproken en bij de exoten wordt naar deze paragraaf verwezen.

Westerschelde

Riet:	Indicator voor verzoeting (geringere invloed zout): ongewenst.
Strandkweek:	Indicator voor verzuuring hoog schor: een toename van strandkweek is ongewenst.
Zeekraal:	Pionier en voedselbron herbivore watervogels. Ook is zeekraal een indicator voor nieuwe schorvorming, hetgeen als positief moet worden beoordeeld, omdat er dan voldoende dynamiek is voor de vorming van nieuw schor.

Ook bij de vegetatiekartering van de Westerschelde worden vegetatie-opnamen gemaakt, maar in tegenstelling tot bij de Zeeschelde worden hiervoor geen vaste punten gebruikt, maar worden locaties gekozen, waar de vegetatie representatief is voor een bepaald vegetatietype. De evaluatie is gebaseerd op de combinatie van de vegetatiekaart en de opnamen.

Evaluatie

De evaluatie van de sleutelsoorten hogere planten staat weergegeven in

Tabel 5-4, waarbij de situatie van de T2015 met die van de T2021 is vergeleken. In de Zeeschelde is de ontwikkeling van rode en blauwe waterereprijs in de permanente kwadranten negatief geëvalueerd, omdat deze soorten achteruit gaan. Driekantige bies en waterereprijs zijn zeldzame soorten en kunnen alleen op basis van vegetatiekaarten beoordeeld worden. De gegevens van de PQ's zijn daarvoor niet betrouwbaar (schrift. med. Bart Vandevoorde, INBO). De driekantige bies en blauwe waterereprijs kwamen zo weinig voor in de vegetatiekaarten dat ze niet zijn geëvalueerd. De bedekking van de grote brandnetel neemt in alle zones toe, behalve in de *Saliniteitsgradiënt*. Een toename wordt als ongunstig beoordeeld. Als laatste sleutelsoort voor de Zeeschelde wordt de reuzenbalsemien beoordeeld. Deze soort neemt alleen in de zone *Zoet korte verblijftijd* toe. Een toename van deze invasieve exoot wordt als negatief geëvalueerd.

Tabel 5-4: Beoordeling van de ontwikkeling van sleutelsoorten hogere planten in de Zeeschelde en de Westerschelde. Rood geeft een negatieve beoordeling aan en groen een positieve beoordeling.

Zone	Durme	Rupel	Zoet kort	Zoet lang	Oligohalien	Sal.gradiënt	alle zones	mesohalien	Zwak Pol.	Sterk Pol.
Sleutelsoorten										
rode waterereprijs										
blauwe waterereprijs										
grote brandnetel		-								
reuzenbalsemien		-								
riet										
strandkweek										
zeekraal										

In de T2015 werden in de Zeeschelde over het algemeen andere sleutelsoorten gebruikt dan in de T2021, zodat een directe vergelijking van de beoordeling over het algemeen niet mogelijk is. Alleen de reuzenbalsemien wordt zowel in de T2015 als T2021 beoordeeld. In de beoordeling van de T2015 werd de ontwikkeling van deze soort in de zones *Zoet korte verblijftijd*, *Zoet lange verblijftijd*, *Oligohalien* en *Durme* negatief geëvalueerd, aangezien de soort hier toenam en positief in de *Saliniteitsgradiënt*, waar de soort ontbrak, en in de zone *Zoet korte verblijftijd*, waar de soort juist afnam. De situatie lijkt in de T2021 juist omgekeerd.

De grote brandnetel laat bij vergelijking van de situatie in de T2009 met die in de T2015 in de zones *Oligohalien*, *Zoet lange verblijftijd* en *Zoet korte verblijftijd* een negatief geëvalueerde ontwikkeling zien, omdat de bedekking is toegenomen. In de zones *Saliniteitsgradiënt* is de beoordeling positief, omdat de grote brandnetel hier is verdwenen en in de *Durme* nam de bedekking van deze soort af.

Blauwe waterereprijs nam in de T2015 in de zones *Zoet korte verblijftijd* en *Zoet lange verblijftijd* juist toe, hetgeen als positief werd beoordeeld, terwijl in de T2021 de soort achteruit is gegaan of vrijwel verdwenen; dit wordt negatief geëvalueerd.

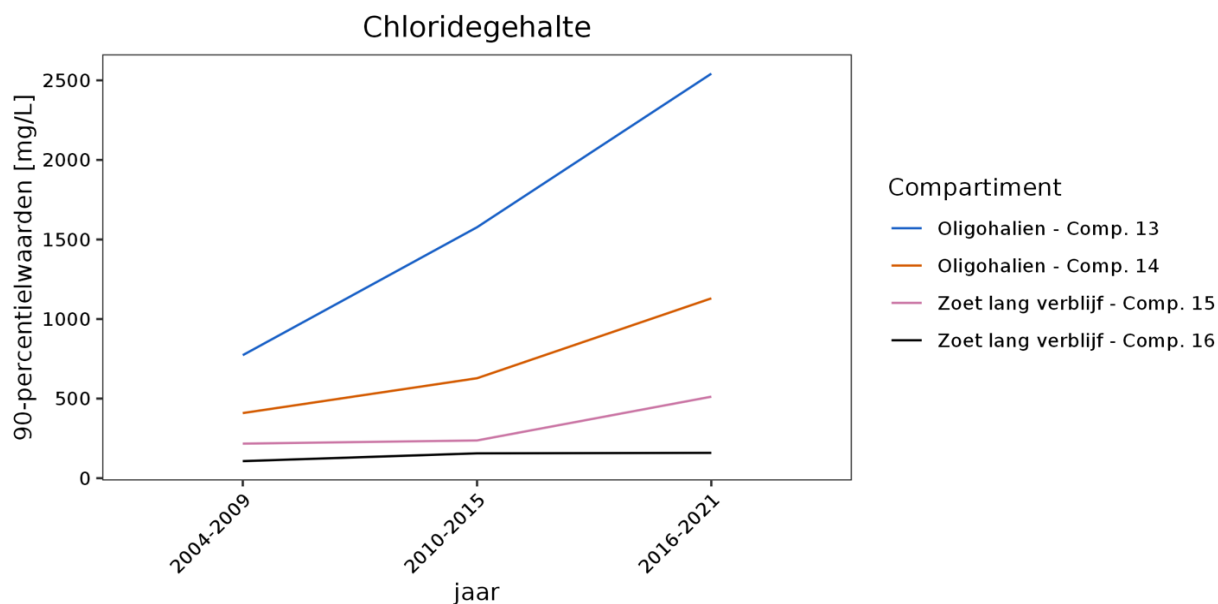
In de Westerschelde vond de beoordeling van de sleutelsoorten op niveau 2 (gehele Westerschelde) plaats. Zowel strandkweek, riet als zeekraal namen in de T2015 in oppervlakte toe. Alleen de situatie voor zeekraal werd als positief geëvalueerd, omdat een toename van deze soort gewenst is. Voor strandkweek en riet werd juist een afname nagestreefd, omdat strandkweek wijst op verzuuring en riet op een verzoeting van het schor. Tijdens de T2021 heeft de ongunstige ontwikkeling van riet zich

voortgezet, terwijl voor strandkweek de negatieve ontwikkeling (toename) is omgeslagen in een positieve ontwikkeling (afname), terwijl bij zeekraal de situatie juist omgekeerd is: van een positieve ontwikkeling (toename) naar een negatieve (afname) in de T2021.

Verklaring

Zeeschelde

Door Van Ryckegem *et al.* (2020) is al eerder aangegeven dat de afname van de reuzenbalsemien mogelijk deels gestuurd wordt door de verandering in het zoutgehalte van de Zeeschelde. In Figuur 5-5 wordt de ontwikkeling van het zoutgehalte in het *Oligohalien* (compartiment 13 en 14) en *Zoet lange verblijftijd* (compartiment 15-16) in de tijd weergegeven. Hier hebben de grootste veranderingen in het gemiddelde zoutgehalte plaatsgevonden. Met name in het *Oligohalien* is de zoutindringing toegenomen.



Figuur 5-5: Ontwikkeling van de 90-percentielwaarden (mg/l) van het chloridegehalte in de compartimenten 13-16 (*Oligohalien* 13-14 en *Zoet lange verblijftijd* 15-16) in de tijd.

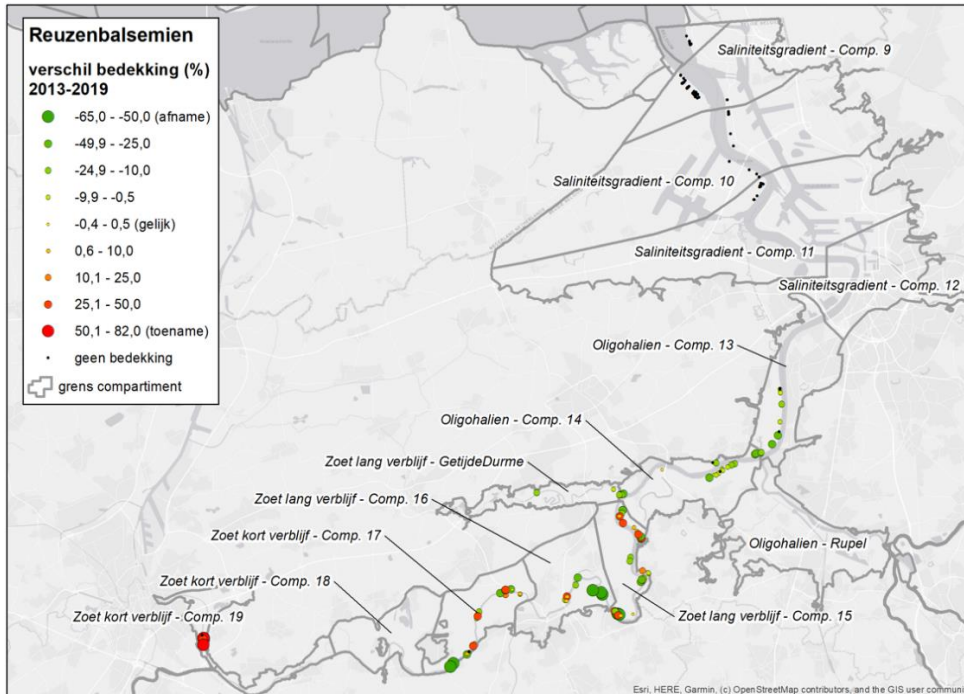
Indien naar de ontwikkeling van de gemiddelde bedekking van de reuzenbalsemien in de permanente kwadraten (pq's) langs de Zeeschelde wordt gekeken (Figuur 5-6) valt op dat in de zone *Oligohalien* (compartiment 13 en 14) in alle PQ's de reuzenbalsemien achteruit gaat, terwijl in de zones *Zoet korte* en *Zoet lange verblijftijd* er zowel een toename als een afname van de bedekking in de afzonderlijke pq's kan plaatsvinden.

Wanneer naar de grote brandnetel wordt gekeken, blijkt deze soort niet hetzelfde patroon te vertonen als de reuzenbalsemien (Figuur 5-7). In de zone *Oligohalien* is er geen uniforme afname van de bedekking van de grote brandnetel.

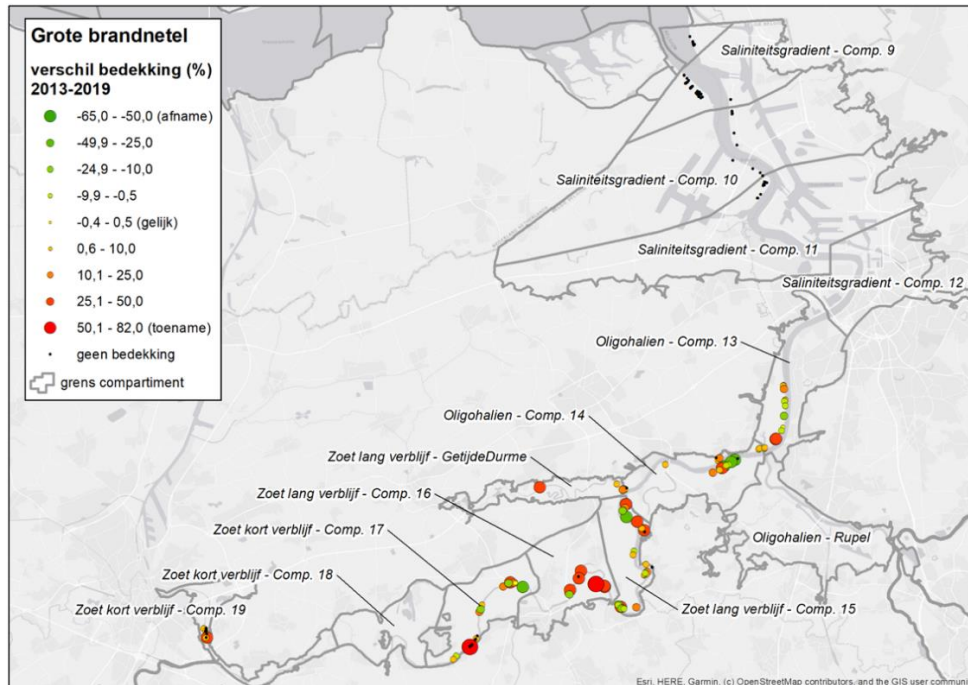
Zowel reuzenbalsemien en grote brandnetel zijn strikt zoetwatergebonden soorten (Hill *et al.*, 1999). De brandnetel is als meerjarige soort vermoedelijk minder zoutgevoelig dan de reuzenbalsemien die jaarlijks uit zaad moet opkomen. De soorten verschillen in vochtvoorkeur qua standplaats. De voorkeur voor een bepaalde vochtvoorkeur wordt uitgedrukt met de zogenoemde Ellenberg-indicatorwaarde: de reuzenbalsemien heeft de waarde 8 en de grote brandnetel de waarde 6. Zo komt de grote brandnetel

voor op bodems met een gemiddelde vochtigheid en op vochtige bodems, terwijl de reuzenbalsemien op vochtige tot natte tot waterverzadigde bodems groeit. De reuzenbalsemien groeit dus op vochtiger en dus lager gelegen locaties dan de grote brandnetel.

De verwachting is dat planten op lager gelegen groeiplaatsen sterker beïnvloed worden door zoutindringing dan planten van hoger gelegen groeiplaatsen. In zomers met een lage rivierafvoer is er sprake van een verdere zoutindringing op de Zeeschelde. Er is dan tevens over het algemeen nauwelijks sprake van stormopzet, zodat overspoeling met zoutwater beperkt blijft tot hooguit de lagere schordelen.

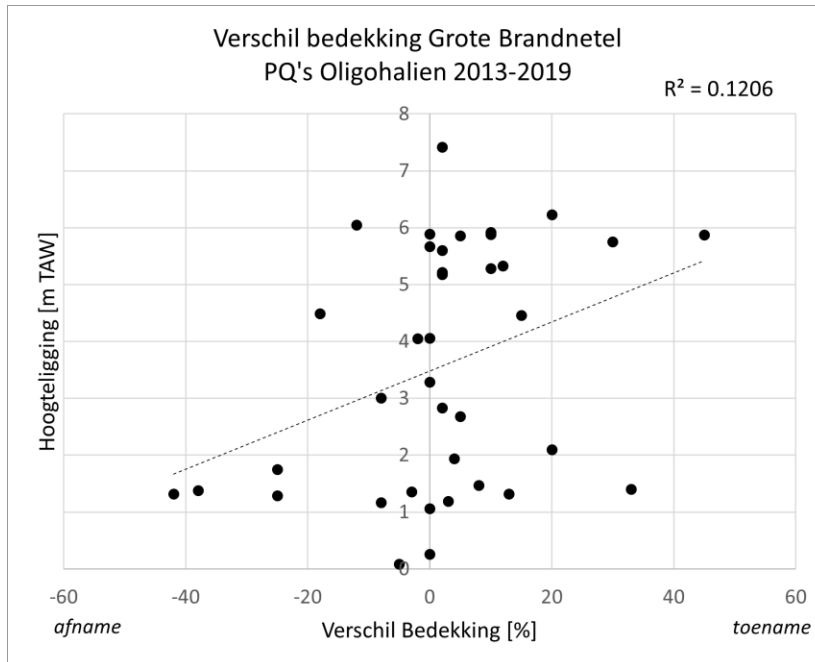


Figuur 5-6: Ontwikkeling van de bedekking van reuzenbalsemien in permanente kwadraten langs de Zeeschelde bij vergelijking van de vegetatieopnamen in 2013 en 2019.



Figuur 5-7: Ontwikkeling van de bedekking van de grote brandnetel in permanente kwadraten bij vergelijking van de opnamegegevens van 2013 en 2019.

Wanneer voor de PQ's om het *Oligohalien* voor de grote brandnetel de relatie tussen hoogteligging en verandering in bedekking wordt uitgezet, blijkt deze soort in de lager gelegen zones achteruit te gaan, terwijl er in de hoger gelegen zones er een toename van de bedekking is. De brandnetel is een uitgesproken glycofyt (zoetwater gebonden soort). De grote brandnetel is minder vochtgebonden dan de reuzenbalsemien en zal gemiddeld wat hoger op het schor staan dan de reuzenbalsemien. De reuzenbalsemien moet jaarlijks uit zaad opslaan en zal daardoor in de kiemingsperiode gevoelig zijn voor zoutstress. Dit verklaart dat door het toegenomen zoutgehalte in de zone *Oligohalien* de reuzenbalsemien in alle PQ's achteruit is gegaan. Bij de grote brandnetel is het effect minder sterk, omdat de soort hoger op de oever staat en daardoor minder beïnvloed wordt: alleen in de lager gelegen PQ's gaat de soort achteruit (Figuur 5-8).



Figuur 5-8: Verandering van de bedekking van de grote brandnetel in de periode 2013-2019 in relatie tot de hoogteligging in m T.A.W. van de permanente kwadraten in de zone Oligohalien.

De blauwe waterereprijs staat in slikgebieden die onder invloed van het getij staan. Opvallend was de toename van deze soort in de zone *Zoet korte verblijftijd* van 2007 naar 2010 gevolgd door een geleidelijke afname naar vrijwel geen bedekking in 2020. Vermoedelijk speelt zoutindringing hier geen rol, maar is hier sprake van natuurlijke successie, waardoor deze pioniersoorten geleidelijk door een andere vegetatie vervangen worden.

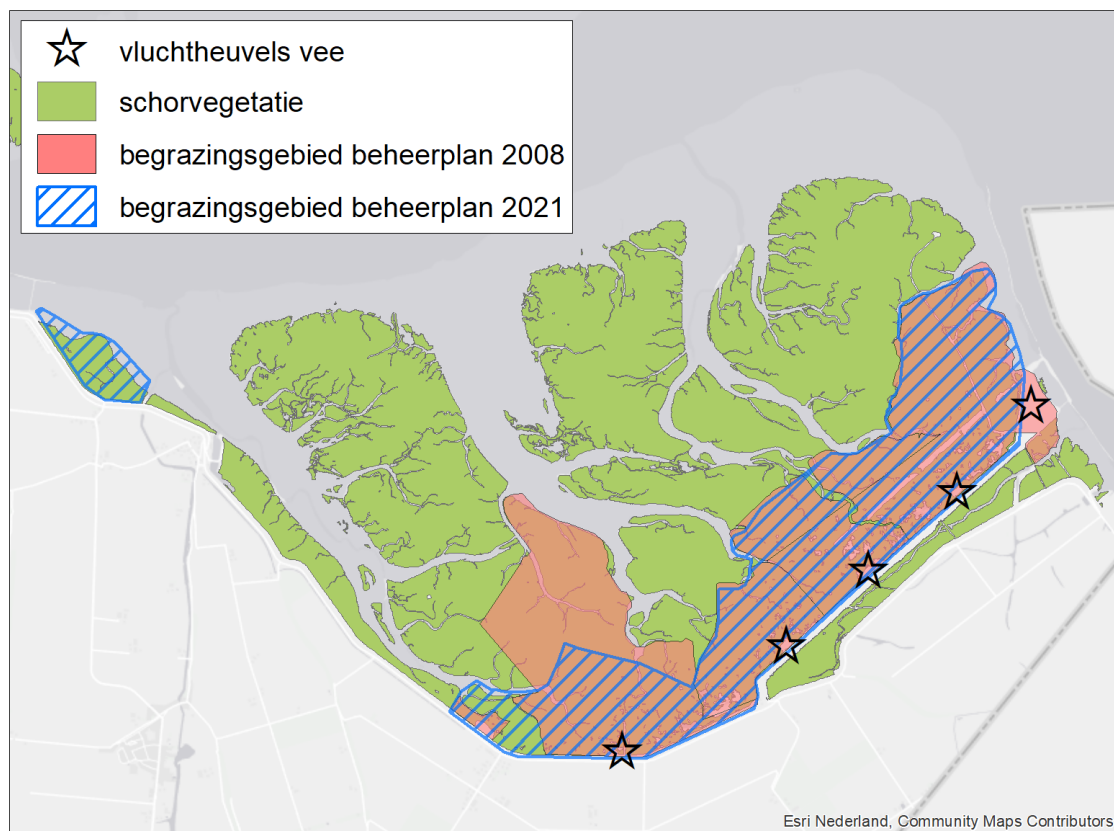
Westerschelde

De sleutelsoorten riet en zeekraal laten een ongunstige ontwikkeling zien (resp. een toename en een afname), terwijl de strandkweek een afname laat zien, die als gunstig wordt beoordeeld. Figuur 5-10 geeft op basis van de vegetatiekaarten uit 2010 en 2016 de ruimtelijke verandering in de bedekking van deze sleutelsoorten weer in vakken van 200 bij 200 m. Strandkweek laat een flinke verandering zien in Saeftinghe. Enerzijds zijn de hoge delen verlaten waar het riet sterk is toegekomen. Dit geldt ook voor het Sieperdaschor tussen Saeftinghe en de Hedwigepolder. Wanneer beide soorten voorkomen verdringt riet strandkweek. In het centrale deel van Saeftinghe heeft een duidelijke toename van strandkweek plaatsgevonden, terwijl in de zuidwesthoek van Saeftinghe juist een flinke afname heeft plaatsgevonden. Dit gaat echter niet samen met een toename van riet op deze locatie. Ook bij het schor van Waarde is de oppervlakte strandkweek achteruit gegaan. Meer westelijk in het *Sterk polyhalien* is op het Zuidgors de strandkweek flink achteruit gegaan. De oorzaak hiervan is ook onbekend. Op het Zuidgors is wel de afgelopen jaren een deel van een oud en door strandkweek gedomineerd deel ontgraven om hier weer een dynamisch soortenrijker schor te maken (Dijkstra *et al.*, 2022), maar dit was na de vegetatiekartering van 2016.

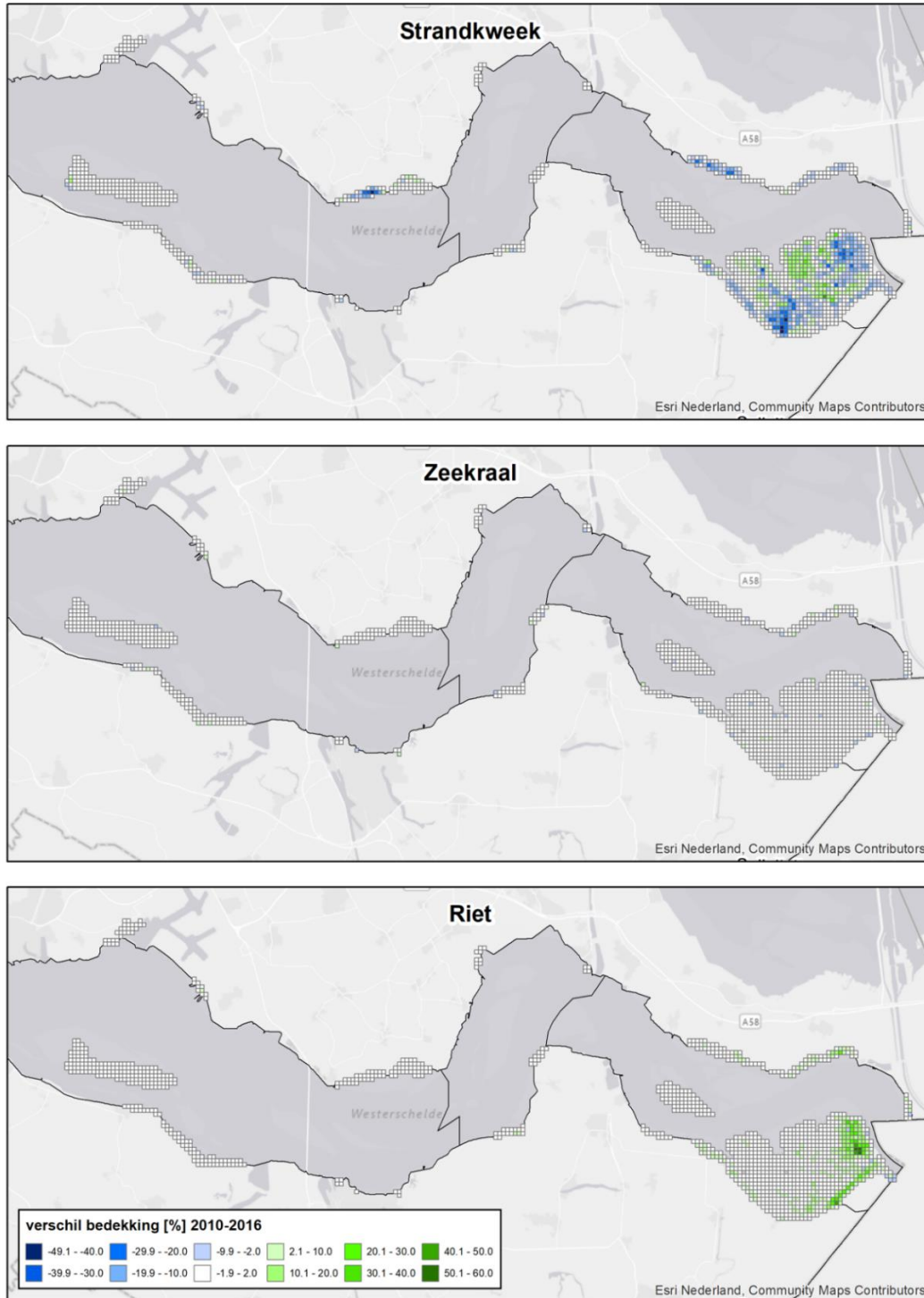
Zoals al eerder is aangegeven gaat riet op de hoge delen van Saeftinghe en in het Sieperdaschor (*Mesohalien*) vooruit. Op plaatsen waar geen intensieve begrazing is kan riet zich uitbreiden. Strandkweek weet zich op de hoge delen zonder begrazing uit te breiden (Lensink *et al.*, 2008; Calle *et al.*, 2021). In Figuur 5-9 worden de begraasde delen van Saeftinghe in 2007 en in 2021 weergegeven.

De graasdruk is over het algemeen laag: 0,5 Grootvee-eenheid per ha. Alleen ter hoogte van het bezoekerscentrum is de graasdruk met 1 GVE wat hoger. In de zuidwestpunt van Saeftinghe wordt schapenbegrazing toegepast, waarbij de dieren vooral dicht bij de dijk grazen. De lage graasdruk in oosten van Saeftinghe verklaart waarom riet de strandkweek weet te verdringen. Voor de afname van strandkweek in de zuidwesthoek worden twee mogelijke oorzaken genoemd (schrift. med. P. Calle, HZL):

- 1) Strandkweek kan slecht tegen betreding. Erheeft er een toename van de bezoekersaantallen plaatsgevonden in de zuidwesthoek, waardoor meer betreding heeft plaatsgevonden, ook buiten de paden.
- 2) Stichting Het Zeeuwe Landschap probeert door het vee al in april in te scharen de strandkweek verder terug te dringen. De strandkweek staat dan namelijk al hoog en andere soorten nog niet: strandkweek wordt dan wel door runderen en waterbuffels gegeten.



Figuur 5-9: Begraasde delen van Saeftinghe rond 2007 (Lensink et al. 2008) en 2021 (Calle et al., 2021).



Figuur 5-10: Ontwikkeling van sleutelsoorten in de Westerschelde bij vergelijking van de vegetatiekaarten uit 2010 en 2016.

Op drie locaties met een sterke achteruitgang van strandkweek op het Schor van Saeftinghe, Zuidgors en Schor van Waarde is in twee vakken van elk 200 bij 200 m gekeken naar de verandering volgens de vegetatiekaarten van 2010 en 2016 (Tabel 5-5). Op het Schor van Waarde is er een duidelijke afname

van de oppervlakte Middenhoge schorvegetatie met strandkweek en een bijna even hoge toename van de oppervlakte lage schorvegetatie met strandkweek. Dit is ook deels terug te zien op het Zuidgors. In Saefthinghe is er beperkte achteruitgang van middenhoog schor met strandkweek, terwijl zowel de oppervlaktes brakke schorvegetatie als onbegroeid zand zijn toegenomen. Voor alle drie de locaties geldt dat er geen verandering in hoogteligging lijkt te hebben plaatsgevonden maar wel in de vegetatiesamenstelling. Mogelijk is de geleidelijke toename van de hoogwatertoestanden hiervoor verantwoordelijk.

Tabel 5-5: Verandering in de vegetatiesamenstelling in twee vakken van 200 bij 200 m net de grootste verandering in het aandeel strandkweek (afname) op het Schor van Waarde, Zuidgors en Saefthinghe op basis van de vegetatiekaart van 2010 en 2016.

Som oppervlak per type (ha)	jaar		
	2010	2016	verschil
Schor Waarde			
Brakke kweldervegetatie met Engels slijkgras (>50%)	0,04		-0,04
Brakke kweldervegetatie met Gewoon kweldergras (>25%) en Zulte	0,01		-0,01
Brakke kweldervegetatie met Heen (>25%)	0,02		-0,02
Brakke kweldervegetatie met Heen (>50%)	0,00	0,24	0,24
Brakke kweldervegetatie met Riet		0,09	0,09
Brakke kweldervegetatie met Strandkweek (>50%)	0,27	0,15	-0,11
Brakke kweldervegetatie met Zulte	0,08		-0,08
Lage kweldervegetatie met Gewoon kweldergras (>25%) en Engels slijkgras	0,06		-0,06
Lage kweldervegetatie met Schorrezoutgras	0,00	0,00	0,00
Lage kweldervegetatie met Strandkweek	0,06	2,32	2,26
Lage kweldervegetatie met Zeeweeebree	0,09	0,09	0,00
Lage kweldervegetatie met Zulte	0,27	0,29	0,02
Middenhoge kweldervegetatie met Strandkweek (>50%)	6,24	3,64	-2,60
Nitrofiële vegetatie met Spiesmelde	0,10	0,07	-0,03
Onbegroeid, slik of klei	0,50	0,53	0,03
Pioniervegetatie met Engels slijkgras (>50%)	0,06	0,20	0,14
Zuidgors			
Lage kweldervegetatie met Gewone zoutmelde	1,45	2,23	0,78
Lage kweldervegetatie met Gewoon kweldergras (>25%) en Engels slijkgras	0,06		-0,06
Lage kweldervegetatie met Strandkweek	0,24	1,67	1,43
Lage kweldervegetatie met Zulte	0,01	0,15	0,14
Middenhoge kweldervegetatie met Zeekweek (>50%)	5,25	1,94	-3,31
Nitrofiële vegetatie met Spiesmelde	0,12	1,41	1,28
Onbegroeid, slik of klei	0,54	0,24	-0,30
Pioniervegetatie met Engels slijkgras (>50%)	0,07	0,02	-0,04
Pioniervegetatie met Engels slijkgras (5-50%)	0,00		0,00
Pioniervegetatie met Langarige zeekraal (>5%)	0,10	0,10	-0,01
Zuidwest Saefthinghe			
Brakke kweldervegetatie met Gewoon kweldergras (>25%)	0,14		-0,14
Brakke kweldervegetatie met Heen (>25%)		0,28	0,28
Brakke kweldervegetatie met Heen (>50%)	0,38	0,85	0,47
Brakke kweldervegetatie met Strandkweek (>50%)	2,10	1,48	-0,62
Brakke kweldervegetatie met Strandkweek (25-50%)	0,11		-0,11
Brakke kweldervegetatie met Zulte	0,01		-0,01
Lage kweldervegetatie met Gewoon kweldergras (>25%)	0,03	0,11	0,07
Lage kweldervegetatie met Strandkweek		0,05	0,05
Lage kweldervegetatie met Zulte	0,04		-0,04
Middenhoge kweldervegetatie met Strandkweek (>50%)	4,62	4,56	-0,06
Nitrofiële vegetatie met Spiesmelde	0,16	0,02	-0,14
Onbegroeid, slik of klei	0,02	0,53	0,52
Onbegroeid, water		0,11	0,11
Onbegroeid, zand	0,39		-0,39

Zeekraal is vooral zeer plaatselijk achteruit en vooruit gegaan; netto is er in alle zones een lichte achteruitgang. Dit komt overeen met de achteruitgang van pioniervegetaties in de Westerschelde. In hoofdstuk 5 Leefomgeving is reeds ingegaan op de ontwikkeling van zeekraal, die zich in de periode 2004-2008 sterk wist uit te breiden. Een combinatie van geschikte hoogteligging en microtopografie met een "window of opportunity" waarin de kiemplanten van zeekraal zich kunnen vestigen is hier vermoedelijk verantwoordelijk voor geweest (Balke *et al.*, 2014). Deze combinatie verklaart de zeer sterke uitbreiding van pioniervegetatie bestaande uit zeekraal in de gehele Westerschelde tussen 2004-2008. Door natuurlijke successie is de pioniervegetatie vervolgens vervangen door andere schorvegetaties.

5.2.6. Exoten

De ontwikkeling van de verschillende invasieve exoten in de verschillende zones van de Zeeschelde staat weergegeven in Figuur 5-11. Voor de Westerschelde geldt dat alleen bezemkruid als invasieve exoot voorkomt. Figuur 5-12 geeft de ontwikkeling van deze soort.

In de Zeeschelde neemt de reuzenbalsemien alleen toe in de zone *Zoet korte verblijftijd*, terwijl de soort in de overige zones afneemt; met name in de zone *Oligohalien* is sprake van een duidelijke afname. Bezemkruid kwam tijdens de T2009 even kort voor in de zone *Saliniteitsgradiënt*, maar is hier sindsdien weer verdwenen. Een relatieve nieuwkomer is de Japanse duizendknoop in de zones *Zoet lange verblijftijd* en *Oligohalien*. In het *Oligohalien* is in de periode van de T2021 ook de vlinderstruik opgedoken. Deze soort heeft een lage bedekking. Als laatste invasieve exoot in de Zeeschelde moet het zwart tandzaad genoemd worden. Deze soort komt voor van de *Durme* tot en met het *Oligohalien*, maar lijkt hier al over zijn hoogtepunt heen te zijn. De soort ontbreekt in de zone *Saliniteitsgradiënt*.

In de Westerschelde komt als invasieve exoot in de opnames alleen bezemkruid voor. De fractie van deze soort in de totale bedekking is zeer laag maar neemt wel toe. Het voorkomen is beperkt tot de overgang van dijk naar schor (schrift. mede. B. Vandevoorde, INBO).

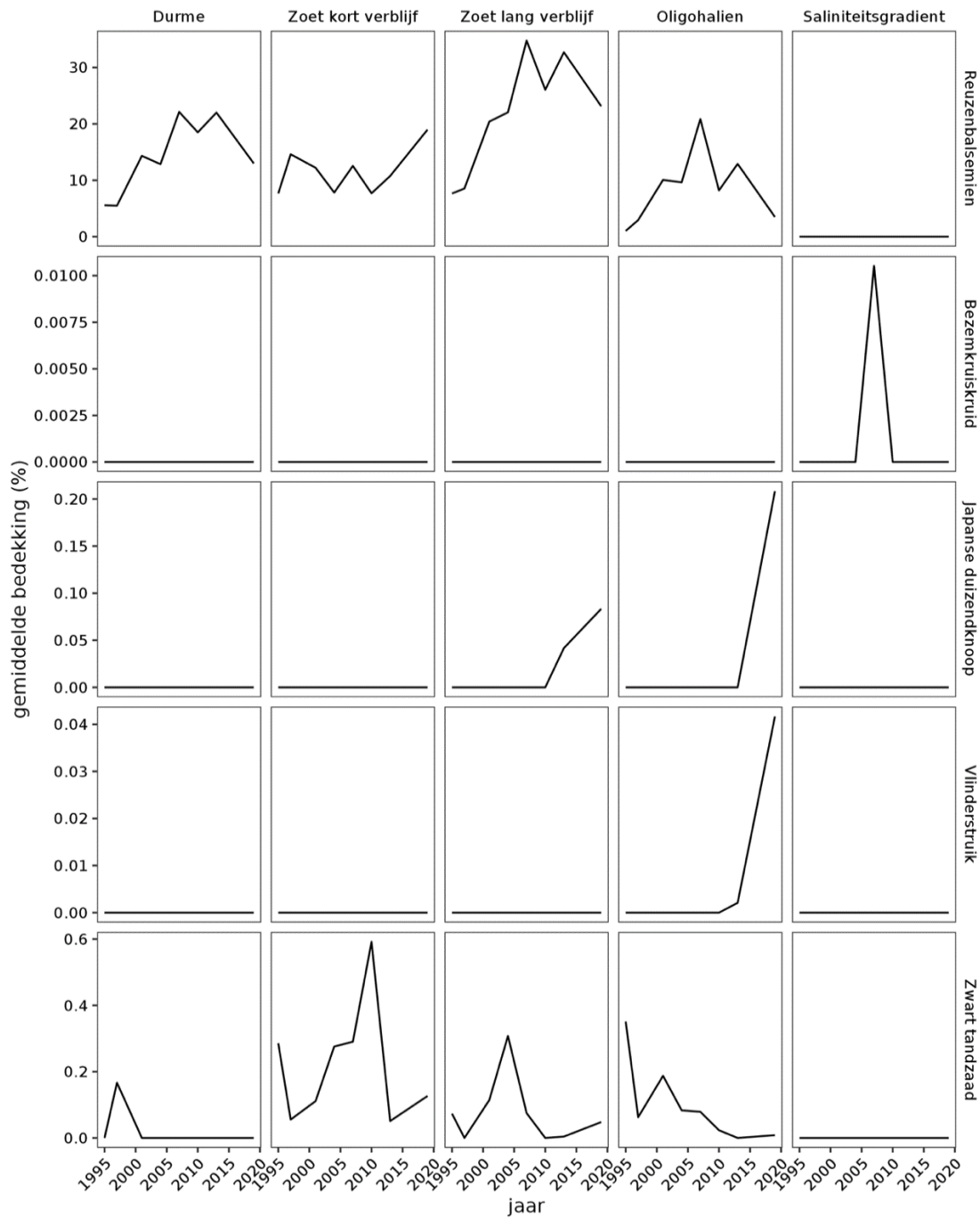
Reuzenbalsemien

De soort is afkomstig uit India en slaat jaarlijks uit zaad op en kan tot 2 m hoogte uitgroeien. De plant heeft een voorkeur voor vochtige bodems in een stikstofrijke en basische omgeving. In de herfst sterft de plant volledig af en laat dan kale bodems achter, die in de winter erosiegevoelig zijn. Alleen meerjarige inheemse soorten met een sterke vegetatieve vermeerdering zijn in staat de soort te weerstaan. Het zaad van de reuzenbalsemien blijft maximaal twee jaar kiemkrachtig (Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit 2018). De soort is als glycofyt (zoetwatersoort) niet bestand tegen brak of zout water. Dit is in overeenstemming met de negatieve ontwikkeling in de zone *Oligohalien*, die zouter is geworden.

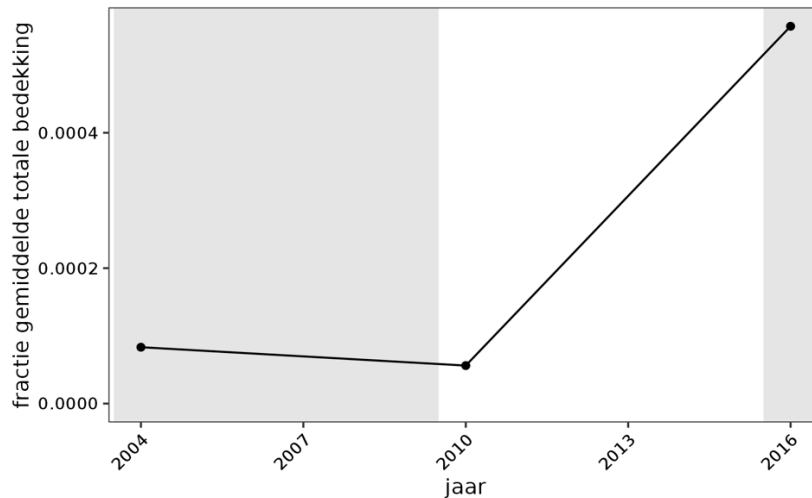
Van Ryckegem *et al.* (2020) bekeken de ontwikkeling van de reuzenbalsemien in 100 at random geselecteerde vegetatieplots langs de Zeeschelde. In 82% van de plots kwam in 2019 reuzenbalsemien voor. De gemiddelde bedekking van de reuzenbalsemien was 17-18%. In vergelijking met 2013 was in ongeveer 10% van de plots de reuzenbalsemien verdwenen en in ongeveer 10% nieuw. Ze hebben in de plots ter hoogte van Kruibeke naar de ontwikkeling van reuzenbalsemien gekeken. In 21 plots was de aanwezigheid afgenomen van 18 plots (2013) naar 10 plots (2019) en de gemiddelde bedekking van 15 naar 2,9%. Zij vermoeden dat deze veranderingen aan een korte of middellange verandering in de saliniteit te wijten zijn.

Japanse duizendknoop

Deze invasieve exoot is over het algemeen moeilijk te bestrijden (Oldenburger *et al.*, 2017) en breidt zich uit in de zones *Oligohalien* en *Zoet lange verblijftijd*. In hoeverre de soort bestand is tegen een verhoogde saliniteit is onbekend. De soort komt voor op de hogere delen van zowel de zoete als de brakke schorren, waar de zoutinvloed vermoedelijk minder sterk is. Op de dijken is de Japanse duizendknoop al een probleemsoort (schrift. med. B. Vandevoorde, INBO).



Figuur 5-11: Ontwikkeling van de gemiddelde bedekking van invasieve soorten hogere planten in de permanente kwadraten in de verschillende zones van de Zeeschelde.



Figuur 5-12: Ontwikkeling van de gemiddelde bedekking van de invasieve exoot bezemkruiskruid in de opnames in de Westerschelde als fractie van de totale bedekking in deze opnames.

Door het vroege uitlopen, de snelle lengtegroei en het gesloten bladerdek overgroeit en verdringt de Japanse duizendknoop de overige vegetatie. Ook de diversiteit van de insectenfauna gaat achteruit. De Japanse duizendknoop kan door het wegconcurreren van de (gras)vegetatie op dijken, oevers en andere taluds de stabiliteit hiervan ondermijnen. Bestrijding van de Japanse duizendknoop is een intensief en een langdurig proces (Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit, 2021). Het verdient aanbeveling om het voorkomen van deze soort regelmatig te inventariseren en in een zo vroeg mogelijk stadium in te grijpen. Desondanks zal het daadwerkelijk verwijderen van de soort een langdurige inspanning vragen.

Vlinderstruik

De soort is alleen in de zone *Oligohalien* aangetroffen en heeft tot nu toe een lage bedekking. De verwachting is dat het risico dat de soort een probleemsoort wordt gering is (schrift. med. B. Vandevoorde, INBO).

Zwart tandzaad

Deze soort is in alle zones, behalve de *Saliniteitsgradiënt*, aangetroffen. In deze zones heeft deze eenjarige soort maximaal een lage dichtheid bereikt tussen 2000 en 2010. Deze soort lijkt de laatste jaren al weer op zijn retour te zijn. Mogelijk hangt dit samen met de zoutindringing op de Zeeschelde.

Bezemkruiskruid

Deze uit Zuid-Afrika afkomstig invasieve exoot is aan een flinke opmars bezig in Nederland en België. De soort komt voor op ruderaal terreinen zoals bouwgronden, langs spoorwegen, in wegbermen en langs slootkanten met een voorkeur voor wat vochtige grond. De grond mag uit zandgrond bestaan maar mag dan niet voedselarm zijn. De soort wordt in een aantal natuurgebieden gezien als bedreiging voor zeldzame oorspronkelijke soorten. Zo wordt de soort in de Vlaamse duinen op een aantal plaatsen actief bestreden. De soort vestigt zich zowel op ruderaal plaatsen in het duin als in stabiele open duingraslanden (Van der Hagen, 2016). Het voorkomen langs snelwegen wijst er op dat de soort zouttolerant is (www.stadsplantenbreda.nl). Op dit moment is de soort langs de Westerschelde beperkt tot de overgang van dijk naar schor. De soort bevat pyrrolizidine-alkaloiden, waardoor ze door het vee gemeden worden. Hierdoor heeft de soort een gunstige concurrentiepositie in door vee begraaide gebieden. Het is zinvol de ontwikkeling van deze soort langs de Westerschelde te blijven volgen.

Samenvatting

Tabel 5-6 vat de beoordeling van het voorkomen van invasieve exoten in de vegetatie samen. In de zones Zoet lange verblijftijd en Oligohalien in de Zeeschelde is het aantal invasieve exoten toegenomen, terwijl dit in de overige zones is gelijk gebleven. Indien naar het aandeel van de invasieve exoten wordt gekeken, neemt dit alleen in de zone Zoet korte verblijftijd in de Zeeschelde toe en in de gecombineerde zones van de Westerschelde.

Alleen in de zone *Zoet korte verblijftijd* weet de reuzenbalsemien zich goed te handhaven en zelfs uit te breiden. In de zone *Oligohalien* lijkt de soort beïnvloed te worden door het toegenomen zoutgehalte van het rivierwater, waarbij de soort overal negatief beïnvloed wordt. Door de reuzenbalsemien kan de erosiebestendigheid van het schor afnemen.

De Japanse duizendknoop breidt zich uit in de zones Zoet lange verblijftijd en Oligohalien, en groeit vooral onderlangs de dijken, waar hij door het wegconcurreren van de (gras)vegetatie op dijken, oevers en andere taluds de stabiliteit hiervan ondermijnen.

In de Westerschelde komt alleen de invasieve exoot bezemkruiskruid voor, deze soort lijkt zich iets uit te breiden, maar blijft mogelijk beperkt tot de overgang schor en dijk.

Tabel 5-6: Beoordeling van invasieve exoten in de vegetatie in de Zeeschelde en Westerschelde. Groen = positieve beoordeling, rood = negatieve beoordeling en - = gegevens ontbreken.

Zone	Zeeschelde						Westerschelde
	Durme	Rupel	Zoet kort	Zoet lang	Oligohalien	Sal.gradient	alle zones
aantal invasieve exoten	-	-	+	+	+	-	+
fractie invasieve exoten	-	-	-	-	-	-	-

5.2.7. Verhaallijn vegetatie

Definitie

Met vegetatie worden de macrofyten bedoeld die groeien van hoog in het intergetijdengebied tot aan de dijk en ze vormen de schorren in het estuarium. Ook zeegrassen zijn macrofyten en deze groeien lager in de intergetijdengebied. In het Schelde-estuarium vinden we nauwelijks zeegrassen, zodat deze groep buiten beschouwing blijft.

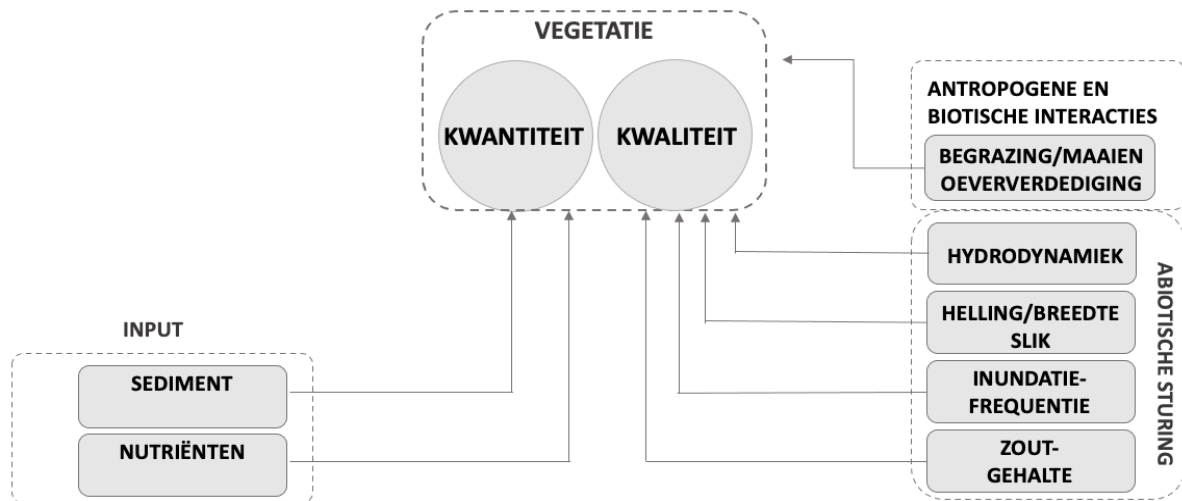
De soortensamenstelling en productie bepalen in belangrijke mate het belang en functie van de schorren in het ecosysteem. Schorren ontstaan onder invloed van waterbeweging, hoogteligging, sediment aanvoer en aangroei van schorren. Na vestiging zullen de planten zelf hun leefgebied vergroten door invang van sediment, waarna geleidelijk successie plaatsvindt van het pionierstadium tot de hogere schorzones. Schorontwikkeling is een cyclisch proces, waarbij schorerosie en -vestiging elkaar afwisselen, zodat alle successiestadia aanwezig zijn.

Vegetatie op de schorren levert voedsel voor herbivore vogels en deels voor omnivore vogels. De overige vogelgroepen gebruiken de lage schorren vooral om te overtijen met hoogwater. Daarnaast kunnen schorren gebruikt worden als broedgebied voor vogels. Dit zijn met name kustbroedvogels als meeuwen, sterns, plevieren en kluut, die vooral pioniervegetaties benutten. In Saefthinghe vormen de schorren met rietvegetatie het belangrijkste broedgebied voor blauwborst en bruine kiekendief.

Binnen de T-rapportage wordt gekeken naar de aspecten kwantiteit (oppervlakte), kwaliteit (verhouding tussen vegetatiezones) en naar sleutelsoorten, die een al dan niet gewenste ontwikkeling indiceren.

Deze aspecten worden beïnvloed door een aantal abiotische en biotische factoren, waaronder hydrodynamiek, inundatiefrequentie, zoutgehalte, de helling en breedte van het slik, maar ook de aanvoer van sediment en nutriënten. Predatie van vegetatie vindt door een groot aantal kleine organismen plaats, maar hier wordt vooral gekeken naar begrazing door herbivore watervogels. Deze factoren moeten dan ook meegenomen worden bij de toestandbespreking en de uitwerking van de mogelijk onderliggende verhaallijnen. De conceptuele samenhang en de beschouwde parameters binnen de deelverhaallijn Vegetatie worden weergegeven in

Figuur 5-13.



Figuur 5-13: Schematische weergave verhaallijn Vegetatie. De twee responsvariabelen kwantiteit (oppervlakte) en kwaliteit (diversiteit) worden beïnvloed door input, antropogene en biotische interacties en abiotische condities.

Observaties

In de Zeeschelde voldoen alleen het areaal schorvegetaties in de *Durme* en de zone *Zoet korte verblijftijd* aan de oppervlakte-eis. In de overige zones wordt hier niet aan voldaan. In de zones *Zoet lange verblijftijd*, *Saliniteitsgradiënt* en *Rupel* is de situatie stabiel, maar in de zone *Oligohalien* is de oppervlakte schor gedurende de T2021 sterk toegenomen. In de Westerschelde voldoet de schorvegetatie wel aan de eis van 2.300 ha schorvegetatie, maar niet aan de eis van 500 ha schorvegetatie ten westen van Hansweert. Wel wordt deze oppervlakte tijdens de T2021 bijna bereikt.

De vegetatiekaart uit 2019 voor de Zeeschelde was nog niet volledig beschikbaar, zodat alleen voor de zone *Saliniteitsgradiënt* de kwaliteit van de vegetatie beoordeeld kon worden: de kwaliteit, de verhouding tussen de verschillende vegetatiezones, wordt negatief geëvalueerd. Ditzelfde geldt voor de vegetatiezonering in de Westerschelde.

De ontwikkeling van sleutelsoorten geeft een indicatie of er al dan niet gewenste ontwikkelingen optreden. Voor de Zeeschelde zijn reuzenbalsemien en grote brandnetel indicatoren van ongewenste ontwikkelingen, zodat voor een positieve beoordeling de oppervlakte hiervan dient af te nemen. De reuzenbalsemien breidt zich uit in de zone *Zoet korte verblijftijd*, maar gaat in de overige zones achteruit. Voor de grote brandnetel geldt dat deze in alle zones vooruit gaat, behalve in de zone *Saliniteitsgradiënt*, waar de soort vrijwel ontbreekt. Positieve indicatoren als rode en blauwe waterereprijs ontbreken of zijn achteruitgegaan.

In de Westerschelde zijn twee negatieve indicatoren: riet en strandkweek. Riet is vooruit gegaan en strandkweek is achteruitgegaan. Zeekraal, een positieve indicator, is tijdens de T2021 achteruit gegaan.

In de Zeeschelde is het aantal invasieve exoten in de Durme en de zones Zoet korte verblijftijd afgenomen (positief) en in de zones Zoet lange verblijftijd en Oligohalien toegenomen (negatief). De fractie van het aantal invasieve exoten is in alle zones afgenomen (positief), behalve in de zone *Zoet korte verblijftijd* (negatief). In de Westerschelde komt net als in de T2015 slechts één invasieve exoot voor, waarvan de fractie wel licht is toegenomen, hetgeen negatief geëvalueerd wordt.

Verklaring

In de Zeeschelde wordt in twee zones, de *Durme* en de zone *Zoet korte verblijftijd*, aan de oppervlakte-eis voldaan en in de zones *Zoet lange verblijftijd* en *Oligohalien* wordt hier bijna aan voldaan. In de *Rupel* en de zone *Saliniteitsgradiënt* bedraagt de oppervlakte schor een derde van de oppervlakte-eis. In de *Durme* was altijd al voldoende schor aanwezig (Figuur 5-4), maar hier is de oppervlakte wel achteruitgegaan door directe oeverafgraving in de bovenstroomse delen (Van Ryckegem *et al.*, 2018). In de zones *Zoet korte verblijftijd* en *Oligohalien* is door de toevoeging van GGG's de oppervlakte schor sterk toegenomen. In de eerste zone vond de belangrijkste toename al plaats tijdens de T2015 (GGG Bergermeersen), terwijl in de tweede zone in 2017 belangrijke aansluitingen plaatsvonden: KBR-Kruibeekse Kreek, KBR-Kruibeke, Sluizen KBR en Fasseit polder. Binnen de enge begrenzing is over het algemeen geen toename van de oppervlakte schor, maar eerder een afname, zodat de schoruitbreiding vooral veroorzaakt wordt door inrichtingsmaatregelen in de ruime begrenzing.

In de Westerschelde breidt de oppervlakte schor zich nog steeds uit. Deze toename vindt vooral plaats in het *Sterk polyhalien*, waar met name op de Hooge Platen de oppervlakte schorvegetatie sterk is toegenomen. De hoogte van de platen is hier toe genomen, een proces dat mogelijk versterkt door plaatrandstortingen aan de noordzijde. Voor de vestiging van pionierschorvegetatie moet de hoogteligging geschikt zijn, net als de microtopografie en tevens moeten de waterstanden zodanig zijn dat kiemplanten zich kunnen vestigen. Balke *et al.* (2014) laten zien dat in de periode 2004-2006 de vestigingsmogelijkheden voor schorvegetatie geschikt waren, zodat dit vermoedelijk de sterke toename van pionierschorvegetatie op de Hooge Platen verklaart. Deze vestiging vond plaats voor de plaatrandstortingen bij de Hooge Platen, zodat dit niet de start van de vegetatie-ontwikkeling heeft bepaald. Wel kan door de plaatrandstortingen een minder hoogdynamisch milieu ter plaatse zijn ontstaan, waardoor op de Hooge Platen meer zwevende stof heeft kunnen bezinken (VNSC, 2019). De schorvegetatie vangt ook sediment in, waardoor de hoogteligging toeneemt. Daarnaast neemt op de Hooge Platen het areaal hooggelegen laagdynamisch slik toe (Figuur 4-12); dit wordt bij verdere verhoging geleidelijk begroeid met schorvegetatie. In Figuur 4-14 is te zien hoe midden op de Hooge Platen een strook laagdynamisch slik verdwijnt. In de zones *Mesohalien* en *Zwak polyhalien* is de oppervlakte hooggelegen laagdynamisch slik stabiel (Figuur 4-12), zodat hier geen directe schorontwikkeling is te verwachten.

Binnen schorren worden verschillende vegetatiezones onderscheiden die met elkaar in evenwicht dienen te zijn. Er wordt dan gesproken van een goede kwaliteit. Aangezien de vegetatiekaart van de Zeeschelde uit 2019 nog niet volledig beschikbaar was, kon alleen voor de zone *Saliniteitsgradiënt* de kwaliteit bepaald worden: deze is matig. De kwaliteit is iets toegenomen ten opzichte van de T2015.

In de Westerschelde is ook sprake van een matige schorkwaliteit. De aandelen van de zones pionierschor en middelhoog schor zijn afgenomen. Het aandeel hoog schor, die vooral in het *Mesohalien* aanwezig is, is weliswaar afgenomen door de toename van laag schor, maar ligt nog steeds boven de gewenste maximale 35%. Zowel het pionierschor op de slikken als op de platen laat in de T2021 een achteruitgang zien ten opzichte van de T2015 (Figuur 4-15 en Figuur 4-16), waarbij in het Mesohalien mogelijk enig herstel op de platen optrad.

In een estuarium worden door de natuurlijke hydrodynamiek schorren geërodeerd, zodat oude, hooggelegen schorren verdwijnen, terwijl op ander plaatsen sediment wordt afgezet. Bij gunstige omstandigheden kan hier het proces van schorvorming opnieuw beginnen. Zowel in de Zeeschelde als de Westerschelde zijn de omstandigheden niet gunstig voor dit soort processen. In de Zeeschelde veruiming de geulen, waardoor het litoraal onder de druk komt te staan: de oppervlakte neemt af en het versteilt. Hierdoor neemt de ruimte voor cyclische processen af.

Ook in de Westerschelde zien we in het Zwak polyhalien en Mesohalien verdieping van de hoofdgeulen en afname van de dynamiek in het intergetijdengebied, waardoor hier minder ruimte is voor cyclische processen. Alleen in het Sterk polyhalien is de dynamiek hoog, hetgeen zich uit in plaatselijke erosie en een ophoging van de platen. Hier kunnen zich nog cyclische processen voordoen, tenzij de platen zich te ver in hoogte ontwikkelen, waardoor ook een verstarring van het systeem ontstaat.

Om gewenste en ongewenste ontwikkelingen in beeld te brengen kan de ontwikkeling van sleutelsoorten gebruikt worden. In de Zeeschelde zijn grote brandnetel en reuzenbalsemien indicatoren voor verzuuring gebruikt. De grote brandnetel is in de meeste zones toegenomen, terwijl de reuzenbalsemien is afgenomen. In de Zeeschelde is het zoutgehalte in de afgelopen jaren duidelijk toegenomen in de zone *Oligohalien* en in de zone *Zoet lange verblijftijd* (Figuur 5-5). Zowel de grote brandnetel als de reuzenbalsemien zijn stricte zoetwatersoorten, waarbij de grote brandnetel iets hoger op de oever groeit dan de reuzenbalsemien. In het *Oligohalien* is de reuzenbalsemien op alle punten achteruit gegaan tijdens de T2021 (Figuur 5-6), terwijl de grote brandnetel alleen op de laaggelegen punten achteruit is gegaan en op de hooggelegen punten vooruit (Figuur 5-8). Dit zijn een duidelijke indicaties voor het effect van de verdere indringing van zout.

De rode en blauwe waterereprijs zijn indicatoren voor pionierstadia in het zoetwatergetijdengebied. De eerste soort kwam nauwelijks voor maar de blauwe waterereprijs had in de zone *Zoet korte verblijftijd* een tijdelijke piek in 2010. Zoutindringing speelt hier geen rol, zodat hier vermoedelijk sprake was van successie, waardoor de blauwe waterereprijs hier door andere plantensoorten is vervangen.

In de Westerschelde worden riet en strandkweek als indicatoren voor een negatieve ontwikkeling gebruikt (resp. voor verzoeting en verzuuring) en zeekraal als positieve indicator (ontwikkeling pioniervegetatie). Riet neemt duidelijk toe en dan met name aan de oostkant van Saefthinghe. Vermoedelijk is de hoogteligging van het gebied zodanig toegenomen, dat hier in de ondergrond de situatie minder zout is geworden, mogelijk door oppervlakkig afstromend zoet water, waardoor zich riet heeft kunnen vestigen. Plaatselijk heeft het riet, mits de begrazing niet te intensief is, de strandkweek kunnen verdringen. Echter, op andere plaatsen is de strandkweek ook achteruit gegaan. Hier lijkt een verandering in vegetatiesamenstelling te hebben plaatsgevonden, waarbij middelhoog schor vervangen is door laag schor, waarbij de hoogteligging niet is gewijzigd. Mogelijk kan dit verklaard worden door de toegenomen hoogwaterstanden in de Westerschelde.

In de zones *Zoet lange verblijftijd* en *Oligohalien* in de Zeeschelde is het aantal invasieve exoten toegenomen, terwijl dit in de overige zones gelijk is gebleven. Indien naar het aandeel van de invasieve exoten wordt gekeken, neemt dit alleen in de zone *Zoet korte verblijftijd* in de Zeeschelde toe en in de gecombineerde zones van de Westerschelde.

Alleen in de zone *Zoet korte verblijftijd* weet de reuzenbalsemien zich goed te handhaven en zelfs uit te breiden. In de zone *Oligohalien* lijkt de soort, zoals al eerder aangegeven, beïnvloed te worden door het toegenomen zoutgehalte van het rivierwater. De Japanse duizendknoop neemt toe in de zones *Oligohalien* en *Zoet lange verblijftijd*. Hij komt hiervoor op de hogere delen van zowel zoete als brakke schorren. Het is onduidelijk in hoeverre de zoutindringing hier eventueel op van invloed is. Beide soorten zijn zeer concurrentiekrachtig en profiteren mogelijk van de toegenomen hoogwaterstanden in de Zeeschelde, waardoor geschikte vestigingsplaatsen ontstaan, mits het water niet te zout is.

In de Westerschelde komt alleen de invasieve exoot bezemkruiskruid voor, deze soort lijkt zich iets uit te breiden, maar zal mogelijk beperkt blijven tot de overgang van dijk naar schor. Dit suggereert gevoeligheid voor zout, maar in Nederland heeft de soort zich juist uitgebreid via autowegen, hetgeen een zekere mate van zouttolerantie suggereert. Aangezien de soort niet begraasd wordt, zouden bij een verdere verzoeting van Saefthinghe ook hier mogelijk uitbreidingsmogelijkheden kunnen ontstaan.

5.3. Toetsparameter Primaire productie

De primaire productie vormt de basis van een ecosysteem omdat het zorgt voor de input van organisch materiaal via fotosynthese en de opname van nutriënten. In het Schelde-estuarium wordt de primaire productie voornamelijk voorzien door algen, waarbij een onderscheid gemaakt kan worden tussen het fytoplankton (pelagische algen in de waterkolom) en het fytobenthos (benthische algen op de bodem). De bijdrage van het (micro)fytobenthos blijft evenwel sterk afhankelijk van de beschikbare intertidale oppervlakte die ingenomen kan worden.

Volgens de werkwijze binnen dit hoofdstuk zijn er een aantal sleutelsoorten en/of -groepen geselecteerd, waarvan de temporele trends worden geanalyseerd. Deze trends kunnen echter niet ondubbelzinnig beoordeeld worden, aangezien de algengemeenschap afhankelijk is van verschillende abiotische en biotische factoren. Een kwantitatieve evaluatie van algensoorten of -groepen is daarom niet aan de orde, met uitzondering van ongewenste soorten en plaagalgen. Bijgevolg worden voor deze toetsparameter de volgende rekenparameters beschouwd: *P:B-verhouding fytoplankton* (Sectie 5.3.1), *Phaeocystis* (Sectie 5.3.2), *Cyanobacteriën* (Sectie 5.3.3) en *Algal Genus Pollution Index* (Sectie 5.3.4). Een algemene beschrijving van de toetsparameter in het kader van de ecologische verhaallijnen wordt behandeld in Sectie 5.3.5.

5.3.1. P:B-verhouding fytoplankton

Definitie

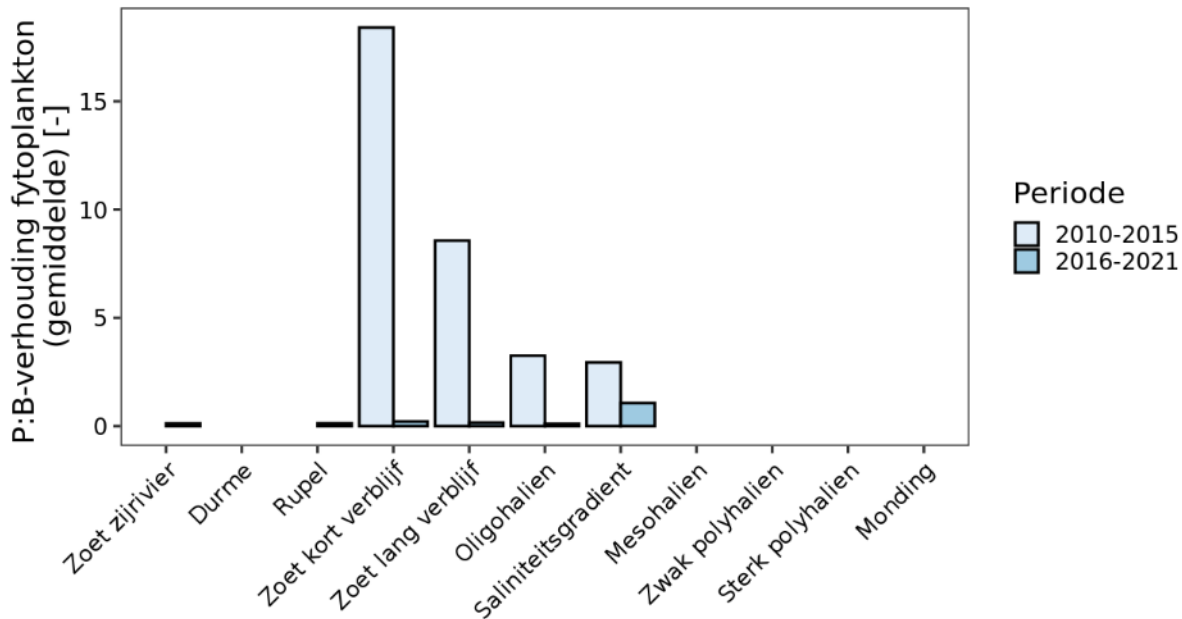
De primaire productie wordt weergegeven door de P:B-verhouding, waarvoor gebruik gemaakt wordt van het aanwezige chlorofyl *a* in de waterkolom (geïntegreerd over de diepte) als proxy voor de algenbiomassa (in (g C)/($\mu\text{g Chl } a$)/d).

Elke stijging van de gemiddelde P:B-verhouding van de voorbije 6 jaar ten opzichte van de voorgaande periode, positief geëvalueerd. Bij deze berekeningen wordt enkel de periode met potentieel sterke primaire productie in het zomerhalfjaar (april tot en met september) beschouwd. De bovengrens wordt gelegd op het 6-jarig gemiddelde gedurende de periode 2010-2015 (i.e. de T2015-periode) en wordt beschouwd in elke zone (Zeeschelde en Westerschelde).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat er relatief weinig gegevens beschikbaar zijn voor het analyseren van de rekenparameter *P:B-verhouding*, zowel temporeel als spatiaal. Een analyse en toetsing kan namelijk enkel uitgevoerd worden voor de Zeeschelde door (1) het ontbreken van data uit de Westerschelde en (2) het ontbreken van data uit de Zijrivieren in de voorgaande periodes. De analyses voor de Zeeschelde tonen dat het merendeel van de beschouwde zones een P:B-verhouding vertoont die in de periode 2016-2021 lager ligt dan in de periode 2010-2015 (zie Figuur 5-14). Bovendien kan er een zeer duidelijke afname van de P:B-verhouding waargenomen worden in de zones

stroomopwaarts, namelijk *Zoet kort verblijf* en *Zoet lang verblijf*. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 slechter dan in de periode 2010-2015, maar een vergelijking met historische data voor een meer uitgebreidere analyse kan hier niet uitgevoerd worden.



Figuur 5-14: Gemiddelde P:B-verhouding van het fytoplankton dat afgeleid werd in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Gemiddeldes zijn berekend per periode van zes jaar en toetsing wordt uitgevoerd als een vergelijking met de voorgaande zesjarige periode.

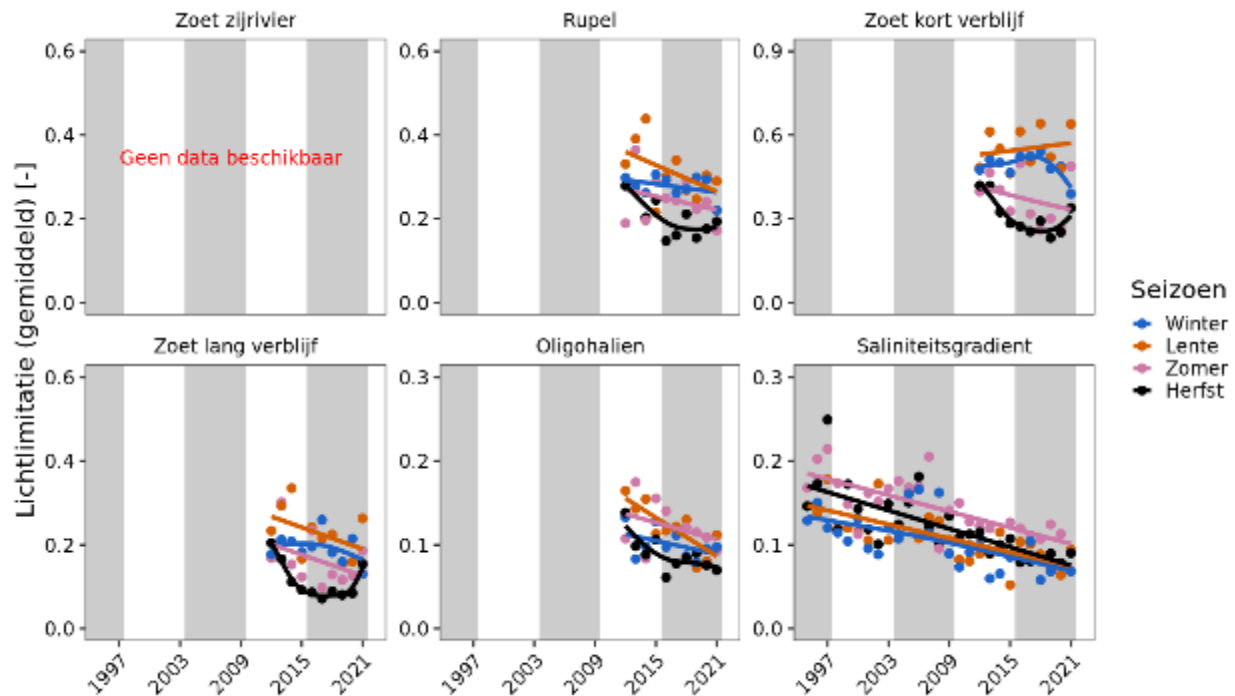
De P:B-verhouding van het fytoplankton blijkt in de volledige Zeeschelde nog een probleem te zijn, met een afname in alle beschouwde zones. Een vergelijking van de gemiddelde P:B-verhouding tussen de verschillende 6-jarige periodes toont bovendien aan dat dit gemiddelde in de Zeeschelde het minst afneemt in de zone *Saliniteitsgradiënt* (zie Figuur 5-14). De onderliggende trend geeft dus een negatief signaal voor de nabije toekomst, waardoor er zeker nood is aan verbetering. Voortbouwend op de resultaten van het AR (en met de nodige voorzichtigheid door het ontbreken van voldoende data voor de Westerschelde) wordt de rekenparameter *P:B-verhouding fytoplankton* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont aan dat er een duidelijk verschil is in de jaarlijkse cyclus van de P:B-verhouding. In verschillende stations in de Zeeschelde worden tot 2015 nog zeer duidelijke pieken in de P:B-verhouding waargenomen, terwijl deze in de jaren nadien zo goed als afwezig zijn. Zo vertoont meetstation *Melle* (zone *Zoet kort verblijf*) de hoogste P:B-verhouding in 2012, gevolgd door 2011 en 2013. Ook in het station *Uitbergen* (zone *Zoet kort verblijf*) zijn duidelijke pieken waar te nemen in 2013 en 2012, net als in het station *Appels* (zone *Zoet kort verblijf*) in de jaren 2011 en 2012. In de stations stroomafwaarts van de zone *Zoet kort verblijf* zijn er eveneens pieken waar te nemen, maar deze zijn minder uitgesproken. Deze waarnemingen staan in sterk contrast met de metingen uit de periode 2016-2021, waarin er nauwelijks pieken waargenomen worden.

De beperkte afname van de aanwezige nutriënten (stikstof en fosfaat, zie Secties 3.3.3 en 3.3.4) leidt ertoe dat deze, net als in de T2015-rapportage, nog steeds in overvloed aanwezig zijn. Hierdoor blijft

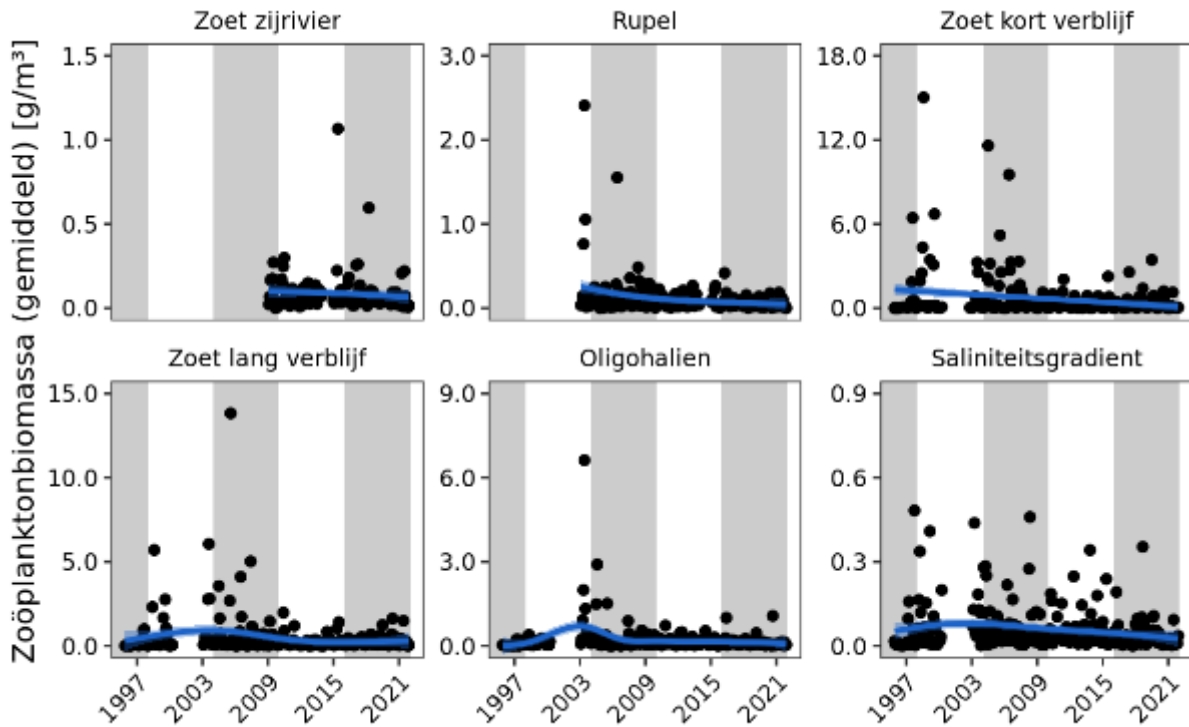
de primaire productie in de Zeeschelde gelimiteerd door het lichtklimaat, hetgeen gestuurd wordt door de turbiditeit en de geassocieerde verhouding van de eufotische diepte (Z_{eu}) ten opzichte van de mengdiepte (Z_m). Het Analyserapport toont dat deze verhouding in meerdere segmenten in de Zeeschelde afneemt, met uitzondering van de herfstperiode. Deze afname wordt ook op zone-niveau waargenomen (zie Figuur 5-15).



Figuur 5-15: Gemiddelde lichtlimitatie die afgeleid werd in de verschillende zones (niveau 3) van het Schelde-estuarium, weergegeven per seizoen.

De lichtlimitatie vertoont ook een spatiale spreiding, met licht dat in de zoete zones (*Zoet kort verblijf*, *Zoet lang verblijf*) relatief verder in de waterkolom binnendringt dan in de overgangszones (*Oligohalien*, *Saliniteitsgradiënt*). Verder stroomafwaarts (*Zwak polyhalien*, *Sterk polyhalien*) neemt deze relatieve indringing weer toe ondanks de toegenomen diepte, voornamelijk door een afname van de turbiditeit. De P:B-verhouding in de Zeeschelde volgt deze spreiding ook deels, met in de periode 2010-2015 hogere waarden in de zoete zones. In de periode 2016-2021 wordt de hoogste P:B-verhouding evenwel in de overgangszone (zone *Saliniteitsgradiënt*) waargenomen, terwijl ook daar de relatieve lichtindringing is afgenomen.

Ook begrazing door het mesozöplankton lijkt geen eenduidige verklaring voor de afname van de P:B-verhouding te voorzien. Zowel de maximale totale biomassa per jaar als het temporele verloop van de biomassa (zie Figuur 5-16) vertonen namelijk geen afname in de tijd. Dit contrasteert met de observaties van de T2015-rapportage, waarin een efficiënte begrazing van het fytoplankton nabij de grens (zone *Saliniteitsgradiënt*) werd beschreven, terwijl deze als minder efficiënt werd beschouwd in de zones stroomopwaarts (o.a. zone *Zoet kort verblijf*).



Figuur 5-16: Verloop van de maandelijkse zoöplanktonbiomassa die afgeleid werd in de verschillende zones van het Schelde-estuarium.

Aditionele parameters die een invloed (kunnen) hebben worden ook nog besproken in Sectie 5.3.5.

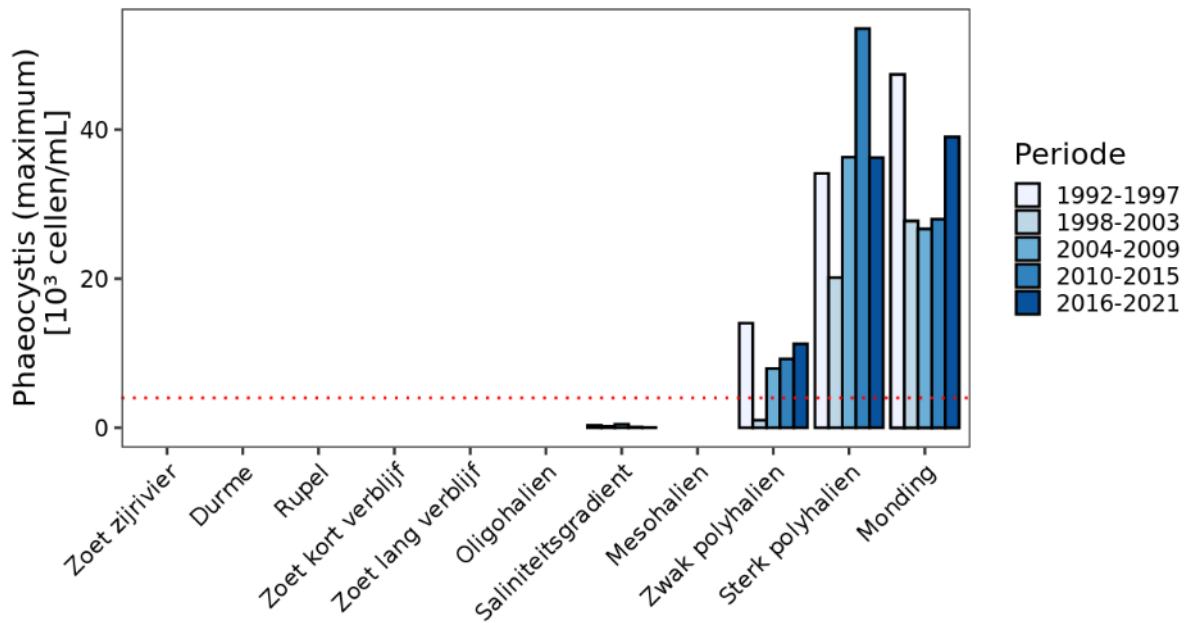
5.3.2. *Phaeocystis*

Definitie

Vanaf bepaalde concentraties kan *Phaeocystis* als een (mariene) plaagsoort omschreven worden en nadelige effecten hebben op het ecosysteem. Zo is er vanaf een cellendichtheid van meer dan 4×10^6 cellen per liter sprake van problematische *Phaeocystis* bloei, waardoor een maandelijkse opvolging in het zomerhalfjaar (april tot en met september) doorheen de Westerschelde wordt voorgeschreven. De bovengrens wordt bijgevolg gelegd op 4×10^6 cellen per liter (of 4×10^3 cellen per mL) en wordt beschouwd in elke zone (Westerschelde).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat alle beschouwde zones een maximale *Phaeocystis*-dichtheid vertonen die hoger ligt dan de toetswaarde (zie Figuur 5-17). De maximale dichtheid neemt toe in de richting van de monding en overschrijdt in de polyhalie zones van de Westerschelde ruim het voorgeschreven criterium. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 niet beter dan in de periode 2010-2015, toen eveneens alle beschouwde zones niet aan de toetswaarde voldeden.



Figuur 5-17: Hoogste *Phaeocystis*-dichtheid die afgeleid werd in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Maxima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft het toetscriterium weer ($4 \cdot 10^3$ cellen/mL).

De aanwezigheid van *Phaeocystis* blijkt in de volledige Westerschelde nog een probleem te zijn, met zowel afnames als toenames in de beschouwde zones. Een vergelijking van de maximale *Phaeocystis*-dichtheid tussen de verschillende 6-jarige periodes toont bovendien aan dat dit maximum in de Zeeschelde afneemt, terwijl het in de Monding doorheen de afgelopen drie T-periodes lijkt toe te nemen (zie Figuur 5-17). De onderliggende trend geeft dus een negatief signaal voor de nabije toekomst, waardoor er zeker nood is aan verdere opvolging. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Phaeocystis* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont aan dat de overschrijding van het toetscriterium typisch in het voorjaar plaatsvindt. Zo toont het meetstation *Walcheren 2 km* (zone *Monding*) de hoogste dichtheid aan *Phaeocystis* in april 2019, gevolgd door april 2020. Van de 12 overschrijdingen, vallen er 6 in april, 4 in mei en 2 in juni. Ook in het meetstation *Vlissingen boei SSVH* (zone *Sterk polyhalinen*) ligt de dichtheid van *Phaeocystis* het hoogst in het voorjaar, met de hoogste dichtheid gemeten in april 2019 (en gevolgd door april 2020). Van de 18 overschrijdingen, vallen er 10 in april en 8 in mei. Het meetstation *Hansweert geul* (zone *Zwak polyhalinen*) wijkt af van deze stations, met de hoogste dichtheid gemeten in april 2020 (gevolgd door april 2021). Desalniettemin vallen ook hier de overschrijdingen in de maanden april en mei (respectievelijk 5 en 4 overschrijdingen).

De aanwezigheid van plaagalg in de zoute zones van het estuarium wordt gestuurd door een aantal factoren, waarvan de input van nutriënten een belangrijke rol inneemt. Eerder bleek al dat de concentraties aan nutriënten (zowel totaal anorganische stikstof (Sectie 3.3.3) en orthofosfaat (Sectie 3.3.4)) geen duidelijke afname vertoonden in de voorbij zes jaar. Bovendien voldoet de totale anorganische stikstofvracht niet aan het voorgeschreven criterium (Sectie 3.3.8) en ook de indicatoren voor het potentieel van kusteutrofiëring vertonen veel te hoge waarden (Secties 3.3.6 en 3.3.7). De langdurige siliciumtekorten (Sectie 3.3.5) zorgen er dan weer voor dat diatomeeën onvoldoende

bouwstoffen vinden voor het uitbouwen van een performante populatie (en daarmee gepaard gaande opname van vrije nutriënten).

Het is duidelijk dat de waargenomen overschrijdingen telkens in het voorjaar vallen (april, mei en juni), hetgeen in de lijn ligt van de verwachtingen. Een lichte toename van de watertemperatuur en een langere dagelijkse blootstelling aan zonlicht vormen de ideale basis voor de ontwikkeling van fytoplankton. Zo is de gemiddelde watertemperatuur in de lentemaanden van 2019 hoger dan in de andere jaren van de periode 2016-2021, net wanneer de hoogste dichtheden van *Phaeocystis* waargenomen worden. In deze lentemaanden komen zowel diatomeeën als *Phaeocystis* tot bloei, maar de langdurige siliciumtekorten zorgen ervoor dat deze laatste de overhand krijgt.

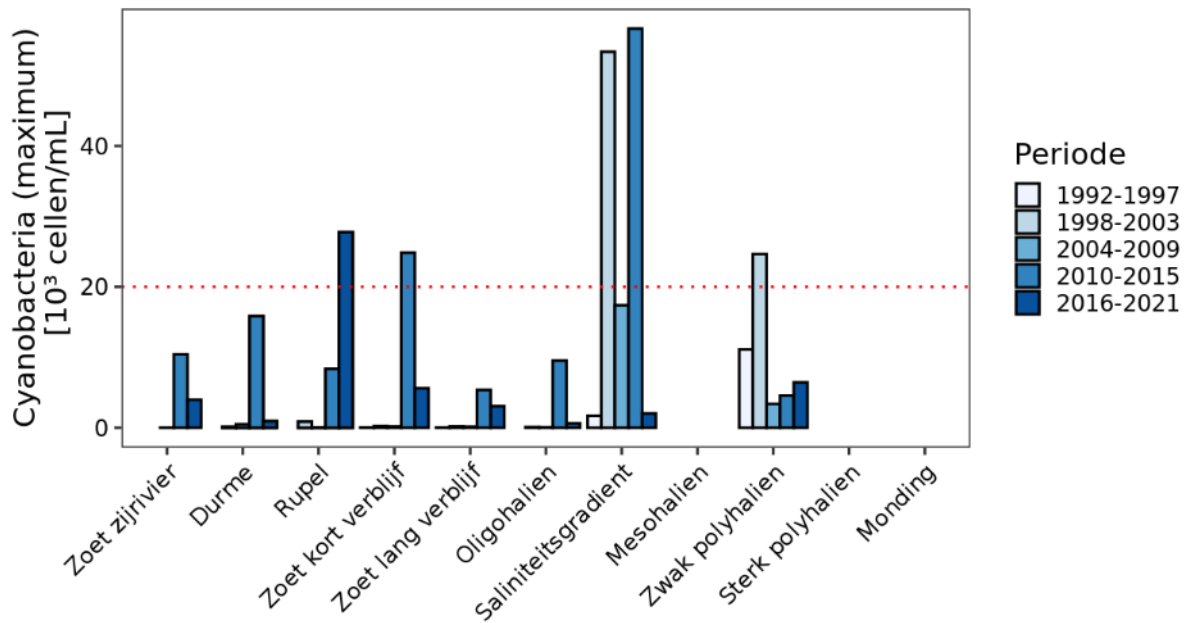
5.3.3. Cyanobacteriën

Definitie

Cyanobacteriën kunnen toxines uitscheiden die schadelijk zijn voor zowel het ecosysteem als de volksgezondheid. Problemen voor de mens (recreatie) of vee (drinkwater) kunnen reeds optreden bij een cellendichtheid van 2×10^7 cellen per liter, waardoor een nauwe opvolging opportuun is. Voor de opvolging van temporele trends op langere termijn worden dan weer maandgemiddeldes gebruikt. De bovengrens wordt bijgevolg gelegd op 2×10^7 cellen per liter (of 2×10^4 cellen per mL) en wordt beschouwd in elke zone (Zeeschelde en Westerschelde, met focus op brakke en zoete wateren).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat nagenoeg alle beschouwde zones een maximale dichtheid van cyanobacteriën vertonen die lager ligt dan de toetswaarde (zie Figuur 5-18). De maximale dichtheid varieert doorheen de Zeeschelde en overschrijdt in de zone *Rupel* ruim het voorgeschreven criterium. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 beter dan in de periode 2010-2015, toen twee zones in de Zeeschelde (zone *Zoet kort verblijf* en zone *Saliniteitsgradiënt*) niet aan de toetswaarde voldeden.



Figuur 5-18: Hoogste dichtheid van cyanobacteriën die afgeleid werd in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Maxima zijn berekend per periode van zes jaar. De rode stippellijn geeft het toetscriterium weer ($20 \cdot 10^3$ cellen/mL).

De aanwezigheid van cyanobacteriën blijkt in de volledige Zeeschelde (en Zijrivieren) af en toe nog een probleem te zijn, met zowel afnames als toenames in de beschouwde zones. Een vergelijking van de maximale cyanobacteriëndichtheid tussen de verschillende 6-jarige periodes toont bovendien aan dat dit maximum relatief variabel is, maar dat deze in de periode 2016-2021 in nagenoeg alle zones lager ligt dan in de periode 2010-2015, met enkel een toename (en overschrijding) in de zone *Rupel* (zie Figuur 5-18). Er kan dus niet van een eenduidige onderliggende trend gesproken worden, maar algemeen komt er vanuit de periode 2016-2021 een positief signaal voor de nabije toekomst. Voortbouwend op de resultaten van het AR (en de overschrijding van het toetscriterium in een enkele zone) wordt de rekenparameter *Cyanobacteriën* evenwel **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont aan dat de overschrijding van het toetscriterium in de zone *Rupel* slechts eenmalig is en waargenomen wordt in meetstation *Niel* op 2 juli 2019. De tweede hoogste dichtheid in de zone *Rupel* in de periode 2016-2021 wordt waargenomen op 8 augustus 2017 en ligt nagenoeg een factor 10 onder het toetscriterium (i.e. dezelfde grootteorde als de overige maximale dichtheden van cyanobacteriën die in de verschillende zones in de periode 2016-2021 zijn waargenomen). Het is evenwel verrassend dat er naast deze overschrijding nagenoeg geen cyanobacteriën worden waargenomen in het meetstation *Niel* doorheen de volledige periode 2016-2021.

De aanwezigheid van cyanobacteriën wordt gestuurd door een aantal factoren, waarvan de input van nutriënten een belangrijke rol inneemt. Eerder bleek al dat de concentraties aan nutriënten (zowel totaal anorganische stikstof (Sectie 3.3.3) en orthofosfaat (Sectie 3.3.4)) geen duidelijke afname vertoonden in de voorbij zes jaar. De kortstondige siliciumtekorten in de Zeeschelde en Zijrivieren (Sectie 3.3.5) zorgen er dan weer voor dat diatomeeën voldoende bouwstoffen vinden voor het uitbouwen van een performante populatie (en de daarmee gepaard gaande opname van vrije nutriënten).

5.3.4. Algal genus pollution index

Definitie

De *Algal genus pollution index* geeft een indicatie van de mate van organische verrijking en bevat hiervoor een aantal "sleutelgenera" (Palmer, 1969). De index scoort het voorkomen van een 20-tal genera in de fytoplanktongemeenschap, elk met een specifieke waarde (Tabel 5-7). Per monster worden de genera-specifieke scores opgeteld, waardoor men een index-score voor de beschouwde gemeenschap verkrijgt.

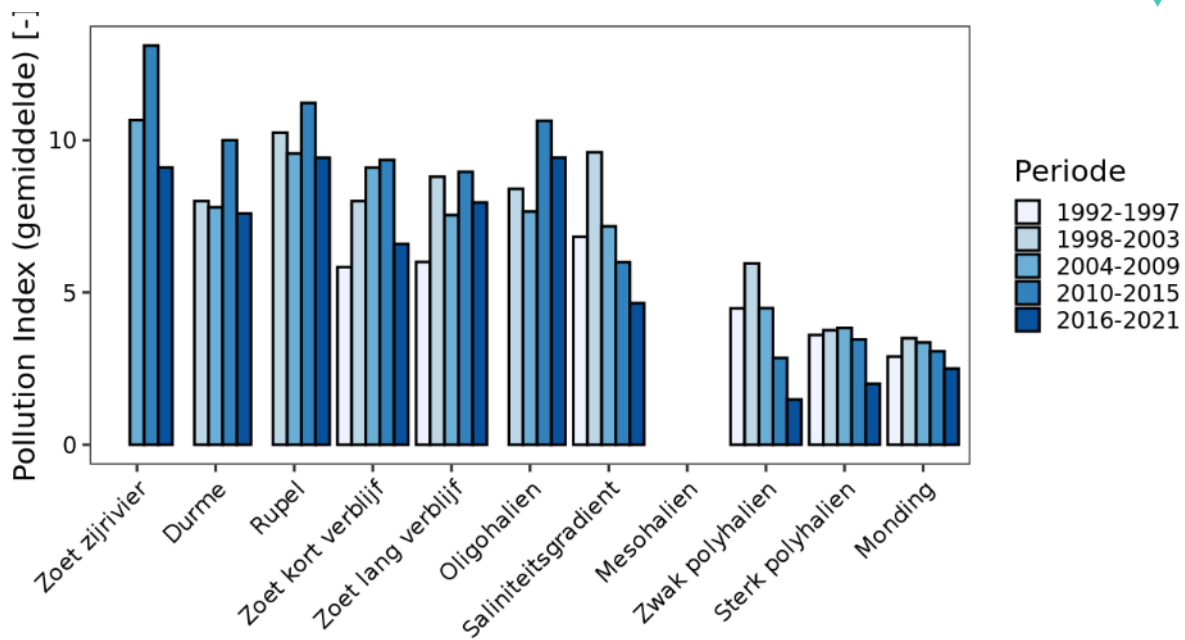
Tabel 5-7: Overzicht ingesloten genera in de 'Algal genus pollution index' volgens Palmer (1969). Voor ieder genus wordt de bijbehorende waarde vermeld.

Genus	Waarde	Genus	Waarde
<i>Anacystis</i>	1	<i>Micractinium</i>	1
<i>Ankistridesmus</i>	2	<i>Navicula</i>	3
<i>Chyamydomonas</i>	4	<i>Nitzschia</i>	3
<i>Chlorella</i>	3	<i>Oscillatoria</i>	5
<i>Closterium</i>	1	<i>Pandorina</i>	1
<i>Cyclotella</i>	1	<i>Phacus</i>	2
<i>Euglena</i>	5	<i>Phormidium</i>	1
<i>Gomphonema</i>	1	<i>Scenedesmus</i>	4
<i>Lepocinclis</i>	1	<i>Stigeoclonium</i>	2
<i>Melosira</i>	1	<i>Synedra</i>	2

Indicatief kan worden gesteld dat een finale score hoger dan 20 aangeeft dat er sprake is van ernstige organische verrijking, terwijl een score van 15 tot en met 19 aangeeft dat er wellicht sprake is van organische verrijking. De bovengrens wordt gelegd op het 6-jarig gemiddelde gedurende de periode 2004-2009 (i.e. de T2009-periode) en wordt beschouwd in elke zone (Zeeschelde en Westerschelde).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde zones een maximale indexwaarde vertonen die in de periode 2016-2021 lager ligt dan de toetswaarde (zie Figuur 5-19). De maximale indexwaarde varieert doorheen de Zeeschelde en overschrijdt in de zones *Zoet lang verblijf* en *Oligohalien* het voorgeschreven criterium uit de periode 2004-2009. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 beter dan in de periode 2010-2015, toen ook de zone *Zoet kort verblijf* en de verschillende Zijrivieren niet aan de toetswaarde voldeden. Ondanks het niet voldoen aan het toetscriterium, vertonen de zones *Zoet lang verblijf* en *Oligohalien* wel een lagere indexwaarde in de periode 2016-2021 ten opzichte van de periode 2010-2015.



Figuur 5-19: Gemiddelde indexwaarde die afgeleid werd in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Gemiddeldes zijn berekend per periode van zes jaar. Het toetscriterium is zone-specifiek en gelijk aan de gemiddelde indexwaarde uit de periode 2004-2009.

De aanwezigheid van organische vervuiling (bekeken door middel van een select aantal soorten algen) blijkt in de volledige Zeeschelde (en Zijrivieren) af en toe nog een probleem te zijn, weliswaar met voornamelijk afnames ten opzichte van de voorbije zesjarige periode in de beschouwde zones. Een vergelijking van de gemiddelde indexwaarde tussen de verschillende 6-jarige periodes toont bovendien aan dat dit gemiddelde in de periode 2016-2021 in verschillende zones stroomafwaarts lager ligt dan in de voorgaande periodes (zie Figuur 5-19). Een ander referentiekader (bijv. de periode 2010-2015) kan dus tot een meer positieve evaluatie leiden. De onderliggende trend geeft dus een relatief positief signaal voor de nabije toekomst, maar verdere opvolging in de Zeeschelde blijft zeker aangeraden. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Algal Pollution Index* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont aan dat hogere indexwaarden in bepaalde jaren frequenter voorkomen dan in andere jaren. Zo vertoont het meetstation *Temse* (zone *Oligohalinen*) voornamelijk in het jaar 2016 (april t.e.m. augustus) relatief hoge indexwaarden (variërend tussen 16 en 17). Ook het meetstation *Dendermonde* (zone *Zoet lang verblijf*) vertoont relatief hoge indexwaarden (> 15) in het jaar 2016, maar dan voornamelijk in de maanden april, juni en augustus. In beide meetstations is er wel een lichte afname in de tijd waarneembaar.

De aanwezigheid van specifieke algen die als proxy beschouwd worden voor organische verrijking in de lente- en zomerperiode is niet geheel verrassend en ligt in lijn met eerder vermelde verwachtingen (zie ook Sectie 5.3.2). Een lichte toename van de watertemperatuur en dagelijkse hoeveelheid zonlicht maakt dat fytoplankton kan bloeien door gebruik te maken van de aanwezige nutriënten. Een beperkte begrazing laat bovendien een relatief complexere fytoplanktongemeenschap toe gedurende de beginperiode van de bloei. Ook de verschillen tussen de jaren ligt in de lijn van de verwachtingen, met

een gestage afname van de indexwaarde in de tijd, hetgeen gestuurd wordt door een verbeterde riolerings- en zuiveringsgraad in het volledige bekken.

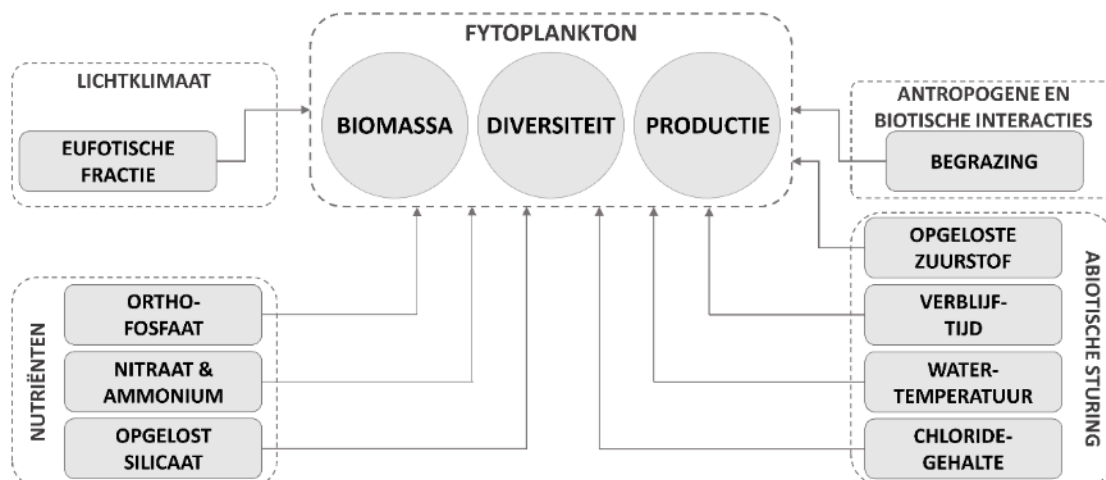
Dit neemt niet weg dat ook meteorologische omstandigheden een rol kunnen spelen in de afgeleide indexwaarden. Zo werd reeds eerder aangehaald dat 2016 een relatief nat jaar was, waardoor ook overstorten en afvloeiing van organisch materiaal toenemen. De hoge indexwaarden van juni 2016 in de zones *Zoet lang verblijf* en *Oligohalien* vinden hier dan ook een mogelijke link met de lage zuurstofwaarden die toen werden waargenomen (zie Sectie 3.2.1).

5.3.5. Verhaallijn *Primaire productie*

Definitie

De algengemeenschap is een essentiële schakel in de energieproductie en -voorziening naar de hogere trofische niveaus. Hierdoor geeft de samenstelling van de gemeenschap een indicatie van (1) de kwaliteit van het estuarium als habitat en (2) de kwaliteit van de algen als voedselbron. Het inzicht in algen is dan ook cruciaal om de relaties met hogere trofische niveaus (bijv. zoöplankton, macrozoöbenthos en vissen) te doorgronden. Voor een goede weerspiegeling van de algengemeenschap wordt er binnen de T-rapportage gekeken naar de aspecten kwantiteit (biomassa) en kwaliteit (diversiteit), aangevuld met de primaire productie.

Deze aspecten worden in meer of mindere mate beïnvloed door een aantal abiotische en biotische factoren, waaronder de verblijftijd, de waterkwaliteit (bijv. zuurstofgehalte, zout, lichtklimaat, verontreinigende stoffen), het voedselaanbod en de predatie. Deze factoren dienen dan ook mee beschouwd te worden bij de toestandsbespreking en het uitwerken van mogelijke verklaringen hiervoor. De conceptuele samenhang en de beschouwde parameters binnen de deelverhaallijn *Fytoplankton* worden weergegeven in Figuur 5-20. De deelverhaallijn *Fytobenthos* wordt hier niet verder behandeld door het ontbreken van voldoende data voor het uitvoeren van een betrouwbare analyse.



Figuur 5-20: Schematische weergave van de deelverhaallijn Fytoplankton. De drie responsvariabelen (Biomassa, Diversiteit en Productie) worden beïnvloed door een samenspel van het heersende lichtklimaat, de beschikbare nutriënten, de algemene abiotische condities en de biotische relaties.

Observatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat de jaargemiddelde fytoplanktonbiomassa zowel toe- als afneemt in de tijd, afhankelijk van de beschouwde zone. Zo zet de stijging in de zone *Zoet kort verblijf* zich door, terwijl ook de afname in de zone *Oligohalien* zich doorzet. In de zones *Zoet lang verblijf* en *Saliniteitsgradiënt* ligt de gemiddelde fytoplanktonbiomassa in de periode 2016-2021 lager dan in de periode 2004-2009, terwijl deze net (iets) hoger ligt in de zones *Zwak polyhalien* en *Sterk polyhalien*.

De toename van de fytoplanktonbiomassa in de Westerschelde wordt daarnaast ook gekenmerkt door een hogere klasse-diversiteit (i.e. een toename van de Shannon index) ten opzichte van de voorgaande zesjarige periodes. Deze trend kan bovendien ook waargenomen worden in de Monding, waar er nauwelijks een toe- of afname van de fytoplanktonbiomassa werd waargenomen. Dit staat in schril contrast met de afname aan klasse-diversiteit die doorheen de zones van de Zeeschelde (en Zijrivieren) wordt waargenomen. Zo ook wordt er een afname in de zone *Zoet kort verblijf* waargenomen, ondanks de eerder vermelde toename van de fytoplanktonbiomassa.

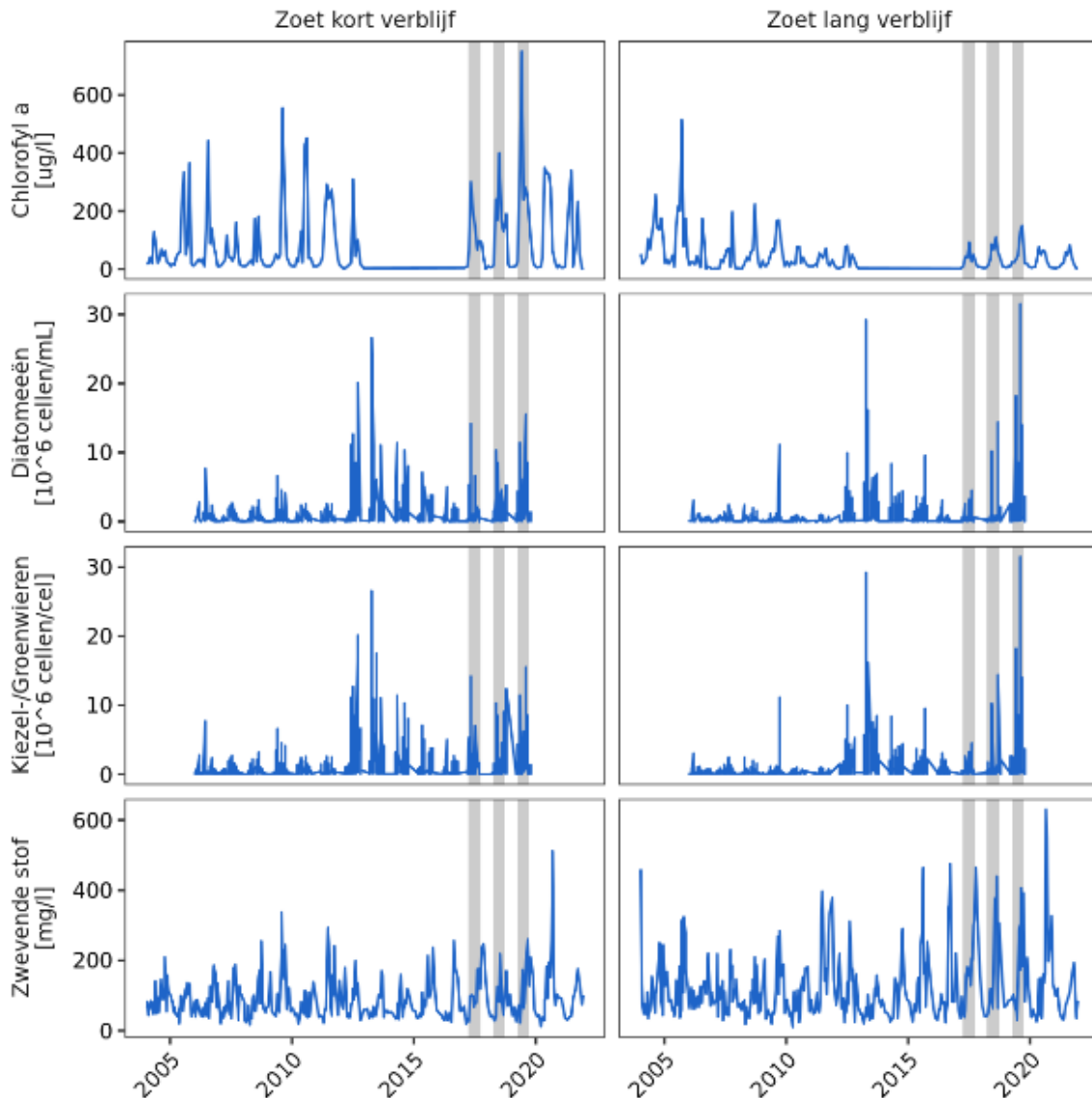
Verklaring

De aanwezigheid van fytoplankton wordt in sterke mate gestuurd door de aanwezige nutriënten en het heersende lichtklimaat. De Schelde wordt beschouwd als een onnatuurlijk troebel systeem, waardoor primaire productie sterk gelimiteerd is door de beschikbaarheid van licht. Een afname van de troebelheid door een reductie van de hoeveelheid zwevende stof kan dan ook een toename van de primaire productie leiden. Echter, bij een overvloed aan nutriënten kan dit ervoor zorgen dat plaagalg en andere ongewenste fytoplanktonsoorten bloeien en de overhand krijgen, met nefaste gevolgen voor het ecosysteem. Een afname van de troebelheid wordt dus best gecombineerd met een afname van de beschikbare nutriënten en het streven naar de gewenste N/P/Si-verhouding (i.e. 16/1/20, ter ondersteuning van de diatomeeënbloei). Daartegenover staat dan weer dat ook toenames van de troebelheid en van de geuldiepte (bijv. door verdieping van de vaargeul) een nadelige invloed hebben op de primaire productie door een algemene beperking van de eufotische zone. Zo een toename van de troebelheid wordt in meerdere zones van de Zeeschelde waargenomen (zie Sectie 3.4.2) en kan bijdragen tot de waargenomen afname van de gemiddelde fytoplanktonbiomassa in de zones *Oligohalien* en *Zoet lang verblijf*.

Naast het lichtklimaat spelen ook het chloridegehalte en de verblijftijd een rol in de aanwezigheid van fytoplankton en de daarmee geassocieerde primaire productie (Cox, 2008). Een toename van het chloridegehalte kan er namelijk toe leiden dat er een omslag in de fytoplanktongemeenschap plaatsvindt, gestuurd door de soort-specifieke tolerantie voor hoge zoutconcentraties. Bovendien leidt het getijdekarakter van de Schelde tot een verhoogde variatie in waargenomen chloridegehalten op een specifieke locatie, met verhoogde zoutstress in de zones *Saliniteitsgradiënt* en *Oligohalien*. De fytoplanktongemeenschap in deze zones wordt dan ook in grote mate beïnvloed door het getij op het moment van de waarneming. Bij een lager debiet zal er daarenboven minder verversing in deze zones optreden, waardoor het brakke water zowel voor zoet- als zoutwatersoorten een uitdaging biedt. Zulke afnames in debiet worden in de volledige Zeeschelde waargenomen met hoge verblijftijden (of verversstijden) als gevolg.

In tegenstelling tot de meer stroomafwaartse zones in de Zeeschelde, kan een lager debiet ook een positieve invloed op de fytoplanktongemeenschap uitoefenen in de meer stroomopwaartse zones. Een lager debiet zorgt namelijk voor een langere verblijftijd in de zoete zones en dus meer mogelijkheid tot het opnemen van de beschikbare nutriënten. Bovendien wordt de zone *Zoet kort verblijf* gekenmerkt

door een beperkte lichtlimitatie (in vergelijking met de overige zones) en een toename van de eufotische diepte in de lenteperiode in de voorbije jaren (zie ook Figuur 5-15). Deze combinatie van verhoogde verblijftijd en verbeterd lichtklimaat in de lente kan dan ook bijdragen aan een toename van de gemiddelde fytoplankton-biomassa (gestuurd door een combinatie van diatomeeën en groenwieren, zie ook Figuur 5-21) in de zone *Zoet kort verblijf*. De verslechtering van het lichtklimaat in de zone *Zoet lang verblijf* draagt dan weer bij aan de afname van de gemiddelde fytoplanktonbiomassa (zie Figuur 5-21). Dit ligt in de lijn van de observaties in de Boven-Zeeschelde, waar een toename in de hoeveelheid zwevende stof gepaard ging met een afname in algenbiomassa (Maris *et al.*, 2018).



Figuur 5-21: Vergelijking van het temporeel verloop van de rekenparameters Chlorofyl a, Diatomeeën, Verhouding diatomeeën t.o.v. groenwieren en zwevende stof in de saliniteitszones Zoet kort verblijf (meetstation Uitbergen (of Melle voor Chlorofyl a)) en Zoet lang verblijf (meetstation Dendermonde). De groeiperiodes (april-september) van de jaren 2017, 2018 en 2019 zijn met grijze balken weergegeven.

De siliciumtekorten die zich voordoen in de Boven-Zeeschelde, de Westerschelde en de Monding nopen wel tot enige bezorgdheid aangezien deze een invloed hebben op de energiebeschikbaarheid voor de hogere trofische niveaus. Deze tekorten hebben namelijk een invloed op de diatomeeëngroei en hypothekeren daardoor het ontstaan van een optimaal functionerend voedselweb.

Ondanks deze waarnemingen en potentiële verklaringen, blijft het een uitdaging om de effecten van een veranderend lichtklimaat en de verblijftijd op het ecologisch functioneren van het estuarium duidelijk en volledig in kaart te brengen. Het toepassen van proces-gebaseerde rekenmodellen en het doorrekenen van verschillende scenario's wordt dan ook nog steeds als essentieel gezien om de impact van een veranderend lichtklimaat en afnemend debiet op de planktongemeenschap in te schatten.

5.4. Toetsparameter Zoöplankton

Zoöplankton is een paraplueterm voor protisten en diersoorten die zich niet onafhankelijk in de waterkolom kunnen voortbewegen. Een opdeling van het zoöplankton in subcategorieën kan uitgevoerd worden op basis van (1) de levenscyclus en (2) de grootte. De eerste benadering hanteert een onderscheid tussen soorten die gedurende hun hele leven tot het plankton behoren (het holoplankton) en soorten die slechts een deel van hun leven tot het plankton behoren (het meroplankton). Het holoplankton omvat onder andere de copepoden, rotiferen, ciliaten en heterotrofe flagellaten, terwijl het meroplankton de adulte stadia van kwallen (met een vastzittend larvaal stadium) en de larvale stadia van kreeftachtigen, schelpdieren, borstelwormen en meerdere vissen omvat. De tweede benadering maakt een onderscheid tussen (1) microzoöplankton (< 200 µm), (2) mesozoöplankton (200 µm – 20 mm) en (3) macrozoöplankton (> 20 mm). Het merendeel van het zoöplankton wordt beschouwd als primaire consumenten, aangevuld met enkele predatoren (bijv. kwallen).

Er wordt verwacht dat een verbetering van de waterkwaliteit en van de energiedoorstroming leidt tot een toename in de zoöplanktonbiomassa. Ook de aanwezigheid van de copepode *Eurytemora affinis* wordt verwacht toe te nemen door deze verbetering. *E. affinis* speelt in het brakke deel van het estuarium reeds een belangrijke rol en kan zeer goed omgaan met fluctuaties in zoutgehalte (Driessen *et al.*, 2018). Niet enkel de aanwezigheid van *E. affinis* geeft een indicatie van de waterkwaliteit, ook de verhoudingen van overige zoöplanktongroepen kan hiervoor aangewend worden. Zo leidt een toename in nutriënten tot een stijging van de verhoudingen 'Cladocera-Calanoida' en 'Cyclopoida-Calanoida' (Ejsmont-Karabin en Karabin, 2013). Bijgevolg worden voor deze toetsparameter de volgende rekenparameters gehanteerd: *Jaarmaximum totale biomassa* (Sectie 5.4.1), *Jaarmaximum Eurytemora affinis* (Sectie 5.4.2), *Verhouding Cladocera-Calanoida* (Sectie 5.4.3) en *Verhouding Cyclopoida-Calanoida* (eveneens Sectie 5.4.3). Een algemene beschrijving van de toetsparameter in het kader van de ecologische verhaallijnen wordt behandeld in Sectie 5.4.4.

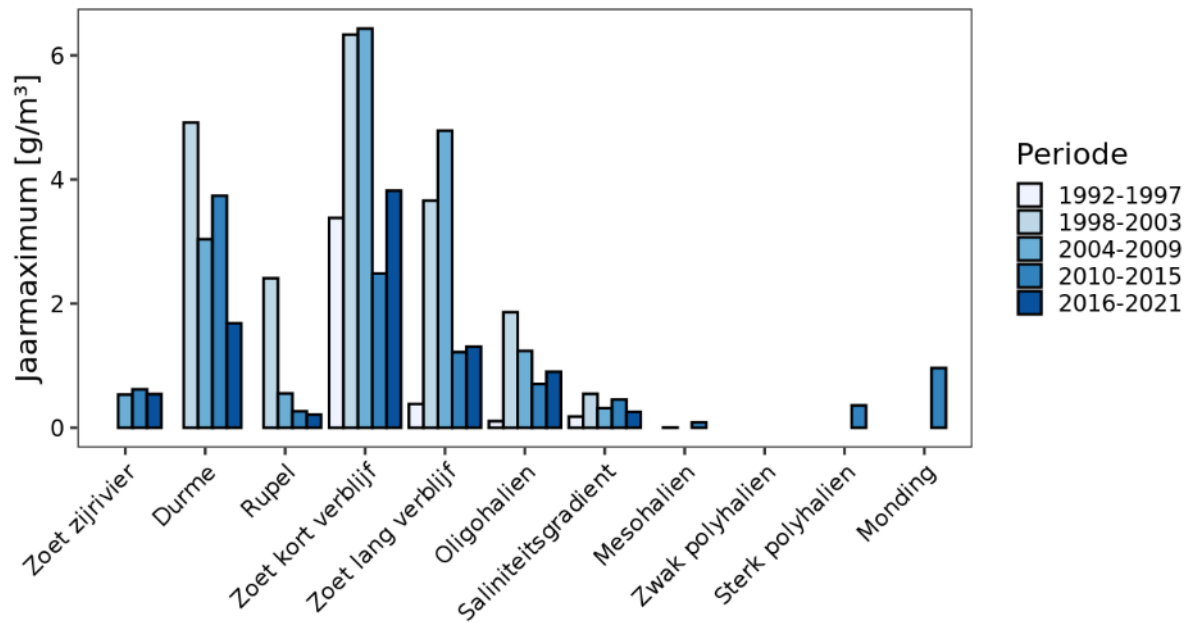
5.4.1. Jaarmaximum totale biomassa

Definitie

De totale zoöplanktonbiomassa is een indicator van de waterkwaliteit en de geassocieerde doorstroming van energie doorheen het systeem. De maximale zoöplanktonbiomassa geeft dan ook een indicatie van de efficiëntie van de energiedoorstroming en de beschikbaarheid van voedsel voor de hogere trofische niveaus. Een toename kan evenwel ook veroorzaakt worden door een achteruitgang in het aantal predatoren, maar verwacht wordt dat dit signaal dan elders wordt opgepikt (bijv. bij de vissen). De ondergrens wordt gelegd op het 6-jarig gemiddelde van de waargenomen jaarmaxima (in natgewicht) gedurende de periode 2004-2009 (i.e. de T2009-periode) en wordt beschouwd in elke zone (Zeeschelde en Westerschelde).

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde zones een gemiddelde jaarmaximum vertoont die lager ligt dan de toetswaarde (de periode 2004-2009; zie Figuur 5-22). Het gemiddelde jaarmaximum neemt af in de richting van de monding en volgt daarmee het patroon van de voorgaande zesjarige periodes. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 weliswaar slechter dan in de periode 2010-2015, toen er meer zones aan de toetswaarde voldeden.



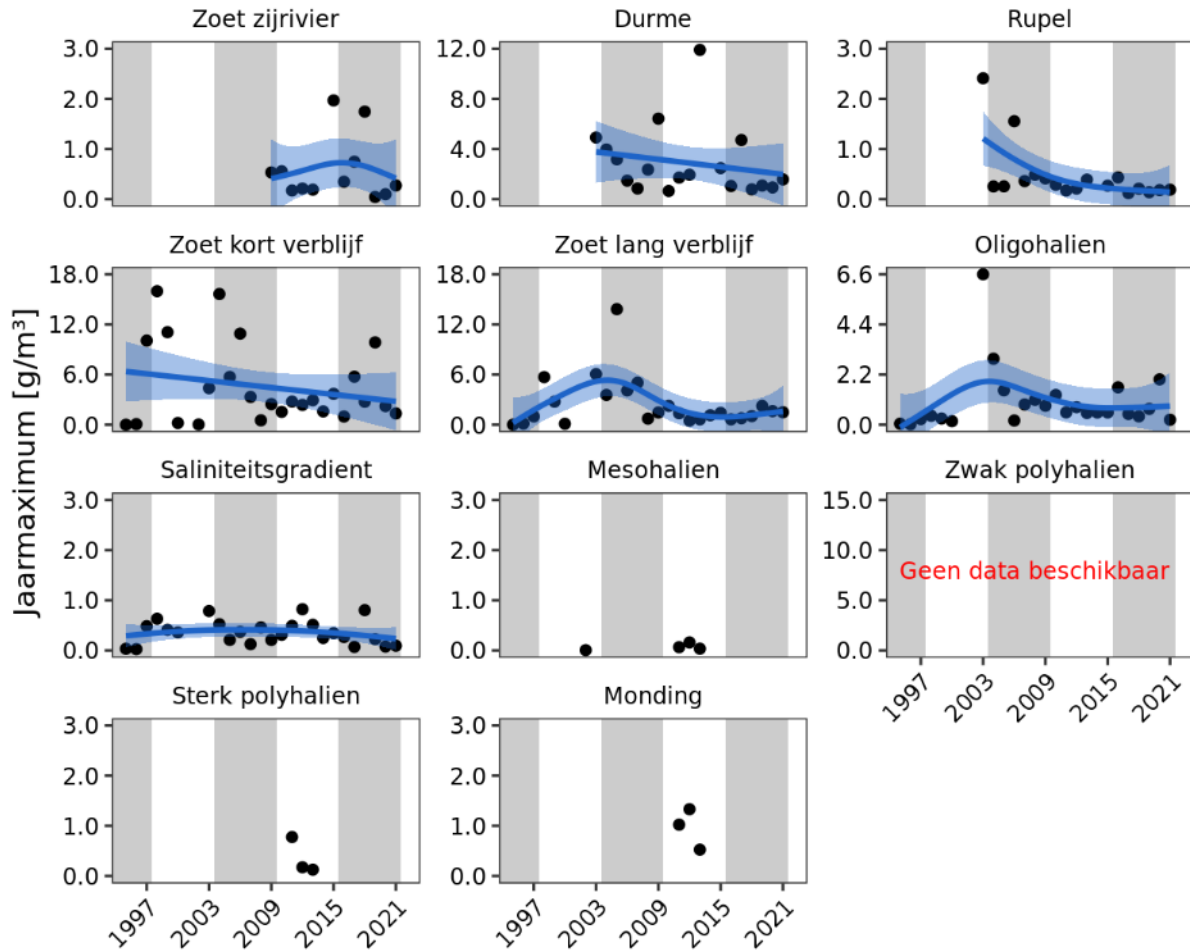
Figuur 5-22: Gemiddelde jaarmaximum van mesozooplanktonbiomassa die afgeleid werd in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Gemiddeldes zijn berekend per periode van zes jaar.

Het gemiddelde jaarmaximum aan mesozooplankton blijkt in de volledige Zeeschelde nog een probleem te zijn, met zowel afnames als toenames in de beschouwde zones ten opzichte van de voorgaande periode. Een vergelijking van de gemiddelde jaarmaxima tussen de verschillende 6-jarige periodes toont bovendien aan dat dit gemiddelde in de Zeeschelde in de periode 2016-2021 lager ligt dan in de periode 2004-2009, maar dat deze in de zones stroomopwaarts wel (net) hoger ligt dan in de periode 2010-2015 (zie Figuur 5-22). De onderliggende trend geeft dus een negatief signaal met een potentieel positieve noot voor de nabije toekomst⁶. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Jaarmaximum totale biomassa* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data toont aan dat de afgeleide jaarmaxima sterk variëren tussen en in de beschouwde zones. Zo loopt het jaarmaximum in de zone *Saliniteitsgradient* van 0,07 g/m³ (in 2017) tot 0,8 g/m³ (in 2018) en in de zone *Oligohalieren* van 0,2 g/m³ (in 2021) tot 2 g/m³ (in 2020). Ook de zoete zones vertonen een brede range, lopende van 0,6 g/m³ (in 2016) tot 2,2 g/m³ (in 2019) in de zone *Zoet lang verblijf* en lopende van 0,9 g/m³ (in 2016) tot 9,8 g/m³ (in 2019). Ondanks deze ruime ranges, vertonen de jaarmaxima uit de periode 2016-2021 ook een duidelijk verschil met de jaarmaxima uit de periode 2004-2009, toen er in de zones stroomopwaarts nog relatief extreme maxima werden waargenomen (zie ook Figuur 5-23). Dit ligt in de lijn van de eerdere observaties en suggereert dat er geen duidelijke algemene onderliggende trend aanwezig is.

⁶ Ook in de Westerschelde wordt een voorzichtig positief signaal waargenomen: in de periode 2017-2019 wordt een lichte toename van de mesozooplanktonbiomassa (exclusief raderdieren) gerapporteerd door Bijkerk & Brochard (2020). Het betreft hier slechts een datareeks van 2016 t.e.m. 2019 voor vier meetstations (*Schaar van Ouden Doel, Hansweer, Terneuzen en Vlissingen*).



Figuur 5-23: Trendplot van het jaarmaximum (natte) biomassa van het (meso)zoöplankton op basis van de periodieke metingen, weergegeven per zone.

5.4.2. Jaarmaximum *Eurytemora affinis*

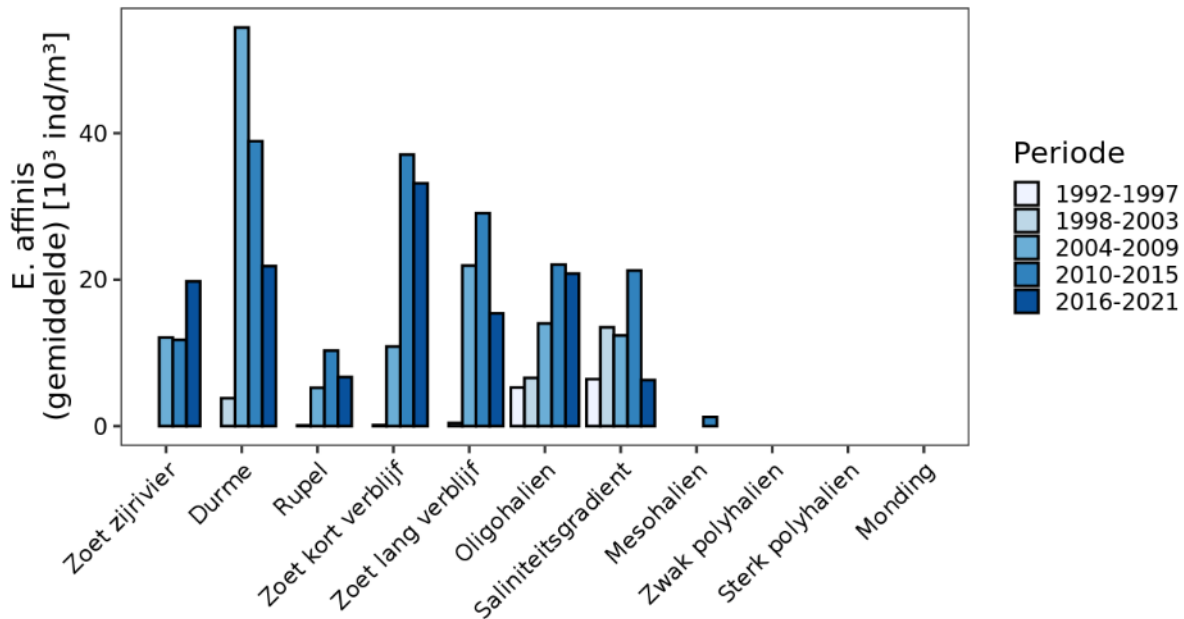
Definitie

Analoog aan de totale zoöplanktonbiomassa is ook de copepode *Eurytemora affinis* een indicator van de waterkwaliteit en de geassocieerde doorstroming van energie doorheen het systeem. De maximale biomassa geeft dan ook een indicatie van de efficiëntie van de energiedoorstroming en de beschikbaarheid van voedsel voor de hogere trofische niveaus. De ondergrens wordt gelegd op het 6-jarig gemiddelde van de waargenomen jaarmaxima (in natgewicht) gedurende de periode 2004-2009 (i.e. de T2009-periode) en wordt beschouwd in de zones *Oligohalien*, *Zoet lange verblijftijd*, *Zoet korte verblijftijd*, *Rupel* en *Durme*.

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde zones een gemiddelde jaarmaximum van *E. affinis* vertoont die hoger ligt dan de toetswaarde (de periode 2004-2009; zie Figuur 5-24). Het gemiddelde jaarmaximum neemt af in de richting van de monding en volgt

daarmee het patroon van de voorgaande zesjarige periodes. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 weliswaar slechter dan in de periode 2010-2015, toen er meer zones aan de toetswaarde voldeden.



Figuur 5-24: Gemiddelde jaarmaximum van *Eurytemora affinis* die afgeleid werd in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Gemiddeldes zijn berekend per periode van zes jaar.

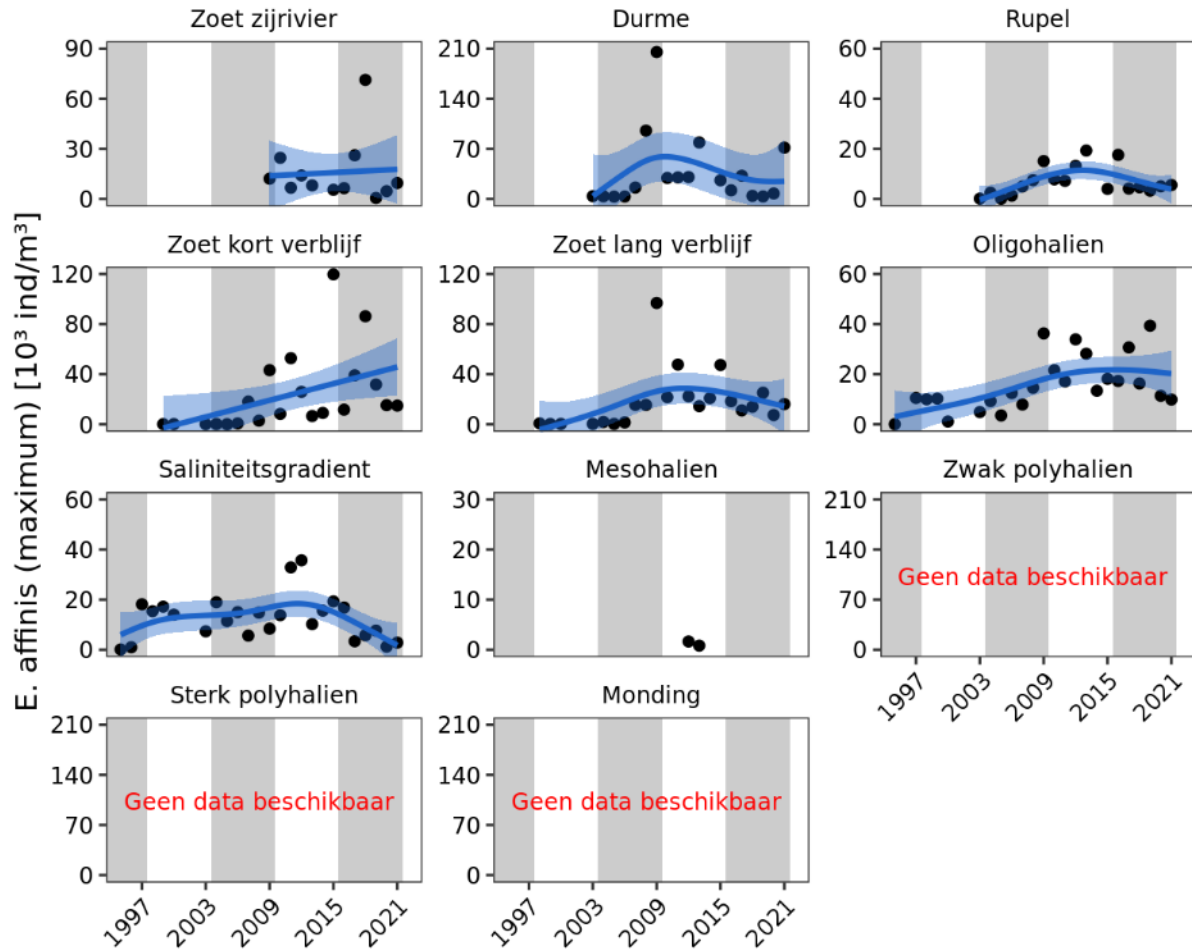
Het gemiddelde jaarmaximum aan *E. affinis* blijkt in bepaalde zones van de Zeeschelde nog een probleem te zijn, met enkele afnames ten opzichte van de voorgaande periodes. Een vergelijking van de gemiddelde jaarmaxima tussen de verschillende 6-jarige periodes toont bovendien aan dat dit gemiddelde in de Zeeschelde in de periode 2016-2021 lager ligt dan in de periode 2010-2015, maar dat deze in sommige zones wel nog steeds hoger ligt dan in de periode 2004-2009 (zie Figuur 5-24). De onderliggende trend geeft dus een gemengd signaal voor de Zeeschelde, waarbij sommige zones niet aan het toetscriterium voldoen en waarbij de zones die aan het criterium voldoen een afname vertonen ten opzichte van de voorgaande periode⁷. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Jaarmaximum Eurytemora affinis* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

Een diepgaandere analyse van de data ligt in de lijn van de rekenparameter *Jaarmaximum totale biomassa* en toont aan dat de afgeleide jaarmaxima sterk variëren tussen en in de beschouwde zones. Zo loopt het jaarmaximum in de zone *Saliniteitsgradient* van 1,2 ind/L (in 2020) tot 16,8 ind/L (in 2016) en in de zone *Oligohalien* van 9,9 ind/L (in 2021) tot 39,4 ind/L (in 2019). Ook de zoete zones vertonen een brede range, lopende van 7,4 ind/L (in 2020) tot 25,2 ind/L (in 2019) in de zone *Zoet lang verblijf* en lopende van 11,7 ind/L (in 2016) tot 86,3 ind/L (in 2018). Deze ruime ranges liggen in de lijn van de ranges uit de periode 2010-2015 en vormen de basis voor een lichte toename of stagnatie in de

⁷ In de Westerschelde blijkt *E. affinis* bovendien nauwelijks nog voor te komen. Bijkerk & Brochard (2020) vermelden enkel waarnemingen in het meetstation *Schaar van Ouden Doel* in de jaren 2016 en 2017. In de overige jaren (2018 en 2019) en meetstations (*Hansweert*, *Terneuzen* en *Vlissingen*) wordt *E. affinis* niet waargenomen.

zones stroomopwaarts. Dit volgt de observaties uit de voorgaande T-rapportage en jaarlijkse OMES-rapporten, waarin een verdere verspreiding van *E. affinis* in de Schelde werd waargenomen. Enkel in de zone *Saliniteitsgradiënt* worden duidelijk lagere jaarmaxima van *E. affinis* waargenomen in de periode 2016-2021 in vergelijking met voorgaande periodes (zie ook Figuur 5-25).



Figuur 5-25: Trendplot van de maximale dichtheid van *Eurytemora affinis* op basis van de periodieke metingen, weergegeven per zone.

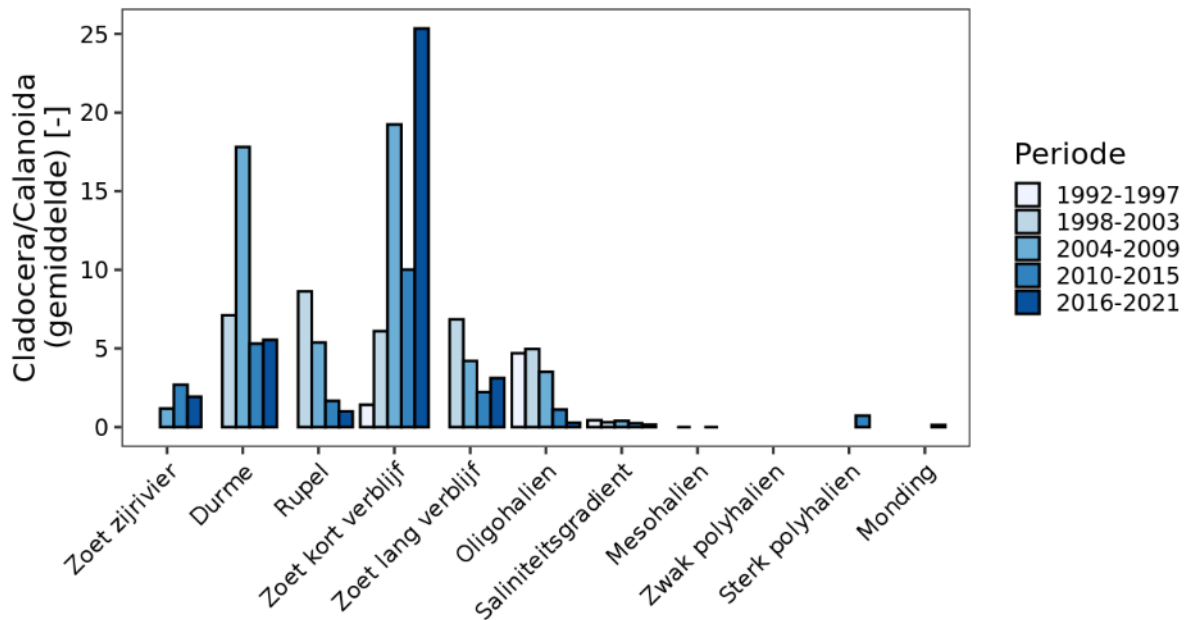
5.4.3. Verhoudingen in het zoöplankton

Definitie

Verhoudingen geven een indicatie van de eutrofiëringsgraad van het systeem en de eventuele aanwezigheid van toxische stoffen. Deze verhoudingen kunnen dan ook ingezet worden als indicator voor de trofische condities. Hiervoor wordt per jaar en per zone (niveau 3) de gemiddelde dichtheid aan Cladocera en Calanoida bepaald, waarna de verhouding op basis van de gemiddelden wordt berekend. Een gelijkaardige benadering wordt gehanteerd voor de verhouding van Cyclopoida en Calanoida. De ondergrens wordt gelegd op het 6-jarig gemiddelde van de afgeleide verhouding gedurende de periode 2004-2009 (i.e. de T2009-periode) en wordt beschouwd in elke zone (Zeeschelde en Westerschelde).

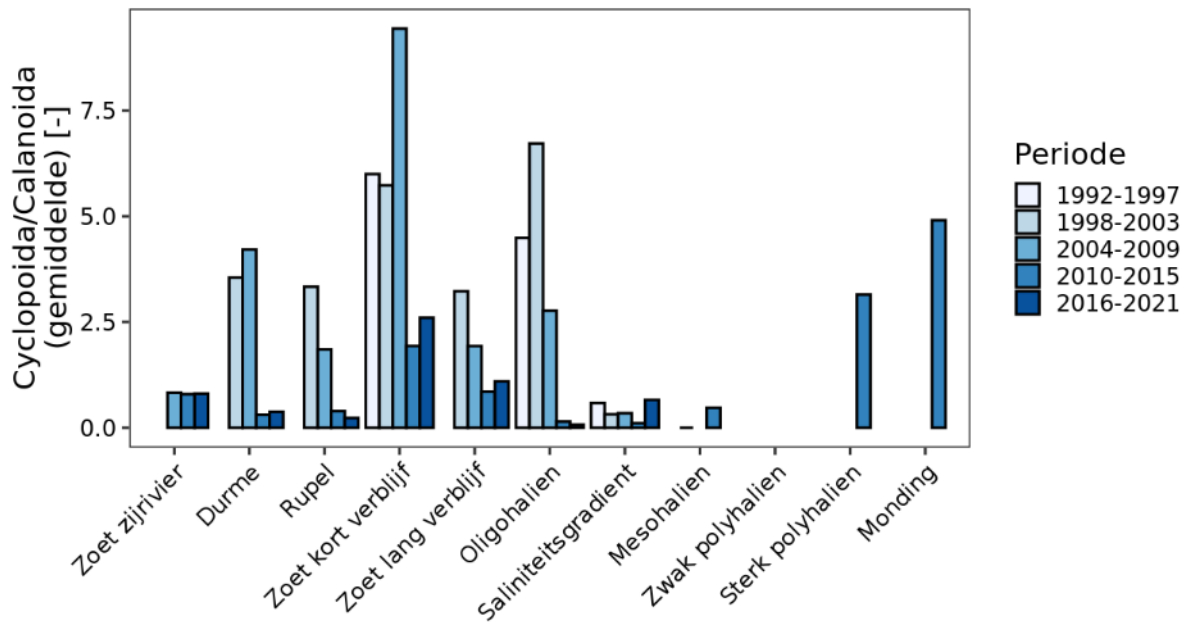
Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat het merendeel van de beschouwde zones een gemiddelde verhouding van Cladocera over Calanoida vertoont die lager ligt dan de toetswaarde (de periode 2004-2009; zie Figuur 5-26). De gemiddelde verhouding neemt af in de richting van de monding en volgt daarmee het patroon van de voorgaande zesjarige periodes. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 net iets beter dan in de periode 2010-2015, toen er minder zones aan de toetswaarde voldeden.



Figuur 5-26: Gemiddelde verhouding van Cladocera over Calanoida die afgeleid werd in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Gemiddeldes zijn berekend per periode van zes jaar.

Ook de gemiddelde verhouding van Cyclopoida over Calanoida ligt in het merendeel van de beschouwde zones lager dan de toetswaarde (de periode 2004-2009; zie Figuur 5-27). De gemiddelde verhouding neemt af in de richting van de monding en volgt daarmee het patroon van de voorgaande zesjarige periodes, met uitzondering van de zone *Saliniteitsgradiënt*. Hiermee doet het estuarium het in de periode 2016-2021 net iets beter dan in de periode 2010-2015, toen er minder zones aan de toetswaarde voldeden.



Figuur 5-27: Gemiddelde verhouding van Cyclopoida over Calanoida die afgeleid werd in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium. Gemiddeldes zijn berekend per periode van zes jaar.

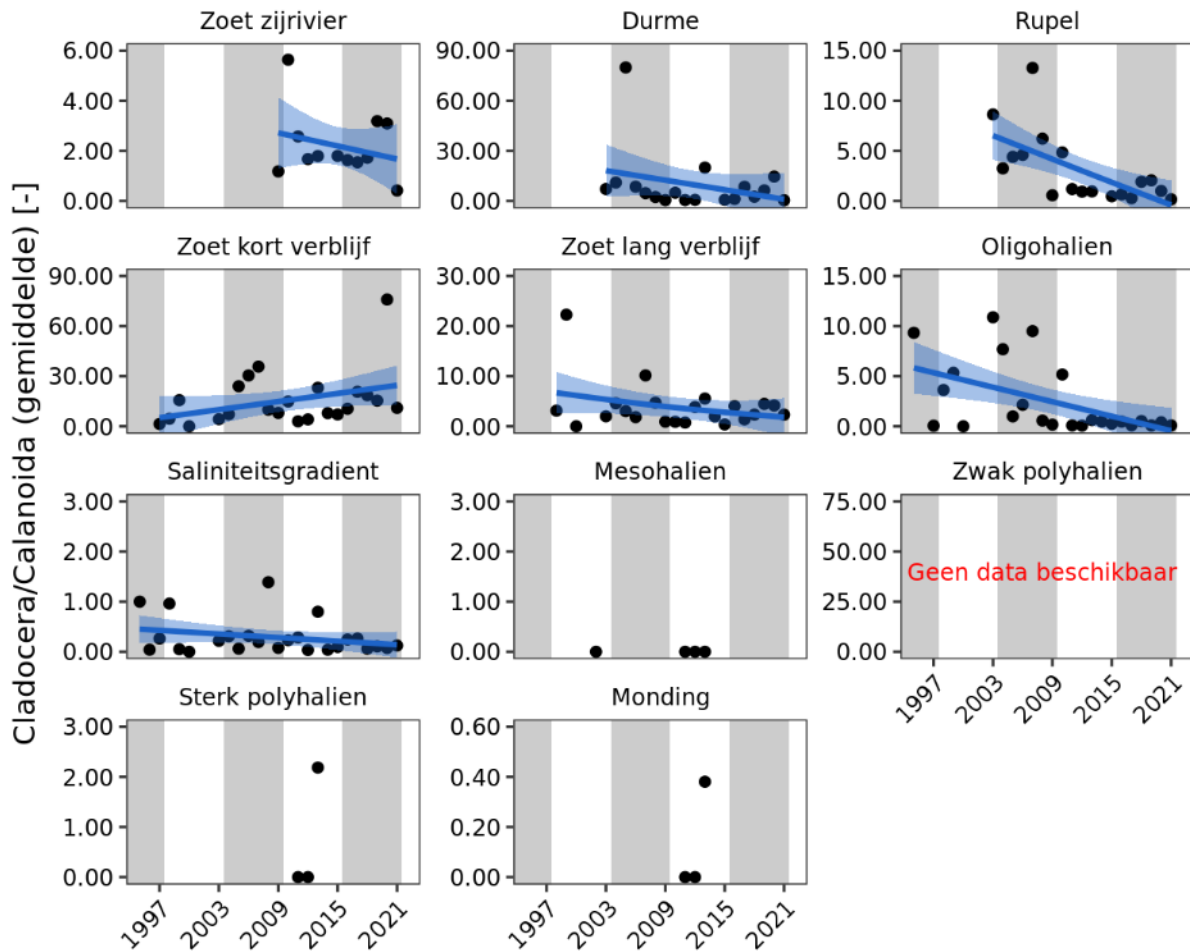
De gemiddelde verhoudingen blijken in de volledige Zeeschelde nog een probleem te zijn, met zowel afnames als toenames in de beschouwde zones ten opzichte van de voorgaande periode, maar voornamelijk afnames ten opzichte van de referentieperiode (2004-2009). Een vergelijking van de gemiddelde verhoudingen tussen de verschillende 6-jarige periodes toont bovendien aan dat dit gemiddelde in de Zeeschelde in de periode 2016-2021 vaak lager ligt dan in de periode 2004-2009, maar dat deze in de zones stroomopwaarts wel (net) hoger ligt dan in de periode 2010-2015 (zie Figuur 5-26 en Figuur 5-27). De onderliggende trend geeft dus een negatief signaal met een potentieel positieve noot voor de nabije toekomst. Voortbouwend op de resultaten van het AR wordt de rekenparameter *Verhoudingen* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

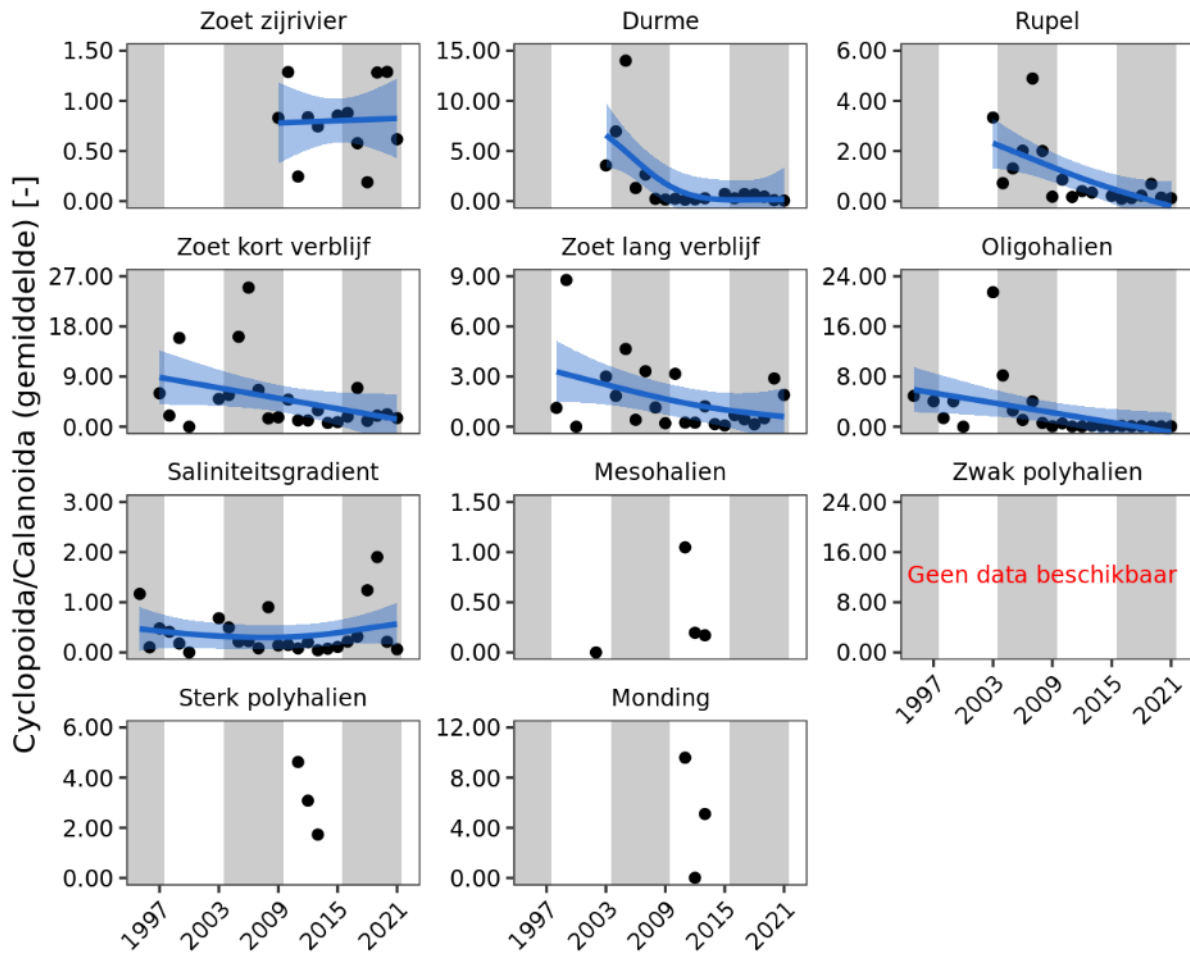
Een diepgaandere analyse van de data toont aan dat de afgeleide verhouding van Cladocera tegenover Calanoida een afname vertoont in de tijd in nagenoeg alle beschouwde zones, met uitzondering van de zone *Zoet kort verblijf* (zie Figuur 5-28). Ook de afgeleide verhouding van Cyclopoida tegenover Calanoida vertoont een afname in de tijd in nagenoeg alle beschouwde zones, met uitzondering van de zone *Saliniteitsgradient* (zie Figuur 5-29). Deze afnames kunnen gestuurd worden door een toename van de dichtheid aan Calanoida zonder dat Cladocera of Cyclopoida een gelijkaardige toename vertonen. Eerder werd reeds aangehaald dat het gemiddelde jaarmaximum van de calanoïde *E. affinis* in de periode 2016-2021 in meerdere zones hoger lag dan in de periode 2004-2009 (zie Sectie 5.4.2), hetgeen een mogelijke verklaring biedt voor de afgenomen verhoudingen in de zones *Rupel* en *Oligohalieren*.

In de zone *Saliniteitsgradient* werd in de periode een relatief laag gemiddeld jaarmaximum van *E. affinis* waargenomen, wat de basis vormt voor een toename van de beschouwde verhoudingen. Zo neemt het relatief aandeel van Cyclopoida in de mesozoöplanktongemeenschap toe (stijgende verhouding), maar blijkt ook het relatief aandeel Cladocera af te nemen (dalende verhouding). Dit suggereert dat het relatief aandeel aan Cyclopoida toeneemt ten koste van de Cladocera en Calanoida.

Ook de zone *Zoet kort verblijf* vertoont tegengestelde trends van de beschouwde verhoudingen. Zo neemt het relatief aandeel van Calanoida toe ten opzichte van Cyclopoida (dalende verhouding), terwijl het relatief aandeel van Cladocera nog sterker toeneemt dan dat van de Calanoida (stijgende verhouding). De Cladocera lijken in deze zone dus goed te groeien in de voorbije zes jaar.



Figuur 5-28: Trendplot van de gemiddelde verhouding van cladocera ten opzichte van calanoida op basis van de periodieke metingen, weergegeven per zone.



Figuur 5-29: Trendplot van de gemiddelde verhouding van cyclopoida ten opzichte van calanoida op basis van de periodieke metingen, weergegeven per zone.

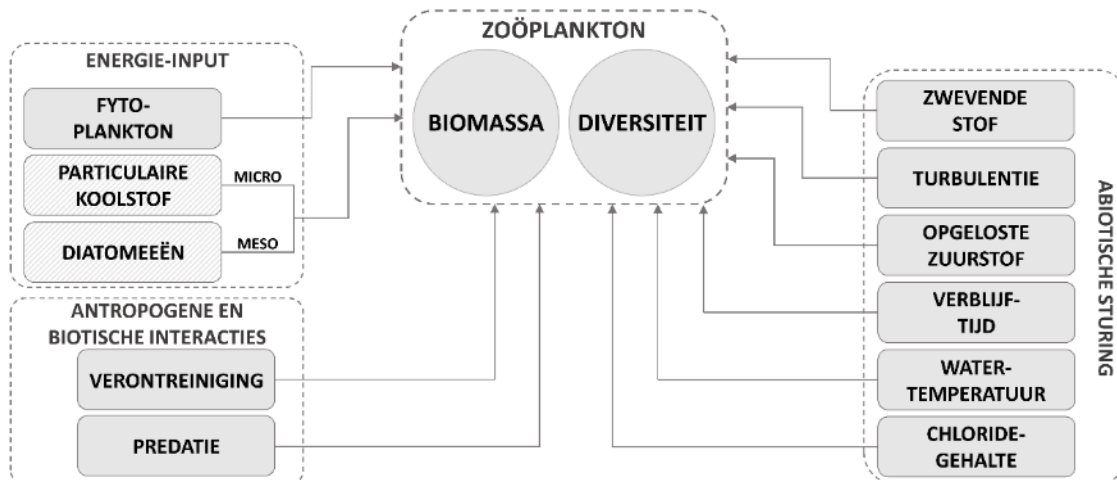
5.4.4. Verhaallijn Zoöplankton

Definitie

Zoöplankton is een paraplueterm voor protisten en diersoorten die zich niet onafhankelijk in de waterkolom kunnen voortbewegen. Voor hun verspreiding zijn ze dus onderhevig aan de dominante waterstromingen in een systeem. Het merendeel van het zoöplankton wordt beschouwd als primaire consumenten, aangevuld met enkele predatoren (bijv. kwallen), waardoor het de link vormt tussen de primaire producenten (fytoplankton) enerzijds en de hogere trofische niveaus (hyperbenthos, vissen) anderzijds (Langenberg, 2010). Het zoöplankton is een essentiële parameter binnen het ecosysteem door het beschikbaar stellen van energie via begrazing van micro-organismen (fytoplankton, bacteriën) of door de opname van gesuspenseerd particulier organisch materiaal (detritus).

Inzicht in de zoöplanktongemeenschap is dus cruciaal om de energiedoorstroming en het ecologisch functioneren te doorgronden. Voor een goede weerspiegeling van de zoöplanktongemeenschap en de relatie met hogere trofische niveaus (bijv. hyperbenthos, vissen) wordt er daarom binnen de T-rapportage gekeken naar de aspecten kwantiteit (biomassa) en kwaliteit (diversiteit).

Deze aspecten worden in meer of mindere mate beïnvloed door een aantal abiotische en biotische factoren, waaronder de verblijftijd, de waterkwaliteit (bijv. zuurstofgehalte, zout, verontreinigende stoffen), het voedselaanbod en de predatie. Deze factoren dienen dan ook mee beschouwd te worden bij de toestandsbespreking en het uitwerken van mogelijke verklaringen hiervoor. De conceptuele samenhang en de beschouwde parameters binnen de deelverhaallijnen *Microzoöplankton* en *Mesozoöplankton* worden weergegeven in Figuur 5-30. De deelverhaallijn *Macrozoöplankton* wordt hier niet verder behandeld door het ontbreken van voldoende data voor het uitvoeren van betrouwbare analyses.



Figuur 5-30: Schematische weergave van de deelverhaallijnen Microzoöplankton en Mesozoöplankton. De twee responsvariabelen (Biomassa en Diversiteit) worden beïnvloed door een samenspel van de beschikbare energie-input, de algemene abiotische condities en de biotische relaties.

Observatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat de gemiddelde biomassa van het mesozoöplankton in de Zeeschelde in de periode 2016-2021 minder varieert dan voor 2010. Deze afname van de variatie zet zich in doorheen de periode 2010-2015 en zet zich ook in de voorbije jaren verder. Voor alle beschouwde zones is het evenwel duidelijk dat de maximale jaarlijkse biomassa sterk bepaald wordt door een aantal uitzonderlijke omstandigheden en dat het merendeel van de waarnemingen veel lager ligt dan dit maximum. Zowel in de Zeeschelde als in de Zijrivieren neemt de mesozoöplanktonbiomassa geleidelijk af, met uitzondering van de (beperkte) toename in de zone *Zoet kort verblijft*. Voor het micro- en macrozoöplankton zijn er onvoldoende gegevens om een gelijkaardige beschrijving uit te voeren.

De relatief beperkte trends in de mesozoöplanktonbiomassa worden eveneens weerspiegeld door een gelijkaardige orde-diversiteit in de periode 2016-2021 ten opzichte van de periode 2010-2015. In de zoete zones van de Zeeschelde wordt er in de periodes 1998-2003 en 2004-2009 een toename van de diversiteit waargenomen, met een afvlakking in de periodes 2010-2015 en 2016-2021. Een iets lagere (doch relatief stabiele) orde-diversiteit wordt waargenomen verder stroomafwaarts (zones *Oligohalien* en *Saliniteitsgradiënt*) en in de Zijrivieren (zones *Durme* en *Rupel*). Bovendien wordt een (zeer) kleine afname van de orde-diversiteit gesuggereerd in de zone *Rupel*, maar wordt voornamelijk in de zone *Durme* een afname waargenomen in de laatste jaren. In iedere zone wordt eveneens een grote variatie van de diversiteitsindex waargenomen, waarbij de mesozoöplanktongemeenschap soms slechts uit een enkele orde bestaat (met een bijhorende indexwaarde gelijk aan 0). Ook hier zijn er voor het micro- en macrozoöplankton onvoldoende gegevens om een gelijkaardige beschrijving uit te voeren.

Verklaring

De aanwezigheid van het zoöplankton wordt in sterke mate gestuurd door de aanwezigheid van voldoende voeding (fytoplankton en detritus) en de heersende abiotische condities. In de deelverhaallijn *Fytoplankton* (als onderdeel van de verhaallijn *Primaire productie*, zie Sectie 5.3.5) werd reeds aangehaald dat er geen duidelijke toename aan fytoplanktonbiomassa wordt waargenomen in de meeste zones van de Zeeschelde. Enkel stroomopwaarts (zone *Zoet kort verblijf*) en stroomafwaarts (zones *Zwak polyhalien* en *Sterk polyhalien*) worden er (lichte) toenames in de biomassa waargenomen. Een beperkte toename in de fytoplanktonbiomassa kan gestuurd worden door beperkende omstandigheden vanuit de abiotische condities (lichtklimaat, nutriënten, ververstijd), maar ook door een verhoogde begrazing. Echter, ook de productiviteit van het fytoplankton (*P:B verhouding*, zie Sectie 5.3.1) vertoont afnames ten opzichte van de voorgaande periode, wat aangeeft dat de relatief lage fytoplanktonbiomassa niet in grote mate gestuurd wordt door begrazing door zoöplankton (of andere trofische groepen, zoals macrozoöbenthos of vissen).

Begrazing van het fytoplankton door de mesozöplanktongemeenschap zal ook in de voorbije periode nog hebben plaatsgevonden, maar dan minder variabel dan in de voorgaande periodes. De biomassa van het mesozöplankton blijkt namelijk minder variatie in de tijd te vertonen, hetgeen gestuurd kan worden door een combinatie van de abiotische omstandigheden en een verhoogde predatiedruk van de hogere trofische niveaus. Zo kan aangenomen worden dat de toegenomen hoeveelheid zwevende stof (zie Sectie 4.4.3) de begrazingsefficiëntie van het fytoplankton door het zoöplankton bemoeilijkt. Anderzijds werd ook in de voorgaande T-rapportage gesteld dat de biomassa van zoöplanktivore vis sterk is toegenomen in de Zeeschelde, hetgeen een sterke invloed kan hebben op de maximale zoöplanktonbiomassa (Barneveld *et al.*, 2018). Bovendien kan het opportuun gedrag van omnivore vissen ertoe leiden dat een tijdelijke bloei van mesozöplankton niet waargenomen wordt. De toename van de biomassa van zoöplanktivore vissen blijkt evenwel relatief beperkt in vergelijking met de toenames van vissen met andere dieetvoorkeuren.

5.5. Toetsparameter Macrozoöbenthos

Het macrozoöbenthos bestaat uit dieren die in of op de bodem van watersystemen leven en groter zijn dan 1 mm. Deze groep is een belangrijke schakel tussen primaire productie en vissen en vogels. Het macrozoöbenthos is talrijk genoeg om statistisch gezien goed te kunnen worden bemonsterd met een beperkt aantal monsters, soortenrijk genoeg om informatief te zijn over de toestand van het systeem en groot genoeg om redelijk makkelijk identificeerbaar te zijn. Omdat de meeste bodemdieren bovendien weinig mobiel zijn (zeker over grotere afstanden of alleen in een jong levensstadium), zijn zij een goede indicator voor de toestand van het systeem ter plaatse. De meeste bodemdieren behoren tot de fyla *Annelida* (wormen), *Mollusca* (schelpdieren en slakken) en *Arthropoda* (garnaalachtigen). In de Zeeschelde komen met name *Oligochaeta* (wormen), *Amphipoda* (vlokkreeften), *Arthropoda* en larven van *Diptera* (vliegen- en muggenlarven) voor. In de Westerschelde komen voornamelijk *Bivalvia* (tweekleppige schelpdieren), *Annelida* en *Arthropoda* voor. De sterk mobiele Arthropoden worden bij het hyperbenthos besproken

5.5.1. Dichtheid en Biomassa

Definitie

De biomassa van het benthos is een maat voor de hoeveelheid benthos. Het is een indicator voor energiestromen tussen trofische niveaus, en geeft inzicht in voedselbeschikbaarheid voor vissen en vogels. Een toename in biomassa is een indicator voor verbeterde leefomstandigheden van het benthos. De dichtheid van het benthos is een alternatieve maat voor de hoeveelheid. Voor de biomassa zijn voornamelijk grote soorten van belang, bij de dichtheid zijn vooral kleine soorten en jonge ontwikkelingsstadia van belang.

Ontwikkeling en evaluatie

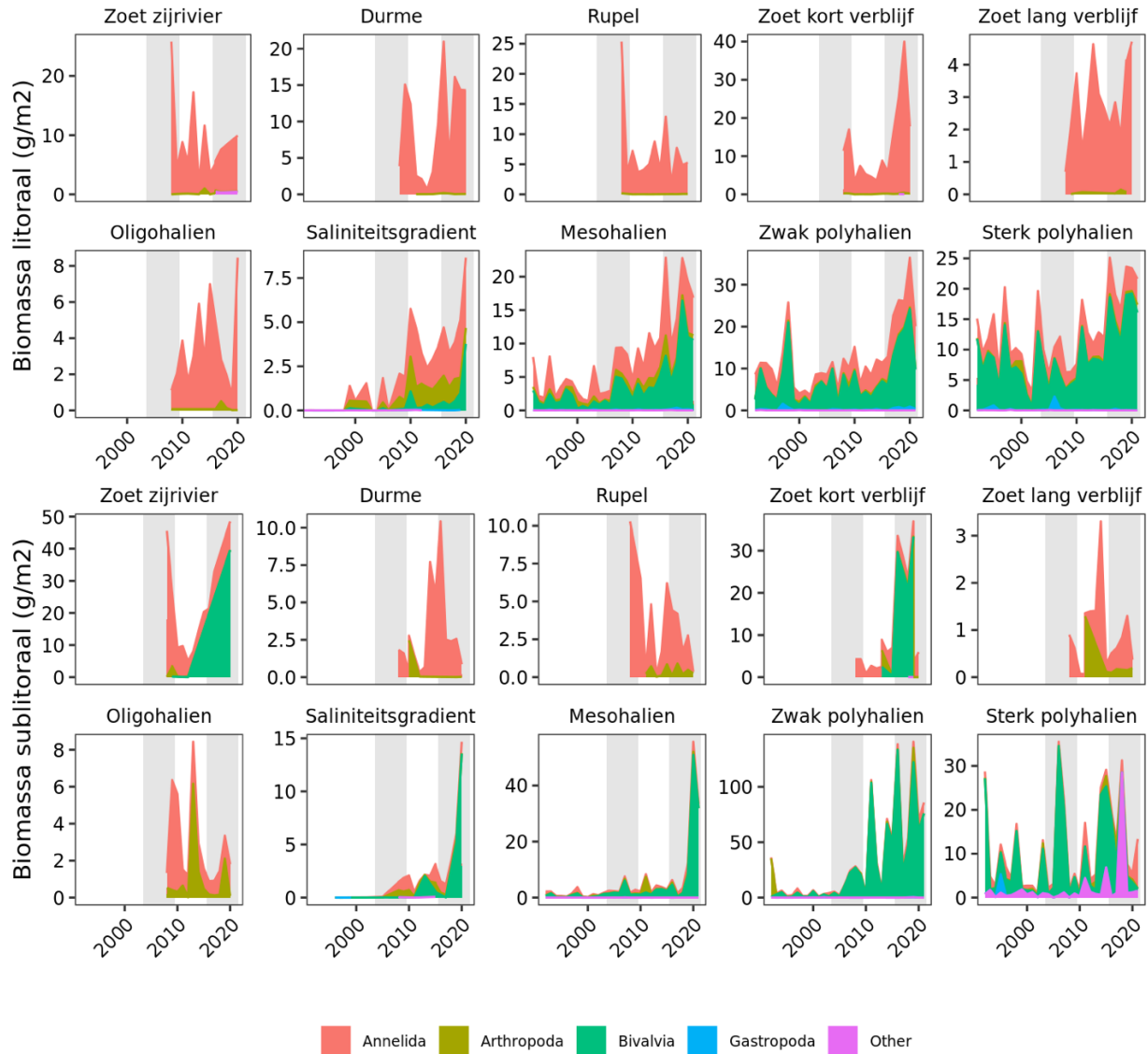
In de meeste zones was er sprake van een toename in de biomassa in het litoraal. Enkel in de *Rupel* was er sprake van een afnemende trend, en in *Zoet lange verblijftijd* van een stabiele trend. In het sublitoraal was er sprake van een afname in de *Durme* en *Rupel*. In *Zoet lange verblijftijd* en *Oligohalien* was de sublitorale biomassa nagenoeg stabiel. Een afnemende trend werd beoordeeld als negatief.

Dichtheden in de zones *Zoet zijrivier*, *Rupel* en *Oligohalien* waren stabiel ten opzichte van de T2015, maar voor de laatste twee zones is wel sprake van een afnemende trend in de periode 2018-2020. In alle andere zones was sprake van een toename van de dichtheden. In het sublitoraal waren trends in dichtheden grilliger. Ten opzichte van de T2015 was er een stabiele trend in *Zoet zijrivier*, *Zoet lange verblijftijd* en *Sterk polyhalien*. Er was een duidelijk langjarige toenemende trend in *Zoet korte verblijftijd*, *Oligohalien*, *Mesohalien*, en *Zwak polyhalien*. In de zones *Durme* en *Rupel* was er tijdens de T2015 een sterke toename en sinds 2016 weer een sterke afname. Omdat er gemiddeld over de gehele T2021-periode ten opzichte van het gemiddelde van de T2015-periode geen afnames waren zijn alle trends als positief geëvalueerd.

Verklaring

Variaties in de biomassa werden veroorzaakt door *Annelida* (wormen) in de zoete zones (*Zoet zijrivier* tot *Oligohalien*). Biomassa's lijken in deze zones sterk te fluctueren (Figuur 5-31). De afname in biomassa's in de *Rupel* was vooral een gevolg van een relatief hoog aantal nulwaarnemingen (Van Ryckegem *et al.*, 2022). In de Westerschelde is de toename in de litorale biomassa vrijwel geheel toe

te schrijven aan een toename van *Bivalvia* (tweekleppige schelpdieren). In de *Saliniteitsgradiënt* is de toename toe te schrijven aan *Annelida*, *Arthropoda* en met name in 2019 en 2020 aan *Bivalvia* (Figuur 5-31).



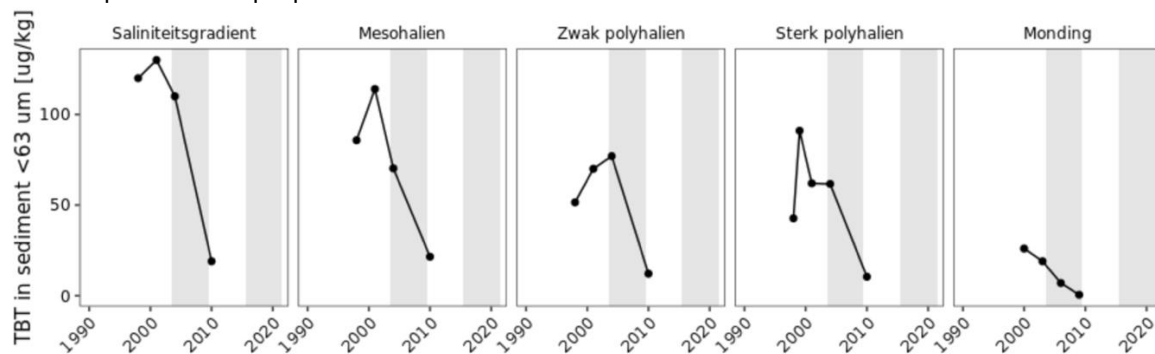
Figuur 5-31: Ontwikkeling van de biomassa van het macrozoöbenthos (g asvrij drooggewicht per m²) in het litoraal en sublitoraal van de zones van het Schelde-estuarium. De grijs-wit-grijs zonering geeft de tijds�pannes van respectievelijk de T2009, T2015 en T2021 weer.

Sterke veranderingen in het macrozoöbenthos kunnen veroorzaakt worden door abiotische sturingsfactoren, voedselbeschikbaarheid en biotische interacties. Zo is een realistische verklaring voor de lage biomassa's in het litorale en sublitorale *Oligohalien* in 2018 en 2019 waarschijnlijk de verhoogde saliniteitsconcentraties in diezelfde jaren (Figuur 5-31). De soortensamenstelling van het *Oligohalien* bestaat vooral uit zoete soorten met een relatief lage tolerantie voor sterke zout-schommelingen. De jaren 2018 en 2019 waren ook uitzonderlijk warm in de zomer, maar dit lijkt geen duidelijk effect te hebben gehad op de biomassa. Ook lijkt er een link te zijn met voedselbeschikbaarheid: de jaargemiddelde fytoplanktonbiomassa in *Zoet korte verblijftijd* is toegenomen ten opzichte van de

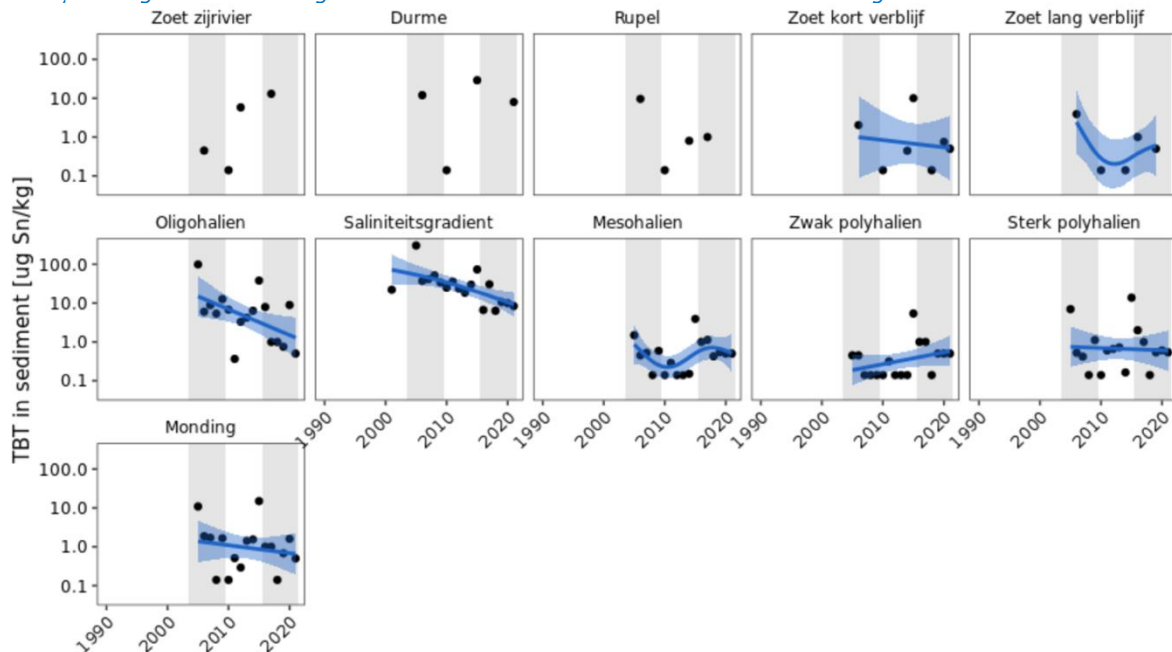
T2015, dit lijkt sterk te correleren met een toename in de macrozoöbenthos-biomassa in het litoraal en sublitoraal (Figuur 5-31). In het *Oligohalien* was er juist sprake van een afname in fytoplankton, waarbij ook hier een afname in het macrozoöbenthos zichtbaar was. In het *Zwak* en *Sterk polyhalien* waren er zeer lichte toenames in de fytoplanktonbiomassa, terwijl de macrozoöbenthos-biomassa juist zeer sterk gestegen is. Voedselbeschikbaarheid is in deze zones waarschijnlijk geen bepalende factor geweest, hier spelen andere factoren een rol.

Afname Tributyltin in de Schelde

De toename van *Bivalvia* in de zones met zoutinvloeden is mogelijk een gevolg van een sterke afname van tributyltin-concentraties (TBT) in het Schelde-estuarium. TBT werd toegepast als antifouling-stof op schepen. Hoge TBT-concentraties bleken misvormingen te veroorzaken bij oesters en voortplanting te remmen. Ook in zeer lage concentraties is het giftig voor verschillende mariene soorten, zo veroorzaakt het de vorming van mannelijke kenmerken bij vrouwelijke slakken, waardoor ze zich niet meer voort kunnen planten. De purperslak is hier een bekend voorbeeld van.



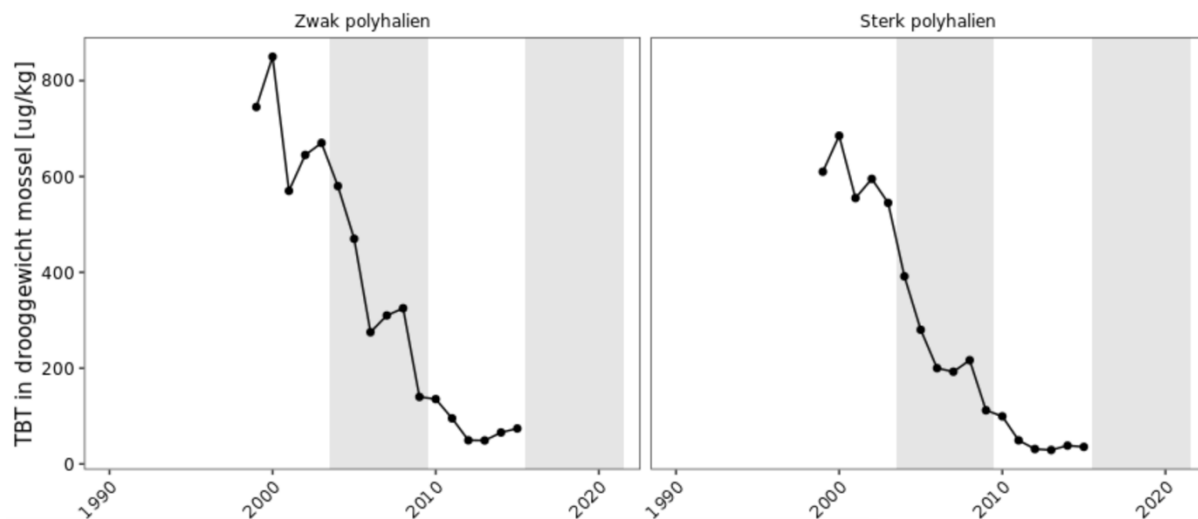
Figuur 5-32: Jaargemiddelde TBT-concentraties (uitgedrukt in μg TBT per kg drooggewicht) in de sedimentfractie $<63 \mu\text{m}$. Gegevens afkomstig van de MWTL Chemische waterkwaliteit monitoring van RWS.



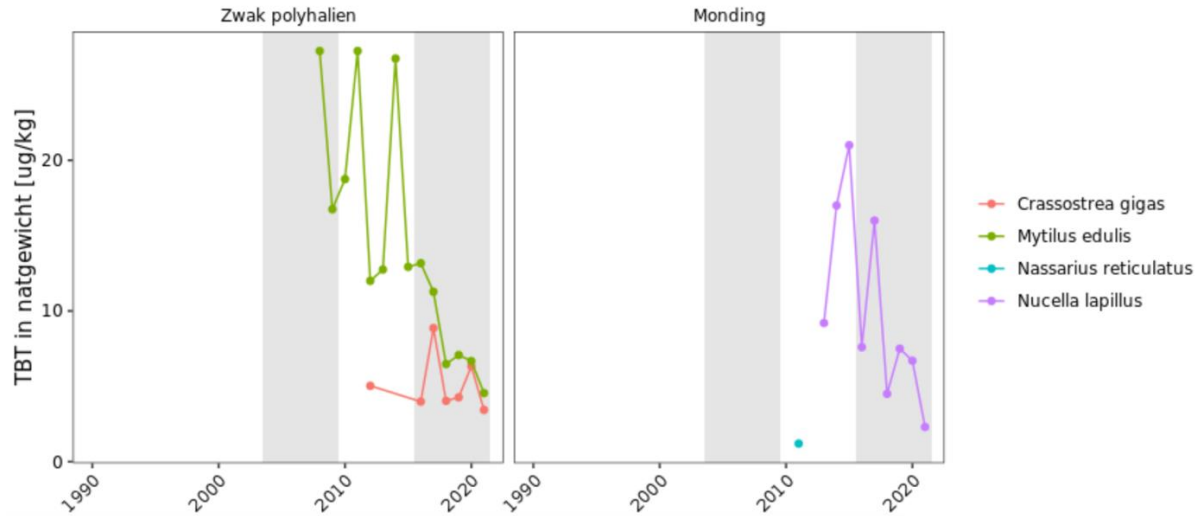
Figuur 5-33: Jaargemiddelde TBT-concentraties (uitgedrukt in μg tin per kg drooggewicht) in sediment van het Schelde-estuarium. De gegevens zijn afkomstig van het VMM-kwaliteitsonderzoek naar baggerspecie.

Vanwege deze sterk negatieve effecten is het gebruik ervan sinds 1990 verboden op rompen van kleine schepen, en sinds 2003 is de stof in de Europese Unie verboden op sloopschepen. Sindsdien zijn de concentraties van TBT in het sediment van het Schelde-estuarium afgenomen (Figuur 5-32 en Figuur 5-33). De afname is het duidelijkst zichtbaar in de sedimentfractie <math><63 \mu\text{m}</math>, waarvan gegevens beschikbaar zijn tussen 1998 en 2010. Een verdere afname is te zien in de baggerspecie van de meeste zones. TBT is hydrofoob en bindt sterk aan fijn sediment (Coelho *et al.*, 2002, Figuur 5-32), en accumuleert in diverse diersoorten, zoals kokkel, grijze garnaal en zeepeerd (Veltman *et al.*, 2006).

In diezelfde periodes zijn diverse onderzoeken gedaan naar TBT-concentraties in biota. Tussen 1999 en 2015 werden op twee locaties in de Westerschelde metingen gedaan aan TBT-gehalte in mosselen (op basis drooggewicht; Figuur 5-34). In deze periode zijn de TBT-concentraties in mosselen sterk afgenomen in zowel het *Zwak polyhalien* als *Sterk polyhalien*, en lijkt er in de periode 2011-2015 sprake te zijn van een stabilisatie. Precies in deze periode neemt de biomassa bivalven toe in de Westerschelde (Figuur 5-31). Na 2015 zijn geen gegevens beschikbaar van TBT op basis van droog mosselmees, maar tussen 2008 en 2021 is de monitoring aangepast en verbreed naar TBT-concentraties op basis van natgewicht in de Japanse oester, mossel, gevlochten fuikhoorn en purperslak (Figuur 5-35). Uit deze gegevens blijkt dat de concentratie TBT in biota tussen 2008 en 2015 variabel was en verder afnam tussen 2015 en 2021. Hoewel de concentraties in biota zijn afgenomen, worden de OSPAR-normen en de normen voor veilige consumptie nog steeds overschreden (Dogruer *et al.*, 2023). Desondanks wordt de purperslak na diens verdwijning uit de Westerschelde in 1993 sinds 2014 weer gevonden in de monding van Westerschelde en nemen aantallen toe. Imposex (vrouwelijke organismen met mannelijke geslachtskenmerken) is afgenomen en wordt sinds 2020 niet meer waargenomen in de Westerschelde (Dogruer *et al.*, 2023).

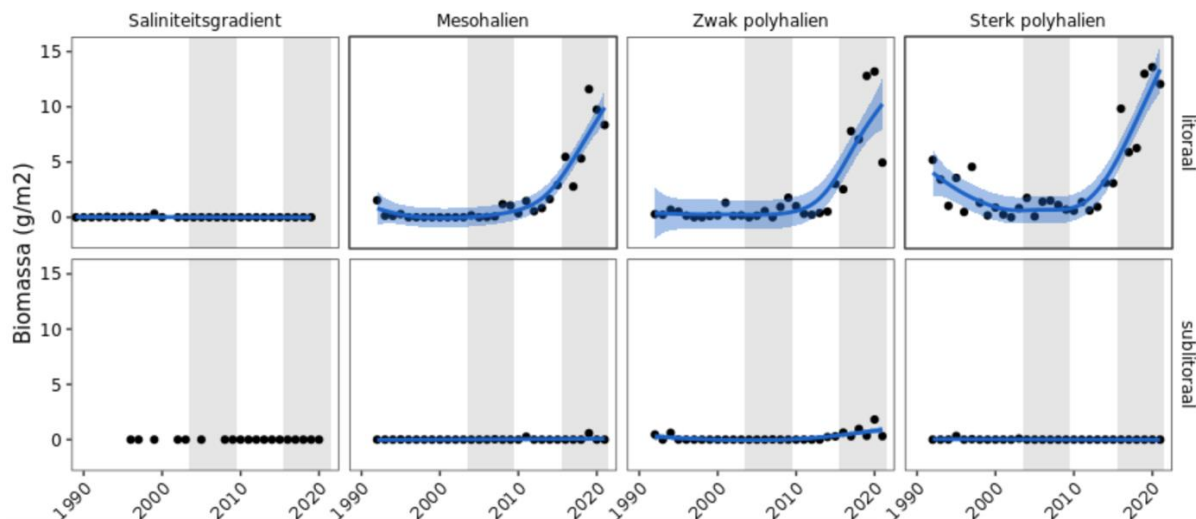


Figuur 5-34: Ontwikkeling van TBT-concentratie in drooggewicht mosselen in het Zwak polyhalien en het Sterk polyhalien tussen 1999 en 2015. Gegevens zijn afkomstig van het monitoringsnetwerk Microverontreinigingen Biota van RWS.



Figuur 5-35: Ontwikkeling van TBT-concentratie in natgewicht van Japanse oester (*Crassostrea gigas*), mossel (*Mytilus edulis*), gevlochten fuikhoorn (*Nassarius reticulatus*), en purperslak (*Nucella lapillus*) in het Zwak polyhalien en de Monding. Gegevens van de monitoring Microverontreinigingen Biota van RWS, tussen 2008 en 2021.

Een soort die niet meegenomen is in de biota-monitoring maar waarvan wel bekend is dat deze zeer gevoelig is voor TBT, is de platte slijkgaper. Door TBT wordt diens broedval geremd, is er hogere sterfte, lagere groei en begraven ze zich minder diep in het sediment (Ruiz *et al.*, 1994). De slijkgaper is in de jaren tachtig sterk afgenomen langs de Franse, Duitse en Britse kusten (Langston *et al.*, 1987), en kwam ook weinig voor in de Westerschelde. Sinds 2014 neemt de slijkgaper sterk toe in de Westerschelde (Figuur 5-36). Ook in het zuidwesten van Groot-Brittannië zijn slijkgapers weer toegenomen sinds 2009, dit ging samen met een afname van TBT in deze gebieden (Langston *et al.*, 2015). Hoewel correlatie geen causatie is, kan het effect van de sterke afname van TBT in het milieu wel hebben bijgedragen aan een verbeterde voortplanting van Bivalvia, en specifiek de platte slijkgaper.



Figuur 5-36: Ontwikkeling van de biomassa van de platte slijkgaper in het litoraal en sublitoraal van de zoute zones van het Schelde-estuarium.

5.5.2. Minimum biomassa Zeeschelde

De doelstelling voor de minimum biomassa in de gehele Zeeschelde wordt gehaald tijdens de T2021. Echter de doelstellingen per zone worden niet gehaald in de zones *Zoet lange verblijftijd* en *Oligohalien*, waardoor deze parameter negatief geëvalueerd wordt. De negatieve beoordeling voor *Zoet lange verblijftijd* en *Oligohalien* komt door een stabiel lage biomassa per vierkante meter in het sublitoraal, dat het grootste ecotoop vormt in beide zones. Het *Oligohalien* heeft in de afgelopen jaren meerdere malen zoutinvloeden gehad, waardoor het macrozoöbenthos negatief beïnvloed kan zijn.

De totale systeembiomassa wordt het sterkst beïnvloed door ontwikkelingen in de zone *Saliniteitsgradiënt*. In de afgelopen T-periode is er geen toename aan areaal geweest, waardoor de toename in systeembiomassa volledig veroorzaakt werd door een toename in de biomassa per vierkante meter. Deze is sterk toegenomen door de nieuwe exotische brakwaterkorfschelp *Potamocorbula amurensis*, die zich sterk uitbreidt. Daarnaast zijn het nonnetje, en de veelkleurige zeeduizendpoot toegenomen (Van Ryckegem *et al.*, 2022). Die laatste twee soorten kunnen zijn toegenomen door de hogere zoutconcentraties in de zone *Saliniteitsgradiënt*.

5.5.3. Diversiteit

5.5.3.1. Aantal soorten

Voor de Zeeschelde zijn enkel de jaren gebruikt waarin Oligochaeten gedetermineerd zijn, omdat enkel in deze jaren de volledige biodiversiteit bepaald is. Hierdoor is voor de Zeeschelde per T-periode slechts twee jaar beschikbaar, waardoor trends lastig waar te nemen zijn. Er was een afname in aantal soorten in de zone *Zoet zijrivier*, een relatief stabiele situatie in de overige zones van de Zeeschelde met een duidelijk lagere waarde in 2020, en een sterke toename in de Westerschelde-zones.

Afnames in de zoete delen zijn vooral een gevolg van een afname in het aantal soorten Oligochaeten. Met name in 2020 zijn weinig soorten aangetroffen. Waarschijnlijk zijn in de monsters van 2020 de Oligochaeten nog niet gedetermineerd (Van Ryckegem *et al.*, 2022). Hierdoor zijn geen uitspraken te doen over een eventuele afname in biodiversiteit. De diversiteit van het benthos zonder Oligochaeten is licht gestegen in het estuarium, waarschijnlijk door een toename van exoten (Van Ryckegem *et al.*, 2022). In de Westerschelde is de toename van het aantal soorten vooral het gevolg van een sterke toename in het aantal exoten, zowel invasieve als overige exoten. Hoewel een toename in soortenrijkdom als positief wordt beoordeeld, is deze toename het gevolg van een ecologisch gezien negatieve ontwikkeling.

5.5.3.2. Shannon-index

De Shannon-index trends volgden vrijwel de soortenrijkdom-trends, waarbij met name in het litoraal van de zoete zones een sterke afname van de Shannon-index zichtbaar was. In de litorale delen van de *Saliniteitsgradiënt* en de zones in de Westerschelde was een sterke toename zichtbaar. In het sublitoraal in de zoete zones was de afname minder sterk, maar de toename in de zoute zones was vergelijkbaar met die in de litorale delen. De sterkere afname in de Shannon-index ten opzichte van de afname in het aantal soorten laat zien dat een of meerdere soorten dominant zijn geworden. Hiervoor is geen eenduidige verklaring. De toename in de zoute zones kan juist wijzen op een afname van dominante soorten, en een toename in soortenrijkdom. Ook hier werkt de toename van exoten sterk door in de beoordeling.

5.5.4. Kokkel en Mossel

Ook tijdens de T2021 was de biomassa van de kokkels te laag. Tijdens deze periode zijn er verschillende warme zomers voorgekomen, waardoor plaatselijk kokkelsterfte is opgetreden. Opvallend is dat de kokkelbiomassa in 2019 en 2020 boven de minimumwaarde uitkwam, en in 2021 weer sterk is afgenomen. Er is in de zomer van 2020 sprake geweest van sterke zomersterfte (Troost *et al.*, 2022). Door warmere zomers is de kans op zomersterfte groter geworden, waardoor het onzeker is of de minimale biomassa kokkels in de toekomst gehaald kan worden. Dit is een probleem dat niet alleen in de Westerschelde speelt, ook in de Waddenzee is er steeds vaker sprake van een sterke kokkelsterfte. Omdat kokkels zich ondiep in het zand ingraven en voornamelijk leven op droogvallende platen, zijn zij extra gevoelig voor hoge luchttemperaturen.

Voor de mossel zijn opnieuw onvoldoende gegevens beschikbaar om te toetsen of de biomassa mosselen is gelijk gebleven of toegenomen. De biomassa mosselen wordt slechts onregelmatig bepaald in de WOT-schelpdierbestanden surveys. Wel worden de oppervlaktes van oesterbanken en gemengde oester- en mosselbanken bepaald. Hierbij zijn Japanse oesters veruit de dominantste soort in alle banken. Het areaal van deze banken is in de periode 2013-2021 licht toegenomen, van 34 naar 41 ha. De toename aan areaal is positief, omdat een biogeen rif (of natuurlijke bank) een uniek habitat kan vormen voor diverse soorten. Echter, Japanse oesters zijn invasieve exoten en ze zijn minder interessant voor predatoren dan mosselen. Hierdoor is het oppervlak gemengde bank geen relevante parameter voor de toetsparameter Macrozoöbenthos.

5.5.5. Exoten

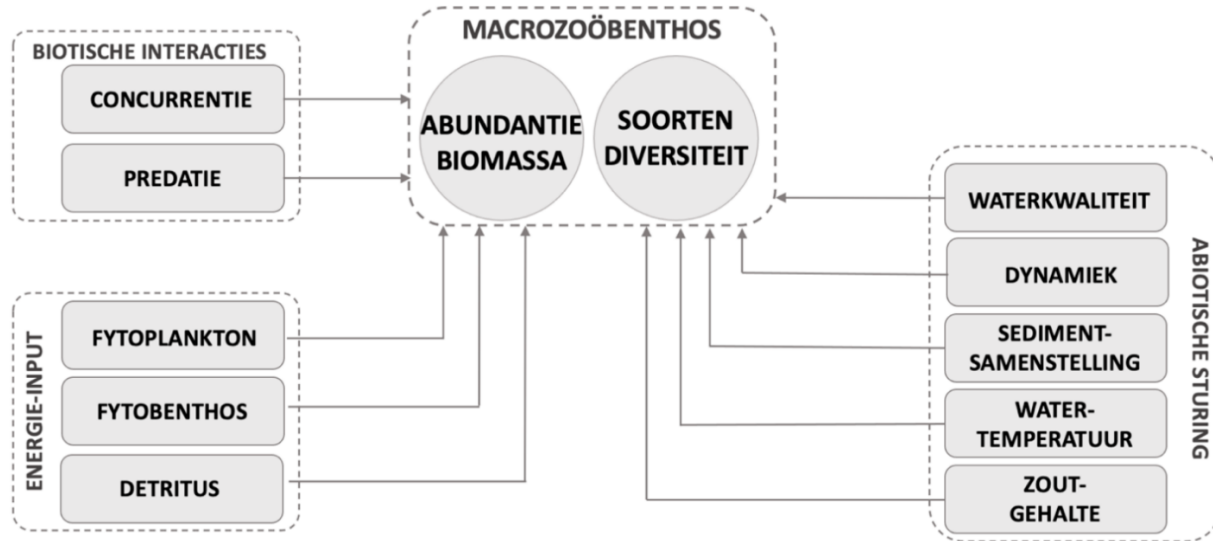
Tijdens de T2021 was er een toename van het aantal exoten in de zoute zones, terwijl het aantal exoten in de zoete zones redelijk stabiel bleef. Deze toename in de zoute zones werd veroorzaakt door een toename in overige exoten, die (nog) niet geclassificeerd zijn als invasieve exoot. Twee overige exoten zijn echter dermate toegenomen in het Schelde-estuarium dat deze mogelijk invasieve potenties hebben. Dit zijn de brakwaterkorfschelp *Potamocorbula amurensis* en de Amerikaanse strandschelp *Mulinia lateralis*. De brakwaterkorfschelp is voor het eerst in het Schelde-estuarium aangetroffen in 2018. In de zone *Saliniteitsgradiënt* werden in 2019 en 2020 zeer hoge aantallen aangetroffen, waardoor de toename in bivalven in deze jaren volledig veroorzaakt wordt door de brakwaterkorfschelp. Er zijn waarnemingen in Vlaanderen dat deze soort gepredeerd wordt door de scholekster (Van Ryckegem *et al.*, 2022). In de Westerschelde zijn biomassa's lager maar nemen ze ook toe. Ook de Amerikaanse strandschelp is voor het eerst in de monitoring aangetroffen in 2018. Deze soort komt meer voor in zoutere gebieden, en biomassa's lijken vooralsnog stabiel. Wel kunnen ze lokaal in hoge aantallen voorkomen op de slikken bij Hansweert. Ook deze soort kan potentieel een interessante voedselbron vormen voor vogels en vissen. Craeymeersch *et al.* (2019) geven aan dat de Amerikaanse strandchelp voor scholekster, kanoet een drieteenstrandloper een aantrekkelijk prooi zou kunnen vormen.

5.5.6. Verhaallijn Macrozoöbenthos

Definitie

Het macrozoöbenthos bestaat uit dieren die in of op de bodem van watersystemen leven en groter zijn dan 1 mm. Deze groep is een belangrijke schakel tussen primaire productie en vissen en vogels. Omdat de meeste bodemdieren weinig mobiel zijn, zijn zij een goede indicator voor de toestand van het systeem ter plaatse. Voor een goede weerspiegeling van de energiedoorstroming en het ecologisch functioneren wordt er binnen de T-rapportage gekeken naar de aspecten kwantiteit (abundantie, biomassa) en

kwaliteit (diversiteit). Deze aspecten worden beïnvloed door abiotische sturingsfactoren als waterkwaliteit, temperatuur en zoutgehalte, door het voedselaanbod en door predatie (Figuur 5-37).



Figuur 5-37: Schematische weergave van de verhaallijn Macrozoöbenthos. De responsvariabelen worden beïnvloed door abiotische factoren, energie-input en biotische interacties.

Observaties

De observaties in het *Analyserapport* tonen aan dat de gemiddelde biomassa van het macrozoöbenthos sterk is toegenomen in de zones met zoutinvloeden, en zowel licht toe- als afgenomen is in de zoete gebieden. De doelstelling voor minimum-biomassa wordt gehaald in de gehele Zeeschelde, maar de doelstellingen per zone worden in de zones *Zoet lange verblijftijd* en *Oligohalien* niet gehaald. Dichtheden zijn afgenomen in de zones *Zoet lange verblijftijd* en *Oligohalien*, en toegenomen in alle overige zones. Het aantal soorten is gelijk gebleven of licht toegenomen in de zoete zones, in de zoute zones was er een sterke toename van de soortenrijkdom. Echter, de Shannon-index is in alle zoete zones afgenomen, en gelijk gebleven of toegenomen in de zoute zones. Het kokkelbestand in de Westerschelde is opnieuw afgenomen. Van het mosselbestand kan geen goed beeld gekregen worden aan de hand van de beschikbare data.

Verklaring

De aanwezigheid van het macrozoöbenthos wordt in sterke mate gestuurd door de voedselbeschikbaarheid. Met name in stroomopwaartse gebieden liep een toename in fytoplankton-biomassa gelijk met een toename in macrozoöbenthosbiomassa. Uitzondering hierop was de zone *Oligohalien*. Tijdens de T2021 was er met name in het *Oligohalien* sprake van hogere zoutconcentraties, die een negatief effect hebben gehad op de zoete macrozoöbenthos-gemeenschap in deze zone. In de zoute zones was er geen sterke toename van de voedselbeschikbaarheid, terwijl biomassa's en dichtheden wel sterk zijn toegenomen. Deze toenames in de zoute zones zijn deels te verklaren door de opkomst van diverse exoten. Ook heeft de afname van tributyltin-verbindingen (TBT) in het milieu waarschijnlijk een positieve invloed op de macrozoöbenthos-gemeenschap, met name op mollusken. In de Westerschelde is het kokkelbestand nog niet op orde, maar nam de biomassa kokkels aanvankelijk

wel toe. Na een toename in de periode 2018-2020 was er in 2021 vervolgens een sterke afname, waarschijnlijk als gevolg van kokkelsterfte door warme periodes in de zomer.

5.6. Toetsparameter Hyperbenthos

De hyperbenthos-gemeenschap, bestaande uit krabben, aasgarnalen, steurgarnalen en grijze garnalen, is een belangrijke predator van de macrozoöbenthos-gemeenschap en wordt zelf weer gegeten door vissen en vogels. Hierdoor is hyperbenthos een belangrijke schakel in het voedselweb. Voor een goede weerspiegeling van de hyperbenthische gemeenschap wordt gekeken naar kwantiteit (abundantie en biomassa) en kwaliteit (diversiteit). Te veel krabben ("verkrabbing") wordt gezien als verstoring van een ecosysteem, te veel garnalen kan duiden op overbevissing. Hoe veel "te veel" is, is op dit moment onbekend voor de Zeeschelde en Westerschelde.

De hyperbenthos-dataset van de Zeeschelde is afkomstig van een gerichte monitoring die in 2013 in het kader van MONEOS is gestart. Op vijf locaties wordt maandelijks van april tot oktober met een net met een maaswijdte van 1 mm en met een cirkelvormige opening met een diameter van 50 cm langs de laagwaterlijn een transect van 2 x 100 m bemonsterd. Naar schatting wordt hierbij een watervolume van 40 m³ bemonsterd. Alle organismen groter dan 1 mm worden tot op soort gedetermineerd en de asvrijdrooggewichten worden bepaald. De hyperbenthosdataset voor de Westerschelde is gebaseerd op de bijvangst van de Demersal Young Fish Survey (DYFS). Op dertig locaties in het sublitoraal wordt jaarlijks met een boomkor (breedte 3 m, maaswijdte 35 mm) met een lage vissnelheid een trek van 15 minuten gemaakt. Daarna wordt de hele vangst (of een steekproef) gedetermineerd en gemeten. Dichtheden van krabben en garnalen kunnen uit deze dataset gebruikt worden om langjarige trends te bepalen. De dataset is echter geen indicatie voor de gehele hyperbenthos-gemeenschap in de Westerschelde, omdat de maaswijdte groot is (35 mm).

5.6.1. Dichtheid en Biomassa

De abundantie en biomassa per oppervlakte-eenheid worden beïnvloed door onder andere waterkwaliteit en voedselaanbod. Een afname in abundantie en biomassa wordt vaak gezien als een afname in ecologische kwaliteit, omdat er enerzijds een verminderde energiedoorstroming vanuit onderliggend trofisch niveau is en anderzijds er minder voedselaanbod is voor hogere trofische niveaus. Daarom wordt een afname in abundantie en biomassa binnen deze beoordeling als negatief geëvalueerd. Een drastische toename kan echter ook een teken zijn van verschuivingen in het ecosysteem. Daarom wordt een substantiële toename binnen de evaluatieperiode ($\geq 25\%$) als ongunstig beoordeeld.

Het zwaartepunt van de biomassa van het Hyperbenthos is tijdens de T2021 verschoven naar de stroomopwaartse gebieden. In *Rupel* en *Zoet korte verblijftijd* is de biomassa drastisch toegenomen ($>25\%$), in *Zoet lange verblijftijd* was de biomassa redelijk stabiel, in *Oligohalien* was er een sterke afname ($>25\%$) en in *Saliniteitsgradiënt* was er een lichte afname. De biomassatoename in de *Rupel* zorgde ervoor dat de biomassa in deze zone vergelijkbaar was met die in de andere zones, terwijl deze eerder substantieel lager was. Dit was waarschijnlijk een direct resultaat van verdere zoutindringing in stroomopwaartse gebieden, waardoor *Rupel* een geschikter habitat had ten opzichte van eerdere jaren. In *Zoet korte verblijftijd* werd de toename vooral verklaard door extreem hoge waarden in 2018. In dat jaar was er een lage rivierafvoer met daaraan gekoppeld een hogere zoutindringing, wat kan hebben gezorgd voor betere leefomstandigheden voor het hyperbenthos. De Zeeschelde is een opgroeigebied voor hyperbenthos, omdat biomassa's toenemen gedurende het seizoen (Van Ryckegem *et al.*, 2022). Tussen 2013 en 2020 is het aandeel grijze garnaal afgenomen, en is er een sterke toename geweest

van de langneussteurgarnaal *Palaemon longirostris*. In 2020 was juist de aasgarnaal *Mesopodopsis slabberi* dominant, een soort die normaliter meer in de Westerschelde voorkomt. Door verschuivingen in de zoutindringing stroomopwaarts lijkt de hyperbenthos-gemeenschap mee te schuiven. Tussen maandelijkse monsternames is er veel variatie in biomassa, wat een indicatie is voor uitwisseling en migratie in het gehele gebied. De hyperbenthos-gemeenschap in de Zeeschelde is divers en heeft meerdere voedselbronnen. Zo foerageert de langneussteurgarnaal sterk op Oligochaeta en zoöplankton in de Zeeschelde, en de grijze garnaal voornamelijk op zoöplankton (Van de Meutter *et al.*, 2021)

In de Westerschelde zijn de aantallen garnalen met meer dan 25% afgenomen in het *Zwak polyhalien* en het *Mesohalien*. Deze afnames ten opzichte van de T2015 worden veroorzaakt door een piek in 2010, waarna sindsdien sprake is van een stabiele afname. Voor beide gebieden geldt dat er sprake is van een langjarige afname. In de *Monding* is ook sprake van een afname, maar deze is zeer klein. De dichtheden garnalen in de gehele Westerschelde zijn gehalveerd tussen 1970 en 2010, maar in diezelfde periode licht toegenomen in de Voordelta (Tulp *et al.*, 2012). Er is geen eenduidige verklaring voor deze dynamiek in de garnalenpopulatie. Garnalen zijn omnivoren, en foerageren op onder andere wieren, aasgarnalen, dood organisch materiaal, amphipoden, polychaeten en mollusken. In de Westerschelde is de benthische gemeenschap juist gegroeid in diezelfde periode. Wel is er een langjarige afname van chlorofyl-*a*, wat kan duiden op een afname van detritus in het systeem. Ook kan mogelijk een verklaring gevonden worden in de garnalenvisserij. In belangrijke visgronden in de Noordzee wordt een significante afname van garnalen veroorzaakt door overbevissing (Respondek *et al.*, 2022). In de Westerschelde is garnalenvisserij slechts beperkt toegestaan, maar er is een sterke variatie in het aantal visuren per jaar. Zo lag in 2016 en 2017 de visinspanning een factor drie hoger dan in de periode 2013-2014, en sindsdien is het aantal visuren gehalveerd (Hintzen, 2021). Echter, voor de Westerschelde geldt een overeenkomst voor 3594 uren garnalenvisserij in 2021, met een marge van 10%. Al begin november van dat jaar was er 4153 uren op garnalen gevestigd, waarna de garnalenvisserij dat jaar werd stilgelegd (Hoekstein *et al.*, 2023).

De dichtheden van krabben zijn substantieel toegenomen in het *Zwak polyhalien*, sterk afgenomen in het *Sterk polyhalien* en de *Monding*, en vrijwel stabiel gebleven in het *Mesohalien*. In het *Zwak polyhalien* volgde deze sterke toename op een afname in de periode T2015, waardoor de waarden nu iets hoger liggen dan in de periode T2009. In het *Sterk polyhalien* waren de fluctuaties exact gespiegeld aan die van het *Zwak polyhalien*: een sterke toename tijdens de T2015 en een substantiële afname tijdens de T2021. Deze fluctuaties duiden op een verschil in ruimtelijk gebruik tussen deze periodes. Evenals bij garnalen kunnen krabben zich in bepaalde jaren verder stroomopwaarts verplaatsen.

Opgemerkt dient te worden dat de dataset die gebruikt is voor de Westerschelde niet ontwikkeld is voor het monitoren van krabben en garnalen. De maaswijdte is te groot (35 mm), waardoor het grootste gedeelte van deze groepen door de mazen kan ontsnappen.

5.6.2. Diversiteit

5.6.2.1. Aantal soorten

Het aantal soorten is enkel een relevante parameter in de Zeeschelde, omdat in de Westerschelde geen gerichte monitoring gedaan wordt en diverse soorten daardoor ontbreken. Het hoogste aantal soorten wordt gevonden in de zone *Saliniteitsgradiënt*, het laagste aantal in het *Oligohalien*. In de *Rupel* is er een toename van het aantal soorten, wat correspondeert met een toename in biomassa. In de zones *Zoet korte verblijftijd*, *Zoet lange verblijftijd* en *Oligohalien* werd het hoogste aantal soorten gevonden

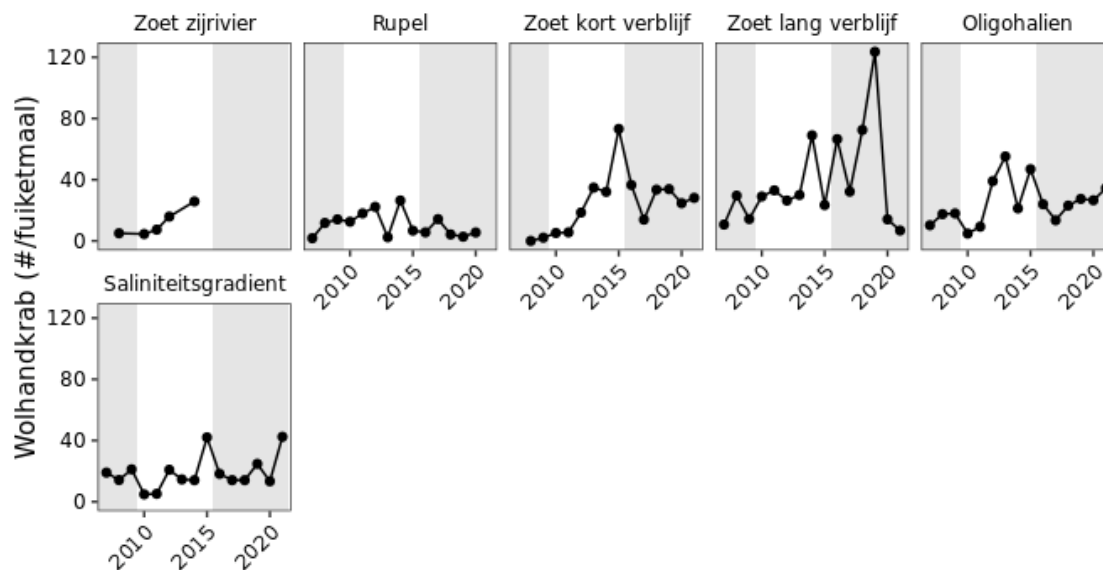
in 2015 of 2016. Deze variatie wordt deels verklaard door het aantal exoten dat gevonden wordt (Van Ryckegem *et al.*, 2022). De monitoring is te kort om over langjarige trends te speculeren.

5.6.2.2. Shannon-index

De trends van de Shannon-indices per zone volgen niet de trends van het aantal soorten. Er was een significante afname in *Zoet lange verblijftijd*, lichte toenames in *Rupel* en *Oligohalien*, en een lichte afname in *Zoet lange verblijftijd* en *Saliniteitsgradiënt*. De afname in *Saliniteitsgradiënt* werd veroorzaakt door uitzonderlijk hoge aantallen van de aasgarnaal *Mesopodopsis slabberi* in 2020. Ook was de langneussteurgarnaal in 2020 uitzonderlijk talrijk, waardoor de Shannon-index daalde. Vanwege de rol als opgroeigebied van diverse hyperbenthos-soorten en recentelijke variaties in saliniteit en droogte is het waarschijnlijk dat de Shannon-index zal blijven variëren.

5.6.3. Exoten

Het aantal exoten is toegenomen in *Saliniteitsgradiënt* en stabiel gebleven in de andere zones. Deze toename wordt enkel veroorzaakt door een toename in het aantal overige exoten. Omdat er relatief weinig invasieve exoten voorkomen, waren trends in de fractie invasieve exoten (dichtheid) variabel. Er was een toename in het *Oligohalien*, *Saliniteitsgradiënt*, *Mesohalien* en *Zwak polyhalien*. Dit wordt geheel verklaard door het voorkomen van de Chinese wolhandkrab. Deze soort komt veel voor in het estuarium, maar wordt weinig gevangen met de Vlaamse hyperbenthosmonitoring. In de Westerschelde wordt de wolhandkrab regelmatig aangetroffen in de monitoring, maar lijkt het *Sterk polyhalien* te zout te zijn als geschikt leefgebied. De Chinese wolhandkrab wordt wel aangetroffen in de Vlaamse fuikvangsten, zowel die van het INBO als die van vrijwilligers. De fuikvangsten laten een grillig patroon zien (Figuur 5-38). De hoogste aantallen kwamen voor in *Zoet lang verblijf* in 2019, waarna er een sterke afname was. In de zones *Zoet korte verblijftijd* en *Zoet lange verblijftijd* lijkt er na een piek sprake van een stabilisatie van het aantal wolhandkrabben. In *Oligohalien* en *Saliniteitsgradiënt* was er tijdens de T2021 juist sprake van een toename.



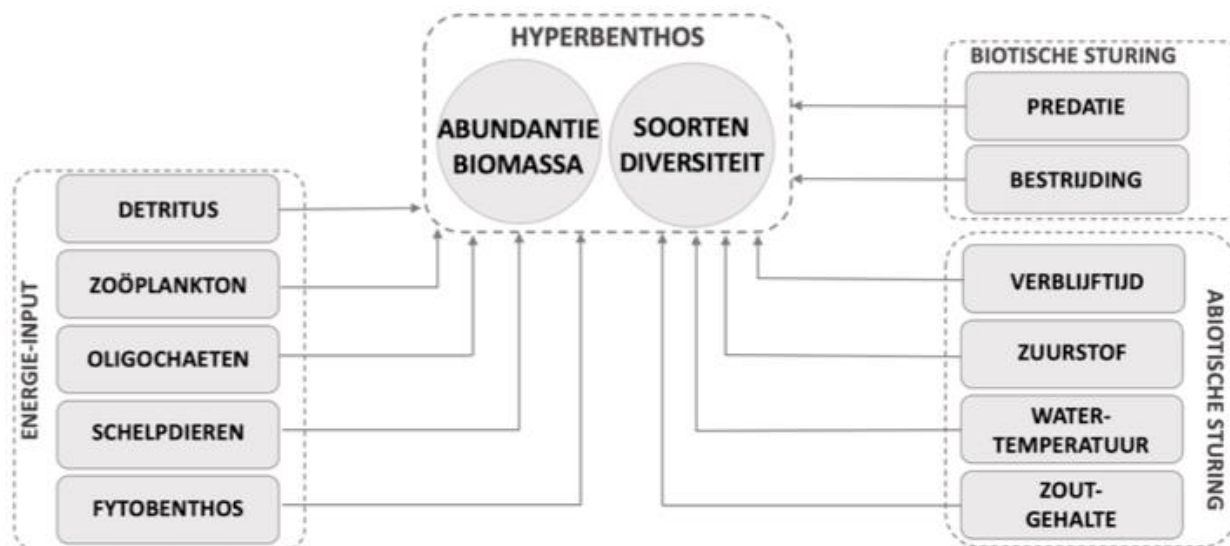
Figuur 5-38: Gevangen wolhandkrabben uit de fuikmonitoring van het INBO en van vrijwilligers. Gemiddelde aantallen per fuiketmaal.

In het estuarium worden wolhandkrabben weggevangen middels speciaal ontworpen vanggoten. Van de vangoot in Grobbendonk zijn gegevens beschikbaar, hieruit blijkt dat er ook een piek in de vangsten van 2019 was. Uit de fuikdata wordt niet duidelijk of het afvangen van wolhandkrabben ook resultaat heeft geboekt, waarschijnlijker is dat lokale omgevingsfactoren zorgen voor variatie in de wolhandkrabpopulatie.

5.6.4. Verhaallijn Hyperbenthos

Definitie

Het hyperbenthos bestaat uit kleine diersoorten die afhankelijk zijn van de bodem maar ook goed kunnen zwemmen. Dit zijn aasgarnalen, steurgarnalen, grijze garnalen en krabben. Het hyperbenthos is een belangrijke predator van macrozoöbenthos, zoöplankton en detritus, en wordt weer gegeten door vissen en vogels. Hierdoor is het hyperbenthos een belangrijke schakel in het voedselweb. Voor een goede weerspiegeling van de hyperbenthische gemeenschap wordt gekeken naar kwantiteit (abundantie en biomassa) en kwaliteit (diversiteit). Deze aspecten worden beïnvloed door abiotische sturingsfactoren als waterkwaliteit, temperatuur en zoutgehalte, door het voedselaanbod, en door predatie (Figuur 5-39).



Figuur 5-39: Schematische weergave van de verhaallijn Hyperbenthos. De responsvariabelen worden beïnvloed door abiotische factoren, energie-input en biotische interacties.

Observaties

In de Zeeschelde is de biomassa en dichtheid afgenomen in het *Oligohalien* en de *Saliniteitsgradiënt*, en toegenomen in de overige zones. Er zijn sterke fluctuaties in de hyperbenthos-gemeenschap. De diversiteit is redelijk stabiel gebleven. Wel is het aantal soorten invasieve exoten toegenomen, en is de fractie invasieve exoten in *Oligohalien* en de *Saliniteitsgradiënt* toegenomen. In de Westerschelde is het aantal garnalen in alle zones afgenomen ten opzichte van de T2021. Enkel in de *Monding* waren de dichtheden stabiel. De dichtheden van krabben zijn met meer dan 25% toegenomen in het *Zwak polyhalien*, licht afgenomen in het *Mesohalien* en sterk afgenomen in het *Sterk polyhalien* en de *Monding*. Het aantal invasieve exoten is gelijk gebleven, maar de fractie invasieve exoten is toegenomen.

Verklaring

Door veranderingen in zoutindringing stroomopwaarts in de Zeeschelde lijkt de hyperbenthos-gemeenschap mee te schuiven, waardoor dichtheden en biomassa's in *Rupel* en *Zoet korte verblijftijd* zijn toegenomen. Zoutindringing in combinatie met een lage rivierafvoer in de zomer heeft tijdens de T2021-periode een sterk effect gehad op de hyperbenthos-gemeenschap. In de Zeeschelde lijkt er geen verband te zijn met het voedselaanbod, omdat de biomassa van macrozoöbenthos en het zoöplankton geen vergelijkbare trend volgt. De abiotische sturing lijkt de belangrijkste factor in de Zeeschelde. Ook in de Westerschelde lijkt er geen verband tussen voedselbeschikbaarheid en het voorkomen van krabben en garnalen. Terwijl het voedselaanbod steeg zijn de dichtheden garnalen afgenomen. Dit houdt mogelijk verband met een hogere visinspanning tijdens de T2021.

5.7. Toetsparameter Vissen

5.7.1. Aantallen en biomassa

Definitie

Per bemonsteringsmethode worden de trends in jaargemiddelde biomassa van de verschillende functionele groepen geanalyseerd. De jaargemiddelde biomassa mag voor een positieve beoordeling niet dalen en wordt in elke Scheldezone (niveau 3) beoordeeld t.o.v. de voorgaande T-periode (hier T2015). Om het overzicht te bewaren en omdat inzicht in de biomassa cruciaal is om de interacties tussen verschillende trofische groepen te begrijpen, werd ervoor gekozen om voorrang te geven aan de evaluatie op basis van de biomassa en te refereren naar aantallen wanneer dit bijdraagt aan het verduidelijken van de context.

5.7.1.1. Zeeschelde

Observatie en evaluatie

De visgemeenschappen worden jaarlijks bemonsterd door middel van fuiken en ankerkuilvisserij. De ankerkuilvisserij schetst een beeld van de pelagische visgemeenschap terwijl de fuiken eerder de benthische visgemeenschap in kaart brengen. In de periode 2016-2021 is in de Zeeschelde een toename in fuikbiomassa merkbaar in de zoete delen (*Zoet zijrivier*, *Zoet kort verblijf* en *Zoet lang verblijf*) en een afname in de oligohaliene zone tov de periode 2010-2015. In de saliniteitsgradient blijft de biomassa nagenoeg constant. Ankerkuilbiomassa is echter gedaald in alle delen van de Zeeschelde.

De diadrome soorten bereiken een piek in de periode 2010-2015 waarop ze afnemen in de periode 2016-2021. In de Zeeschelde zijn paling en spiering de belangrijkste (diadrome) soorten op vlak van fuikbiomassa en ankerkuilbiomassa, respectievelijk. Enkel, in de saliniteitsgradient is bot belangrijker als (diadrome) soort dan paling op vlak van fuikbiomassa. Voor de zoetwatersoorten lijkt de stijgende tendens in fuikbiomassa van 2004-2009 op 2010-2015 zich voor te zetten of te stabiliseren in 2016-2021. De fuikbiomassa van de estuarien residente soorten en mariene migranten zijn in de verschillende bovengenoemde zones van de Zeeschelde zeer laag met uitzondering van de saliniteitsgradient waar zich een depressie voordeed in 2010-2015 die voornamelijk te wijten was aan een verandering in de tongpopulatie. In de zoete zone blijft de biomassa estuarien residente soorten en mariene migranten nagenoeg constant, maar zien we een stijging in aantallen. Dit is voornamelijk het gevolg aan de terugkomst van de brakwatergrondel, die door zijn kleine biomassa weinig bijdraagt aan de totale biomassa vis.

Omdat paling de belangrijkste diadrome soort en de belangrijkste omnivore soort is in de Zeeschelde, is het logisch dat de trends fuikbiomassa van de omnivore soorten gelijklopend zijn aan die van de diadrome soorten. De daling in *Zoet lang verblijf* in diadrome soorten wordt echter niet teruggevonden voor de omnivore soorten omwille van de opmars van de omnivore snoekbaars die de daling van paling teniet doet. Terwijl in de zoete zones en oligohaliene zones enkel de omnivore soorten prominent zijn, blijkt dat in de saliniteitsgradient ook benthivore soorten (voornamelijk tong) sterk voorkomen (ongeveer 50 % van de omnivore soorten). Benthivore soorten zijn in de zoete delen veel minder voorkomend dan de omnivore soorten, maar er lijkt zich wel een lichte stijging voor te doen.

Biomassa van zoetwatersoorten stijgt of stabiliseert, maar neemt niet af voor zowel fuikvangsten en ankerkuilvisserij, wat als gunstig wordt beschouwd.

De diadrome, omnivore spiering domineert de ankerkuilvangsten van de Zeeschelde waardoor ook de vangsten van diadrome en omnivore soorten veel groter zijn dan die van de andere functionele groepen. In de saliniteitsgradient wordt er ook nog, in minder mate, haring gevangen. Opvallend voor de spiering is het golvend patroon in biomassa doorheen de tijd met pieken in 2014 en 2019.

Ondanks het feit dat voor sommige functionele groepen lichte stijgingen worden gedetecteerd, kunnen we stellen dat door de consistente daling van diadrome soorten over alle zones (behalve *Zoet zijrivier*) van de **Zeeschelde de parameter biomassa van de functionele groepen negatief geëvalueerd wordt** (Tabel 8).

Tabel 8 Beoordeling van de verschillende rekenparameters van de vissen. Rood = negatieve beoordeling, groen = positieve beoordeling.

Rekenparameter	Zeeschelde	Westerschelde
Biomassa functionele groepen	-	-
Diversiteit	+	-
Sleutelsoorten	Afhankelijk van soort	Afhankelijk van soort

Verklaring

De primaire productie is gedaald in alle zones van de Zeeschelde waardoor men zou verwachten dat de visbiomassa een gelijkaardige trend vertoont. Dit is het geval voor de ankerkuilvangsten maar niet voor de fuikvangsten, waarbij voor de laatste een stijging wordt geobserveerd in de zoete delen. Dit verschil tussen beide technieken kan een gevolg zijn van de relatief grotere biomassa benthivore soorten in de zoute delen die beter worden gevangen met de fuiken en die zich eerder zullen voeden met benthos dan met plankton (i.e. primaire productie) en daardoor een minder directe link met primaire productie zullen vertonen. De trends in benthivore soorten per zone lijken niet in lijn te liggen met de trends in beschikbare benthosbiomassa.

De daling in de fuikbiomassa van de diadrome soorten in de Zeeschelde is voornamelijk het gevolg van een daling in de biomassa paling (alle bemonsterde zones) en bot (saliniteitsgradient). De palingpopulatie is globaal sterk gereduceerd door habitatverlies, barrières, overbevisning, exotische pathogenen en vervuiling (Belpaire *et al.*, 2020; Bourillon *et al.*, n.d.; Van Wichelen & Belpaire, 2018). Ondanks het feit dat de achteruitgang van paling verschillende globale redens heeft, wordt toch gesteld dat de "bijdrage van de uit Vlaanderen wegtrekkende zilverpaling tot het herstel van de populatie zeer ondermaats is" (Belpaire *et al.*, 2020).

Voor ankerkuil is de sterke daling voornamelijk het gevolg van een daling in spieringbiomassa. Deze daling in spieringbiomassa wordt verder bediscussieerd bij de bespreking van de sleutelsoorten.

5.7.1.2. Westerschelde

Observatie en evaluatie

De boomkorbiomassa is gedaald in de mesohaliene zone en sterk polyhaliene zone en gestegen in de zwak polyhaliene zone. In de mesohaliene zone dalen zowel de boomkorbiomassa van diadrome soorten (voornamelijk bot) als van de estuarien residente soorten en mariene migranten (voornamelijk tong). Omdat bot en tong de boomkorvangsten domineren en deze soorten respectievelijk worden beschouwd als omnivoor en benthivoor respectievelijk, zien we gelijkaardige dalingen in omnivore en benthivore soorten. Omwille van de daling van alle functionele groepen in de mesohaliene zone wordt de trend voor deze zone als negatief geëvalueerd. In de zwak polyhaliene en sterk polyhaliene zone zijn de trends in functionele groepen minder duidelijk. In deze zones lijken omnivore soorten toe te nemen. Voor de sterk polyhaliene zone is er een daling van de benthivore soorten. Doordat in de zwak polyhaliene zone de visbiomassa van de functionele groepen stijgt of constant blijft en in de sterk polyhaliene zone de veranderingen minimaal zijn, worden de trends als positief geëvalueerd voor beide zones. Door de negatieve beoordeling van de mesohaliene zone wordt voor de **Westerschelde de parameter biomassa van de functionele groepen negatief geëvalueerd** (Tabel 8).

Van de ankerkuilvangsten in de Westerschelde zijn er enkel aantallen en geen biomassa voorhanden. Deze ankerkuilaantallen worden periodiek gedomineerd door grote vangsten van haring (EM). Deze vangsten zijn echter in de laatste jaren sterk gedaald. In jaren waar de vangst van haring beperkt is zien we voornamelijk kleine zeenaald, sprout en spiering. De biomassa diadrome soorten is beperkt en wordt gedomineerd door spiering.

Verklaring

De Westerschelde vervult een belangrijke rol als kinderkamer of opgroei gebied voor verschillende zeevissen zoals zeebaars, tong, horsmakreel, zeedonderpad, harnasmannetje, bot en pollak (Hostens, 2003). Voornamelijk het ondiepe areaal wordt gebruikt als foerageerplaats en kraam- en kinderkamer omdat deze moeilijker te bereiken is door grotere predatoren (Hostens, 2003). De vastgestelde toename van het laagdynamisch litoraal, die voornamelijk in de zwak polyhaliene zone substantieel is, brengt een lagere stroomsnelheid met zich mee wat een betere habitat betekent voor opgroeiende vissen (Cozzoli *et al.*, 2017). Dit is een mogelijke verklaring voor de toename van estuarien residente soorten en mariene migranten in de zwak polyhaliene zone. De stijging van de benthivore zwartbekgrondel en de competitie is geopperd als een mogelijke verklaring voor de daling in inheemse benthivore soorten (Van Rijssel *et al.*, 2022). Echter zou verwacht worden dat deze shift in soorten de totale biomassa benthivore soorten niet per se beïnvloed. Wat de oorzaak is van de daling in totale biomassa en de daling in biomassa van de afzonderlijke functionele groepen in de mesohaliene zone is niet duidelijk.

5.7.2. Sleutelsoorten

Definitie

De keuze van de sleutelsoorten is tot stand gekomen door het beschouwen van juridische (status), ecologische en methodologische criteria en de relevantie voor het begrijpen van het ecologisch functioneren (verhaallijnen). De trends in de sleutelsoorten mogen voor een positieve beoordeling niet dalen en worden per Scheldezone (niveau 3) beoordeeld.

Observatie en evaluatie

De adulte anadrome spiering foerageert voornamelijk in de Noordzee en migreert stroomopwaarts in het voorjaar om te paaien. De nakomelingen blijven achter in het zoet- en brak water om op te groeien terwijl de adulten terug naar zee trekken (J. Breine *et al.*, 2015). Ondanks het feit dat spiering (*Osmerus eperlanus*) nog steeds de dominante soort is in de ankerkuilvangsten van de Zeeschelde, zien we voor zowel fuik, boomkor en ankerkuil een daling van de soort in zowel Zeeschelde als Westerschelde tov de periode 2010-2015. Dit staat in sterk contrast met het resultaat van de vorige rapportage waar een algemene stijging werd geobserveerd van de soort. Spiering heeft een hoge zuurstofvereiste en wordt daarom dikwijls als een indicator voor waterkwaliteit beschouwd (J. J. Breine *et al.*, 2007). De zuurstofhuishouding in de Zeeschelde lijkt echter net te verbeteren en bovendien is er een opkomst van de fint die eveneens gevoelig is voor te lage zuurstofconcentraties. De afname van de spiering is waarschijnlijk het gevolg van een lagere voedselbeschikbaarheid en competitie met andere soorten, maar kan ook het gevolg zijn van lokale langdurige dalen in zuurstofconcentraties die uitgemiddeld worden en daarom moeilijk te detecteren zijn of ongekende populatiedynamieken.

Fint (*Alosa fallax*), een pelagische soort indicatief voor goede zuurstofhuishouding, kent over het algemeen een sterk stijging in ankerkuilbiomassa doorheen het Schelde estuarium.

Paling (*Anguilla anguilla*), de dominante soort in de zoete zones en oligohaliene zones, in termen van fuikbiomassa, neemt in sommige zones toe (e.g. *Zoet zijrivier* en *Zoet kort verblijf*) en af in andere zones (*Zoet lang verblijf* en *oligohalien*). Een zelfde, spatiaal grillig, patroon doet zich voor in de

Westerschelde. Wel kan algemeen gesteld worden dat de biomassa van de soort afneemt doorheen het estuarium.

Haring, schol, wijting, zeebaars en bot zijn typische kinderkamersoorten van de Westerschelde. Haring, zeebaars is toegenomen in alle zones, schol is afgenomen in alle zones, wijting is toegenomen in de mesohaliene en sterk polyhaliene zone, maar afgenomen in de zwak polyhaliene zone. Bot vertoont een daling in de mesohaliene en zwak polyhaliene zone, en een stijging in de sterk polyhaliene zone. Door de verschillende trends is het op basis van deze soorten niet eenduidig om de kinderkamerfunctie van de Westerschelde te evalueren.

5.7.3. Diversiteit

Definitie

Per bemonsteringsmethode worden de trends in Shannon-index (op basis van de jaargemiddelde aantallen) van de verschillende functionele groepen geanalyseerd. De Shannon-index (op basis van de jaargemiddelde aantallen) mag voor een positieve beoordeling niet dalen en wordt in elke Scheldezone (niveau 3) beoordeeld t.o.v. de voorgaande T-periode (hier T2015). Wanneer relevant voor de context en de verhaallijn (zie verder), wordt ook de diversiteit in biomassa besproken.

Observatie en evaluatie

Shannon diversiteit in fuikaantallen en fuikbiomassa neemt in de meeste zones van de Zeeschelde toe. De sterke daling in de diversiteit in biomassa in de zoete zijrivieren is vooral te wijten aan het beperkte aantal staalnames (i.e. weinig representatief) en de dominantie van paling in de beschikbare stalen. Shannon diversiteit in ankerkuilaantallen en ankerkuilbiomassa neemt toe in de Zeeschelde voor alle bemonsterde locaties (i.e. *Zoet lang verblijf*, *oligohalien* en *saliniteitsgradient*). Deze toename in diversiteit is waarschijnlijk het gevolg van de dalende spieringbiomassa en aantallen waardoor het relatief aandeel van andere soorten toeneemt. Deze overwegend positieve trend in diversiteit betekent een **positieve evaluatie van de diversiteit in de Zeeschelde** (Tabel 8).

In de Westerschelde neemt de diversiteit in boomkoraantallen af in alle zones terwijl de diversiteit in boomkorbiomassa toeneemt in de mesohaliene zone en afneemt in de zwak en sterk polyhaliene zones. Dit is voornamelijk het gevolg van veranderingen in de biomassa van de drie dominant gevangen soorten, zeebaars, bot en tong. De ankerkuilaantallen (ankerkuilbiomassa niet voorhanden) vertonen een tegengesteld patroon, waarbij vooral veranderingen in aantallen sprot en Clupeidae aan de basis liggen. Deze overwegend negatieve trend in diversiteit betekent een **negatieve evaluatie van de diversiteit in de Westerschelde** (Tabel 8).

Verklaring

De toename in diversiteit in de Zeeschelde is hoogst waarschijnlijk het gevolg van de verbeterde omgevingscondities, die een bredere range aan soorten toelaten, en de daling van de primaire productie, die competitieve soorten minder kansen geven ten voordele van minder competitieve soorten. Ondanks het feit dat de diversiteit in de Noordzee toeneemt sinds 1990 (Jones *et al.*, 2023), lijkt deze af voornamelijk af te nemen in de Westerschelde (met uitzondering van de mesohaliene zone waar de diversiteit stabiel blijft).

5.7.4. Verhaallijn Vissen

Definitie

Vissen spelen een cruciale rol binnen het voedselweb van het Schelde-estuarium en worden gekenmerkt door een sterke diversiteit (Adriaenssens *et al.*, 2002; Calle *et al.*, 2020; RWS, 2007). Het aanbod aan

vis in het estuarium bepaalt mede de draagkracht van het estuarium voor soorten uit de Habitatrichtlijn (bijv. de gewone zeehond en de bruinvis) en uit de Vogelrichtlijn (bijv. zwartkopmeeuw, grote stern, visdief, dwergstern en fuut) (LNV, 2006).

Het estuarium is een complex getij-gedreven systeem met belangrijke longitudinale, transversale, seizoenale en dagelijkse variaties in omgevingscondities, waarbinnen visgemeenschappen leven. Verschillen in habitatvereisten, gedrag, voedings- en reproductievereisten tussen vissoorten en binnen vissoorten (o.a. doorheen de levenscyclus) zijn dan ook zeer uitgesproken, en gaan gepaard met spatiotemporele variaties in aanwezigheden over meerdere spatiale en temporele schalen. Het linken van trends in diversiteit en biomassa van de verschillende functionele groepen en sleutelsoorten aan trends in omgevingscondities en andere gemeenschappen blijft daarom dikwijls onzeker.

De biomassa en diversiteit van de visgemeenschap worden in meer of mindere mate beïnvloedt door verschillende biotische en abiotische factoren, waaronder de waterkwaliteit (abiotische sturing, e.g. opgeloste zuurstof en zoutgehalte), voedselaanbod (energie-input, e.g. plankton en benthos) en antropogene en biotische interacties (e.g. predatie en verontreiniging) (Figuur 5-40).

Observaties

Een brede range in trends van de biomassa van de functionele groepen in de Zeeschelde werd geobserveerd. Een eenduidige verklaring voor de trends per functionele groep kon niet gevonden worden. Ondanks de lichte stijging van zoetwatersoorten in de Zeeschelde wordt door de overwegend negatieve trend van diadrome soorten deze parameter als negatief geëvalueerd. Diversiteit daarentegen wordt positief geëvalueerd door de voornamelijk stijgende trend in Shannon diversiteit in de Zeeschelde. Zowel biomassa van de functionele groepen als diversiteit worden negatief geëvalueerd voor de Westerschelde. De trend van sleutelsoorten is zone-specifiek.

Verklaring

De Westerschelde speelt een belangrijke rol als kinderkamer/kraamkamer. Vooral het aandeel laagdynamisch litoraal is daarbij belangrijk doordat de lage stroomsnelheid en geringe diepte opgroeiende soorten beschermen van de sterke dynamiek van het systeem en predatoren respectievelijk. De toename in laagdynamisch litoraal is voornamelijk terug te vinden in de zwak polyhaliene zone en is een mogelijke verklaring voor de geobserveerde toename van estuarien residente soorten en mariene migranten. De typische kinderkamersoorten van de Westerschelde zoals bot, zeebaars en wijting vertonen echter verschillende trends wat het moeilijk maakt om de al dan niet verbetering van de kinderkamerfunctie van de Westerschelde te bevestigen. In de Zeeschelde vervult het intertidaal gebied een belangrijke rol als kraamkamer (Van Braeckel A *et al.*, 2020). De stijging van het intertidaal gebied kan een mogelijke verklaring zijn voor de toename in zoetwatervissen.

Opgeloste zuurstof is belangrijk voor estuarine visgemeenschappen (Araujo *et al.*, 1999). Tot op zekere hoogte kunnen vissen hypoxie ontwijken, maar niet alle soorten zijn daar even succesvol in (bijv. bot). Wanneer gehele zones een lage zuurstofconcentratie kennen, zullen de residente soorten niet meer aan een zuurstoftekort kunnen ontkomen. Voor trekvisserij betekent een zone met hypoxie een barrière op hun trekroute, waardoor hun voortplanting in gedrang komt (Gray *et al.*, 2002). In het Schelde-estuarium komen meerdere gevoelige soorten voor, waaronder fint, spiering en bot (Maes *et al.*, 2005, 2007, 2008). De zuurstofhuishouding is verbeterd in het estuarium wat de opkomst van de fint verklaart. Spiering en bot zijn echter achteruit gegaan in het systeem wat waarschijnlijk het gevolg is van een lagere voedselbeschikbaarheid en competitie met andere soorten (i.e. stijgende diversiteit van het systeem).

Watertemperatuur is van direct belang voor vissen door de inwerking op het metabolisme, maar watertemperatuur heeft ook een belangrijk indirect effect doordat het de zuurstofconcentratie beïnvloedt. Ondanks de algemene stijging van de temperatuur en de negatieve evaluatie, voornamelijk

voor de Zeeschelde, blijkt de zuurstofhuishouding te verbeteren en is de geobserveerde temperatuurstijging wellicht geen probleem voor de vissen momenteel (ISC CIE, 2022).

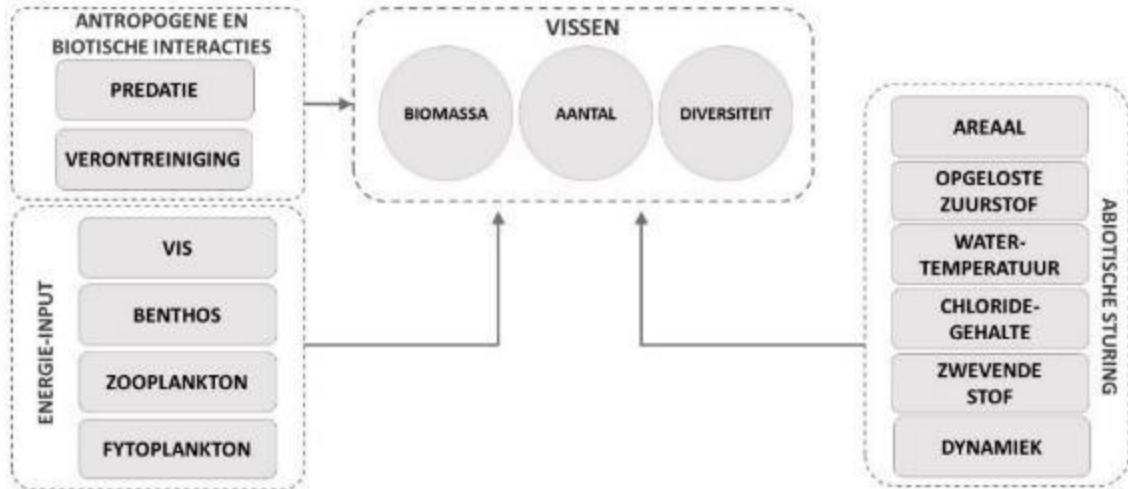
Door de geobserveerde verzilting van het estuarium en vooral de bijzonder hoge waarden in de zoete zijrivieren zou men verwachten dat er een verschuiving in gemeenschap optreedt met minder zoetwatersoorten en meer estuariene residente soorten en mariene migranten. Deze trend blijft echter uit wat doet vermoeden dat de stijging in saliniteit nog geen duidelijke effecten heeft op de visgemeenschap.

De hoeveelheid zwevende stof bepaald de troebelheid en het lichtklimaat en heeft daardoor een effect op de primaire productie. Meer zwevende stof betekent ook een gereduceerd doorzicht voor vissen. Doorzicht speelt vooral een belangrijke rol voor piscivore vissen (en hun prooivissen), gezien de zichtbaarheid mee de predatie bepaalt. Recent onderzoek toonde aan dat er meer algemeen bij de vissen diverse types stress en zelfs mortaliteit kunnen optreden, en reeds bij kleine veranderingen in doorzicht er belangrijke gedragsveranderingen kunnen optreden (Van Den Bergh *et al.*, 2018). In de Zeeschelde stijgt de hoeveelheid zwevende stof, terwijl deze in de Westerschelde vrij constant blijft. Vooral in de Zeeschelde lijkt de stijging in hoeveelheid zwevende stof een probleem. Baars is de belangrijkste piscivore vis in termen van fuikbiomassa en vertoont een duidelijke daling in alle zones van de Zeeschelde met uitzondering van de oligohaliene zone, wat een gevolg kan zijn van het gereduceerde doorzicht. Voor kinderkamersoorten in de Westerschelde betekent een gereduceerd doorzicht betere opgroeimogelijkheden omdat er minder energie besteed moet worden aan het ontwijken van predatoren en meer kan besteed worden aan foerageren (Maes *et al.*, 1998).

Seizoenale verschillen werden niet in rekening gebracht waardoor trends gemaskeerd kunnen worden. Eerdere studies gaven echter aan dat seizoenale variatie in functionele groepen eerder beperkt is voor het estuarium (J. J. Breine *et al.*, 2007).

Benthos speelt een cruciale rol in het voedselweb als prooi voor vissen en vogels. Er wordt dan ook verwacht dat een wijziging in het benthos zich zal vertalen in een wijziging in de gemeenschap van de predatoren van benthos. De trends in benthivore soorten per zone lijken echter niet in lijn te liggen met de trends in beschikbare benthosbiomassa. De overwegende daling van de primaire productie lijkt zich in de Zeeschelde niet te vertalen in een daling van de fuikbiomassa. De daling van de ankerkuilbiomassa, voornamelijk bepaald door spiering, kan echter wel het gevolg zijn van een daling van de primaire productie aangezien deze soort zich in de Zeeschelde voornamelijk voedt met plankton.

Omwille van het complexe geheel van mogelijke interacties gaat de verhaallijn voor de vissen gepaard met een grote onzekerheid.



Figuur 5-40: Schematische weergave van de verhaallijn Vissen. De drie responsvariabelen (Biomassa, Aantal en Diversiteit) worden beïnvloed door abiotische variabelen (i.e. abiotische sturing) en biotische variabelen (energie-input).

5.8. Toetsparameter Vogels

Estuaria zijn vanwege hun voedselrijkdom cruciale habitats voor doortrekkende en overwinterende eenden, ganzen en steltlopers. Daarnaast vormen estuaria door hun dynamiek ook het broedgebied van typische kustbroedvogels, die aangepast zijn aan het broeden in veelal hoogdynamische milieus, waar over het algemeen weinig grondpredatoren aanwezig zijn. Het Schelde-estuarium is een belangrijk gebied voor vogels, waar veel soorten een deel van het jaar of zelfs het hele jaar van afhankelijk zijn (Van der Winden *et al.*, 2017). Veel soorten in het Schelde-estuarium laten echter een afname zien, waarvan de onderliggende oorzaken soms lokaal (o.a. verstoring of verandering voedselaanbod) en soms extern zijn; o.a. effecten klimaatverandering waardoor trekvogels elders overwinteren (Hornman *et al.*, 2022). Vogels worden daarom gezien als belangrijke indicatoren voor het functioneren van een ecosysteem. Hierbij is het belangrijk om verder te kijken dan alleen naar lokale ontwikkelingen.

Voor broedvogels hebben de laatste decennia ook aanzienlijke veranderingen plaatsgevonden. Langs de Zeeschelde zijn Sigmagebieden gerealiseerd, waardoor de beschikbare oppervlakte estuariene milieus is toegenomen met daarin ook mogelijkheden voor diverse soorten broedvogels. Ook langs de Westerschelde hebben veranderingen plaatsgevonden zoals de realisatie van Waterdunen en de ontpoldering bij Perkpolder. Dit soort ingrepen heeft een grote invloed zijn op de beschikbaarheid van geschikte, dynamische milieus voor kustbroedvogels. Bij de interpretatie van de gegevens moet met dit soort ontwikkelingen rekening worden gehouden.

5.8.1. Sleutelsoorten broedvogels

Zeeschelde

Definitie

Voor de Zeeschelde zijn naast kluut en tureluur, die een duidelijke binding hebben met het estuariene deel van de Zeeschelde, een aantal minder zeldzame soorten als blauwborst, dodaars, rietzanger, slobend en zomertaling geselecteerd, die een duidelijke binding hebben met de moerasgebieden langs de estuariene delen van de Zeeschelde, die met name in de Sigmagebieden te vinden zijn. Daarnaast is ook de scholekster opgenomen, die een binding heeft met zowel het estuariene gebied als met de aanwezige graslandgebieden. De instandhoudingsdoelen voor deze soorten, genoemd in Van Ryckegem *et al.* (2020), zijn overgenomen. De inventarisatie van kluut en tureluur en vermoedelijk ook zomertaling is voldoende betrouwbaar. Voor de andere soorten is vooral de trend in de goed geïnventariseerde gebieden belangrijk, aangezien een gebiedsdekkende monitoring van de laatste soorten niet haalbaar is (mond. med. G. Van Ryckegem, INBO).

Westerschelde

Definitie

Het Natura 2000-gebied *Westerschelde & Saeftinghe* is aangewezen voor negen soorten broedvogels. Het betreft zeven soorten kustbroedvogels (bontbekplevier, dwergstern, grote stern, kluut, strandplevier, visdief en zwartkopmeeuw), die een Instandhoudingsdoelstelling (IHD) voor de gehele Delta hebben (regiodoel) en waarvoor minimale doelaantallen voor de Westerschelde zijn geformuleerd (Ministerie van I&M, 2016). Daarnaast is dit Natura 2000-gebied aangewezen voor de broedvogels bruine kiekendief en blauwborst, die meer in rietvelden op het brakke hoge schor voorkomen. Voor deze vogelsoorten zijn IHD's opgesteld (Ministerie van LNV, 2009).

Voor de instandhoudingsdoelen ten aanzien van kustbroedvogels in het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe geldt dat alleen vogels die broeden binnen de begrenzing van het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe moeten worden meegeteld (mond. med. D. Bal, Ministerie van LNV). Het natuurontwikkelingsgebied Waterdunen, dat binnendijks ligt en waar een gedempt zout getij aanwezig is, valt op dit moment buiten de begrenzing van het Natura 2000-gebied. Dit gebied is zeer aantrekkelijk voor kustbroedvogels en een groot deel van de dwergsterns en grote sterns, die oorspronkelijk op de Hooge Platen broedden, zijn hier vanaf 2021 tot broeden gekomen. Ook een deel van de visdieven is naar dit gebied uitgeweken. Aangezien voor deze sterns de Westerschelde + monding nog steeds het belangrijkste foerageergebied is, is nog steeds sprake van een functionele relatie met de Westerschelde, terwijl volgens de Natura 2000-definitie deze vogels niet bij het Natura 2000-gebied mogen worden gerekend.

Er vinden twee berekeningen plaats. Bij de eerste berekening wordt de begrenzing van het Natura 2000-gebied aangehouden (enge begrenzing), terwijl bij de tweede berekening ook de gebieden direct grenzend aan het Natura 2000-gebied worden meegenomen, waarvan de broedvogels in de Westerschelde foerageren (ruime begrenzing).

Beoordeling en ontwikkeling

Er is sprake van een positieve evaluatie wanneer door alle soorten broedvogels in drie van de zes jaren het IHD wordt bereikt. Wanneer twee of meer soorten in minder dan drie jaren de streefdoelen behalen, volgt een negatieve evaluatie. De beoordeling wordt uitgevoerd op niveau 2; de schaal van de Zeeschelde en van de Westerschelde. Daarnaast is er voor de Zeeschelde ook sprake van een positieve beoordeling voor een soort wanneer de aantallen niet worden gehaald, maar er wel een positieve trend is.

Tabel 5-9 geeft een overzicht van de ontwikkeling van de broedvogels met een IHD voor de Zeeschelde. Op basis van aantallen voldoet alleen de rietzanger aan zijn instandhoudingsdoel. Worden ook soorten met een positieve trend meegenomen dan voldoen ook blauwborst, dodaars en kluut .

Tabel 5-9: Overzicht van de aantallen broedvogels met een instandhoudingsdoel (IHD) voor de Zeeschelde in de periode 2016-2021. Tevens is aangegeven of op basis van het aantal broedparen (in drie van de zes jaren boven het IHD) de beoordeling positief (groen) of negatief (rood) is. Tevens is de trend aangegeven (= = stijgend, 0 = neutraal, - = is negatief). Ook soorten met een stijgende trend krijgen een positieve eindbeoordeling.

Soort	ihd	2016	2017	2018	2019	2020	2021	op basis aantal broedvogels	trend lange termijn	soort eindbeoordeling
Blauwborst	550	251	304	300	335	363	357		+	
Dodaars	50	53	41	47	42	42	58		+	
Kluut	350	193	186	8	43	140	150		+	
Rietzanger	170	146	198	198	279	337	399		+	
Scholekster	190	16	18	16	11	20	15		0	
Slobeend	150	42	45	46	39	31	32		-	
Tureluur	60	32	27	18	25	24	40		-	
Zomertaling	20	15	14	13	14	15	13		0	
Eindbeoordeling totaal										

Tabel 5-10 geeft voor de Westerschelde een overzicht van de aantallen broedparen van sleutelsoorten met een IHD (of minimum doelaantal). Van de blauwborst zijn onvoldoende gegevens beschikbaar en van de overige soorten voldoen alleen zwartkopmeeuw en bruine kiekendief aan hun IHD. Hierbij zijn alleen broedvogels binnen de enge begrenzing van het Natura 2000-gebied meegerekend, conform de

methodiek die Sovon Vogelonderzoek Nederland hanteert bij het samenstellen van de overzichten van broedvogels met een IHD in Natura 2000-gebieden.

Tabel 5-10: Vergelijking van de aantallen broedvogelsoorten binnen de enge begrenzing van het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe met de instandhoudingsdoelstellingen/minimum doelaantallen genoemd in het Beheerplan. Getallen tussen haakjes betreffen onvolledige tellingen. Groen = positieve evaluatie en rood = negatieve evaluatie. De aantallen zijn ontleend aan www.sovon.nl (Netwerk Ecologische Monitoring (Sovon, RWS, CBS, provincies)).

Soort	ihd	2016	2017	2018	2019	2020	2021	beoordeling
Blauwborst	450	?	[340]	?	?	?	?	
Bontbekplevier	28	14	19	8	9	5	7	
Bruine kiekendief	20	[23]	[28]	[23]	[26]	[26]	[24]	
Dwergstern	226	181	108	0	24	5	75	
Grote stern	3.866	2.472	2.045	2.151	2.650	3.450	110	
Kluut	203	198	200	104	194	92	98	
Strandplevier	23	19	14	9	24	19	12	
Visdief	1.410	854	652	680	408	555	636	
Zwartkopmeeuw	419	516	1.305	902	1.402	647	269	

Voor de kustbroedvogels geldt dat de IHD's in feite regiudoelstellingen zijn voor de gehele Delta (zeven deltawateren plus Markiezaat, Duinen Goeree & Kwade Hoek, Krammer-Volkerak en Zoommeer). Dit sluit aan bij het mobiele karakter van deze kustbroedvogelsoorten.

In 2022 is Waterdunen gereedgekomen. Dit gebied ligt direct ten zuiden van het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe. Waterdunen heeft een sterk aantrekkende werking op kustbroedvogels, maar ook al in de jaren ervoor maakten sommige kustbroedvogels al gebruik van het gebied, met name plevieren. Dwergstern en grote stern verhuisden grotendeels van de Hooge Platen naar Waterdunen, waardoor ze als broedvogel buiten de begrenzing van het Natura 2000-gebied vielen. Ook zwartkopmeeuw en visdief verhuisden deels naar Waterdunen (Tabel 5-11). Tabel 5-12 geeft de aantallen kustbroedvogels binnen de ruime begrenzing van het Natura 2000-gebied. Zowel kluut als strandplevier voldoen dan aan het minimum doelaantal, terwijl dit voor bontbekplevier en grote stern voor een enkel jaar geldt. Voor de meeste soorten kustbroedvogels is dan sprake van stabiele aantallen of zelfs van een toename.

Tabel 5-11: Overzicht van het aantal broedparen kustbroedvogels binnen de begrenzing van het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe en in Waterdunen in 2021 (Lilipaly & Sluijter, 2022).

Soort	Westerschelde	Waterdunen	Soort	Westerschelde	Waterdunen
Bontbekplevier	7	2	Strandplevier	12	3
Dwergstern	75	141	Visdief	636	263
Grote stern	110	4.850	Zwartkopmeeuw	269	3.190
Kluut	98	29			

Tabel 5-12: Vergelijking van de aantallen kustbroedvogelsoorten binnen de ruime begrenzing van het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe met de instandhoudingsdoelstellingen/minimum doelaantallen genoemd in het Beheerplan. Groen = positieve evaluatie en rood = negatieve evaluatie. De ruime begrenzing omvat meer dan het Natura 2000-gebied en Waterdunen, zodat de aantallen voor enkele soorten hoger zijn dan de in tabel 7-7 genoemde aantallen.

		Natura 2000 ruime begrenzing						
Soort	ihd	2016	2017	2018	2019	2020	2021	beoordeling
Bontbekplevier	28	23	28	16	18	17	17	rood
Dwergstern	226	182	108	48	34	100	216	
Grote stern	3.866	2.472	2.045	2.151	2.650	3.465	4.960	
Kluut	203	272	286	291	300	265	310	groen
Strandplevier	23	24	24	23	30	29	18	
Visdief	1.410	1.099	1.199	1.382	1.052	1.039	1.239	rood
Zwartkopmeeuw	419	646	1.758	926	1.565	1.055	3.512	groen

Verklaring

Zeeschelde

De hoogste aantallen kluten werden vastgesteld in de periode 2012-2017 (bijna 200 territoria), maar in 2018 en 2019 lagen de aantallen flink lager doordat de vos het gebied binnentrok. Door het plaatsen van vossenrasters in het belangrijkste broedgebied (het Noordelijk gebied) broedt nu meer 85% van de 150 broedparen weer in de natuurgebieden in de haven van Antwerpen (Noordelijk gebied en Potpolder Lilo). Er broeden ook kleine aantallen in de polders van Kruibeke, Noordelijk eiland en de Paardeweide. Ook de tureluurpopulatie kende een piek in 2010-2012 en dan met name in het Noordelijk gebied. Vervolgens namen ook van deze soort de aantallen sterk af, maar door het plaatsen van vossenrasters stegen de aantallen in 2021 weer tot 40 broedparen (Van Ryckegem *et al.*, 2022).

De overige soorten komen met name in de Sigmagebieden voor. De aantallen van de rietzanger stijgen nog steeds. Stroomopwaarts van Antwerpen neemt de soort nog steeds sterk toe, terwijl de aantallen in het Noordelijk gebied afnemen. De aantallen van de soort in de onderzochte Sigmagebieden zijn twee keer zo hoog als het IHD. De hier ontwikkelde moerasgebieden vormen zeer geschikt leefgebied voor de rietzanger. Dit geldt ook voor de andere moerasvogels. De aantallen van de blauwborst liggen wel lager in de onderzochte gebieden dan het IHD, maar wanneer alle gebieden volledig zouden worden, geïnventariseerd zou het doel min of meer bereikt worden. De aantallen van de dodaars liggen in de getelde gebieden ook onder het IHD, maar hiervoor geldt hetzelfde als voor de blauwborst (Van Ryckegem *et al.*, 2022).

De aantallen van de slobend zijn iets teruggelopen de laatste jaren, terwijl de zomertaling redelijk stabiel is. Vermoedelijk halen beide soorten ook niet hun instandhoudingsdoel als alle gebieden meegeteld worden. De scholekster laat de laatste jaren een verschuiving naar akkers in landbouwgebied zien. De soort zit ver onder zijn instandhoudingsdoel. De natuurontwikkelingsgebieden zullen hieraan dan ook nauwelijks een bijdrage leveren (Van Ryckegem *et al.*, 2022).

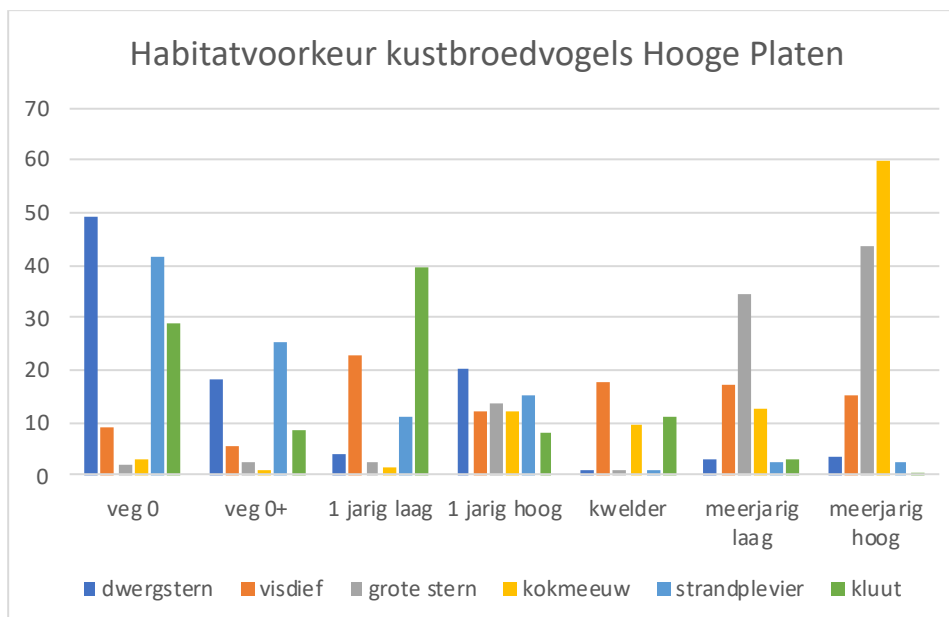
Westerschelde

Saeftinghe is voor de blauwborst verreweg het belangrijkste gebied. In 2004 werd een aantalspiek van 454 broedparen bereikt. De soort profiteerde enerzijds van het hoger en zoeter worden van het schor en de daarmee gepaarde uitbreiding van rietvegetaties, maar anderzijds van de graas- en graafactiviteiten van grauwe ganzen, waardoor een mozaïek van slikveldjes ontstond, waarvan de op de bodem foeragerende blauwborsten profiteerden. Met het instorten van de grauwe ganspopulatie op

Saeftinghe verdwenen deze plekjes. Hierdoor liggen de aantallen tegenwoordig aanzienlijk lager dan in 2004 (Meininger, 2022).

Ook voor de bruine kiekendief is Saeftinghe verreweg het belangrijkste gebied. De aantallen liggen hier over het algemeen boven het instandhoudingsdoel. Twintig jaar geleden broedden bruine kiekendieven nog verspreid over het gehele gebied, waarbij veel werd gebroed in zeebiesveldjes. Vanaf 2014 wordt er met name gebroed in de rietvelden in het noordoostelijke delen van Saeftinghe. Vermoedelijk zijn de vogels door de opkomst van de vos naar dit deel uitgeweken (Van Kerkhoven, 2019).

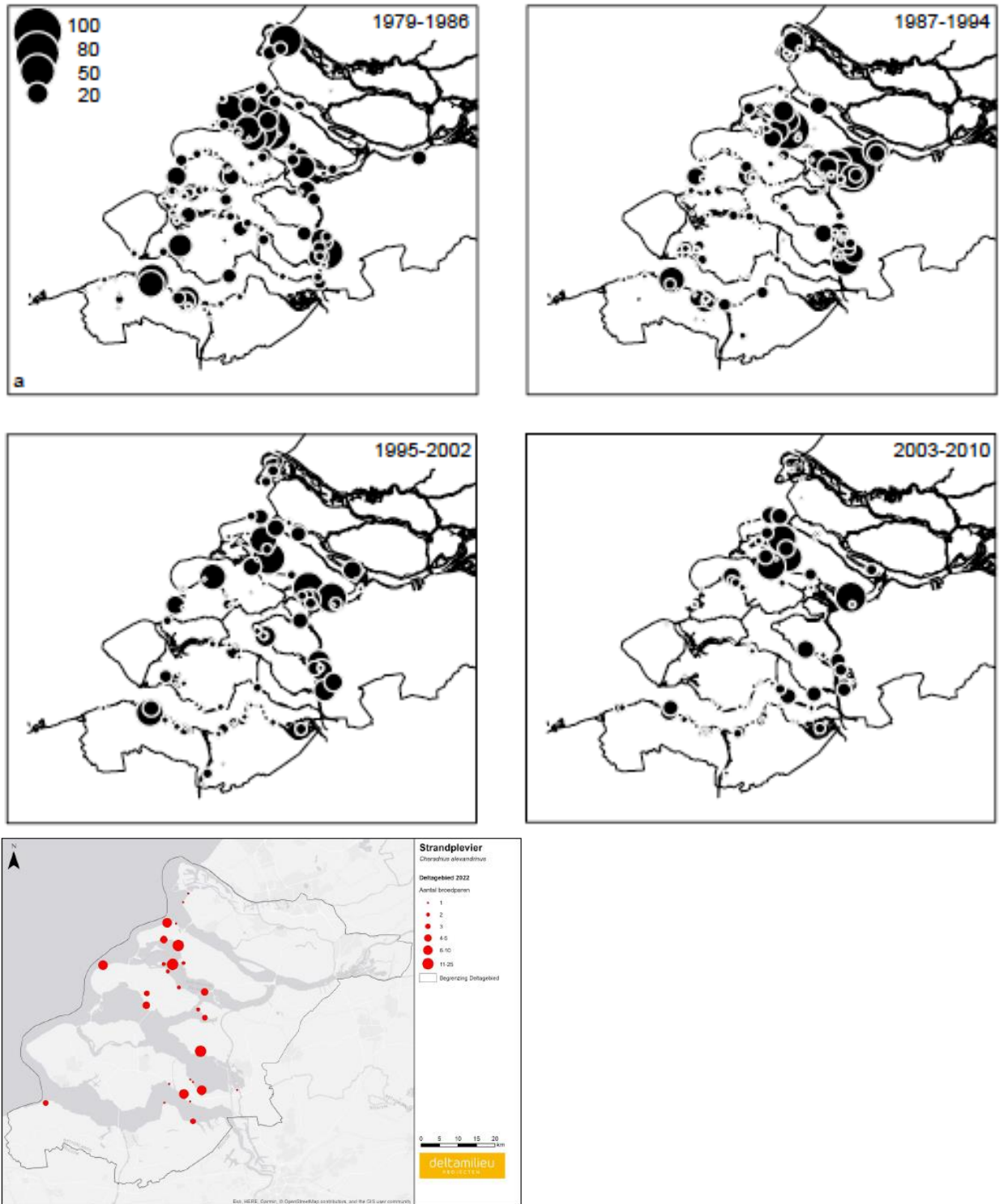
De kustbroedvogels zijn veelal gebonden aan pioniersstadia, waarbij soorten duidelijk verschillen in broedplaatskeuze in relatie tot de vegetatie-ontwikkeling (Figuur 5-41). Zo broedt de dwergstern op vrijwel onbegroeide bodems, terwijl grote sterns vaak in meerjarige vegetaties broeden. De kluut gebruikt een brede range. De zwartkopmeeuw kiest hetzelfde habitat als de kokmeeuw (Beijersbergen, 2016).



Figuur 5-41: Habitatkeuze (in %) van kustbroedvogels op de Hooge Platen in de periode 1990-2015 (naar Beijersbergen 2016). 0 = <4% vegetatie, 0+ = 4-9% vegetatie, 1-jarig laag = schorrekruid, 1-jarig hoog = zeeraket, loogkruid, strandmelde of melganzevoet, meerjarig laag biestarwegras of zeepostelein, meerjarig hoog = strandkweek, zandhaver of helm, schor – schorvegetatie.

Gezien de voorkeur voor pioniersstadia maakt dit kustbroedvogels kwetsbaar voor vegetatiesuccessie. Gebieden zonder zout- of getijdendynamiek worden al na 3-4 jaar minder geschikt voor kustbroedvogels als dwergstern, strandplevier en visdief. Zoute getijdengebieden blijven veel langer geschikt voor kustbroedvogels (Meininger & Graveland 2002). Daarnaast vormt recreatie een belangrijke drukfactor.

Bontbekplevier en strandplevier gebruiken de zeedijken met het aangrenzende slik als broedgebied. De bontbekplevier zit vooral langs de noordzijde van de Westerschelde van Sloehaven tot aan Hansweert, terwijl de strandplevier vooral in het oostelijke deel van de Westerschelde voorkomt; vanaf Hansweert en de Kop van Ossensisse oostwaarts langs de dijken (Janse *et al.*, 2023). Een belangrijke drukfactor is hier recreatie. In het verleden kwam de strandplevier langs dijken van de gehele Westerschelde voor, maar tegenwoordig is het voorkomen beperkt tot het oosten van de Westerschelde (Figuur 5-42).



Figuur 5-42: Ontwikkeling van de verspreiding van de broedparen van de strandplevier langs de Westerschelde. De bovenste figuur is ontleend aan Strucker et al. (2011) en het onderste figuur aan Lilipaly & Sluiter (2023)

Tijdens de dijkverbeteringswerken in het eerste decennium van deze eeuw zijn buitendijkse onderhoudswegen aangelegd, die vervolgens voor het grootste deel zijn opengesteld voor recreatief

gebruik, waardoor recreanten vlak langs de nesten fietsen en wandelen. Hierdoor zijn vermoedelijk langs de zuidoever van de Westerschelde alle broedende bontbekplevieren verdwenen en ook de strandplevier is hier achteruit gegaan. Wel lijkt actieve bescherming van nesten van plevieren langs zeedijken door zonering en afsluiting positieve resultaten op te kunnen leveren (Arts *et al.*, 2022).

Voor de kluut zijn vooral binnendijkse broedgebieden van belang. Het broedsucces is hier, net als in de rest van de Delta, relatief laag. De populatie in het Zuidwestelijk Deltagebied wordt waarschijnlijk in stand gehouden door immigratie van elders (Scheckerman *et al.*, 2021). Ook voor visdief en grote stern geldt dat in de periode 2010-2019 de reproductie in de Westerschelde relatief laag was in vergelijking met die in andere delen van het Deltagebied (Scheckerman *et al.*, 2021).

De Bol op de Hooge Platen was een belangrijk broedgebied voor de meeste soorten kustbroedvogels, zoals strandplevier, dwergstern, visdief, grote stern en zwartkopmeeuw. Door erosie aan de zuidwestzijde van de Hooge Platen verdwijnt de broedplek van de dwergsterns hier geleidelijk (Arts *et al.*, 2022). Met de realisatie van Waterdunen is een nieuw binnendijks broedgebied met gedempt getij ontstaan voor kustbroedvogels, zoals dwergstern, grote stern, visdief maar ook voor kluut en plevieren. Dit soort gebieden kan een belangrijke bijdrage aan de regiodoelen van kustbroedvogels in het Deltagebied leveren (zie Tabel 5-11 en Tabel 5-12). Formeel worden in het kader van Natura 2000 broedvogels met een IHD buiten de begrenzing van het Natura 2000-gebied niet meegenomen. Hierdoor kunnen de aantallen kustbroedvogels die jaarlijks door Sovon Vogelonderzoek Nederland (Sovon) en Deltamilieu Projecten (DMP) voor de Westerschelde worden gerapporteerd aanzienlijk verschillen. DMP rekent Waterdunen tot de broedgebieden in de Voordelta, terwijl Sovon de begrenzing van het Natura 2000-gebied aanhoudt. Voor soorten als dwergstern, visdief, grote stern, die niet in het broedgebied zelf foerageren, blijft de foerageerfunctie van de Westerschelde voor deze soorten intact. Aangezien het om regiodoelen voor het Deltagebied gaat verdient het aanbeveling om dit soort gebieden, die buiten de begrenzing van een Natura 2000-gebied liggen, toch te betrekken bij de evaluatie van het desbetreffende Natura 2000-gebied. Tabel 5-12 laat zien dat inclusief Waterdunen de meeste kustbroedvogels een stabiele of zelfs positieve trend hebben. Daarnaast is het belangrijk dat kustbroedvogels een voldoende hoog reproductiesucces hebben om de plaatselijke populatie in stand te houden en niet afhankelijk te zijn van immigratie uit gebieden elders. In 2021 was in Waterdunen de reproductie over het algemeen beter was dan op de Hooge Platen (Tabel 5-13). Op de Hooge Platen broeden ook predatoren als kleine mantelmeeuwen en zilvermeeuwen, terwijl deze soorten in Waterdunen ontbreken (Lilipaly & Sluijter, 2022).

Tabel 5-13: Broedsucces en aantallen van kustbroedvogels in Waterdunen en op de Hooge Platen in 2021. Bron: Lilipaly *et al.* (2021).

Soort	Waterdunen		Hooge Platen	
	Aantal broedparen	broedsucces	Aantal broedparen	broedsucces
Visdief	263	0,53	450	0,40
Dwergstern	141	0,57	75	0,30
Grote stern	4.850	0,94	110	0,60
Zwartkopmeeuw	3.190	1,80	253	0
Kluut	29	0	4	0
Strandplevier	3	0	-	-

Voor de Westerschelde heeft de realisatie van Waterdunen een positief effect op de aantallen kustbroedvogels in en bij de Westerschelde. Daarnaast werpen ook beschermingsmaatregelen voor plevieren langs dijken in de vorm van zonering, plaatsen van rasters en educatie plaatselijk hun vruchten af, maar deze laatste maatregelen zijn mogelijk onvoldoende om het negatieve effect van het openstellen van de buitendijkse onderhoudswegen voor recreatie volledig te compenseren.

5.8.2. Niet-broedvogels

Definitie

Zeeschelde

Voor de estuariene gebieden van de Zeeschelde en zijrivieren (*Rupel, Durme, Dijle en Zenne*) zijn in het aanwijsbesluit IHD's geformuleerd voor niet-broedvogels. Deze zijn gebaseerd op gemiddelde aantallen in specifiek gedefinieerde perioden voor elke soort. In het aanwijsbesluit zelf worden geen aantallen genoemd. Deze rapportage beperkt zich tot pijlstaart, wintertaling, krakeend, tafeleend en bergeend. De andere soorten zijn kleine zwaan, slobbeend en kokmeeuw, maar deze soorten hebben een minder sterke connectie met de estuariene habitats (Van Ryckegem *et al.*, 2022). Door Van Ryckegem *et al.* (2022) zijn instandhoudingsdoelen op basis van het winterhalfjaargemiddelde berekend. Deze waarden worden ook voor de vijf sleutelsoorten in dit rapport gehanteerd.

Westerschelde

Het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe is aangewezen voor 31 niet-broedvogelsoorten. Hiervoor zijn IHD's opgesteld (Ministerie van LNV, 2009). De niet-broedvogels met een IHD zijn sleutelsoorten. Hiervoor zijn door Sovon via imputing gecorrigeerde gegevens op telvkniveau voor de gehele Westerschelde berekend, omdat niet alle telvakken maandelijks geteld worden. Op basis hiervan zijn per vogelsoort de seizoengemiddelden berekend.

Evaluatie

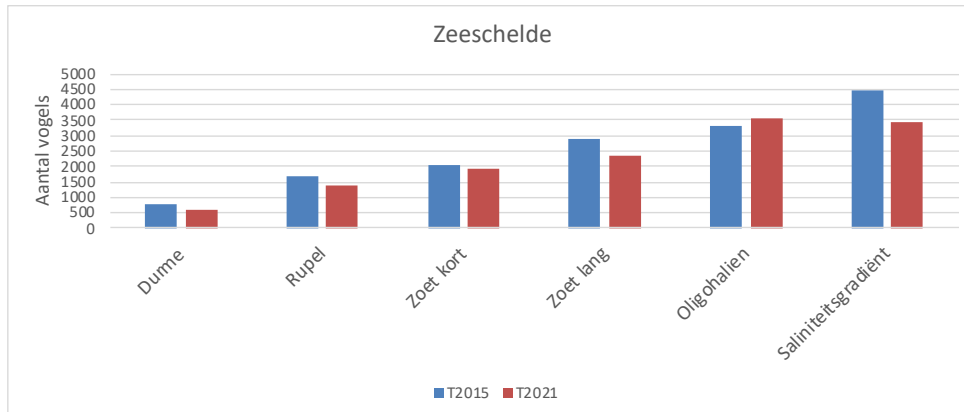
Conform de Evaluatiemethodiek dient voor een positieve evaluatie in de T2021 (seizoen 2015/2016 – 2020/2021) de aantallen van een soort in drie van de zes te evalueren seizoenen te voldoen aan het IHD. Voor een positieve evaluatie van alle niet-broedvogels mogen maximaal twee soorten een negatieve evaluatie hebben. In de Zeeschelde moeten alle soorten een positieve evaluatie hebben.

Ontwikkeling en beoordeling

De soorten met een IHD voor de Zeeschelde hebben alle een vergelijkbare aantalsontwikkeling. Vanaf 1990 is er een sterke toename tot rond 2000, waarna de aantallen stabiel blijven tot 2005, waarna de aantallen weer sterk afnemen. De tafeleend verdwijnt vrijwel geheel uit het gebied, de aantallen van de krakeend worden gehalveerd en de aantallen van bergeend, pijlstaart en wintertaling worden tot een kwart of minder teruggebracht (zie figuren in het Analyserapport). Geen enkele soort komt in de T2021 in de buurt van zijn IHD (Tabel 5-14). Gedurende de T2015 bedroeg het wintergemiddelde aantal van alle vogels in Zeeschelde 15.200 en in de T2021 is dit afgenomen tot gemiddeld 13.286 vogels. In alle zones is het aantal vogels teruggelopen behalve in het *Oligohalien* (Figuur 5-43).

Tabel 5-14: Overzicht van het winterhalfjaargemiddelde van de niet-broedvogelsoorten met een instandhoudingsdoel (IHD) voor de Zeeschelde. Rood = negatieve beoordeling, groen = positieve beoordeling.

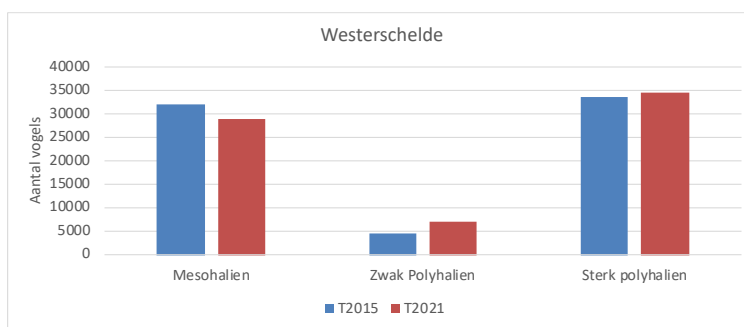
Soort	ihd	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	Beoordeling
Bergeend	1.272	474	398	442	418	322	251	
Krakeend	2.408	1.021	1.012	1.252	1.162	848	1.312	
Pijlstaart	487	83	68	111	105	50	88	
Tafeleend	3.864	13	4	8	9	13	17	
Wintertaling	14.584	2.598	2.667	2.443	2.337	2.112	2.077	



Figuur 5-43: Ontwikkeling van het winterhalfjaargemiddelde van alle vogelsoorten in de verschillende zones van de Zeeschelde.

De figuren van de aantalsontwikkeling van niet-broedvogelsoorten met een IHD voor de Westerschelde staan weergegeven in het Analyserapport. Tussen soorten bestaan grote verschillen. Een deel van de soorten is stabiel in de periode 1985-2021, terwijl andere soorten juist een toe- of afname laten zien. Tabel 5-15 geeft weer voor welke soorten niet-broedvogels het seizoengemiddelde minimaal in drie van de zes telseizoenen boven het IHD ligt. Veertien soorten zitten er boven en 17 soorten er beneden.

In de Westerschelde zijn de aantallen vogels in de T2015 en T2021 vrijwel vergelijkbaar; 70.179 versus 70.484. Op zone-niveau zijn er wel verschillen. In het *Mesohalieren* zijn de vogelaantallen ongeveer 10% achteruitgegaan. Het *Zwak polyhalieren* laat een stijging zien van 50%, terwijl de aantallen in het *Sterk polyhalieren* 3% zijn toegenomen (Figuur 5-44). De aantallen vogels in Figuur 5-43 en Figuur 5-44 kunnen niet met elkaar vergeleken worden, enerzijds omdat de oppervlakte van de zones in de Westerschelde groter is dan in de Zeeschelde en anderzijds omdat in de Zeeschelde het winterhalfjaargemiddelde (oktober-maart) wordt gehanteerd en in de Westerschelde het seizoengemiddelde (juli-juni). Voor beide gebieden geldt dat de aantallen vogels in het winterhalfjaar hoger zijn dan het seizoengemiddelde (Zeeschelde: zie Van Ryckegem *et al.*, 2017; Westerschelde: zie Arts *et al.*, 2014).

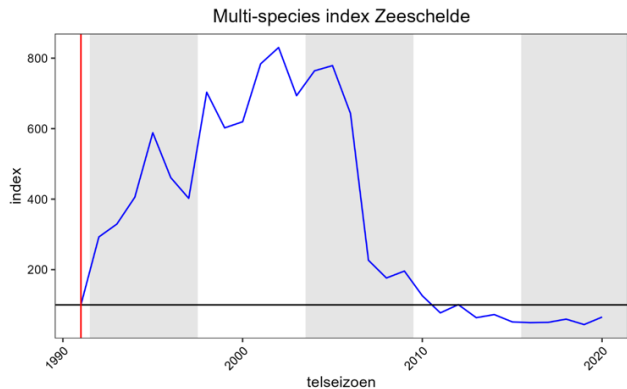


Figuur 5-44: Het seizoengemiddelde van alle vogelsoorten in de verschillende zones van de Westerschelde tijdens de T2015 en T2021.

De verwachting is dat vogelsoorten, die dezelfde voedselbronnen benutten, een vergelijkbare ontwikkeling zullen vertonen, zoals ook de verschillende eendensoorten lieten zien in de Zeeschelde, die vooral op Oligochaeten foerageerden. Al deze soorten worden tot de omnivoren gerekend. Voor de berekening wordt de multispeciesindex (MSI) gebruikt (Figuur 5-45), waarbij de index van het startjaar 1991 op 100% is gesteld. Het verloop van de MSI voor de Zeeschelde komt goed overeen met de index van de individuele soorten, zie het Analyserapport.

Tabel 5-15: Overzicht van het seizoengemiddelde van niet-broedvogelsoorten met een instandhoudingsdoel (IHD) voor de Westerschelde in de periode 2015/16 -2020/21. Er is sprake van een positieve beoordeling indien het seizoengemiddelde van een soort in drie van de zes seizoenen boven het IHD zit. Rood = negatieve beoordeling, groen = positieve beoordeling. De aantallen zijn ontleend aan www.sovon.nl (Netwerk Ecologische Monitoring (Sovon, RWS, CBS, provincies)).

Soort	ihd	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	beoordeling
Bergeend	4.500	7.573	7.733	8.456	11.708	9.115	6.862	groen
Bontbekplevier	430	255	429	357	276	352	353	rood
Bonte strandloper	15.100	6.630	10.584	12.564	11.829	10.586	16.772	rood
Drieteenstrandloper	1.000	619	1.164	1.415	1.271	976	1.350	groen
Fuut	100	52	52	41	77	52	52	rood
Goudplevier	1.600	180	207	144	114	111	197	rood
Grauwe gans	16.600	5.862	7.766	5.732	5.924	5.758	6.141	rood
Groenpootruiter	90	41	64	40	28	70	95	rood
Kanoet	600	257	1.476	896	1.163	888	1.154	groen
Kievit	4.100	2.649	1.358	1.421	1.034	1.527	1.083	rood
Kleine zilverreiger	40	79	85	57	46	45	66	groen
Kluut	540	393	586	543	626	451	393	rood
Kolgans	380	392	274	224	117	166	94	rood
Krakeend	40	63	69	92	68	103	145	groen
Lepelaar	30	170	162	208	219	165	208	rood
Middelste zaagbek	30	6	10	9	12	12	11	rood
Pijlstaart	1.400	811	796	1.062	1.419	588	673	rood
Rosse grutto	1.200	555	508	787	627	462	796	rood
Scholekster	7.500	6.445	6.503	6.904	7.587	9.964	8.818	groen
Slechtvalk	8	12	16	13	14	16	12	groen
Slobeend	70	180	156	145	85	158	143	rood
Smient	16.600	6.622	8.897	5.552	4.535	4.343	6.924	rood
Steenloper	230	132	212	242	187	222	241	rood
Strandplevier	80	8	4	5	4	12	8	rood
Tureluur	1.100	513	795	764	710	839	825	rood
Wilde eend	11.700	5.517	6.863	5.314	6.658	4.618	4.579	rood
Wintertaling	1.100	1.086	1.744	1.142	1.209	850	1.016	groen
Wulp	2.500	3.130	3.666	3.741	3.778	3.523	3.437	groen
Zeearend	2	3	2	1	2	1	2	groen
Zilverplevier	1.500	1.542	1.485	1.565	1.351	1.483	1.574	rood
Zwarte ruiter	270	85	58	38	46	58	70	rood

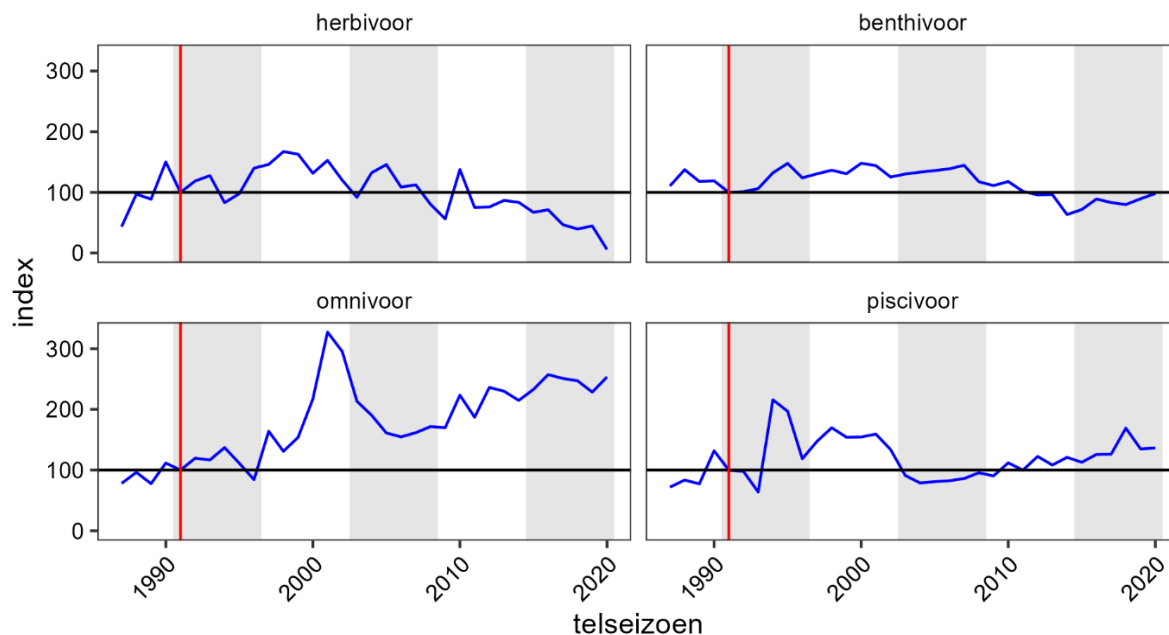


Figuur 5-45: De MSI berekend op basis van de indexwaarde van niet-broedvogelsoorten met een instandhoudingsdoel voor de Zeeschelde.

Voor de Westerschelde zijn vier voedselgroepen onderscheiden: herbivoren, bodemfauna-eters, omnivoren en viseters. Deze groepen laten een verschillend patroon zien (Figuur 5-46): een toename bij de omnivoren en viseters, en een afname bij de herbivoren en benthosetters. Bij de laatste groep trad na 2015 weer enig herstel op. Vermoedelijk liggen bij de voedselgroepen verschillende oorzaken aan de ontwikkeling ten grondslag.

Multi-species index per voedselgroep

Westerschelde



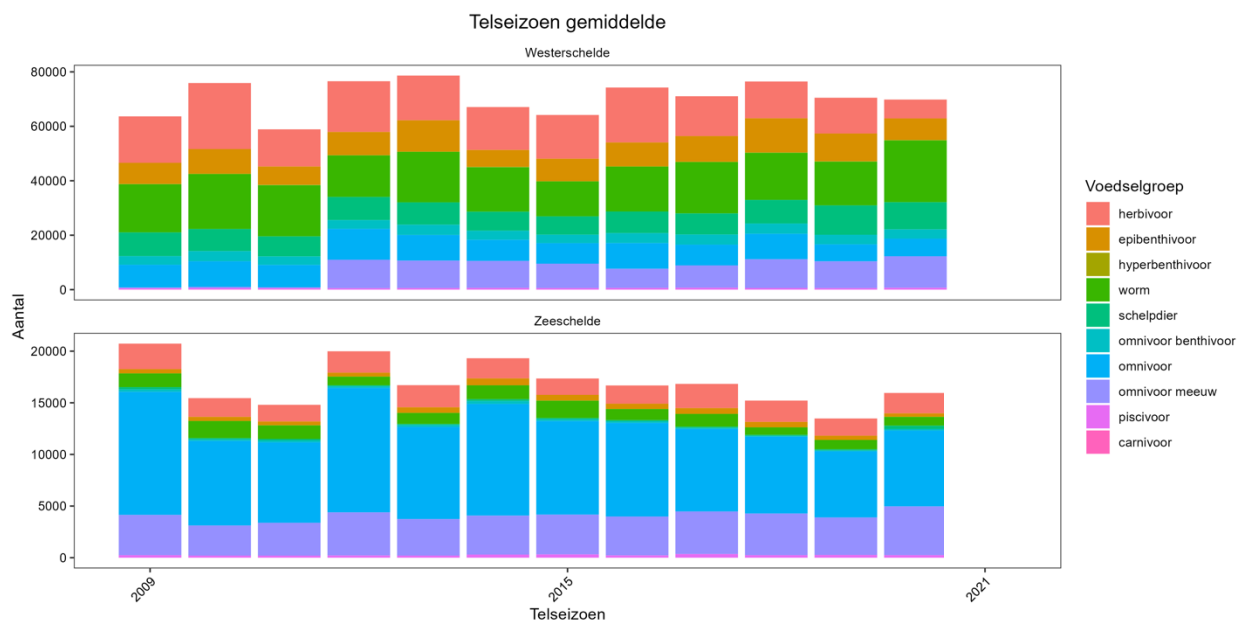
Figuur 5-46: De MSI berekend per voedselgroep op basis van de indexwaarde van niet-broedvogelsoorten met een instandhoudingsdoel voor de Westerschelde.

De indeling in vier groepen is vrij grof, maar er kan ook een meer gedetailleerde indeling worden gebruikt. Hierbij moet de nodige voorzichtigheid gehanteerd worden, omdat vogelsoorten ook gebruik kunnen maken van een voedselbron, die tijdelijk in hoge dichtheden aanwezig is. Duijns & Boudewijn (2020) lieten voor augustus 2020 zien dat verschillende steltlopersoorten en de bergeend meer garnalen

en krabben aten dan verwacht. Dit hing vermoedelijk samen met een tijdelijk groot aanbod van deze prooi-soorten. Voor de gedetailleerde indeling van vogels en hun voedselgroep zie Bijlage D-1. Als hoofd-indeling is gebruikt:

- Herbivoren: voedsel bestaat uit plantaardig materiaal; bijvoorbeeld ganzen en smient;
- Omnivoren: voedsel bestaat uit dierlijk en plantaardig materiaal: slik gebonden eenden;
- Wormeters: voedsel bestaat uit wormen; steltlopersoorten als zilverplevier en bonte strandloper;
- Schelpdiereters: voedsel bestaat uit schelpdieren: scholekster en kanoet;
- Omnivoor benthos: eet zowel schelpdieren als wormen: wulp;
- Epibenthos: voedsel bestaat uit benthos dat zich op het oppervlak van het slik bevindt; o.a. bergeend;
- Hyperbenthos: voedsel bestaat vooral uit garnalen en deels uit krabben;
- Omnivoor meeuw: verschillende voedselbronnen worden benut door meeuwen.

Bij de hier gebruikte indeling zijn alle vogelsoorten meegenomen; dus ook soorten zonder IHD.

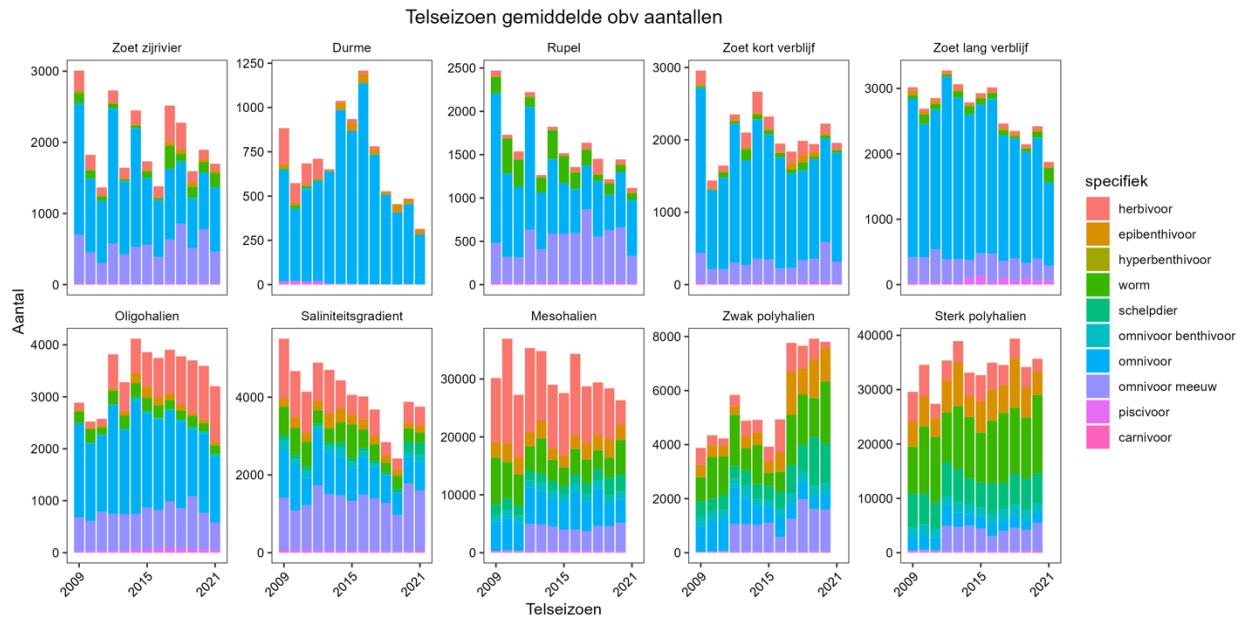


Figuur 5-47: Ontwikkeling van de aantallen van de verschillende voedselgroepen in de Zeeschelde en Westerschelde op basis van resp. winterhalfjaargemiddelde en seizoen-gemiddelde.

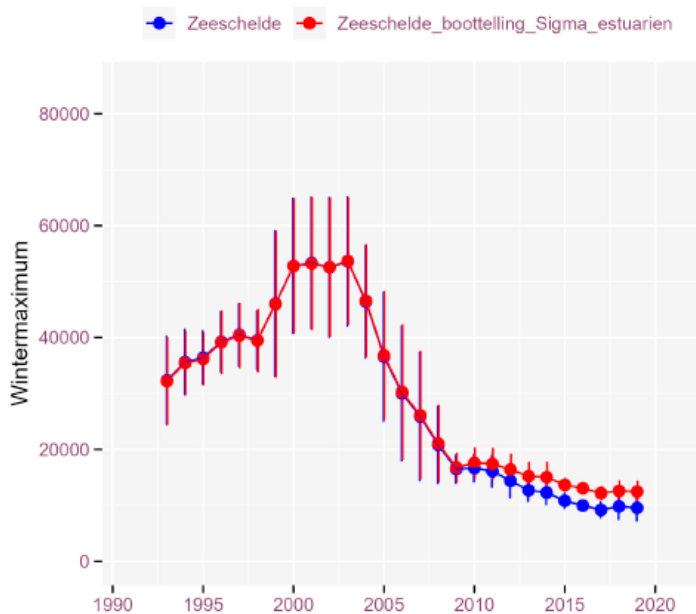
In de Zeeschelde lopen de aantallen watervogels in de periode 2009-2021 geleidelijk terug, waarbij de teruggang met name bij de omnivore watervogels plaatsvindt. De overige voedselgroepen zijn redelijk stabiel (Figuur 5-47). Bij de Westerschelde vinden verschillende veranderingen plaats. Vanaf seizoen 2012 worden de meeuwen meegeteld. Deze groep blijkt seizoen-gemiddeld een substantieel aandeel te hebben van ongeveer 7.000 vogels. Binnen de voedselgroepen treden ook verschuivingen op; het aantal herbivoren en omnivoren loopt terug, terwijl de aantallen epibenthoseters en schelpdiereters toenemen.

Per zone zijn er duidelijke verschillen (Figuur 5-48). In de Zeeschelde gaat in bijna alle zones het aantal omnivore watervogels achteruit. Alleen in de zone *Zoet korte verblijftijd* is het aantal stabiel. In het *Oligohalien* loopt weliswaar het aantal omnivore vogels terug, maar dit wordt deels gecompenseerd door een toename van het aantal herbivore vogels. In de zone *Saliniteitsgradiënt* is er in het laatste seizoen een duidelijke toename van het aantal schelpdiereters en omnivore meeuwen.

Bij de interpretatie van de aantallen watervogels in de Zeeschelde dient wel opgemerkt te worden dat de vogels van de estuariene gebieden (Sigmagebieden) niet in de Scheldemonitor zijn opgenomen, zodat alleen de vogels binnen de enge begrenzing van de Zeeschelde zijn meegenomen. Figuur 5-49 laat de bijdrage zien van de estuariene gebieden aan de totale vogelaantallen binnen de ruime begrenzing van de Zeeschelde.



Figuur 5-48: Ontwikkeling van de aantallen watervogels per voedselgroep per zone in de Zeeschelde en de Westerschelde. Voor de Zeeschelde is het winterhalfjaargemiddelde gebruikt en voor de Westerschelde het seizoen gemiddelde.



Figuur 5-49: Het glijdend gemiddelde van de maximale aantallen watervogels langs de "enge" Zeeschelde (blauw) en de "ruime" Zeeschelde (rood). Bron: Van Ryckegem et al., 2022).

In de Westerschelde nemen, bij vergelijking van de T2015 met de T2021, de meeuwen toe, maar dit komt doordat meeuwen pas sinds seizoen 2012 jaarrond worden meegeteld. In het *Mesohalien* nemen de herbivore soorten en wormeneters af, terwijl de schelpdiereters toenemen. Bij de overige groepen zijn de veranderingen beperkt. In het *Zwak polyhalien* zijn vanaf het seizoen 2017 de aantallen watervogels sterk toegenomen. Dit geldt zowel voor de epibenthoseters, wormeters, schelpdiereters en meeuwen. In het Sterk polyhalien zijn de aantallen stabiel gebleven: het aantal omnivoren is iets afgenomen en het aantal wormeters iets gestegen.

Verklaring

Veranderingen in aantallen vogels kunnen enerzijds veroorzaakt worden door grootschalige veranderingen buiten het Schelde-estuarium of door veranderingen in vogelpopulaties. Bij een toename van de populatie zullen vaak nieuwe gebieden benut gaan worden. Bij krimpende populaties worden minder gunstige gebieden juist verlaten, waardoor veranderingen in de overwinteringsgebieden kunnen optreden. Anderzijds kunnen veranderingen binnen gebieden zelf de aantallen vogels beïnvloeden. Hierbij kan gedacht worden aan veranderingen in het voedselaanbod, veranderingen in de oppervlakte foerageergebied maar ook door verandering in factoren als verstoring.

Veranderingen buiten het Schelde-estuarium

Door klimaatverandering zijn verschillende soorten noordelijker gaan overwinteren. Soorten als drieteenstrandloper, kluut, kleine zilverreiger, lepelaar en slobend, die oorspronkelijk ten zuidwesten van Nederland overwinterden, zijn meer in Nederland gaan overwinteren (Hornman *et al.*, 2022). Deze soorten halen in de Westerschelde in de T2021 dan ook hun IHD. Krakeend en scholekster, die hun zwaartepunt in Nederland hadden en hebben, voldoen ook aan hun IHD. Kievit en goudplevier, die veelal in binnendijkse gebieden foerageren en buitendijks rusten (Meininger *et al.*, 1994), zijn meer noordoostelijker gaan overwinteren (Hornman *et al.*, 2022). Naast verschuivingen in noordelijke of zuidelijke richting, kunnen ook andere verschuivingen optreden, zoals bij de wulp, waarvan de Europese populatie de laatste 30 jaar weliswaar met ongeveer 30-49% is afgenomen (Keller *et al.*, 2020), maar waarvan het zwaartepunt van de overwinterende vogels meer westelijk is komen te liggen, waardoor de aantallen in Nederland stabiel zijn en in de Delta zelfs zijn toegenomen (Hornman *et al.*, 2022).

Van drieteenstrandloper, kleine zilverreiger, kluut, lepelaar, slobend en wulp zijn de aantallen dus toegenomen omdat er een verschuiving in de overwinteringsgebieden heeft plaatsgevonden, waardoor ze meer in Nederland zijn gaan overwinteren, terwijl de aantallen van kievit en goudplevier afnamen doordat ze meer noordoostelijker zijn gaan overwinteren.

Verandering in oppervlakte foerageergebied

Veranderingen in de oppervlakte foerageergebied kunnen ook van invloed zijn op de aantallen watervogels. In de Zeeschelde heeft in alle zones binnen de enge begrenzing een geringe afname van het litoraal plaatsgevonden, terwijl binnen de ruime begrenzing er een oppervlaktetoeename heeft plaatsgevonden in zones *Zoet korte verblijftijd* en in het *Oligohalien*. Met uitzondering van het *Oligohalien* zijn in alle zones de aantallen vogels afgenomen wanneer de T2015 met de T2021 wordt vergeleken. De vogeltellingen hebben betrekking op de enge begrenzing, zodat de afnemende vogelaantallen in overeenstemming zijn met de afname van de oppervlakte litoraal. Alleen het *Oligohalien* is hierop een uitzondering. Hier is binnen de ruime begrenzing 222 ha nieuwe natuur ontwikkeld. Mogelijk wisselen vogels uit tussen de enge en ruime begrenzing van het *Oligohalien*, waardoor de aantallen ook binnen de enge begrenzing gestegen zijn.

Tabel 5-16 geeft een overzicht van de veranderingen in de oppervlakte hoog- en laagdynamisch litoraal in de Westerschelde. In het *Mesohalien* is veel hoogdynamisch litoraal omgezet in laagdynamisch litoraal. In het *Zwak polyhalien* is zowel de oppervlakte hoog als laagdynamisch litoraal toegenomen, terwijl in het *Sterk polyhalien* zowel het hoog- als laagdynamisch slik in oppervlakte achteruit is gegaan. In totaal is de oppervlakte laagdynamisch litoraal met 286 ha vooruitgegaan en de oppervlakte hoogdynamisch litoraal is 241 ha achteruitgegaan.

Tabel 5-16: Verandering in de oppervlakte per zone in ha (en procenten) tussen de T2015 en de T2021.

Zone	Hoogdynamisch litoraal	Laagdynamisch litoraal	Totaal
Mesohalien	-207 (-13%)	328 (+23%)	121
Zwak polyhalien	41 (+8%)	26 (+4%)	67
Sterk polyhalien	-75 (-6%)	-68 (-4%)	-143
Totaal	-241	286	45

Het hoogdynamisch litoraal heeft een veel armere bodemfauna dan het laagdynamisch litoraal (Craeymeersch & Ysebaert, 2020). Op basis hiervan is de verwachting dat in het *Mesohalien* de foerageeromstandigheden het meest zijn verbeterd en in het *Zwak polyhalien* iets minder, en dat in het *Sterk polyhalien* de situatie verslechterd is. In werkelijkheid zijn de aantallen vogels in het *Mesohalien* met 10% afgenomen, in het *Zwak polyhalien* met 50% toegenomen en in het *Sterk polyhalien* met 3%. De veranderingen in de oppervlakte hoog- en laagdynamisch litoraal geven geen verklaring voor de gewijzigde vogelaantallen. Ook wanneer de herbivore vogels buiten beschouwing worden gelaten (zie Figuur 5-48) wordt de verandering in oppervlakte foerageergebied niet weerspiegeld in de aantallen vogels.

Het laagdynamisch middelhooggelegen litoraal heeft de hoogste foerageerdruk van steltlopers (Zwarts *et al.*, 2011; Boudewijn *et al.*, 2022). In het *Mesohalien* neemt deze hoogtezone sterk in oppervlakte toe, terwijl in de twee overige zones de oppervlakte juist afneemt (Tabel 5-17). Aangezien in het *Mesohalien* de vogelaantallen afnemen en in de twee andere zones juist toenemen, vormt de verandering in de oppervlakte middelhooggelegen laagdynamisch litoraal ook geen verklaring voor de waargenomen aantalsveranderingen.

Tabel 5-17: Veranderingen in ha in de hoogtezones binnen het laagdynamisch litoraal in de Westerschelde.

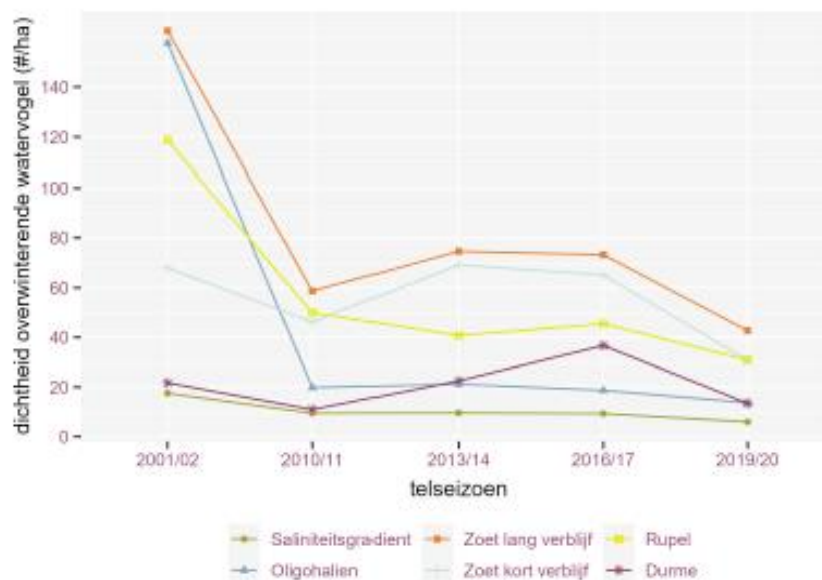
Hoogtezone	periode	Mesohalien	Z. polyhalien	S. polyhalien	totaal
Laagdynamisch hoog	T2015	274,65	10,05	287,43	572,13
	T2021	273,54	9,32	306,56	589,42
	verschil	-1,11	-0,73	+19,13	+17,29
Laagdynamisch midden	T2015	1.016,83	617,98	1.320,21	2955,02
	T2021	1.279,82	595,51	1.204,57	3079,90
	verschil	+262,99	-22,47	-115,64	+124,88
Laagdynamisch laag	T2015	64,46	70,42	174,08	308,96
	T2021	128,89	120,20	172,09	420,98
	verschil	+64,43	+49,78	-1,99	+112,02

Verandering in voedselaanbod: kwaliteitsverandering

De draagkracht van een gebied wordt bepaald door enerzijds de oppervlakte foerageergebied en anderzijds de kwaliteit van het gebied (aanbod voedsel). Veranderingen in oppervlakte en voedselaanbod kunnen elkaar versterken of juist tegenwerken. De verwachting is dat bij een verbetering van het voedselaanbod (biomassa benthos per vierkante meter) de gemiddelde dichtheid van de

slikgebonden watervogels toeneemt. Paragraaf 6.5 liet zien dat in de Westerschelde de macrozoöbenthosbiomassa in het litoraal sinds 2015 sterk is toegenomen, terwijl dit voor de zone Saliniteitsgradiënt in de Zeeschelde geldt sinds 2020.

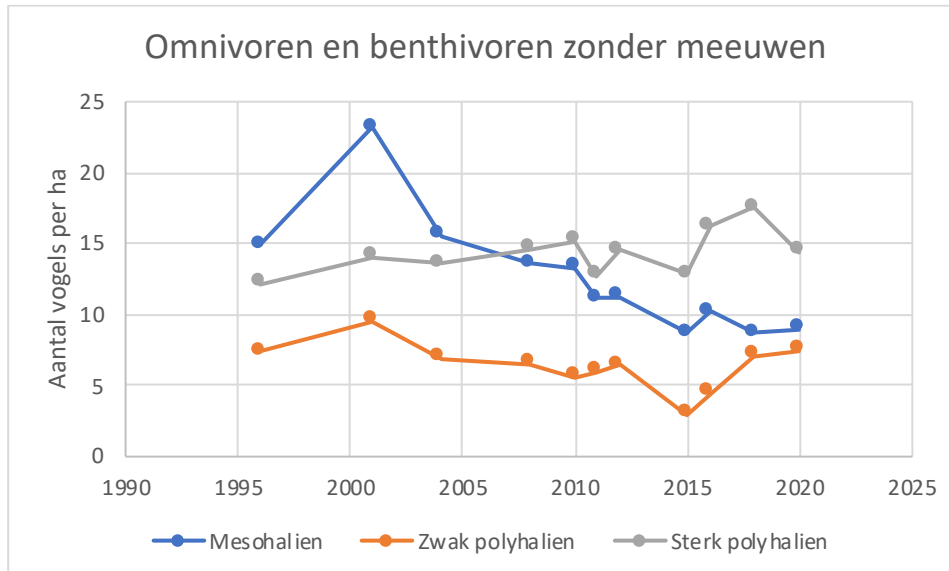
De gemiddelde dichtheid aan foeragerende omnivore en benthivore vogels, inclusief meeuwen, op het litoraal in de verschillende zones van de Zeeschelde is sinds de eeuwwisseling sterk gewijzigd (Figuur 5-50). Rond 2001/2002 waren er zeer hoge dichtheden watervogels in de zones *Zoet lange verblijftijd*, *Oligohalien* en de *Rupel* van 120-160 vogels per ha. Dit viel samen met een hoog aanbod aan Oligochaeten in deze zones. In de *Durme* en de zone *Saliniteitsgradiënt* lagen de dichtheden rond de 20 vogels/ha. In 2010/2011 waren de dichtheden van vogels net als die van de Oligochaeten sterk afgenomen, zodat de maximale dichtheid 60 vogels/ha bedroeg. Na een periode van stabilisatie werden in 2019/2020 minimale dichtheden bereikt: met maximaal 40 vogels/ha in de zone *Zoet lange verblijftijd* tot minder dan 10 vogels/ha in de zone *Saliniteitsgradiënt*. Opmerkelijk genoeg is de biomassa aan bodemdieren per oppervlakte-eenheid hier niet significant lager dan in de andere zones. Van Ryckegem *et al.* (2022) geven aan dat hier in de periode 2019-2021 er een toename is van benthivore soorten en dan met name van scholekster en wulp. Zij koppelen de toename van de scholekster aan de opkomst van de brakwaterkorfschelp in deze zone. Deze toename is nog niet in Figuur 5-50 opgenomen.



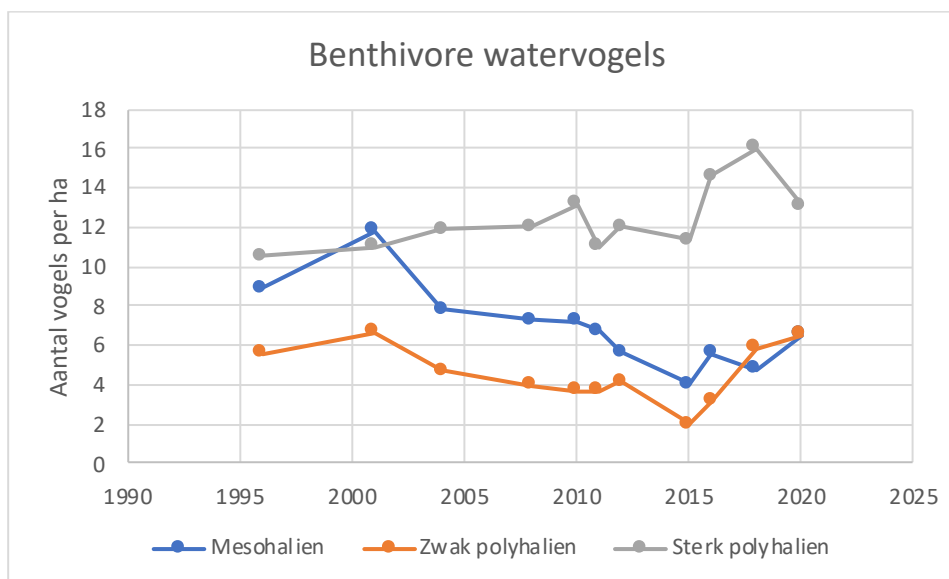
Figuur 5-50: Vogeldichtheid (aantallen per ha zacht substraat slik) van getelde watervogels (benthivore en omnivore soorten, inclusief meeuwen en sterns) in de zones van de Zeeschelde voor de jaren waarin ecotopenkaarten beschikbaar zijn. Alleen gebieden en watervogels binnen de enge begrenzing zijn meegenomen. Bron: Van Ryckegem *et al.*, 2022).

Figuur 5-51 geeft de ontwikkeling van de vogeldichtheid in de Westerschelde, waarbij de dichtheid van omnivore en benthivore watervogels is berekend door de aantallen vogels te delen door de oppervlakte laagdynamisch litoraal. Aanvankelijk is rond 2000 de dichtheid het hoogst in het *Mesohalien*, waarna geleidelijk een afname volgt en vanaf 2015 is de dichtheid stabiel. In het *Zwak polyhalien* is de dichtheid aanvankelijk een factor 2 lager dan in de andere zones. Hier neemt de dichtheid af om rond 2015 een dieptepunt te bereiken, waarna een toename volgt. In 2018 en 2020 is de dichtheid vergelijkbaar met die van het *Mesohalien*. In het *Sterk polyhalien* is aanvankelijk de dichtheid lager dan in de *Mesohalien*, maar geleidelijk stijgt de dichtheid, zodat vanaf 2008 de zone *Sterk polyhalien* de hoogste dichtheden heeft aan watervogels. De hoge dichtheden in het *Mesohalien* rond de eeuwwisseling vallen samen met

de verhoogde dichtheden aan watervogels in de Zeeschelde. Dit suggereert een gemeenschappelijke oorzaak, maar dit is in de macrozoöbenthosgegevens niet terug te vinden.



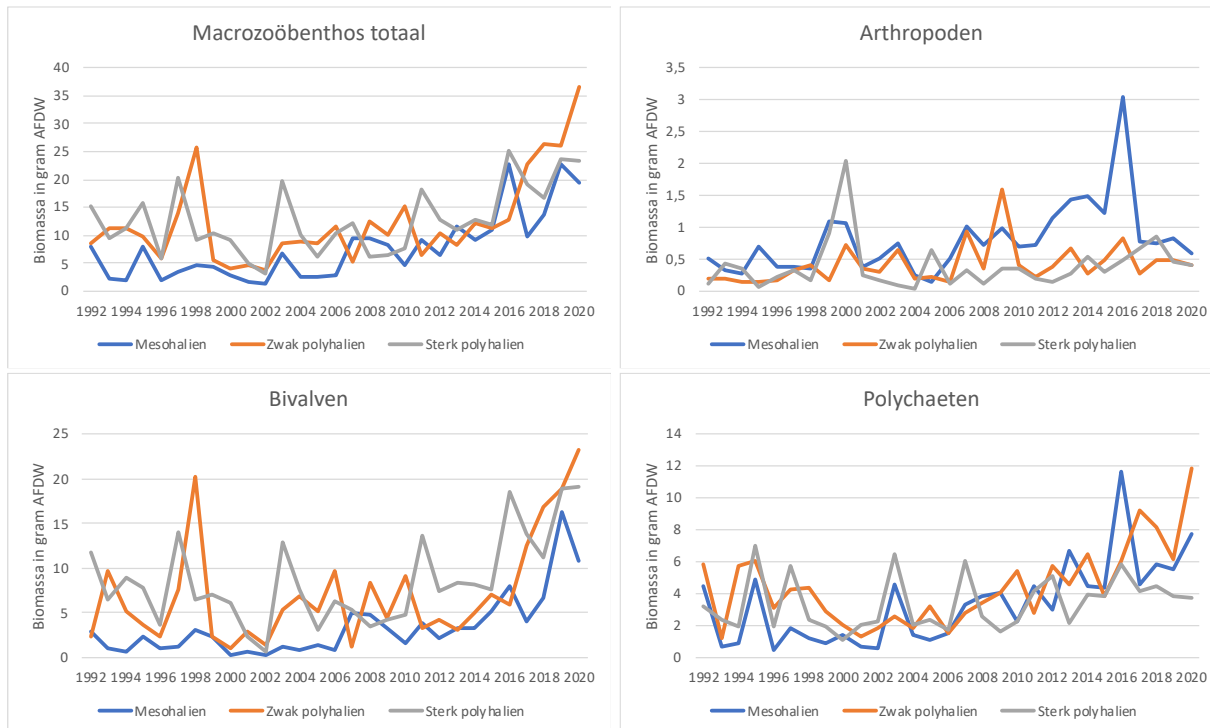
Figuur 5-51: Dichtheid van omnivore en benthivore watervogels, zonder meeuwen, op het laagdynamisch litoraal in de verschillende zones van de Westerschelde op basis van seizoengemiddelde aantallen.



Figuur 5-52: Dichtheid van benthivore watervogels op het laagdynamisch litoraal in de verschillende zones van de Westerschelde op basis van seizoengemiddelde aantallen.

Vooraf de ontwikkeling van dichtheid van het aantal vogels in het *Mesohalien* en *Sterk polyhalien* is opmerkelijk: een afname in het *Mesohalien* en een toename in het *Sterk polyhalien*. Belangrijke verschillen tussen het *Mesohalien* en het *Sterk polyhalien* zijn de grote oppervlakte schorvegetatie in het *Mesohalien* en de grote aantallen omnivore watervogels in deze zone. Omnivore watervogels kunnen ook zaden eten. Indien deze groep vogels buiten beschouwing wordt gelaten en alleen de dichtheid van benthivore watervogels wordt weergegeven in de tijd (Figuur 5-52) ontstaat een iets ander patroon. Rond de eeuwwisseling is de dichtheid in het laagdynamisch litoraal in het *Mesohalien* en *Sterk*

polyhalien vergelijkbaar, waarna de dichtheid in het *Mesohalieu* afneemt om na 2015 weer te stijgen. In het *Sterk polyhalieu* is de dichtheid langzaam stijgend met in 2016 een iets sterkere toename. In het *Zwak polyhalieu* begint de dichtheid duidelijk lager en neemt vervolgens verder af. Pas na 2015 vindt ook hier een duidelijke stijging in de dichtheid van de benthivore watervogels plaats: deze wordt dan vergelijkbaar met de dichtheid in het *Mesohalieu*.



Figuur 5-53: Het aanbod van het macrozoöbenthos in gram AFDW/m², van alleen de Arthropoden, Bivalven en Polychaeten in de drie zones van de Westerschelde.

Paragraaf 6.5 liet zien dat de macrozoöbenthosbiomassa de laatste jaren gestegen is in de Westerschelde. Figuur 5-53 geeft het totale aanbod van macrozoöbenthos in gram AFDW/m², en het aanbod van Arthropoden, Polychaeten en Bivalven. Het totaalaanbod aan macrozoöbenthos is aanvankelijk het laagst in het *Mesohalieu*. Gedurende de T2009 trekt het gelijk met de andere gebieden. Vanaf 2015 neemt de totaalbiomassa in alle zones toe met verreweg de sterkste stijging in het *Zwak polyhalieu*. De Arthropoden laten geleidelijk in alle zones een lichte toename in biomassa zien. Echter, vanaf 2010 is er een duidelijke toename in het *Mesohalieu* en na een piek in 2016 neemt de biomassa weer sterk af en ligt die vervolgens weer in dezelfde orde van grootte als in de andere zones.

De Bivalven zijn de groep met de hoogste biomassa, waarbij de biomassa in het *Mesohalieu* aanvankelijk duidelijk achterblijft bij die in de andere zones. Vanaf 2010 begint de biomassa in alle zones te stijgen, waarna vanaf 2015 een duidelijke verdere toename volgt. In 2020 wordt de hoogste biomassa in het *Zwak polyhalieu* vastgesteld. De biomassa van de Polychaeten is eerst gedurende langere tijd stabiel, maar vanaf 2010 begint de biomassa toe te nemen, waarbij de toename in het *Sterk polyhalieu* het kleinst is en het grootst in het *Zwak polyhalieu*.

Een sterke toename van het voedselaanbod zal zijn weerslag hebben op de aantallen foeragerende vogels. Dit kan per voedselgroep geanalyseerd worden of per individuele vogelsoort. De voedselgroep wormeters bestaat bijvoorbeeld uit bontbekplevier, drieteenstrandloper, kluut, rosse grutto en zilverplevier. Bontbelplevier en zilverplevier zijn oogjagers en de andere soorten tastjagers, terwijl de

kluut een voorkeur heeft voor zacht substraat en de andere soorten meer voor een steviger substraat. Sommige soorten verdedigen voedselterritoria, terwijl andere soorten juist in grote groepen foerageren (Van de Kam *et al.*, 1999). In bijlage D is zowel gekeken naar de relatie tussen voedselgroepen en het benthosaanbod als naar individuele vogelsoorten.

Tabel 5-18 vat de resultaten samen. In het *Mesohalien* hebben drie soorten een significante positieve correlatie met het bijbehorende voedselaanbod en één een significant negatieve correlatie. In het *Zwak polyhalien* hebben vijf van de vijftien een significant positieve correlatie en in het *Sterk polyhalien* heeft de zilverplevier een significant negatieve correlatie met het aanbod van wormen.

Tabel 5-18: overzicht van de gevonden significant positieve(groen) en negatieve correlaties (oranje) tussen het voedselaanbod in gram AFDW/m² in het litoraal en de hierop foeragerende soort per zone in de Westerschelde.

Soort	voedselgroep	Mesohalien	Zwak polyhalien	Sterk polyhalien
Tureluur	Arthropoda	P = 0,904 (-)	P = 0,665 (-)	P = 0,583 (+)
Zwarte ruiter	Arthropoda		P = 0,512 (-)	P = 0,400 (-)
Groenpootruiter	Arthropoda	P = 0,721 (-)		P = 0,471 (-)
Bergeend	Gastropoda	P = 0,715 (+)	P = 0,005 (+)	P = 0,955 (+)
Strandplevier	Gastropoda	P = 0,574 (+)	P = 0,461 (-)	P = 0,468 (-)
Kanoet	Tweekleppigen	P = 0,961 (+)	P = 0,189 (+)	P = 0,827 (-)
Scholekster	Tweekleppigen	P < 0,001 (+)	P < 0,001 (+)	P = 0,712 (+)
Wulp	Tweekleppigen en wormen	P = 0,553 (+)	P = 0,270 (+)	P = 0,859 (+)
Bontbekplevier	wormen	P = 0,007 (+)	P = 0,336 (+)	P = 0,137 (-)
Bonte strandloper	wormen	P = 0,199 (+)	P = 0,036 (+)	P = 0,501 (+)
Drieteenstrandloper	wormen	P = 0,411 (-)	P = 0,004 (+)	P = 0,169 (+)
Kluut	wormen	P = 0,032 (-)	P = 0,091 (+)	P = 0,627(+)
Rosse grutto	wormen	P = 0,124 (-)	P = 0,317 (+)	P = 0,589 (-)
Zilverplevier	wormen	P = 0,341 (+)		P = 0,008 (-)
Steenloper	Wormen, Arthropoden en overige	P < 0,001 (+)	P = 0,028 (+)	P = 0,251 (-)

Opmerkelijk is dat in het Sterk polyhalien geen positieve correlaties tussen voedselaanbod en aantal vogels van een soort werden gevonden in de periode 2010-2020, terwijl dit in de andere zones wel het geval was. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door de ontwikkeling van de biomassa van de verschillende macrozoöbenthossoorten in de verschillende zones. *Tabel 5-19* geeft de gemiddelde biomassa tijdens de T2015 en de T2021.

Tabel 5-19: Gemiddelde biomassa in gram AFDW/m² in de verschillende zones vande Westerschele gedurende de T2015 en T2021.

Zone	Periode	Arthropoda	Bivalvia	Clitellata	Gastropoda	Overig	Polychaeta	Eindtotaal
Mesohalien	T2015	1,12	3,23	0,03	0,07	0,01	4,21	8,65
	T2021	1,20	9,19	0,02	0,20	0,01	7,06	17,67
Zwak polyhalien	T2015	0,41	5,27	0,00	0,16	0,01	4,81	10,66
	T2021	0,50	15,51	0,01	0,54	0,00	8,30	24,87
Sterk polyhalien	T2015	0,30	8,38	0,08	0,04	0,02	3,58	12,40
	T2021	0,57	16,34	0,13	0,09	0,01	4,42	21,56

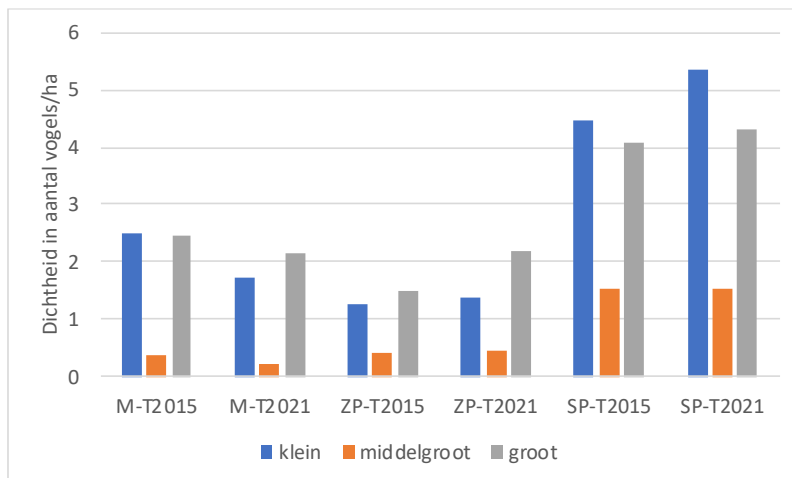
Gedurende de T2015 is de gemiddelde macrofaunabiomassa het hoogst in het *Sterk polyhalien* en het laagst in het *Mesohalien*. In de T2021 is de biomassa in het *Mesohalien* verdubbeld, in het *Zwak polyhalien* met een factor 2,3 toegenomen en in het *Sterk polyhalien* met een factor 1,7. De sterkste toename heeft in het *Zwak polyhalien* plaatsgevonden, hetgeen terugkomt in in het aantal vastgestelde positieve correlaties in *Tabel 5-18*, terwijl het *Sterk polyhalien* geen enkele positieve correlatie heeft en

het Mesohalien een intermediaire positie heeft. De lagere biomassa/m² in het Mesohalien verklaart ook waarom hier de vogelaantallen hier zijn teruggelopen in de T2021 ondanks de uitbreiding van het laagdynamisch litoraal en de verdubbeling van de bodemfaunabiomassa. De toename van de bodemfaunabiomassa in het *Sterk polyhalien* verklaart waarom de aantallen vogels licht zijn toegenomen ondanks een afname van de oppervlakte foerageergebied. In het *Zwak polyhalien* versterken de toename van de bodemfaunabiomassa en van de oppervlakte foerageergebied elkaar, zodat hier de sterkste toename in aantal vogels heeft plaatsgevonden.

Samenstelling steltlopers

Vanoverbeke en Van Ryckegem (2015) hebben laten zien dat in het *Sterk* en *Zwak polyhalien* het aantal foeragerende steltlopers op platen en slikken toeneemt met het areaal laagdynamisch litoraal en met een toenemende spreiding in droogvalduren binnen de laagdynamische zone. Met name de aanwezigheid van kleinere soorten steltlopers, zoals bontbekplevier en drieteenstrandloper, blijkt kritisch bepaald te worden door de beschikbare oppervlakte aan laagdynamisch litoraal en spreiding in droogvalduren in het polyhalien.

Kleine steltlopers beginnen al vroeg na hoogwater met foerageren en hebben een voorkeur voor gebieden waar ze al foeragerend de laagwaterlijn kunnen volgen (Vanoverbeke & Van Ryckegem 2015). De Rug van Baarland, die pas 2-3 uur na hoogwater begint droog te vallen, wordt dan ook relatief weinig gebruikt door kleine steltlopers (Boudewijn *et al.*, 2022). *Figuur 5-54* geeft de dichtheid van kleine, middelgrote en grote steltlopers in het laagdynamisch litoraal per zone tijdens de T2015 en T2021.



Figuur 5-54: Gemiddelde dichtheid van kleine, middelgrote en grote steltlopers (soorten met een IHD) op het laagdynamisch litoraal in de verschillende zones van de Westerschelde tijdens de T2015 en T2021. Kievit en goudplevier zijn als graslandfoerageerders niet meegenomen.

In het *Mesohalien* is bij alle groepen steltlopers de dichtheid afgenomen bij vergelijking van de T2015 met de T2021, waarbij de kleine en middelgrote steltlopers de grootste afname laten zien (*Figuur 5-54*). In het *Zwak polyhalien* laten alle groepen een toename zien, terwijl in het *Sterk polyhalien* de dichtheid van middelgrote steltlopers stabiel blijft, maar van de andere groepen is toegenomen, met name van de kleine steltlopers. *Tabel 5-20* geeft de verhouding van de dichtheid van de steltlopers tijdens de T2015 en T2021 in de verschillende zones en de gehele Westerschelde. Voor de gehele Westerschelde is de dichtheid van kleine en grote steltlopers vrijwel gelijk gebleven. De toename aan laagdynamisch litoraal was iets sterker dan de toename van deze groepen steltlopers. De dichtheid van de middelgrote steltlopers is achteruitgegaan. Enerzijds wordt dit veroorzaakt door een lichte afname van het aantal vogels, 3.536 seizoengemiddeld tijdens T2015 tegen 3.322 tijdens T2021, en anderzijds door een toename van de oppervlakte foerageergebied. Wanneer naar de verschillende zones wordt gekeken, is

de dichtheid in het *Mesohalien* sterk afgenomen, in het Zwak polyhalien toegenomen en in het *Sterk polyhalien* iets toegenomen. De grote steltlopers zijn in totaal in aantal gelijk gebleven, maar laten een zeer sterk toename zien in het *Zwak polyhalien*, een lichte toename in het *Sterk polyhalien* en een duidelijke afname in het *Mesohalien*. De kleine steltlopers zijn qua totaaldichtheid in de Westerschelde gelijk gebleven, maar hebben een sterke afname in het *Mesohalien*, een lichte toename in het *Zwak polyhalien* en een sterke toename in het *Sterk polyhalien*. De middelgrote steltlopers zijn in het *Sterk polyhalien* gelijk gebleven, maar in het *Mesohalien* met 40% achteruitgegaan en in het *Zwak polyhalien* duidelijk vooruit en in het *Sterk polyhalien* gelijk gebleven.

Tabel 5-20: De verhouding van de dichtheid van steltlopers ingedeeld naar grootte tijdens de T2015 en de T2021 in de verschillende zones en in de gehele Westerschelde en de verhouding van de oppervlakte laagdynamisch litoraal.

Steltloper-grootte	Verhouding dichtheid T2021 / T2015 in procenten			
	Mesohalien	Z. polyhalien	S. polyhalien	Westerschelde
klein	69,6	108,7	119,3	100,3
middelgroot	60,9	115,9	100,2	88,1
groot	88,4	147,7	105,9	100,8
oppervlakte	124,1	103,8	94,5	106,6

Binnen de Westerschelde heeft een duidelijke verschuiving plaatsgevonden in de dichtheden van vogels. Hoewel in het *Mesohalien* het aanbod aan bodemfauna is toegenomen en de oppervlakte foerageergebied, vindt er toch een verschuiving plaats van vogels naar meer westelijke zones, waarbij vooral in het *Zwak polyhalien* de dichtheid is toegenomen. Hier was in de T2021 gemiddeld de hoogste macrozoöbenthosbiomassa aanwezig. Hier hebben vooral de grote steltlopers van kunnen profiteren, de middelgrote steltlopers iets minder en de kleine steltlopers het minst. De kleine steltlopers zijn vooral uitgeweken naar het *Sterk polyhalien* waar ten opzichte van het *Mesohalien* een hogere macrozoöbenthosbiomassa aanwezig is maar ook relatief veel hooggelegen laagdynamisch litoraal, zodat de kleine steltlopers snel na het hoogwater kunnen gaan foerageren en ook tot vlak voor hoogwater kunnen doorgaan. Deze mogelijkheid ontbreekt grotendeels in het *Zwak polyhalien*.

Beschikbaarheid hvp's

Voor de niet-broedvogels dienen zowel geschikte foerageergebieden als hvp's beschikbaar te zijn. In het verleden werden niet alleen schorren maar ook dijken gebruikt om te overtijen. Per soort kon de voorkeursplek verschillen. Met het aanleggen van de verharde buitendijkse onderhoudswegen, die grotendeels zijn opengesteld voor recreatie, is de hvp-functie van de dijken duidelijk afgenomen. Op basis van aannames over de verstoringsafstand, de aanwezigheid van hoogwatervluchtplaatsen en de aanwezige aantallen foeragerende vogels vlak langs de dijken van de Westerschelde is voorspeld dat van de 51 hvp's op of langs de dijken er 10 gevoelig waren voor verstoring en 23 mogelijk. Daarnaast zouden zes vogelsoorten beneden hun instandhoudingsdoel kunnen komen indien het foerageergebied binnen 200 m afstand van de dijken volledig verlaten zou worden (Boudewijn & van Horsen 2010).

Door Arts *et al.* (2018) is gekeken of de vogels op hvp's op regelmatig door recreanten verstoorte plaatsen ook een andere aantalsontwikkeling lieten zien dan in de gehele Westerschelde, wanneer vogelaantallen van voor het openstellen van onderhoudswegen werden vergeleken met de aantallen na het openstellen. Op een flink aantal trajecten, zowel langs de zuid- als de noordoever, werden significante afnames van één of meerdere vogelsoorten met een IHD vastgesteld.

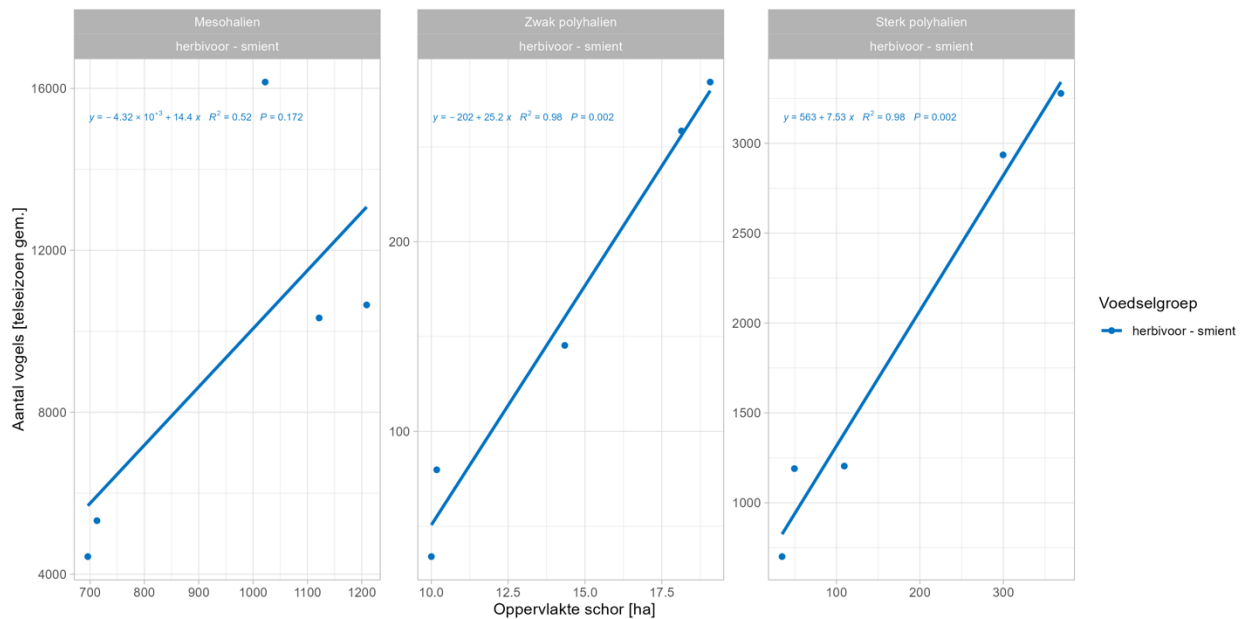
Onderzoek naar de effecten van het openstellen van de onderhoudsweg op het traject Breskens-Braakmanhaven in de periode 2004-2007 op overtijende vogels liet zien dat met name in het recreatie seizoen er een ruimtelijke scheiding plaatsvindt tussen vogels en recreanten, waarbij de vogels zich concentreerden in gebieden die niet of minder toegankelijk waren voor mensen (Heunks *et al.*, 2008). In het najaar bleken recreanten plaatselijk een negatief effect op de aantallen vogels te kunnen

hebben. Intensief recreatief medegebruik van de dijk bleek over het algemeen weinig effect te hebben op de totale aantallen foeragerende watervogels. Vogels leken plaatselijk wat op te schuiven, maar verlieten het gebied niet. Alleen wanneer het slik langdurig betreden werd, kon plaatselijk een gebied verlaten worden (Boudewijn *et al.*, 2022).

Op basis van het voorgaande kan geconcludeerd worden dat verstoring van invloed is op het gebruik van specifieke hoogwatervluchtplaatsen. Mits er voldoende alternatieven zullen de vogels kunnen uitwijken. Foeragerende vogels worden in niet of nauwelijks betreden gebieden vermoedelijk weinig verstoord, mits het gebiedsgebruik door de recreanten voorspelbaar is en de breedte van de strook slik groot genoeg is om te kunnen uitwijken bij verstoring. Bij langdurige betreding kunnen gebieden wel verlaten worden

Ontwikkeling herbivoren

De belangrijkste herbivoor in de Westerschelde was de grauwe gans, die sterk in aantal is afgenomen. Dit hing samen met de achteruitgang van de zeebies, waarop de ganzen foerageerden, door het hoger worden van het schor (Elschot *et al.*, 2017). Een andere belangrijke herbivoor is de smient, die met name in november-februari op de lage delen van het schor op zaden van planten kan foerageren (Meininger, 2022). Figuur 5-55 geeft de relatie tussen de oppervlakte pionierschor en laag schor in de verschillende zones en het seizoengemiddelde aantal van de smient. Het *Zwak polyhalien* en het *Sterk polyhalien* laten dan een zeer sterk significant verband zien, terwijl in het *Mesohalieu* de relatie zwak is. Mogelijk komt dit door het feit dat een deel van de vogels van Saeftinghe 's nachts in binnendijkse gebieden foerageert (Meininger, 2022). De achteruitgang van de oppervlakte pionierschor en laag schor komt terug in afnemende aantallen smienten. Met de al genoemde achteruitgang van de grauwe gans verklaart dit de afname van de herbivoren in de Westerschelde.



Figuur 5-55: Relatie tussen de oppervlakte pionierschor en laagschor en het seizoengemiddelde aantal smienten in de verschillende zones.

Omnivore watervogels

Omnivore watervogels, waartoe de eenden worden gerekend, kunnen verschillende voedselbronnen benutten. In het broedseizoen worden veelal dierlijke voedselbronnen benut en in het winterhalfjaar kan het voedsel zowel uit plantaardig (zaden) als dierlijk materiaal bestaan. De wintertaling laat de

afgelopen jaren een duidelijke aantalstoename zien (Bijlage F3-1 in het Analyserapport). Hieronder worden nader bekeken of er correlaties bestaan tussen de verschillende omnivore eenden en het door hen gebruikte voedselaanbod in het intergetijdengebied. Hier is het totaalaanbod van wormen, Arthropoden en de groep Overig genomen.

Met uitzondering van de wilde eend bestaan er voor de individuele soorten significant positieve correlaties met het voedselaanbod in alle of in een deel van de zones (Tabel 5-21). Het aantal pijlstaarten en wintertalingen in het *Sterk polyhalien* is gecorreleerd met het voedselaanbod voor deze soorten. Van de wilde eend is bekend dat de soort in de wintermaanden de zoute wateren vooral als rustplaats gebruikt en in de avond naar binnendijkse gebieden vliegen om daar te foerageren (Meininger *et al.*, 1984; Slager & Dirksen, 1987). De soort gaat in Nederland achteruit, maar door het noordelijker overwinteren van vogels die ten noorden van Nederland broeden, lopen ook de aantallen overwinteraars in Nederland en België terug (Sovon Vogelonderzoek Nederland, 2018). Aangezien de aantallen wilde eenden sterker afnemen dan de andere soorten in aantal toenemen, is het totaal aantal omnivore eenden afgenomen in de T2021 ten opzichte van de voorgaande periode (Tabel 5-22).

Tabel 5-21: Correlaties tussen het voedselaanbod van wormen, Arthropoden en de groep Overige en het aantal omnivore eenden per zone in de Westerschelde. Significant positieve correlaties zijn groen gemarkeerd en significant negatieve correlaties rood.

Soort	Mesohalien	Zwak polyhalien	Sterk polyhalien
Krakeend	P = 0,404 (+)	P < 0,001 (+)	P = 0,601 (+)
Pijlstaart	P = 0,636 (-)	P = 0,004 (+)	P = 0,028 (+)
Wilde eend	P = 0,793 (-)	P = 0,024 (-)	P = 0,517 (-)
Wintertaling	P = 0,046 (+)	P = 0,011 (+)	P < 0,001 (+)

Tabel 5-22: Aantalsontwikkeling van de verschillende omnivore eenden in de Westerschelde.

Gebied	periode	krakeend	pijlstaart	slobeend	wilde eend	wintertaling	totaal
Mesohalien	T2015	26	712	23	4.030	579	5.370
	T2021	36	624	35	3.703	762	5.160
Zwak polyhalien	T2015	5	4	3	990	48	1.050
	T2021	18	20	19	472	61	590
Sterk polyhalien	T2015	26	164	55	2.133	271	2.649
	T2021	30	247	70	1.348	318	2.013
Totaal	T2015	57	880	81	7.153	898	9.069
	T2021	84	891	124	5.523	1.141	7.763

De pijlstaart is in aantal min of meer gelijk gebleven, maar daar heeft wel een verschuiving van het leefgebied plaatsgevonden: de aantallen in het Mesohalien zijn afgenomen en in het Zwak- en Sterk polyhalien toegenomen.

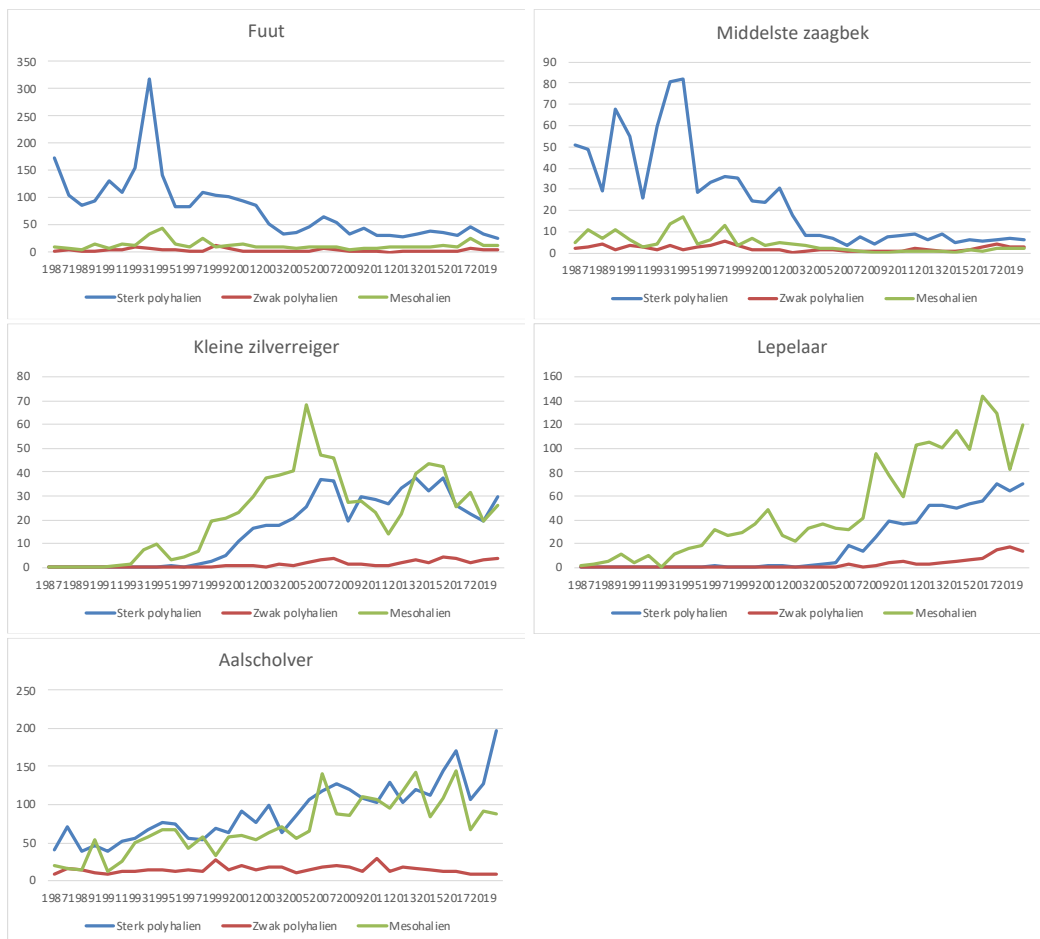
De MSI-index van omnivoren laat vanaf 2010 een duidelijke toename zien (Figuur 5-46). Dit gaat parallel met de toename van het benthos in de Westerschelde. Wanneer echter naar de aantallen omnivoren wordt gekeken, blijken de aantallen eerder achteruit dan vooruit te gaan (Tabel 5-22). Vermoedelijk wordt de stijging van de index met name veroorzaakt doordat slobeend, krakeend en wintertaling talrijker zijn geworden terwijl een soort als de wilde eend verder in aantallen is afgenomen, waardoor de onderlinge verschillen kleiner zijn geworden en er een meer evenwichtige verdeling van de soorten ontstaat.

Ontwikkeling piscivoren

Het aantal piscivoren is relatief laag. *Tabel 5-23* geeft het seizoengemiddelde aantal piscivoren voor de T2015 en T2021. In de gehele Westerschelde is het aantal piscivoren toegenomen met 16%, waarbij de toename minder sterk is in het *Mesohalien* dan in het *Sterk polyhalien*. Wanneer per soort wordt gekeken, komt hier geen duidelijk patroon uit naar voren. Fuut en middelste zaagbek hadden voor de eeuwwisseling een duidelijk piek en zijn sindsdien sterk afgenomen. Kleine zilverreiger en lepelaar zijn na de eeuwwisseling sterk toegenomen, waarbij de ontwikkeling van de kleine zilverreiger na enkele strenge winters na 2010 gestagneerd is. De lepelaar neemt nog steeds, net als de broedpopulatie in de Nederlandse en Duitse Waddenzee (Hornman et al., 2022). De aalscholver laat ook een stijgende trend zien. Ook deze soort is meer noordelijk gaan overwinteren. De soort neemt vooral toe in het *Sterk polyhalien*. Hier wordt met de boomkor ook de hoogste biomassa aan vissen aangetroffen (zie Analyserapport).

Tabel 5-23: Ontwikkeling van het aantal piscivore watervogels in aantallen en percentage verandering bij vergelijking van de T2021 met de T2015.

Periode	Mesohalien	Zwak polyhalien	Sterk polyhalien	Westerschelde
T2015	234	25	225	484
T2021	259	30	273	561
% verandering	+11	+19	+21	+16



Figuur 5-56: Aantalsontwikkeling van piscivoren in de verschillende zones van de Westerschelde.

Over het voedsel van de fuut en de middelste zaagbek is weinig bekend, maar in de Grevelingen aten ze in het verleden veel brakwatergrondels, haring en grijze garnalen (Doornbos, 1984). Ook de lepelaar benut in de (na)zomer in zoute wateren vaak garnalen en jonge platvis als voedselbron.

Aangezien fuut en middelste zaagbek een ontwikkeling laten zien die tegengesteld is aan die van de lepelaar is het niet waarschijnlijk dat de beschikbaarheid van garnalen een verklaring vormen voor de ontwikkeling van de viseters. Eerder moet een verklaring worden gezocht in het meer noordelijk overwinteren van lepelaar, kleine zilverreiger en aalscholver.

5.8.3. Exoten niet-broedvogels

Het aantal invasieve exoten is in de Zeeschelde toegenomen (Tabel 5-24). In bijlage D staat de ontwikkeling van deze soorten in de tijd weergegeven. De grote Canadese gans is het sterkst toegenomen, gevolgd door de nijlgans in de zones *Zoet zijrivier*, *Rupel*, *Zoet lange verblijftijd* en het *Oligohalien*. In de zone *Saliniteitsgradiënt* is de nijlgans wel toegenomen maar de grote Canadese gans niet. In de *Durme* en de zone *Zoet korte verblijftijd* zijn beide soorten afgenomen. De Indische gans is spaarzaam in de Zeeschelde aanwezig.

Tabel 5-24: Gemiddeld aantal invasieve exoten waargenomen in de verschillende zones van de Zeeschelde, waarbij onderscheid is gemaakt in de perioden T2015 en T2021. Een rode kleur geeft aan dat een exoot is toegenomen in een zone en groen dat de soort is afgenomen.

zone	grote canadese gans			indische gans			nijlgans		
	T2015	T2021	beoordeling	T2015	T2021	beoordeling	T2015	T2021	beoordeling
Zoet zijrivier	11,5	24,4		0	0,7		5,1	8,3	
Durme	5,2	1,6		0,2	0		0,8	0,2	
Rupel	9	28,8		0	0		2,7	5,3	
Zoet kort getij	31,5	17,9		0,3	0,1		12,2	11,6	
Zoet lang getij	17,2	22,6		0,1	0,1		5,9	14,6	
Oligohalien	84	160,7		0,2	0,2		68	75,7	
Saliniteitsgradiënt	62,8	45,3		0	0,1		11,4	17,4	
Totaal Zeeschelde	221,2	301,5		0,9	1,2		106,1	133,2	

De aantallen exoten in de verschillende zones van de Westerschelde staan weergegeven in Tabel 5-25. Het aantal niet-invasieve exoten is ten opzichte van de T2015 gestegen van 9 naar 11 soorten. Wel zijn alle soorten in zeer lage aantallen aanwezig. Van de invasieve exoten is de grote Canadese gans duidelijk in aantal achteruit gegaan en de nijlgans licht. De Indische gans is vrijwel in aantal gelijk gebleven.

In het *Mesohalien* zijn alle invasieve exoten in aantal achteruit gegaan. In het *Zwak polyhalien* zijn grote Canadese gans en nijlgans in aantal toegenomen, terwijl de Indische gans gelijk is gebleven. In het *Sterk polyhalien* is de situatie juist tegengesteld: grote Canadese gans en nijlgans nemen in aantal af en de Indische gans neemt toe. Voor de gehele Westerschelde zijn grote Canadese gans en nijlgans achteruit gegaan en de Indische gans is qua aantallen gelijk gebleven. In bijlage D-3 staat de ontwikkeling van deze soorten in de tijd weergegeven.

Tabel 5-25: Gemiddeld aantal exoten waargenomen op de Westerschelde, waarbij onderscheid is gemaakt tussen niet-invasieve en invasieve exoten in de perioden T2015 en T2021. - = soort niet waargenomen.

Soort	Niet-invasief		Invasief	
	T2015	T2021	T2015	T2021
australische bergeend	0,0	0,0		
bahamapijlstaart	-	0,0		
carolina-eend	-	0,1		
casarca	0,3	0,2		
chileense flamingo	-	0,1		
grote canadese gans			421,3	284,7
indische gans			0,5	0,6
kaapse casarca	0,0	0,0		
keizergans	0,0	0,0		
kleine canadese gans	0,3	0,0		
magelhaengans	-	0,0		
mandarijneend	0,1	-		
manengans	0,0	-		
nijlgans			26,4	21,7
sneeuwans	0,2	0,0		
zwarte zwaan	0,0	0,1		

Tabel 5-26: Gemiddeld aantal invasieve exoten waargenomen in de verschillende zones van de Westerschelde, waarbij onderscheid is gemaakt in de perioden T2015 en T2021. Een rode kleur geeft aan dat een exoot is toegenomen in een zone en groen dat de soort is afgenomen.

zone	grote canadese gans			indische gans			nijlgans		
	T2015	T2021	beoordeling	T2015	T2021	beoordeling	T2015	T2021	beoordeling
Mesohalien	171,8	100,7	groen	0	0	groen	4,5	2,6	groen
Zwak polyhalien	27,1	34,8	rood	0	0	groen	1,5	5,5	rood
Sterk polyhalien	222,4	149,2	groen	0,4	0,6	rood	20,4	13,6	groen
Totaal Westerschelde	421,3	284,7	groen	0,5	0,6	rood	26,4	21,7	groen

Samenvatting

Tabel 5-27 vat de beoordeling van het voorkomen van invasieve vogelsoorten in de Zeeschelde en de Westerschelde samen.

Tabel 5-27: Beoordeling van invasieve exoten in de vegetatie in de Zeeschelde en Westerschelde. Groen = positieve beoordeling, rood = negatieve beoordeling en - = gegevens ontbreken.

Zone	Zeeschelde							Westerschelde		
	Zoet zijrivier	Durme	Rupel	Zoet kort	Zoet lang	Oligohalien	Sal. gradient	Mesohalien	Zwak polyhalien	Sterk polyhalien
aantal invasieve exoten	rood	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	rood	groen
fractie invasieve exoten	rood	groen	rood	groen	rood	rood	rood	groen	rood	groen

Verklaring

De grote Canadese gans wordt in Zeeland actief beheerd. Dit heeft tot resultaat dat zowel de aantallen grote canadese ganzen als de afschotcijfers teruglopen. Zo werden in totaal in Zeeuws-Vlaanderen en Zuid-Beveland in 2017, 2018 en 2019 resp. 677, 557 en 516 vogels geschoten. De afname werd echter vooral veroorzaakt door ruivangsten in 2018 en 2019 op Tholen en St. Philipsland, waar in totaal 3.480 vogels werden gevangen (Faunabeheereenheid Zeeland, 2020). Dit verklaart de teruglopende stand van deze soort langs de Westerschelde. Hornman *et al.* (2022), noemen de stand van de grote Canadese gans in de periode 2016-2021 in het *Sterk polyhalien* stabiel, in het *Zwak polyhalien* onzeker en in het *Mesohalien* toenemend. Hierbij worden ook meer gebieden meegeteld dan alleen de Westerschelde. De nijlgans laat rond de Westerschelde nog een toename zien (Hornman *et al.*, 2022).

Ook in Vlaanderen vindt bestrijding van de grote Canadese gans plaats door afschot en ruivangsten, waardoor de aantallen in Vlaanderen relatief stabiel zijn (Devos *et al.*, 2021). De nijlgans wordt in Vlaanderen bestreden door o.a. eieren te schudden, afschot en vangst met drijvende kooien.

Langs de Westerschelde laten de aantallen van nijlgans en grote Canadese gans afnemende aantallen zien, terwijl de Indische gans qua aantallen stabiel is. Negatieve effecten van deze invasieve exoten zullen hier dan ook in vergelijking met de veel hogere aantallen van brandgans en grauwe gans nihil zijn. Langs de Zeeschelde treedt nog wel een lichte groei van de invasieve exoten grote Canadese gans en nijlgans op, zodat men hier alert moet zijn op een verdere toename van de populatie en de huidige bestrijdingsactiviteiten moet voortzetten.

5.8.4. Verhaallijn vogels

Definitie

Vogels worden gezien als belangrijke indicatoren voor het functioneren van een ecosysteem. Een toe- of afname van een soort betekent vaak dat er iets veranderd is in het ecosysteem. Hierbij dient wel rekening te worden gehouden met veranderingen in populatiegrootte of met verschuivingen in overwinteringsgebieden onder invloed van de klimaatverandering (Hornman *et al.*, 2022), waardoor ook veranderingen optreden door factoren buiten het Schelde-estuarium.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen broedvogels en niet-broedvogels; deze soorten stellen deels verschillende eisen aan hun leefgebied. Broedvogels voltooien hun reproductie binnen het Schelde-estuarium, terwijl niet-broedvogels vooral gebruik maken van het Schelde-estuarium buiten het broedseizoen. Broedvogels kunnen ook buiten het broedseizoen gebruik maken van het estuarium: ze worden dan tot de niet-broedvogels gerekend.

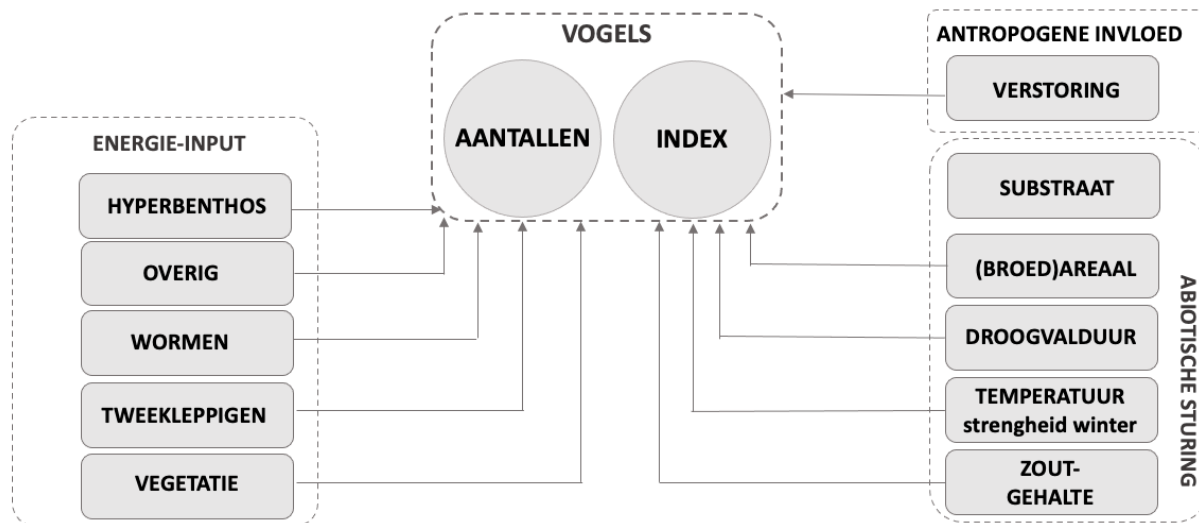
Bij vogels wordt met name gekeken naar aantallen, waarbij een vergelijking met de IHD van de desbetreffende soort voor het gebied wordt gemaakt, en naar de index-waarde, waarbij het aantal in 1991 de indexwaarde 100 heeft gekregen. Voor de verschillende onderscheiden voedselgroepen is een multispeciesindex berekend.

De aantallen en de daarvan afgeleide indexwaarde worden beïnvloed door een aantal abiotische en biotische factoren (Figuur 5-57). Voor broedvogels dient zowel broedareaal beschikbaar te zijn als foerageergebied, terwijl voor niet-broedvogels foerageergebied aanwezig dient te zijn maar ook plekken die gebruikt kunnen worden als hoogwaterrustplaats met hoogwater. Het foerageergebied dient voor slikgebonden soorten lang genoeg droog te vallen om hier voldoende voedsel te kunnen vergaren: met name kleine steltlopers starten al snel na hoogwater met foerageren om dit vol te houden tot vlak voor hoogwater, terwijl grote steltlopers later beginnen en eerder stoppen. Soorten verschillen in substraatvoorkeur: dit is deels afhankelijk van de foeragertechniek en deels van de prooikeuze.

De temperatuur van de winter is een belangrijke bepalende factor voor niet-broedvogels. Bij strenge vorst in noordelijker gebieden kunnen vogels naar de Westerschelde uitwijken, terwijl bij strenge vorst in de Westerschelde vogels naar elders kunnen vertrekken of er kan sterfte plaatsvinden. Binnen het Schelde-estuarium is er een zoutgradiënt, die ook weerspiegeld wordt in het voorkomen van de verschillende vogelsoorten (Ysebaert *et al.*, 2000).

Vogelsoorten gebruiken over het algemeen specifieke voedselbronnen, maar kunnen bij een (tijdelijk) hoog aanbod van een bepaalde voedselbron ook vaak naar deze bron overschakelen. De vogels worden ingedeeld in voedselgroepen: omnivoren, herbivoren, viseters en benthoseters, die weer onderverdeeld kunnen worden in consumenten van tweekleppigen, wormen of andere groepen benthos, zoals epibenthos en hyperbenthoseters,.

De menselijke invloed bestaat vooral enerzijds uit directe en indirecte habitataantasting. In het verleden bestond directe habitataantasting vooral uit inpolderingen en habitatdegradatie, terwijl tegenwoordig er ook positieve beïnvloeding in de vorm natuurontwikkeling en kwaliteitsverbetering plaatsvindt. Anderzijds kan het menselijke medegebruik ook indirecte habitatbeïnvloeding veroorzaken in de vorm van verstoring. Dit kan zowel op broedlocaties plaatsvinden, als in foerageergebieden of op hoogwatervluchtplaatsen. Daarnaast kan ook de voedselbeschikbaarheid beïnvloed worden door het wegvangen van vissen en garnalen, kokkels verzamelen of het steken van pieren.



Figuur 5-57: Schematisch weergegeven verhaallijn van de vogels. De twee responsvariabelen (Aantal en Index) worden beïnvloed door een samenspel van de beschikbare energie-input, de karakteristieken van de leefomgeving en antropogene invloed. Bij aantallen gaat het om de absolute aantallen en bij de index wordt een vergelijking gemaakt met het aantal in een bepaald basis jaar, dat op 100 wordt gesteld. Bij broedvogels gaat het om aantal broedparen. Bij niet-broedvogels gaat het om het areaal (beschikbaarheid foerageergebied) en bij broedvogels ook om het areaal geschikt broedgebied. Broedvogels worden niet beïnvloed door de strengheid van de winter, tenzij ze hier blijven overwinteren.

Observaties

In de Zeeschelde haalt alleen de rietzanger zijn IHD, terwijl de overige broedvogels er onder zitten. Blauwborst, dodaars en kluut hebben een stijgende trend en worden dan ook positief geëvalueerd. De overige soorten zijn stabiel, behalve de slobbeend, die in aantal afneemt. Tureluur en kluut lieten een dip in de aantallen zien in 2018 en 2019, maar hebben zich weer hersteld.

Binnen de begrenzing van het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe halen alleen bruine kiekendief en zwarkopmeeuw hun IHD. Van de blauwborst ontbreken recente gegevens, maar de soort

zit onder zijn IHD. De overige soorten kustbroedvogels met een IHD laten alle een negatieve ontwikkeling zien. Indien echter een ruime begrenzing wordt gehanteerd, waarbij ook randgebieden grenzend aan de Westerschelde worden meegenomen, zitten kluut en strandplevier boven hun instandhoudingsdoel en laten dwergstern en grote stern een positieve ontwikkeling zien.

De Zeeschelde en de Westerschelde zijn aangewezen voor resp. 5 en 31 niet-broedvogelsoorten met een IHD. In de Zeeschelde haalt geen enkele soort zijn IHD, terwijl in de Westerschelde 14 soorten hun IHD halen.

De soorten met een IHD voor de Zeeschelde zijn alle omnivore eenden, die rond de eeuwwisseling een sterke aantalspiek lieten zien. De aantallen van deze soorten zijn weer afgenomen tot de aantallen rond 1991 of liggen zelfs lager. Een uitzondering hierop vormt de kraakeend. In alle zones behalve de zone oligohalien liggen de wintergemiddelde aantallen van alle vogels lager dan tijdens de T2015. De vogels binnen de ruime begrenzing van de Zeeschelde, maar buiten de enge begrenzing, zijn niet meegeteld. Ook wanneer deze worden meegenomen, zijn de aantallen watervogels in de Zeeschelde afgenomen. Vooral de aantallen omnivore eenden liggen lager.

Het aantal niet-broedvogelsoorten dat in de Westerschelde zijn IHD haalt is ten opzichte van de T2015 met twee soorten gestegen. Het seizoengemiddelde aantal vogels is ten opzichte van de T2015 met 10% afgenomen in het *Mesohalien* en met 50% toegenomen in het *Zwak polyhalien* en met 3% in het *Sterk polyhalien*. In het *Mesohalien* nemen de herbivoren en wormeneters af, terwijl de schelpdiereters toenemen. In het *Zwak polyhalien* nemen bijna alle benthivore soorten toe, terwijl in het *Sterk polyhalien* het aantal omnivoren iets is afgenomen en het aantal wormeters iets is gestegen.

In de Zeeschelde is het aantal soorten exoten over het algemeen afgenomen, maar is in de zone *Zoet korte verblijftijd* gelijk gebleven. Het aantal soorten invasieve exoten is in de *Rupel* gelijk gebleven en in de overige zones afgenomen. De belangrijkste invasieve soorten, de grote Canadese gans en de nijlgans, zijn gemiddeld over alle zones toegenomen. In de *Durme* en de zone *Zoet korte verblijftijd* zijn beide soorten echter afgenomen en de grote Canadese gaans ook in de zone *Saliniteitsgradiënt*. In alle overige zones is sprake van een toename.

In de Westerschelde is het aantal niet-invasieve exoten gestegen van 9 naar 11 soorten, maar alle soorten zijn in zeer lage aantallen aanwezig. Er zijn drie invasieve exoten, waarvan de twee talrijkste soorten, grote Canadese gans en nijlgans, gemiddeld in aantal zijn afgenomen. Beide soorten laten in het *Mesohalien* en het *Sterk polyhalien* een afname zien en een lichte toename in het *Zwak polyhalien*.

Verklaring

Eerst zal ingegaan worden op de broedvogels met een IHD voor de Zeeschelde en vervolgens op die van de Westerschelde. Aansluitend worden de niet-broedvogels met een IHD voor de Zeeschelde, besproken waarna wordt afgesloten met de niet-broedvogels met een IHD voor de Westerschelde.

Broedvogels

De realisatie van de Sigmagebieden heeft geresulteerd in een toename van de moerasgebieden binnen de ruime begrenzing van de Zeeschelde. Hierdoor is de oppervlakte potentieel broedgebied voor moerasvogels als blauwborst, rietzanger, dodaars, slobeend en zomertaling toegenomen. Echter, alleen de drie eerstgenoemde soorten laten een toename zien, terwijl slobeend en zomertaling resp. zijn afgenomen of gelijk gebleven. Beide soorten laten in Nederland een afname zien tot ongeveer 2015, waarna een stabilisatie volgt (www.sovon.nl). Dit verklaart waarom langs de Zeeschelde ook geen toename van deze soorten heeft plaatsgevonden.

Kluut en tureluur komen vooral op terreinen in de Antwerpse haven voor en laten hier in 2017 en 2018 een duidelijke afname in het aantal broedparen zien door de vestiging van de vos. Na het plaatsnemen van

vossenrasters trad hier weer herstel van het aantal broedparen op (Van Ryckegem *et al.*, 2022). Opmerkelijk is het stabiele aantal broedparen van de scholekster. Het geprefereerde broedgebied bestaat tegenwoordig steeds meer uit akkergebieden, zodat in de toekomst het aantal broedparen eerder zal dalen dan stijgen.

Binnen de Natura 2000-begrenzing van de Westerschelde laten de meeste broedvogels met een IHD een negatief beeld zien. Alleen bruine kiekendief en zwartkopmeeuw halen hun IHD. De overige kustbroedvogelsoorten met een instandhoudingsdoel zijn achteruitgegaan. Verschillende factoren zijn hiervoor verantwoordelijk. Het belangrijkste broedgebied voor kustbroedvogels is De Bol op de Hooge Platen in het *Sterk polyhalien*. Door erosie is De Bol sterk aangetast, terwijl op de rest van de Hooge Platen de pionierschorvegetatie grotendeels vervangen is door schorvegetatie, terwijl de meeste kustbroedvogels een voorkeur hebben voor pioniervegetaties.

Voor bontbekplevier en de strandplevier is verstoring door recreatie een belangrijke factor. Beide soorten broedden in het verleden onder andere op dijktafuds. Tijdens de dijkverbeteringswerken in de eerste decennia van deze eeuw, zijn buitendijks verharde onderhoudswegen aangelegd, die voor een belangrijk deel zijn opengesteld voor recreatief medegebruik, waardoor recreanten op korte afstand van broedlocaties passeren. Hierdoor zijn bontbekplevier en strandplevier achteruitgegaan. Door zoning, voorlichting en het plaatsen van rasters blijkt het broedresultaat van deze soorten wel verbeterd te kunnen worden (Janse *et al.*, 2023), maar dit is onvoldoende om de aantallen broedparen van begin deze eeuw terug te krijgen.

Ook in Saeftinghe hebben belangrijke ontwikkelingen plaatsgevonden. Dit is het belangrijkste gebied voor de bruine kiekendief en de blauwborst, terwijl ook de visdief hier in verleden talrijk broedde. Door sedimentatie neemt de hoogte van het gebied toe, waardoor in de lage delen de zeebies is afgenomen, terwijl op de hoogste delen riet tot ontwikkeling komt, omdat de zoutinvloed hier is afgenomen. De vos heeft zich ongeveer 10 jaar geleden in het gebied gevestigd. Hierdoor verdween de visdief vrijwel geheel als broedvogel uit het gebied en de bruine kiekendief is hierdoor meer in de rietvegetatie gaan broeden in plaats van in de zeebiesvegetatie (Meininger, 2022). De achteruitgang van de blauwborst in Saeftinghe hangt samen met het verdwijnen van op zeebies foeragerende grauwe ganzen, waardoor er minder kale plekken zijn, waar de blauwborst kan foerageren.

Kustbroedvogels broeden in dynamische milieus en reageren snel als nieuwe geschikte broedlocaties beschikbaar komen. Met het gereedkomen van Waterdunen, dat buiten de begrenzing van het Natura 2000-gebied ligt en uit een binnendijks zout gebied met een getijslag van 1 m bestaat, zijn veel kustbroedvogels naar de hier speciaal aangelegde broedeilanden uitgeweken. Wanneer gebieden als Waterdunen en andere gebieden, die tegen de Westerschelde aan liggen, worden meegerekend dan blijken ook kluut en strandplevier aan het IHD te voldoen, terwijl dwergstern en grote stern een positieve trend vertonen. Voor visdief en bontbekplevier is de situatie dan stabiel. Dit geeft aan dat de begrenzing van het gebied sterk bepalend is voor het al dan niet behalen van het IHD voor kustbroedvogels. Feit blijft dat het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe aangewezen is voor zeven soorten kustbroedvogels, maar dat geen enkele soort in 2021 binnen de enge begrenzing zijn IHD haalde.

Niet-broedvogels

In de Zeeschelde haalde geen enkele soort zijn IHD. De aanwijzing heeft plaatsgevonden op het moment dat de vijf omnivore eendensoorten sterk profiteerden van een tijdelijk hoog aanbod van Oligochaeten, dat later door de toegenomen waterkwaliteit sterk is afgenomen, hetgeen resulteerde in een sterke afname van de meeste eendensoorten. De aantallen zijn nu lager dan bij de start van de tellingen in 1991. Uitzondering hierop is de krakeend; van deze soort is aantal broedparen in West-Europa sterk toegenomen (Keller *et al.*, 2020), waardoor ook buiten het broedseizoen de aantallen zijn toegenomen. De aantallen van deze soort zijn ten opzichte van de eeuwwisseling gehalveerd.

In de meeste zones van de Zeeschelde is de oppervlakte litoraal binnen de enge begrenzing licht afgenomen ten opzichte van de situatie tijdens de T2015. Dit wordt ook weerspiegeld in lagere wintergemiddelde vogelaantallen van alle soorten. Alleen in de zone *Oligohalien* is het aantal vogels toegenomen. Bij beschouwing van de verschillende voedselgroepen zijn bijna overal de omnivore watervogelsoorten afgenomen, behalve in de zone *Zoet korte verblijftijd*. In de zone *Oligohalien* is weliswaar het aantal omnivore vogels afgenomen, maar het aantal herbivore watervogels is hier duidelijk toegenomen. Dit zal samenhangen met de toename van de oppervlakte schor in deze zone. In de Saliniteitsgradiënt is in de laatste jaren de biomassa van de schelpdieren toegenomen. De exoot brakwaterkorfschelp is vooral hiervoor verantwoordelijk. Dit schelpdier wordt gegeten door scholeksters, waarvan de aantallen dan ook stijgen in deze zone.

In de Westerschelde zijn de aantallen watervogels redelijk stabiel gebleven. Wanneer naar de voedselgroepen wordt gekeken loopt het aantal herbivoren en omnivoren iets terug, terwijl het aantal epibenthoseters en schelpdiereters toeneemt. Opmerkelijker is echter de verandering van het aantal vogels in de verschillende zones. De aantallen zijn in het *Mesohalien* met 10% gedaald, in het *Zwak polyhalien* met 50% toegenomen en in het *Sterk polyhalien* met 3%. Meerdere processen zijn voor deze veranderingen verantwoordelijk. In het *Zwak polyhalien* en het *Mesohalien* is de oppervlakte laagdynamisch litoraal toegenomen en in het *Sterk polyhalien* is de oppervlakte afgenomen. Het belangrijkste gebied in het *Sterk polyhalien* zijn de Hooge Platen. Hier vindt weliswaar plaatselijk erosie plaats, maar tegelijk vindt hier verhoging van de platen plaats, waardoor een deel van de platen begroeid raakt; aanvankelijk met pionierschor maar geleidelijk is dit via natuurlijke successie vervangen door schorvegetatie. Dit levert verlies aan foerageergebied van slikgebonden soorten op. In het *Zwak polyhalien* en *Mesohalien* neemt de oppervlakte laagdynamisch litoraal toe, maar er vindt geen uitbreiding van pionierschor plaats.

Een tweede ontwikkeling is reeds in hoofdstuk 6.5 bij het Macrozoöbenthos beschreven. De benthosbiomassa in de Westerschelde is de afgelopen jaren verdrievoudigd. Dit komt vooral door een toename van Bivalven, die geprofiteerd hebben van de afname van TBT in de bodem en het water van het Scheldesysteem. De hoogste benthosbiomassa is nu te vinden in het *Zwak polyhalien* gevolgd door het *Sterk polyhalien*, terwijl in het *Mesohalien* weliswaar de biomassa is gestegen maar toch achterblijft bij die in de andere zones. De toename van de benthosbiomassa in het *Zwak polyhalien* wordt weerspiegeld in de vogelaantallen, omdat de oppervlakte laagdynamisch slik hier nauwelijks is toegenomen. Met name de aantallen grote steltlopers zijn gestegen, gevolgd door de middelgrote steltlopers en tenslotte door de kleine steltlopers. In het *Mesohalien* is de oppervlakte laagdynamisch slik het meest in oppervlakte toegenomen, maar de benthosbiomassa blijft duidelijk achter bij die in de twee andere zones. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de aantallen van alle drie de groepen steltlopers (klein, middelgroot en groot) in het *Mesohalien* zijn afgenomen, ondanks het feit dat ook hier de benthosbiomassa is toegenomen. In het *Sterk polyhalien* is de oppervlakte laagdynamisch litoraal weliswaar met 5% afgenomen, maar desondanks zijn de aantallen middelgrote en grote steltlopers stabiel gebleven, terwijl de kleine steltlopers met 20% zijn toegenomen. Deze groep heeft zich deels verplaatst van het *Mesohalien* naar het *Sterk polyhalien*. Dit kan verklaard worden door de hogere benthosbiomassa in het *Sterk polyhalien*.

Kleine steltlopers beginnen al kort na hoogwater met foerageren en houden dit tot een uur voor hoogwater vol. Voor deze groep is het belangrijk dat er een geleidelijk overgang is van hooggelegen laagdynamisch slik naar middelhoog- en laaggelegen slik, zodat ze al foeragerend de laagwaterlijn kunnen volgen. In het *Zwak polyhalien* bestaat het belangrijkste foerageergebied uit de Rug van Baarland en de Molenplaat, die pas enkele uren na hoogwater droogvallen, zodat het voor kleine steltlopers minder aantrekkelijk is om op deze platen te foerageren: ze hebben het *Mesohalien* dan ook ingeruild voor het *Sterk polyhalien*.

Binnen de benthivore slijkgebonden steltlopers vertonen de aantallen van onder andere scholekster en steenloper een significant positieve correlatie met het toegenomen aanbod van hun prooidieren in het *Mesohalien* en het *Zwak polyhalien*. In het *Sterk polyhalien* werd geen correlatie gevonden. Wanneer de aantallen van de wintertalingen uitgezet worden tegen het aanbod van wormen, Arthropoden en overige soorten ontstaat er in alle drie zones een significant positieve correlatie. Voor de pijlstaart bestaat deze alleen voor het *Mesohalien* en *Zwak polyhalien* en voor de krakeend alleen voor het *Mesohalien*. Correlaties zijn weliswaar geen causale verbonden, maar de correlaties lijken toch te wijzen op een functionele respons van deze soorten op het toegenomen voedselaanbod.

De herbivoren vertonen een duidelijke afname. Deze hangt samen met de afname van pioniervegetatie en de lage schorvegetatie in de Westerschelde. De belangrijkste soorten zijn grauwe gans en smient. De grauwe gans heeft aanvankelijk geprofiteerd van de 750 ha gedomineerd door zeebies in Saeftinghe, maar door natuurlijke successie is de oppervlakte hiervan gehalveerd en daarmee zijn ook de aantallen grauwe ganzen sterk achteruitgegaan. De smient foerageert in de herfst op schorvegetaties. De aantallen smienten hangen dan ook sterk samen met de oppervlakte pionierschor en lage schorvegetatie. Met de afname hiervan zijn ook de aantallen smienten teruggelopen. Dit wordt mogelijk versterkt door het feit dat de reproductie van de smient in de noordelijke broedgebieden is afgenomen, waardoor de aantallen in Nederland afnemen (Hornman *et al.*, 2023).

De aantallen piscivoren laten een lichte toename zien. De middelste zaagbek en de fuut zijn na de eeuwwisseling flink afgenomen en laten sindsdien stabiele aantallen zien, zodat de toename wordt veroorzaakt door kleine zilverreiger en lepelaar. Van beide soorten is het aantal broedparen in Nederland toegenomen. Van de kleine zilverreiger is de groei gestagneerd na de strenge winters rond 2010, maar de groei van de lepelaar heeft zich doorgezet. Beide soorten zijn noordelijker gaan overwinteren. Dit verklaart de groei van de piscivore watervogels, die vooral voor rekening van de oevergebonden soorten komt.

Het aantal soorten invasieve exoten is in de Zeeschelde en de Westerschelde gelijk gebleven. De fractie invasieve exoten is in de Zeeschelde toegenomen en in de Westerschelde afgenomen. Dit geldt met name voor de grote Canadese gans. In Nederland worden invasieve exoten als de grote Canadese gans en de nijlgans zeer actief bestreden, waardoor de aantallen teruggelopen. Vooral het vangen van ruiende vogels, zoals in 2018 en 2019 op Tholen en St. Philipsland heeft plaatsgevonden, blijkt zeer effectief te zijn. Daarnaast worden ook jaarlijks honderden vogels geschoten. Ook in Vlaanderen vindt bestrijding plaats in de vorm van afschot en door middel van ruivangsten, waardoor de aantallen relatief stabiel zijn (Devos *et al.*, 2021).

5.9. Toetsparameter Zeezoogdieren

5.9.1. Sleutelsoorten/groepen

Definitie

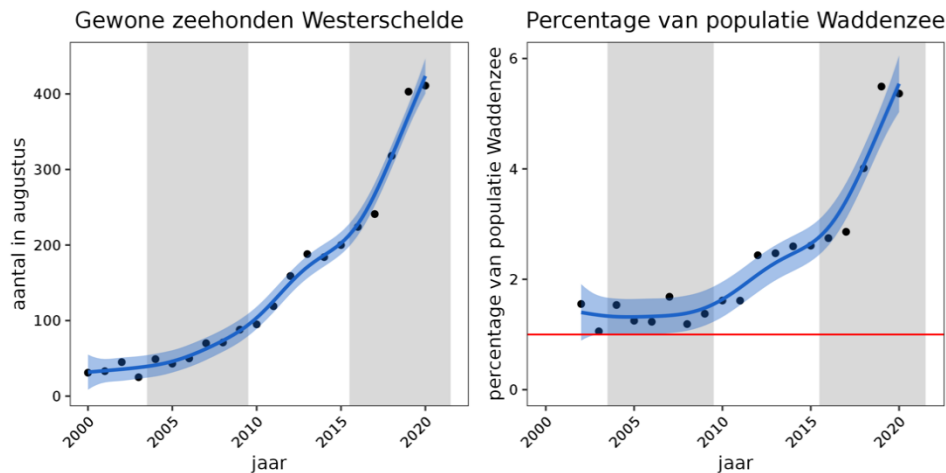
Voor de zeezoogdieren zijn de gewone zeehond en de grijze zeehond als sleutelsoorten opgenomen. De populatie van de gewone zeehond in de Westerschelde dient minstens 1% te zijn van de populatie van de zeehond in de Nederlandse Waddenzee voor een positieve evaluatie. Daarnaast dient de reproductie in de Westerschelde minstens 9% te zijn van de augustusaantallen om de populatie duurzaam in stand te kunnen houden. De aantallen van de grijze zeehond zijn in de Westerschelde nog in ontwikkeling. Deze dieren wisselen uit met de dieren in de Voordelta, die op hun beurt weer uitwisselen met het

Waddengebied en de dieren langs de Engelse oostkust. Voor een positieve evaluatie mogen de aantallen van de grijze zeehond geen negatieve trend vertonen.

5.9.2. Aantal

5.9.2.1. Aantal gewone zeehonden

De ontwikkeling van het aantal gewone zeehonden in de Westerschelde, gebaseerd op de aantallen in augustus, staat weergegeven in Figuur 5-58. In de periode van de T2015 was al sprake van een flinke groei en deze heeft zich in de periode van T2021 versterkt doorgezet. Vooral in 2018 en 2019 was sprake van een zeer sterke groei. In de Internationale Waddenzee was sinds 2012 min of meer sprake van een stabiele populatie, waarbij de laatste jaren een verplaatsing van dieren van de Deense Waddenzee naar de Duitse Waddenzee plaatsvond. In de Nederlandse Waddenzee was de laatste jaren sprake van een stabiele populatie (Galatius *et al.*, 2021). Aangezien de populatie in de Westerschelde wel groeide steeg het aandeel van de Westerschelde ten opzichte van de Waddenzeepopulatie van ruim 2% in de T2015 naar ruim 5% in de tweede helft van de T2021.

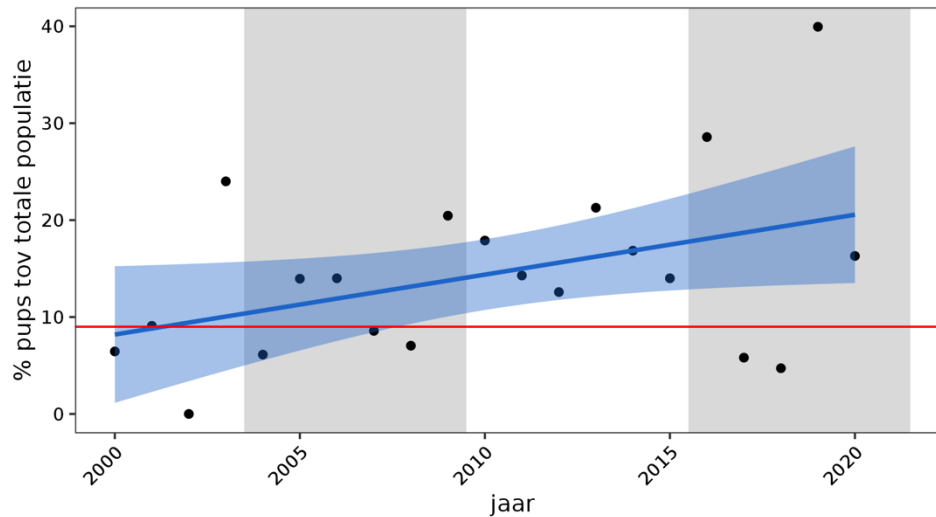


Figuur 5-58: De ontwikkeling van de gewone zeehond in de Westerschelde tijdens de laagwatertelling in augustus (links) en de verhouding tussen het aantal gewone zeehonden in augustus in de Westerschelde en het aantal geteld in de Waddenzee (rechts). De rode lijn is de 1% lijn.

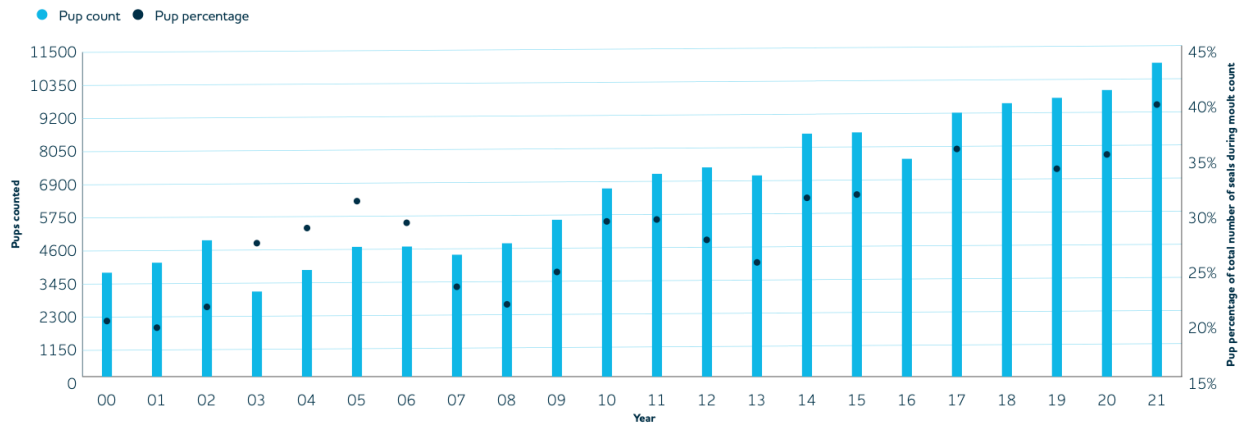
5.9.2.2. Aantal pups gewone zeehond

Om de populatie van de gewone zeehond in de Westerschelde duurzaam in stand te houden dient de jaarlijkse jongenproductie minstens 9% te zijn (Fijn *et al.*, 2013). In 2017 en 2018 lag het aandeel pups ten opzichte van de augustusaantallen beneden 9% (Figuur 5-59). Een mogelijke verklaring zouden ongunstige weersomstandigheden kunnen zijn. Dit zou ook in de Waddenzee zichtbaar moeten zijn, maar hier is geen sprake van (Figuur 5-59).

Aandeel pups binnen populatie
Gewone zeehond Westerschelde

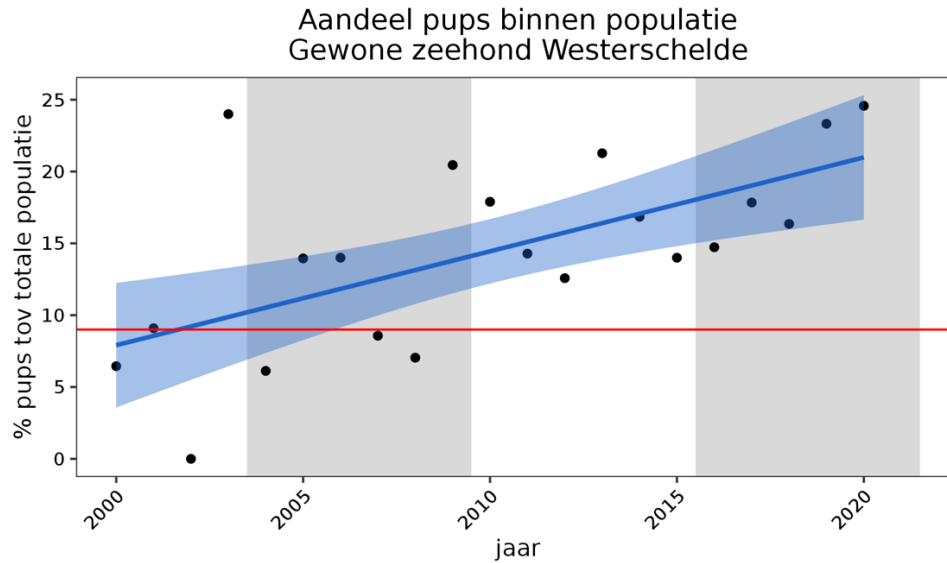


Figuur 5-59: Het aandeel van de aantallen pups met laagwater in juli op de platen in de Westerschelde ten opzichte van de populatie gewone zeehonden in het desbetreffende jaar in de Westerschelde. Het aandeel pups dient minstens 9% (rode lijn) te bedragen om de populatie van de gewone zeehond in de Westerschelde in stand te kunnen houden.



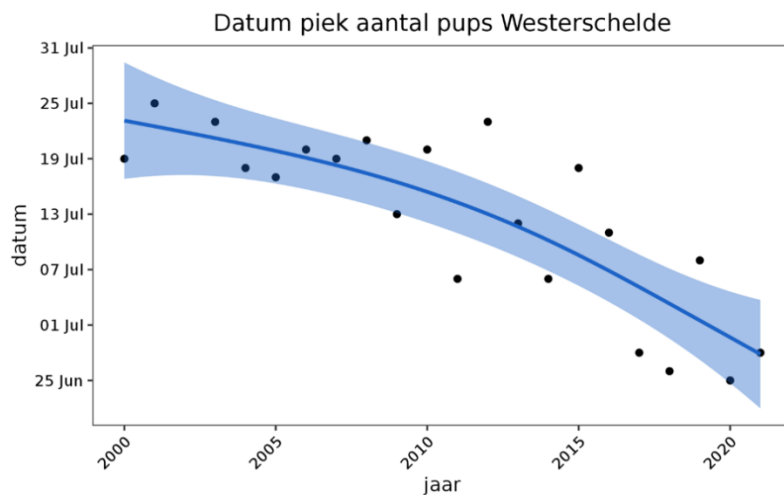
Figuur 5-60: Aantal pups van de gewone zeehond geteld in de Waddenzee in juni (linker as) in de jaren 2000-2021. Het aantal pups staat als percentage van het totaal aantal gewone zeehonden tijdens de verharing in augustus op de rechter as weergegeven.

De verklaring voor het lage aantal pups in 2017 en 2018 moet gezocht worden in het moment van tellen. In de EMSE wordt juli opgegeven als maand waarin het aantal jongen bepaald moet worden, terwijl in de Waddenzee het aantal jongen in juni bepaald wordt (Galatius *et al.*, 2021). Reijnders *et al.* (2010) hebben laten zien dat er in de periode 1974-2009 een vervroeging van de datum van het piekaantal jongen werd waargenomen van 25 dagen: van ongeveer 21 juli naar ongeveer 25 juni. Dit zou betekenen dat met een telling in juli het aantal jongen onderschat kan worden. In Figuur 5-61 is voor de Westerschelde niet het aantal jongen in juli tegen het jaar uitgezet, maar het maximumaantal jongen in het desbetreffende jaar.



Figuur 5-61: Aantal pups van de gewone zeehond geteld in de Westerschelde als maximaal aantal alle maanden in het desbetreffende jaar als percentage van het totaal aantal gewone zeehonden tijdens de verharing in augustus.

Indien het maximaal aantal jongen als maat voor het aantal pups wordt genomen blijkt dit in 2017 en 2018 niet onder de 9%-grens te liggen maar er duidelijk boven. Aangezien er meerdere tellingen per maand beschikbaar zijn is het mogelijk om de vroegste datum te berekenen waarop het maximaal aantal pups bereikt wordt. Hieruit blijkt dat ook in de Westerschelde een vervroeging in het maximaal aantal pups heeft plaatsgevonden in de periode 2000 - 2021 van rond 23 juli naar ongeveer 30 juni (Figuur 5-62). Goed te zien is dat zowel 2017 als 2018 relatief vroege jaren waren. De jaren 2017 en 2018 waren dus geen afwijkende jaren met extra lage aantallen pups en blijken goed in het algemene patroon te passen. Dit betekent dat voor de Evaluatiemethodiek gebruik gemaakt moet worden van de maximaal aantal jongen in de voorjaarsperiode in plaats van die in juli.



Figuur 5-62: Datum waarop het maximaal aantal pups in de Westerschelde op zijn vroegst werd waargenomen.

Wanneer echter voor de periode T2015 en T2021 naar het aandeel pups in de Waddenzee wordt gekeken, ligt het aandeel pups tussen resp. 25 en 40%. Dit is duidelijk hoger dan in de Westerschelde, waar het percentage pups in 2019 en 2020 tussen 20-25% ligt. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door de

sterke influx in 2018 en 2019 van nieuwe, waarschijnlijk nog niet geslachtsrijpe dieren, die in 2020 nog niet of slechts voor een deel aan de reproductie deelnemen.

Door Dedert *et al.* (2015) wordt een andere mogelijke oorzaak voor de lagere reproductie van de gewone zeehond in Westerschelde genoemd. De gehalten van perfluorverbindingen (PFC's), waarvan PFOS ook een onderdeel vormt, zijn hoog in gewone zeehonden in de Westerschelde. PFC's binden zich aan bloedeiwitten en hopen zich met name op in bloed en lever en kunnen via de placenta worden doorgegeven aan het ongeboren jong. Bodemvissen als tong en bot bevatten hoge gehalten aan PFOS. Dedert *et al.* (2015) concluderen dan ook dat PFC's de gezondheid van zeehonden in het Deltagebied mogelijk beïnvloeden.

Zwarten en Boon (2020) geven een overzicht van vissen van verschillende locaties in de Westerschelde en de belasting met PFAS (Tabel 5-28). Van west naar oost gaand neemt de concentratie PFAS toe. Dit geldt alleen niet voor bot, die in de gehele Westerschelde hoge gehalten bevat.

Tabel 5-28: Berekende somconcentraties PFAS. De lage waarde is gebaseerd op de aanname dat wanneer een PFAS niet bepaald kon worden, dat de stof ontbrak en bij de hoge waarde is aangenomen dat het gehalte van de stof gelijk is aan de detectielimiet (Zwarten en Boon, 2020).

Vissoort	Somconcentraties PFAS in ngPEQ per gram					
	Vlissingen		Hansweert		Bath	
	laag	hoog	laag	hoog	laag	hoog
Wijting	5,2	9,9	8,0	12	13	16
Bot	32	35	47	50	37	40
Spiering	6,5	22			16	32
Zeebaars	19	30			41	52

De gewone zeehond eet ongeveer 5 kg vis per dag, en het merendeel bestaat uit platvis. Dit komt neer op 1.825 kg op jaarbasis (Meininger *et al.*, 2003). De biomassa van vis in de Westerschelde op basis van korvangsten bestaat uit 1-2 kg/ha (zie onderdeel Vissen in het Analyserapport). Uitgaande van een oppervlakte van 25.000 ha (zie Meininger *et al.*, 2003) komt dat neer op maximaal 50.000 kg vis. Dit is op jaarbasis genoeg voor 25-30 gewone zeehonden. Gewone zeehonden kunnen weliswaar grote foerageertochten maken, maar over het algemeen worden afstanden van maximaal 20 km afgelegd (Reinders *et al.*, 2000). Dit betekent dat het voedsel voor een belangrijk deel uit pelagische vissen zal bestaan, die veelal een lagere belastinggraad met PFAS hebben dan bot.

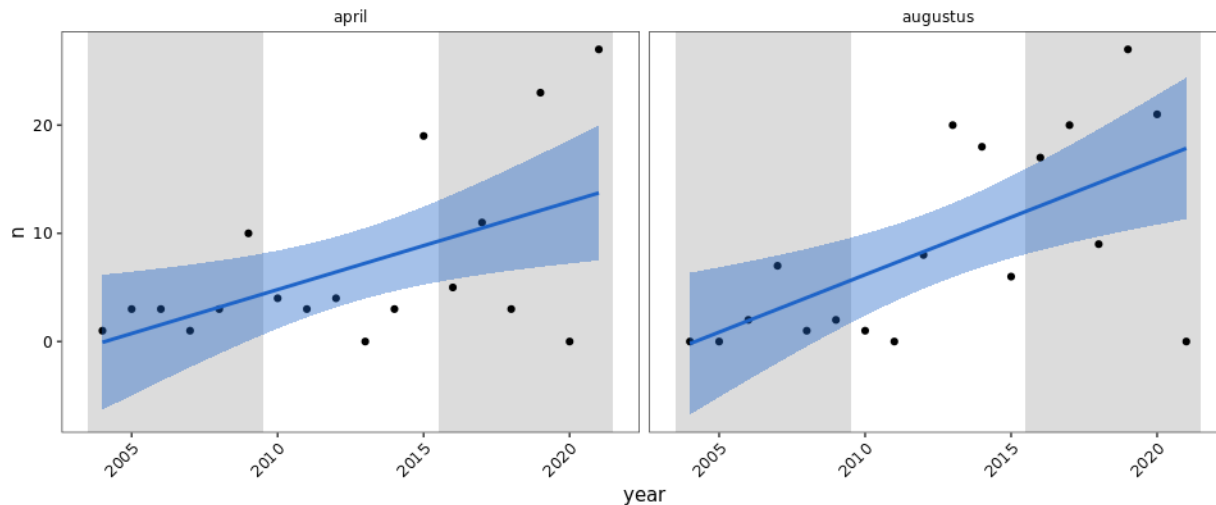
Dit verklaart mogelijk dat ondanks de hoge belasting met verontreinigingen van platvis in de Westerschelde met o.a. PFAS de gewone zeehond zich goed kan handhaven en reproduceren, omdat het voedsel voor een belangrijk deel uit pelagische vis bestaat die minder zwaar belast is met verontreinigingen.

5.9.2.3. Aantal grijze zeehonden

In het analyserapport is de ontwikkeling van de grijze zeehond in de Westerschelde in augustus weergegeven. Echter, in tegenstelling tot bij de gewone zeehond, vindt de verharijng van de grijze zeehond in maart-april plaats (Basseur *et al.*, 2021), zodat bij voorkeur data van april gebruikt moeten worden om de trend in de populatie te schatten, zoals ook in de Waddenzee gebeurt. In Figuur 5-63 is de ontwikkeling van de grijze zeehond op basis van gegevens uit april en augustus weergegeven. Het resultaat is vergelijkbaar, maar wel ligt de regressielijn bij de augustuswaarden iets hoger. Het gemiddelde aantal grijze zeehonden steeg in augustus van 6,7 in de T2015 naar 11,6 in de T2021; een jaargemiddeld groeipercentage van bijna 10%. In de Waddenzee nam de populatie van de grijze

zeehond toe in de periode 2017-2021 met 19%. Deels werd dit veroorzaakt door lagere aantallen in Sleeswijk-Holstein (Brasseur *et al.*, 2021).

In de Voordelta nam de populatie van de grijze zeehond de afgelopen tien jaren met gemiddeld 18% toe (Hoekstein *et al.*, 2022). Zij vermelden ook dat in de periode april-oktober er zes keer per week vanuit Breskens een zeehondentocht naar de zeehondenligplaats op de Hooge Platen plaatsvindt, waarbij de rustplaats verstoord kan worden. Dit verklaart mogelijk het soms ontbreken van grijze zeehonden tijdens de tellingen in de Westerschelde, omdat de Hooge Platen de belangrijkste rustplaats voor de grijze zeehond in de Westerschelde vormen.



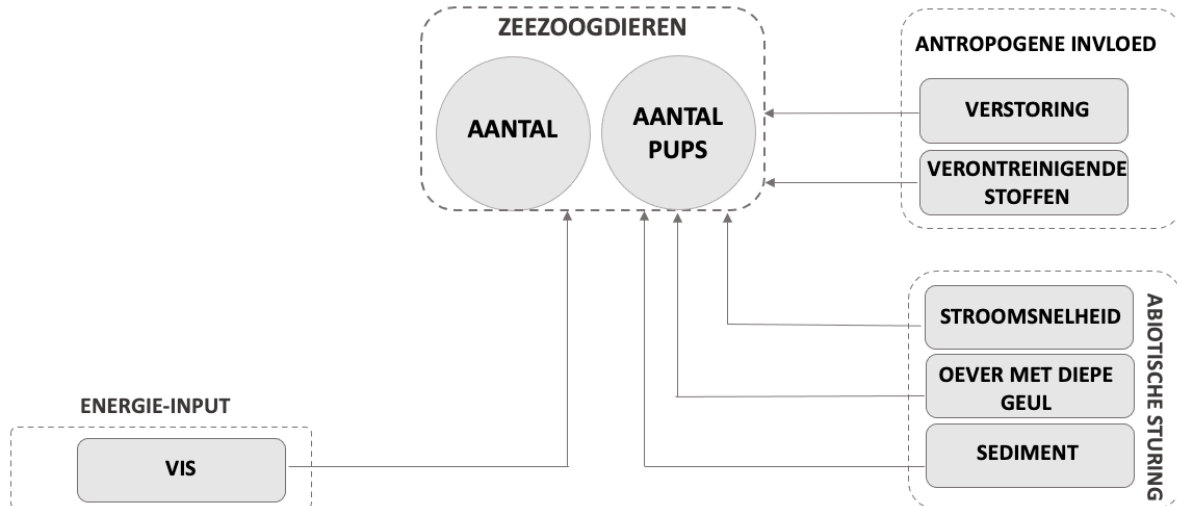
Figuur 5-63: De ontwikkeling van de grijze zeehond in de Westerschelde tijdens de laagwatertelling in april en in augustus.

5.9.3. Verhaallijn

Definitie

De zeezoogdieren staan aan de top van de aquatische voedselketen. De aantalsontwikkeling en hun reproductie geven dan ook inzicht in het functioneren van het onderliggende aquatische ecosysteem. Het voedsel bestaat uit vissen. De aantallen van de gewone zeehond en de grijze zeehond in de Westerschelde worden met het bestaande monitoringsprogramma goed vastgelegd. De gewone zeehond plant zich al jaren voort in de Westerschelde, terwijl de grijze zeehond zich meer voortplant in de Voordelta of in nog verder weg gelegen gebieden. Alleen de reproductie van de gewone zeehond is als rekenparameter opgenomen.

De aantallen en de reproductie van zeehonden wordt in belangrijke mate bepaald door het beschikbare voedsel dat uit vis bestaat. Abiotische factoren, die van invloed zijn, zijn de beschikbaarheid van platen met een aangrenzende diepe geul, zodat de dieren gemakkelijk in en uit het water kunnen komen om op de platen te rusten en hun jongen te voeden. Veelal bevinden deze rustgebieden zich in de meer hoogdynamische delen, waardoor de bodem uit zand bestaat. De stroomsnelheid is dan ook een belangrijke factor. De menselijke invloed bestaat uit verstoring van rustplaatsen en de uitstoot van verontreinigende stoffen. Daarnaast kan de mens door het wegvangen van vissen de voedselbeschikbaarheid beïnvloeden.



Figuur 5-64: Schematisch weergegeven verhaallijn van de zeehonden. De twee responsvariabelen (Aantal en Aantal Pups*) worden beïnvloed door een samenspel van de beschikbare energie-input, de karakteristieken van de leefomgeving en antropogene invloed. * = alleen gewone zeehond.

Observaties

Zeezoogdieren, gewone en grijze zeehond, worden alleen beoordeeld voor de Westerschelde, omdat ze hier al jaren gemonitord worden. De aantalsgroei van de gewone zeehond heeft zich voortgezet, zodat de populatie in de Westerschelde gestegen is van 2% naar ruim 5% van de populatie in de Nederlandse Waddenzee, zodat ruim voldaan wordt aan het criterium dat de Westerscheldepopulatie minstens 1% bedraagt van de populatie in de Nederlandse Waddenzee.

De reproductie steeg gedurende de T2021 van ongeveer 12 naar bijna 25%, zodat deze ruim boven de reproductie van 9% ligt, benodigd om de populatie in de Westerschelde in stand te houden (Fijn *et al.*, 2013).

Ook de populatie van de grijze zeehond in de Westerschelde blijft zich positief ontwikkelen, zodat deze ontwikkeling positief wordt geëvalueerd.

Verklaring

Alle rekenparameters, aantallen gewone en grijze zeehond, en reproductie gewone zeehond, blijken zich positief te ontwikkelen. Opmerkelijk genoeg zijn er toch enige ontwikkelingen die mogelijk een negatieve invloed kunnen hebben. Zo is de boomkorbiomassa gedaald in het Mesohalien en het Sterk polyhalien, en toegenomen in het Zwak polyhalien. De ankerkuilvangsten werden gedomineerd door haring, maar hiervan zijn de vangsten de laatste jaren gedaald. Berekeningen ten aanzien van de hoeveelheid beschikbare benthivore vis laten zien dat deze onvoldoende is om de populatie van de gewone zeehond in de Westerschelde te onderhouden, zodat een deel van het voedsel uit pelagische vis moet bestaan. De reproductie in de Westerschelde is weliswaar gestegen, maar ligt nog steeds lager dan in de Waddenzee. Dit zou door het beperkte voedselaanbod veroorzaakt kunnen worden, maar ook kunnen effecten van verontreinigingen niet bij voorbaat volledig uitgesloten worden. Dedert *et al.* (2015) hebben laten zien dat bloed van zeehonden in de Westerschelde relatief hoge concentraties PFAS (Poly- en perfluoralkylstoffen) bevatten. Niet uitgesloten kan worden dat deze stoffen effect hebben op de voortplanting van zeehonden. Aangezien PFAS zeer persistent zijn, is het zinvol om nader te onderzoeken of dit soort stoffen daadwerkelijk van invloed is op de reproductie van zeehonden in de Westerschelde of dat een slechte reproductie gemaskeerd wordt door een instroom van zeehonden van

elders (Brasseur, 2017). Uit modelberekeningen komt naar voren dat, afhankelijk van de vissoort, door mensen 2-19 keer per jaar een portie vis uit de Westerschelde kan worden gegeten zonder dat de gezondheidkundige grenswaarde van PFAS wordt overschreden (Zwartsen en Boon, 2022). Het voedsel van zeehonden bestaat volledig uit vis, zodat zij naar verwachting veel grotere gezondheidsrisico's kunnen lopen.

5.10. Toetsparameter Exoten

Exoten zijn soorten die door toedoen van menselijk handelen in een nieuwe omgeving worden geïntroduceerd (EU, 2014). Exoten die zich vestigen in het Schelde-estuarium en stabiele populaties opbouwen zijn doorgaans ongewenst. Er dient evenwel een onderscheid gemaakt te worden tussen sporadische aanwezigheid en versturende activiteit. Verstoring treedt voornamelijk op wanneer de uitheemse soort de inheemse soorten verdrukt en de bestaande gemeenschap uit balans brengt. Dit laat toe om een soort gradatie of opsplitsing uit te voeren voor bij het analyseren van de aanwezige exoten. De gehanteerde lijst is gebaseerd op verschillende bestaande lijsten en voorziet zo'n onderscheid in twee grote groepen exoten: (1) *Invasieve exoten* en (2) *Overige exoten*. Voor de samenvatting van deze toetsparameter worden echter enkel de volgende rekenparameters gehanteerd: *Aantal invasieve soorten* en *Fractie invasieve exoten*.

Definitie

De aanwezigheid van exoten kan versturend werken op de functionaliteit en diversiteit van de beschouwde (en daarvan afhankelijke) soortgroepen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen *invasieve exoten* (waarvan de negatieve impact gekend is) en *overige exoten* (waarvan de impact nog onvoldoende gekend is of waarvan de impact eerder beperkt is). Een opvolging van het aantal soorten dat als invasieve exoot beschouwd wordt en de fractie die deze binnen een gemeenschap innemen, kan een verklaring bieden voor patronen die binnen de soortgroepen worden waargenomen. Het aantal unieke soorten en de ingenomen fractie (op basis van aantal en/of biomassa) worden bepaald en wordt weergegeven per zone (niveau 3) en per jaar.

Observatie en evaluatie

De observaties in het Analyserapport tonen dat er invasieve exoten voorkomen in nagenoeg alle zones van het Schelde-estuarium (zie Tabel 5-29). Voor de zones *Zoet zijrivier* en *Monding* zijn er geen invasieve exoten waargenomen, deels omdat deze zones niet voor alle toetsparameters bemonsterd worden. Binnen de toetsparameters *Fytoplankton* en *Zoöplankton* worden er bovendien geen invasieve exoten geïdentificeerd (maar wel enkele 'overige' exoten). Binnen de overige toetsparameters neemt het aantal unieke invasieve exoten onder de toetsparameter *Hyperbenthos* in geen enkele zone toe. Ook voor de toetsparameter *Vegetatie* is de toename in aantal unieke soorten beperkt tot de zone *Zoet kort verblijf*. Voor de toetsparameter *Macrozoöbenthos* zijn de toenames dan weer beperkt tot de zones in de Westerschelde, terwijl de toetsparameter *Vogels* een toename vertoont in de zones *Rupel* en *Zwak polyhalien*. De toetsparameter *Vissen* scoort hier het slechts, met toenames in nagenoeg elke zone van het Schelde-estuarium (uitgezonderd de zone *Mesohalien*). In de Zeeschelde is de biomassa (fuiken en ankerkuil) invasieve exoten gestegen in alle zones met uitzondering van *zoet zijrivier*. In de Westerschelde is de biomassa (boomkor en ankerkuil) invasieve exoten gedaald in de mesohaliene zone. In de zwak polyhaliene en sterk polyhaliene zone werden praktisch geen exoten gedetecteerd. Invasieve soorten die zijn gedetecteerd in 2016-2021 in de Zeeschelde zijn de Siberische gladbeksteur (enkel *zoet zijrivier*), bruine dwergmeerval (enkel *oligohaliene zone*), gibel, zonnebaars, zwartbekgrondel, blauwband, snoekbaars en regenboogforel. Snoekbaars neemt toe in alle zones behalve *zoet zijrivier*. De andere invasieve soorten nemen toe in sommige zones en af in andere zones. Invasieve soorten die

zijn gedetecteerd in 2016-2021 in de Westerschelde zijn de zwartbekgrondel en snoekbaars. De zwartbekgrondel neemt toe in alle bemonsterde zones (mesohalien en zwak polyhalien). Het aantal invasieve soorten is voor alle zones in Zeeschelde en Westerschelde toegenomen voor zowel fuik, boomkor en ankerkuil, met uitzondering van de ankerkuilvangsten in de zwak polyhaliene zone waar snoekbaars is verdwenen.

Tabel 5-29: Toetsing van de invasieve soorten die waargenomen werden in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium in de periode 2016-2021 ten opzichte van de periode 2010-2015. Een groene achtergrond weerspiegelt geen toename van het aantal invasieve exoten, terwijl een rode achtergrond een toename van het aantal exoten binnen een specifieke zone weergeeft.

Zone	Vegetatie	Fytoplankton	Zoöplankton	Macrozoöbenthos	Hyperbenthos	Vissen	Vogels
Zijrivieren							
Zoet zijrivier	-	-	-	-	-	-	-
Durme	Green	-	-	Green	Green	Red	Green
Rupel	-	-	-	Green	Green	Red	Red
Zeeschelde							
Zoet kort verblijf	Red	-	-	Green	Green	Red	Green
Zoet lang verblijf	Green	-	-	Green	Green	Red	Green
Oligohalieren	Green	-	-	Green	Green	Red	Green
Saliniteitsgradient	Green	-	-	Green	Green	Red	Green
Westerschelde							
Mesohalieren	Green	-	-	Red	Green	Green	Green
Zwak polyhalieren	Green	-	-	Red	Green	Red	Red
Sterk polyhalieren	Green	-	-	Red	Green	Red	Green

De fractie van de gemeenschap die ingenomen wordt door invasieve exoten ligt grotendeels in de lijn van het aantal unieke soorten (zie Tabel 5-30). Voor de zones Zoet zijrivier en Mending zijn er geen invasieve exoten waargenomen, deels omdat deze zones niet voor alle toetsparameters bemonsterd worden. Binnen de toetsparameters Fytoplankton en Zoöplankton worden er bovendien geen invasieve exoten geïdentificeerd (maar wel enkele 'overige' exoten). Binnen de overige toetsparameters vertoont de toetsparameter Vegetatie een parallel met het aantal unieke soorten, met enkel een toename van de ingenomen fractie in de zone Zoet kort verblijf. Ook de toetsparameter Vissen vertoont een gelijkaardige parallel, met een toename in nagenoeg elke beschouwde zone (behalve de zone Mesohalieren). Voor de overige toetsparameters is er een duidelijk contrast met het aantal unieke soorten uit de voorgaande sectie, met meerdere zones waarin een toename van de ingenomen fractie wordt waargenomen. Zo neemt de fractie invasieve exoten binnen de toetsparameter Hyperbenthos toe in de zones Mesohalieren en Zwak polyhalieren, terwijl ook de fractie invasieve exoten binnen de toetsparameter Vogels toeneemt in nagenoeg alle zones van de Zeeschelde (uitgezonderd de zone Zoet kort verblijf). Algemeen gesteld is de zone Zwak polyhalieren het hardst getroffen, met toenames in vier van de vijf beschouwde toetsparameters (Macrozoöbenthos, Hyperbenthos, Vissen en Vogels).

Tabel 5-30: Toetsing van de invasieve soorten die waargenomen werden in de verschillende zones (Zeeschelde en Westerschelde) in het Schelde-estuarium in de periode 2016-2021 ten opzichte van de periode 2010-2015. Een groene achtergrond weerspiegelt geen toename van het aantal invasieve exoten, terwijl een rode achtergrond een toename van het aantal exoten binnen een specifieke zone weergeeft.

Zone	Vegetatie	Fytoplankton	Zoöplankton	Macrozoöbenthos	Hyperbenthos	Vissen	Vogels
Zijrivieren							
Zoet zijrivier	-	-	-	-	-	-	-
Durme	■	-	-	■	■	■	■
Rupel	-	-	-	■	■	■	■
Zeeschelde							
Zoet kort verblijf	■	-	-	■	■	■	■
Zoet lang verblijf	■	-	-	■	■	■	■
Oligohalien	■	-	-	■	■	■	■
Saliniteitsgradient	■	-	-	■	■	■	■
Westerschelde							
Mesohalien	■	-	-	■	■	■	■
Zwak polyhalien	■	-	-	■	■	■	■
Sterk polyhalien	■	-	-	■	■	■	■

Een toename van het absoluut aantal invasieve exoten blijkt in het volledige Schelde-estuarium nog een probleem te zijn, met specifieke verwijzing naar het macrozoöbenthos en de vissen. Dit geldt ook voor de fractie van de gemeenschap die door invasieve exoten wordt ingenomen, met een additionele specifieke verwijzing naar de vogels. Ook in de voorgaande T-rapportage werden reeds voor verschillende soortgroepen en trofische niveaus toenames in het aantal en de fractie invasieve exoten waargenomen. De onderliggende trend geeft dus een negatief signaal voor de nabije toekomst, waardoor er zeker nood is aan verdere opvolging. Voortbouwend op de resultaten van het AR worden de rekenparameters *Aantal invasieve exoten* en *Fractie invasieve exoten* **negatief geëvalueerd**.

Verklaring

De aanwezigheid van invasieve exoten wordt in grote mate gestuurd door menselijke introductie, zowel actief als passief. Een toename van de wereldwijde handel laat een verbeterde uitwisseling van goederen toe, maar kan eveneens leiden tot het transport van ongewenste soorten. Snellere schepen laten eveneens toe dat uitheemse soorten meer kans hebben om te overleven tijdens het transport, zeker wanneer ze met het ballastwater opgenomen worden en elders terug geloosd worden.

Naast deze introductie speelt ook de niche-beschikbaarheid een rol, aangezien nieuwe soorten slechts kunnen overleven (en zich vestigen) wanneer ze voldoende vrijheid hebben om in hun levensvereisten te voorzien. Te intense competitie voor dezelfde voedselbron of voor dezelfde habitat speelt dan ook

vaak in het nadeel van de nieuwkomer. Echter, in een systeem dat herstellende is van sterke verontreiniging in het verleden is de kans groot dat nog niet alle niches terug zijn opgevuld, wat uitzonderlijke kansen biedt voor de kolonisatie door zowel inheemse als uitheemse soorten (inclusief invasieve en overige exoten).

5.11. Samenvatting Evaluatie

De communicatie-indicator *Ecologie* geeft de status van de biotiek en geassocieerde soortendiversiteit in het Schelde-estuarium weer en wordt geëvalueerd op basis van tien toetsparameters: (1) *Vegetatie* (Sectie 5.2), (2) *Primaire productie* (Sectie 5.3), (3) *Zoöplankton* (Sectie 5.4), (4) *Macrozoöbenthos* (Sectie 5.5), *Hyperbenthos* (Sectie 5.6), *Vissen* (Sectie 5.7), *Vogels* (Sectie 5.8), *Zeezoogdieren* (Sectie 5.9) en *Exoten* (Sectie 5.10). De evaluatie bouwt voort op verschillende rekenparameters en de groep-specifieke verhaallijnen, waarbij eveneens aandacht wordt gegeven aan de temporele evolutie. Zo kan een rekenparameter negatief geëvalueerd worden en toch een positieve evolutie kennen.

5.11.1. Vegetatie

De toetsparameter vegetatie bestaat uit drie rekenparameters (Oppervlakte, Kwaliteit, Sleutelsoorten), waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen Zeeschelde en Westerschelde. De samenvatting van de ontwikkeling in de Zeeschelde staat weergegeven in Tabel 5-31 en die van de Westerschelde in Tabel 5-32. In beide gebieden worden alle rekenparameters negatief geëvalueerd, ervan uitgaande dat wanneer één deelrekenparameter negatief wordt beoordeeld de gehele rekenparameter een negatieve beoordeling krijgt.

Tabel 5-31: Samenvatting van de beoordeling van de rekenparameters Vegetatie tijdens de T2015 en T2021 voor de Zeeschelde. Tevens is de ontwikkelingsrichting aangegeven. Geen = gegevens ontbreken, + = positieve ontwikkeling, - = negatieve ontwikkeling, o = stabiel.

parameter	periode	Durme	Rupel	Zoet kort verblijf	Zoet lang verblijf	Oligohalien	Saliniteits- gradiënt
Oppervlakte-eis	T2015	+	-	+	-	-	-
	T2021	-	+	+	o	+	+
	trend	-	+	+	o	+	+
Kwaliteit	T2015	-	-	-	-	-	-
	T2021	geen	geen	geen	geen	geen	-
	trend	?	?	?	?	?	+
Sleutelsoorten							
Rode waterereprijs	T2015	-	-	-	-	-	-
	T2021	-	-	-	-	-	-
	trend	o	o	o	o	o	o
Blauwe waterereprijs	T2015	-	-	+	-	-	-
	T2021	-	-	-	-	-	-
	trend	o	o	-	-	o	o
Grote brandnetel	T2015	+	geen	-	-	-	+
	T2021	-	geen	-	-	+	+
	trend	-	geen	-	-	+	o
Reuzenbalsemien	T2015	-	geen	-	-	-	-
	T2021	+	geen	-	+	+	+
	trend	-	geen	+	-	-	o

Tabel 5-32: Samenvatting van de beoordeling van de rekenparameters Vegetatie tijdens de T2015 en T2021 voor de Westerschelde. Tevens is de ontwikkelingsrichting aangegeven. Geen = gegevens ontbreken, + = positieve ontwikkeling, - = negatieve ontwikkeling, o = stabiel.

parameter	periode	Mesohalien	Zwak Polyhalien	Sterk polyhalien	gehele Westerschelde
Oppervlakte-eis					
Totaal 2300 ha	T2015				+
	T2021				
	trend				
500 ha west van Hansweert	T2015				+
	T2021				
	trend				
Kwaliteit	T2015				o
	T2021				
	trend				
Sleutelsoorten					
Riet	T2015				
	T2021				
	trend	-	-	-	
Strandkweek	T2015				
	T2021				
	trend	+	+	+	
Zeekraal	T2015				
	T2021				
	trend	-	-	-	

De beoordeling voor de rekenparameter Oppervlakte is ten opzichte van de T2015 voor de Zeeschelde niet gewijzigd, maar in vier van de zes zones is de trend positief. De beoordeling van de rekenparameter kwaliteit kon alleen voor de zone Saliniteitsgradiënt berekend worden en deze is niet gewijzigd, maar wel neemt de kwaliteit hier iets toe. De sleutelsoorten rode en waterereprijs, indicatoren voor gewenste jonge pioniervegetaties, zijn achteruit gegaan. De grote brandnetel, sleutelsoort voor verruiging, neemt in alle zones toe behalve in de zones Oligohalien en Saliniteitsgradiënt. De reuzenbalsemien heeft zich in de zone *Zoet korte verblijftijd* weten uit te breiden, terwijl in de overige zones de soort gelijk blijft of achteruit gaat. De achteruitgang van beide soorten in het Oligohalien gaat samen met het toegenomen zoutgehalte van het water in deze zone.

In de Westerschelde wordt voldaan aan de oppervlakte-eis van 2.300 ha schor voor het gehele gebied, maar ten westen van Hansweert groeit geen 500 ha schor. De oppervlakte schor neemt hier, en dan met name op de platen, nog steeds toe. De kwaliteit van de schorvegetatie is matig en hierin is ten opzichte van de T2015 geen verandering gekomen.

Van de sleutelsoorten neemt riet nog steeds toe. Dit wijst op een toenemende verzoeting van met name de brakke schorren in Saeftinghe. Strandkweek is in alle zones achteruitgegaan. In Saeftinghe legt deze soort het in de onbegraste of extensief begraste delen af tegen het riet. In alle zones is de oppervlakte zeekraal achteruitgegaan. Alleen de ontwikkeling van de strandkweek wordt positief geëvalueerd.

Algemeen gesteld wordt de toetsparameter Vegetatie **negatief geëvalueerd**.

5.11.2. Primaire productie

De toetsparameter *Primaire productie* bestaat uit vier rekenparameters (*P:B-verhouding fytoplankton*, *Phaeocystis*, *Cyanobacteriën* en *Algal genus pollution index*) die allemaal negatief geëvalueerd worden (zie Tabel 5-33). Op basis van de Evaluatiemethodiek wordt de toetsparameter *Primaire productie* dan ook **negatief geëvalueerd**.

Tabel 5-33: Samenvatting van de beoordeling van de toetsbare rekenparameters onder de toetsparameter Primaire productie tijdens de T2015 en T2021 voor de saliniteitszones in het Schelde-estuarium. Tevens is de ontwikkelingsrichting aangegeven: '+' : toename, '-' : afname, '0': stabiel (lege cellen geven de afwezigheid van voldoende data aan).

Parameter	Periode	Zoet zijrivier	Durme	Rupel	Zoet kort verblijf	Zoet lang verblijf	Oligohalien	Saliniteitsgradient	Mesohalien	Zwak polyhalien	Sterk polyhalien	Monding	
P:B-verhouding fytoplankton	T2015												
	T2021				[Red bar]								
	Trend				-	-	-	-					
Phaeocystis	T2015									[Red bar]			
	T2021									[Red bar]			
	Trend									0	0	0	
Cyanobacteriën	T2015	[Green bar]		[Red bar]	[Red bar]	[Green bar]	[Red bar]			[Green bar]			
	T2021	[Green bar]		[Red bar]	[Green bar]	[Green bar]	[Green bar]			[Green bar]			
	Trend	+	+	-	+	+	+	+		0			
Algal pollution index	T2015	[Red bar]							[Green bar]		[Green bar]		
	T2021	[Green bar]				[Red bar]			[Green bar]		[Green bar]		
	Trend	+	+	+	+	+	+	+		+	+	0	

Opvallend is dat de productiviteit van het fytoplankton lijkt af te nemen in de Zeeschelde ondanks de verbetering van de chemische waterkwaliteit (o.a. zuurstofhuishouding en nutriëntconcentraties). Ook plaagalg komen nog steeds in te hoge dichtheid voor, met overschrijdingen voor *Phaeocystis* in de volledige Westerschelde. Wat betreft cyanobacteriën en de algemene verontreinigingsindex (API) lijkt er wel een verbetering plaats te vinden, met afnames van zowel de cyanobacteriëndichtheid als de API-waarde. Het blijft momenteel nog onduidelijk of deze afnames mee gestuurd worden door de negatieve evolutie van het lichtklimaat en de verdere indringing van het getij of dat ze een direct gevolg zijn van een verbeterde zuurstofhuishouding en (lichte) afname van nutriënten. De siliciumtekorten in de Westerschelde en de lage productiviteit in de Zeeschelde nopen wel tot enige bezorgdheid aangezien deze een invloed hebben op de energiebeschikbaarheid voor de hogere trofische niveaus. Dit kan deels gecompenseerd worden door een verhoogde productiviteit op de slikken (o.a. door fytobenthos) en in GGG-GOG-gebieden, maar hiervoor is momenteel te weinig informatie beschikbaar.

5.11.3. Zoöplankton

De toetsparameter *Zoöplankton* bestaat uit drie rekenparameters (*Jaarmaximum totale biomassa*, *Jaarmaximum E. affinis* en *Verhoudingen*) die allemaal negatief geëvalueerd worden (zie Tabel 5-34). Op basis van de Evaluatiemethodiek wordt de toetsparameter *Zoöplankton* voor de Zeeschelde dan ook **negatief geëvalueerd**.

Tabel 5-34: Samenvatting van de beoordeling van de toetsbare rekenparameters onder de toetsparameter Zoöplankton tijdens de T2015 en T2021 voor de saliniteitszones in de Zeeschelde (voor de Westerschelde zijn er onvoldoende gegevens). Tevens is de ontwikkelingsrichting aangegeven: '+' : toename, '-' : afname, '0': stabiel (lege cellen geven de afwezigheid van voldoende data aan).

Parameter	Periode	Saliniteitszones						
		Zoet zijrivier	Durme	Rupel	Zoet kort verblijf	Zoet lang verblijf	Oligohalien	Saliniteitsgradiënt
Jaarmaximum totale biomassa	T2015	+		-				+
	T2021	+		-				+
	Trend	-	-	-	+	0	+	-
Jaarmaximum <i>E. affinis</i>	T2015	-		+				+
	T2021	+		-				+
	Trend	+	-	-	0	-	0	-
Verhouding Cladocera en Calanoida	T2015	+		-				+
	T2021	+		+		-		+
	Trend	0	-	-	+	0	-	-
Verhouding Cladocera en Cyclopoida	T2015	-						
	T2021	-						
	Trend	0	0	-	0	0	-	+

Dit is op zich opvallend aangezien er voor elk van deze rekenparameters gebruik gemaakt wordt van de periode 2004-2009 voor het opstellen van de gehanteerde toetscriteria. Sindsdien zijn er evenwel duidelijke verbeteringen in de waterkwaliteit doorgevoerd, waarvan verwacht wordt dat deze zich ook doorzetten in de ecologie. Het niet voldoen aan de toetscriteria suggereert dat het mesozoöplankton in de periode 2016-2021 slechter af is dan in de periode 2004-2009, maar kan ook een direct gevolg zijn van een verhoogde begrazing door planktivore en omnivore vissen (alook verschillende soorten macrozoöbenthos). Desalniettemin mag ook de invloed van de toename in zwevende stof enerzijds en de getij-indringing anderzijds niet uitgesloten worden. Alleszins dient er de komende jaren meer aandacht besteed te worden aan deze soortgroep, zeker wat betreft de bemonstering (en identificatie) van mesozoöplankton in de Westerschelde, maar ook de bemonstering van het micro- en macrozoöplankton. Deze laatste groep (met voornamelijk kwallen) kan namelijk een additionele begrazingsdruk uitoefenen in de Westerschelde die nu nagenoeg niet beschouwd wordt.

5.11.4. Macrozoöbenthos

De toetsparameter *Macrozoöbenthos* bestaat uit acht rekenparameters, die bijna allemaal negatief geëvalueerd worden volgens het principe *one out all out*, met uitzondering van de parameter *Biomassa*. Regionaal zijn er duidelijke positieve ontwikkelingen zichtbaar. Biomassa's en dichtheden zijn vrijwel overal toegenomen, als gevolg van verbeterde omstandigheden in het estuarium. Er is meer voedsel beschikbaar, de negatieve effecten van TBT-vervuiling zijn afgenomen en er is meer leefgebied voor benthos. Vanwege het ontbreken van de gegevens van Oligochaeten in 2020 is er geen uitspraak te doen over een duidelijke toe- of afname in de biodiversiteit in de Zeeschelde. Wel is de diversiteit van de Zeeschelde toegenomen als Oligochaeten buiten beschouwing worden gelaten, als gevolg van een

toename in exoten. In de Westerschelde is de toename van exoten een zorgwekkende trend. Exoten kunnen inheemse soorten beconcurreren en zijn in sommige gevallen minder geschikt als voedselbron voor hogere trofische niveaus.

Algemeen gesteld wordt de toetsparameter *Macrozoöbenthos als negatief geëvalueerd*.

Tabel 5-35: Samenvatting van de beoordeling van macrozoöbenthos in de periode van de T2015 en de T2021. Tevens is de trend weergegeven. + = positieve ontwikkeling, - = negatieve ontwikkeling, o = stabiel.

	Periode	Zoet zijrivier	Durme	Rupel	Zoet kort verblijf	Zoet lang verblijf	Oligohalien	Saliniteit	Zeeschelde	Mesohalien	Zwak polyhalien	Sterk polyhalien	Wester-schelde
Biomassa	T2015	+	+	+	+	0	+	+		+	+	+	
	T2021	+	+	+	+	0	+	+		+	+	+	
	Trend	+	+	+	+	0	+	+		+	+	+	
Minimum biomassa	T2015				+	0	+	+	+				
	T2021				+	0	+	+	+				
	Trend				+	0	+	+	+				
Dichtheid	T2015	+	+	+	+	-	-	+		+	+	+	
	T2021	+	+	+	+	-	-	+		+	+	+	
	Trend	+	+	+	+	-	-	+		+	+	+	
Soorten	T2015	0	0	0	+	0	+	+		+	+	+	
	T2021	0	0	0	+	0	+	+		+	+	+	
	Trend	0	0	0	+	0	+	+		+	+	+	
Shannon	T2015	-	-	-	-	-	-	+		0	0	+	
	T2021	-	-	-	-	-	-	+		0	0	+	
	Trend	-	-	-	-	-	-	+		0	0	+	
Kokkel	T2015												+
	T2021												+
	Trend												+
Mossel	T2015												?
	T2021												?
	Trend												?
Exoten	T2015	0	0	0	0	0	0	0		+	+	+	
	T2021	0	0	0	0	0	0	0		+	+	+	
	Trend	0	0	0	0	0	0	0		+	+	+	

5.11.5. Hyperbenthos

De toetsparameter *Hyperbenthos* bestaat uit zes rekenparameters die allemaal negatief geëvalueerd worden volgens het principe *one out all out*. Regionaal zijn er verschillen. In de Westerschelde scoren

vrijwel alle rekenparameters slecht, vanwege een sterke afname in garnalen, een grote variatie in krabben, en een toename in het voorkomen van invasieve exoten. In de Zeeschelde is er een verschuiving geweest van het hyperbenthos richting stroomopwaartse systemen, als gevolg van verminderde rivierafvoer en hogere zoutindringing. Deze verschuiving kan lokaal voor hogere predatie zorgen. Door klimaatverandering zullen deze verschuivingen regelmatig voorkomen.

Algemeen gesteld wordt de toetsparameter *Hyperbenthos als negatief geëvalueerd*.

Tabel 5-36: Samenvatting van de beoordeling van hyperbenthos in de periode van de T2015 en de T2021. Tevens is de trend weergegeven.

parameter	periode	Mesohalieren	Zwak Polyhalien	Sterk polyhalien
Abundantie				
Garnalen	T2015	[Red bar]		
	T2021	[Red bar]		
	trend	-	-	-
Krabben	T2015	[Red bar]		
	T2021	[Green bar]	[Red bar]	[Red bar]
	trend	-	+	-
Invasieve exoten				
Aantal	T2015	[Green bar]	[Red bar]	[Red bar]
	T2021	[Green bar]	[Red bar]	[Red bar]
	trend	0	0	-
fractie	T2015	[Red bar]	[Red bar]	[Red bar]
	T2021	[Red bar]	[Green bar]	[Red bar]
	trend	+	+	0

parameter	periode	Rupel	Zoet kort verblijf	Zoet lang verblijf	Oligohalieren	Saliniteits-gradiënt
Hoeveelheid						
Biomassa	T2015	[Red bar]	[Red bar]	[Green bar]	[Red bar]	[Green bar]
	T2021	[Red bar]	[Red bar]	[Green bar]	[Red bar]	[Green bar]
	trend	+	+	+	-	-
Dichtheid	T2015	[Red bar]	[Red bar]	[Green bar]	[Red bar]	[Red bar]
	T2021	[Red bar]	[Red bar]	[Green bar]	[Red bar]	[Red bar]
	trend	+	+	-	-	-
Diversiteit						
Aantal soorten	T2015	[Green bar]	[Red bar]	[Green bar]	[Red bar]	[Red bar]
	T2021	[Green bar]	[Red bar]	[Green bar]	[Red bar]	[Red bar]
	trend	+	-	0	-	+
Shannon-index	T2015	[Green bar]	[Red bar]	[Green bar]	[Red bar]	[Red bar]
	T2021	[Green bar]	[Red bar]	[Green bar]	[Red bar]	[Red bar]
	trend	0	0	-	+	-
Invasieve exoten						
Aantal	T2015	[Red bar]	[Green bar]	[Red bar]	[Red bar]	[Green bar]
	T2021	[Red bar]	[Green bar]	[Red bar]	[Red bar]	[Green bar]
	trend	+	0	+	+	0
fractie	T2015	[Red bar]	[Red bar]	[Red bar]	[Red bar]	[Red bar]
	T2021	[Green bar]	[Red bar]	[Red bar]	[Red bar]	[Red bar]
	trend	0	-	-	+	+

5.11.6. Vissen

Voor de Vissen wordt de biomassa van de functionele groepen in de Zeeschelde en Westerschelde als negatief beoordeeld. Voor de Zeeschelde is dit voornamelijk het gevolg van de sterk daling biomassa

diadrome soorten, waarvoor paling bepalend is. Voor de Westerschelde is de negatieve beoordeling het gevolg van de daling biomassa van de functionele groepen in de mesohaliene zone. De diversiteit in de Westerschelde wordt eveneens negatief beoordeeld terwijl de diversiteit van de Zeeschelde positief wordt beoordeeld. De toegenomen diversiteit in de Zeeschelde is waarschijnlijk het gevolg van de verbeterde omgevingscondities en gedaalde primaire productie, waardoor gevoelige soorten meer kansen krijgen ten opzichte van de meer competitieve soorten. De beoordeling van de sleutelsoorten is zone-specifiek en soortspecifiek met sommige soorten die een positieve trend vertonen en andere een negatieve trend. We noteren in alle zones van de Zeeschelde een stijging in biomassa van Europese meerval en puitaal en een daling van brakwatergrondel, spiering, bot en blankvoorn. In de Westerschelde observeren we in alle zones een stijging van fint, haring, zeebaars en brakwatergrondel en een daling van gewone zeedonderpad, spiering en bot.

5.11.7. Vogels

De toetsparameter Vogels bestaat uit twee rekenparameters (Sleutelsoorten, Kwaliteit), waarbij sleutelsoorten, zowel broed- als niet-broedvogels, een instandhoudingsdoel hebben en de kwaliteit gebaseerd is op een indeling in voedselgroepen van de niet-broedende sleutelsoorten. Tabel 5-37 vat de beoordeling van de vogels voor de T2015 en de T2021 samen, waarbij ook de trend is aangegeven. De broedvogels voldoen in beide perioden niet aan hun doelstellingen, waarbij in de Zeeschelde voor het merendeel van de soorten een positieve trend is waar te nemen en voor de soorten van de Westerschelde een negatieve trend, wanneer alleen naar de enge begrenzing wordt gekeken. Indien de ruime begrenzing gehanteerd wordt, is sprake van een neutrale trend.

Ook de niet-broedvogels uit beide gebieden voldoen niet aan de instandhoudingsdoelstellingen. Wel lijkt in beide gebieden de ontwikkeling positief: in de Zeeschelde neemt het aantal vogels iets toe en in de Westerschelde is het aantal soorten, dat in drie van de zes jaren het instandhoudingsdoel haalt, gestegen.

In de Zeeschelde is de multispecies-index (MSI) afgenomen ten opzichte van de T2015-periode. Wanneer naar de index van de verschillende voedselgroepen in de Westerschelde wordt gekeken, laten de herbivoren en benthivoren een afnemende trend zien en de omnivoren en piscivoren een positieve trend.

Algemeen gesteld wordt de toetsparameter *Vogels* als **negatief geëvalueerd**.

Tabel 5-37: Samenvatting van de beoordeling van vogels in de periode van de T2015 en de T2021. Tevens is de trend weergegeven.

parameter	periode	Zeeschelde	Westerschelde
Broedvogels	T2015		
	T2021		
	trend	+	-
Niet-broedvogels			
instandhoudingsdoel	T2015		
	T2021		
	trend	+	+
Trend multispecies index	T2015		
	T2021		
	trend	-	
Trend herbivoren	T2015		
	T2021		
	trend		-
Trend benthivoren	T2015		
	T2021		
	trend		-
Trend omnivoren	T2015		
	T2021		
	trend		+
Trend piscivoren	T2015		
	T2021		
	trend		+

5.11.8. Zeezoogdieren

De toetsparameter Zeezoogdieren bestaat uit twee rekenparameters (aantallen, reproductie), waarbij voor de gewone zeehond beide rekenparameters worden gebruikt en voor de grijze zeehond alleen de eerste. Tabel 5-38 vat de ontwikkeling van de zeezoogdieren samen. Alle parameters laten zowel in de periode van de T2015 als voor de T2021 een positieve ontwikkeling zien. Wel worden enkele kanttekeningen geplaatst bij de beschikbaarheid van vis en de mogelijke effecten van verontreinigingen.

Algemeen gesteld wordt de toetsparameter *Zeezoogdieren* als **positief geëvalueerd**.

Tabel 5-38: Samenvatting van de beoordeling van zeezoogdieren in de periode van de T2015 en de T2021. Tevens is de trend weergegeven.

parameter	periode	Westerschelde
% gewone zeehond t.o.v. Waddenzee	T2015	
	T2021	
	trend	+
Aandeel pups > 9%	T2015	
	T2021	
	trend	+
Aantal grijze zeehonden	T2015	
	T2021	
	trend	+

5.11.9. Exoten

De toetsparameter *Exoten* bestaat uit twee rekenparameters (*Aantal invasieve soorten* en *Fractie invasieve soorten*) die beide negatief beoordeeld worden. Op basis van de Evaluatiemethodiek wordt de toetsparameter *Exoten* dan ook **negatief geëvalueerd**. Dit is een signaal om waakzaam te zijn naar potentieel toenemende impact op het systeemfunctioneren.



6. Referenties

6.1. Algemeen

Barneveld, H.J., Nicolai, R.P., van Veen, M., van Haaster, S., Boudewijn, T.H., 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). Evaluatierapport. T2015-rapportage Schelde-estuarium

Consortium Schelde in Beeld. (2022). Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium. Update 2021. Consortium Schelde in Beeld. HKV, Universiteit Gent, Bureau Waardenburg en Antea Group. 25 oktober 2022.

Consortium Schelde in Beeld (2023). T2021 Analyserapport. HKV, Universiteit Gent, Bureau Waardenburg en Antea Group.

De Maerschallck, B.; van der Werf, J.; Kolokythas, G.; Quataert, E.; Van Oyen, T.; Vroom, J.; Dijkstra, J.; Wang, Z.B.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Modellerings Belgische Kustzone en Scheldemonding: Deelrapport 2 – Morfologische analyse scenario's Vlaamse Baaien. Versie 4.0. WL Rapporten, 15_068_2. Waterbouwkundig Laboratorium & Deltares, Antwerpen.

Elias, E.P.L., van der Spek, A.J.F., Lazar, M. (2015) The 'Voordelta', the contiguous ebb-tidal deltas in the SW Netherlands: large-scale morphological changes and sediment budget 1965-2013; impact of large-scale engineering. Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw. 1-27. doi: 10.1017/nlg.2016.37

LTV2030 (2000). Langetermijnvisie Schelde-estuarium. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Zeeland en Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, departement Leefmilieu en Infrastructuur, administratie Waterwegen en Zeewezen, 29 november 2000.

Poortman, S. (2013) Effect van de morfologie van de monding van de Westerschelde op het getij – ten behoeve van Lange Termijn Visie Schelde-estuarium, Veiligheid en Toegankelijkheid. 1630/U12353/F/SPo. Svasek Hydraulics

Schelde in Beeld (2022) Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium – Update 2021.

SWECO. (2011). Toetsing Buitendijkse Maatregelen projectgebied Ossensisse aan de Wet natuurbescherming

Tonnon, P.K., Van der Werf, J.J. (2014). Geulopdringing Zuidwest Walcheren. Rapport 1208921-000-ZKS-0005. Deltares, Nederland.

van der Heijden, L.; van Weerdenburg, R.; van der Werf, J., Sonnemans, K. (2021) Informatie- en meetbehoefte ten behoeve van de pilotsuppletie in de Schelde-Monding. 11206823-000-ZKS-0018. Deltares

van der Vegt, H.; van Onselen, E.; van der Spek, A.J.F (2021) Erosie-resistente lagen in het Westerschelde mondingsgebied en de invloed daarvan op de pilot-suppletie. 11203725-001-ZKS-0012. Deltares.

van der Werf, J.; Meijer – Holzhauer, H.; van der Spek, A.J.F.; van Weerdenburg, R.; Craeymeersch, J.; Tulp, I.; Ysebaert, T. (2020a) Morfologie en ecologie van de Schelde-monding – Overzicht van bestaande kennis en data. 11203725-000-ZKS-0018. Deltares

Van der Werf, J.J. *et al.* (2020b). Erosion mechanism of the landward Oostgat tidal channel slope, The Netherlands. Coastal Engineering 193, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.104027>

Van Ormondt, M. & De Ronde, J.G. (2009). Mogelijke effecten Geulwandsuppletie Oostgat op de drempel tussen het Oostgat en de Sardijngeul. Rapport Z4582.70, Deltares.

van Weerdenburg, R.; van der Werf, J. (2021) Transportpaden in de Schelde-monding – SedTRAILS modellering ter voorbereiding op pilotsuppletie Schelde-monding. 11203725-001-ZKS-0013. Deltares.

6.2. Hydrodynamiek

Barneveld, H.J., Nicolai, R.P., Boudewijn, T.J., de Jong, J.W., Van Didden, K., van de Haterd, R.J.W., Van de Moortel, I. & Velez, C. (2018). Evaluatierapport. T2015 rapportage Schelde estuarium. HKV, Bureau Waardenburg, Antea Group.

Coen, L., Nossent, J. (2022). Numeriek model Zeeschelde en tijgebonden zijrivieren: Hindcast stormen eind januari en februari 2022. Versie 4.0. WL Rapporten, 22_034_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Consortium Schelde in Beeld (2023). T2021 Analyserapport. HKV, Universiteit Gent, Bureau Waardenburg en Antea Group.

Depreiter, D., Cleveringa, J., Laan van der, T., Maris, T., Ysebaert, T., Wijnhoven, S. (2014). T2009 rapportage Schelde estuarium. IMDC, Arcadis, Universiteit Antwerpen, Imares en NIOZ.

IMDC (2021). Monitoringprogramma Flexibel Storten Westerschelde en Monitoringprogramma Beneden-Zeeschelde. Voortgangsrapportage 2018-2019: Syntheserapport. Rapportnr. I/RA/11498/20.109/API

Stark, J., De Maersch, B., Plancke, Y., Meire, D. (2022). Evaluatiemethodiek Sedimenttransportcapaciteit: Deelrapport 1 – Methodiek. Versie 3.0. WL Rapporten, 21_106_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Stolte, W., Baart, F., Muis, S., Hijma, M., Taal, M., Le Bars, D., Drijfhout, S., (2023). Zeespiegelmonitor 2022. Deltares, KNMI met bijdragen van HKV (2023).

Van de Moortel, I.; Van den Berg, M.; Messens, F.; Thant, S.; Michiels, S.; Brackx, M.; Hyde, P.; De Clercq, B.; Willems, P. (2021). Analyse van waterstanden in het Schelde-estuarium gedurende windluwe periodes. Versie 3.0. Antea Group: Antwerpen. 189 pp.

Van Ryckegem, G., Vanoverbeke, J., Van de Meutter, F., Vandevoorde, B., Mertens, W., Mertens, A., Van Braeckel, A., Smeekens, V., Thibau, K., Bezdenjesnji, O., Buerms, D., De Regge, N., Hessel, K., Lefranc, C., Soors, J., Van Lierop, F. (2022). MONEOS - Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2021. Monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2022 (Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2022 (26)). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: 10.21436/inbor.85928183

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

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

Vandenbruwaene, W., Beullens, J., Meire, D., Plancke, Y., Mostaert, F. (2020c). 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.

Verwilligen, J., Eloot, K., Plancke, Y., Meire, D. (2022a). Actualisatie evaluatiemethodiek Schelde-Estuarium: Deelrapport 2 – Bevaarbaarheid. Versie 5.0. WL Rapporten, 19_065_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Verwilligen, J., Eloot, K., Plancke, Y., Meire, D. (2022b). Actualisatie evaluatiemethodiek Schelde-Estuarium: Deelrapport 4 – Gecondenseerde bevaarbaarheidsparameters. Versie 5.0. WL Rapporten, 19_065_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Wang, Z.B. (2021). Analyse waterstanden Westerschelde.. Deltares, november 2021.

Waterbouwkundig Laboratorium (2023). Validatie tijcorrecties 2011-2023. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. In prep. (verwacht in 2023).

6.3. Waterkwaliteit

CBS, PBL, RIVM & WUR. (2022). Kwaliteit specifieke verontreinigende stoffen KRW, 2021 (indicator 1567, versie 05 , 18 augustus 2022). www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.

Consortium Schelde in Beeld. (2022). Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium. Update 2021. Consortium Schelde in Beeld. HKV, Universiteit Gent, Bureau Waardenburg en Antea Group. 25 oktober 2022.

Consortium Schelde in Beeld (2023). T2021 Analyserapport. HKV, Universiteit Gent, Bureau Waardenburg en Antea Group. In prep. (verwacht in 2023).

Cox, T., Maris, T. & Meire, P. (2015). Wijzigingen in slib- en zoutconcentraties in de Boven-Zeeschelde sinds 2009. Universiteit Antwerpen, onderzoeksgroep Ecosysteembeheer, ECOBE 015-R186.

de Deckere, E., De Cooman, W., Florus, M. & Devroede-Vander Linden, M.P. (2000). Handboek voor de karakterisatie van de bodems van de Vlaamse waterlopen, volgens TRIADE. AMINAL-Afdeling Water met medewerking van Vlaamse Milieumaatschappij, November 2000.

De Jonge, M., Belpaire, C., Verhaert, V., Dardenne, F., Blust, R. & Bervoets, L. (2014). Veldstudie naar de monitoring van biota in het kader van de rapportage van de chemische toestand voor de Kaderrichtlijn Water. Universiteit Antwerpen (UA) in samenwerking met het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO), in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM).

Depreiter, D., Lanckriet, T., Van Holland, G., Vanlede, J., Beirinckx, K. & Maris, T. (2015). Mud disposal and suspended sediment concentration in the lower sea Scheldt: towards a hyperturbid system? In PROCEEDINGS OF THE 36TH IAHR WORLD CONGRESS: DELTAS OF THE FUTURE AND WHAT HAPPENS UPSTREAM (pp. 7430-7444).

Jacobs, S., Struyf, E., Maris, T. & Meire, P. (2008). Spatiotemporal aspects of silica buffering in restored tidal marshes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 80, 42-52.

Lancelot, C., Rousseau, V. & Gypens, N. (2009). Ecologically based indicators for Phaeocystis disturbance in eutrophied Belgian coastal waters (Southern North Sea) based on field observations and ecological modelling. *Journal of Sea Research* 61, 44-49.

Lionard, M., Muylaert, K., van Gansbeke, D. & Vyverman, W. (2005). Influence of changes in salinity and light intensity on growth of phytoplankton communities from the Schelde river and estuary (Belgium/The Netherlands). *Hydrobiologia* 540 (1-3).

Maris, T. & Meire P. (2017). Onderzoek naar de gevolgen van het Sigmaplan, baggeractiviteiten en havenuitbreiding in de Zeeschelde op het milieu. Geïntegreerd eindverslag van het onderzoek verricht in 2016. ECOBE 017-R206 Universiteit Antwerpen, Antwerpen.

Maris, T., Gelsomini, P., Horemans, D. & Meire, P. (2020). Onderzoek naar de gevolgen van het Sigmaplan, baggeractiviteiten en havenuitbreiding in de Zeeschelde op het milieu. Geïntegreerd eindverslag van het onderzoek verricht in 2019. ECOBE 020-R265. Universiteit Antwerpen, Antwerpen.

Sneekes, A.C., Dogruer, G. & Kotterman M.J.J. (2022). Biotamonitoring Rijkswateren tot en met 2020 – Deel I: Toetsing en Trends. Wageningen University & Research rapport C091/21 A. DOI: <https://doi.org/10.18174/557352>.

Struyf, E., Van Damme, S. & Meire, P. (2004). Possible effects of climate change on estuarine nutrient fluxes: a case study in the highly nutrified Schelde estuary (Belgium, The Netherlands). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 60, 649-661.

Teunen, L., Belpaire, C., Dardenne, F., Blust, R., Covaci, A. & Bervoets, L. (2020). Veldstudies naar monitoring van biota in het kader van de rapportage van de chemische toestand voor de Kaderrichtlijn Water 2015-2018 (algemene trends en relaties). Universiteit Antwerpen (UA) in samenwerking met het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO), in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). Antwerpen, België, 99 blz.

Troost, K., van Asch, M., Brummelhuis, E., van den Ende, D., van Es, Y., Perdon, K.J., van der Pool, J., van Zweeden, C. & van Zwol, J. (2021). Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltaxwateren in 2020. Stichting Wageningen Research Centrum voor Visserijonderzoek (CVO). CVO-rapport 21.001.

Vandenbruwaene, W., Bertels, J., Michiels, S., Thant, S., van den Berg, M., Brackx, M., Hertoghs, R., Claeys, S., Plancke, Y., Meire, D., Vereecken, H. & Deschamps, M. (2022). Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2021: Data rapportage monitoring waterbeweging en fysische parameters in Zeeschelde en bijrivieren. Versie 3.0. WL Rapporten, PA047_11. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vandenbruwaene, W.; van den Berg, M; Van De Moortel, I.; Plancke, Y.; Vereecken, H.; Deschamps, M. (2022). Fluviale sedimentaanvoer richting Schelde estuarium: Inschatting sedimentaanvoer op basis van APS staalname en turbiditeitsmetingen. Versie 3.0. WL Rapporten, PA025_16. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Vlaamse Regering (2012). Besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende vaststelling van het Vlaamse reglement betreffende de milieuvergunning (VLAREM), zoals gewijzigd bij besluit van 17 juli 2000. Belgisch Staatsblad.

VMM (2020a). Zware metalen in oppervlaktewater (2010-2019). <https://www.vmm.be/water/kwaliteit-waterlopen/zware-metalen-in-oppervlaktewater>. Geraadpleegd op 22/05/2023.

VMM (2020b). Veldstudies naar monitoring van biota – Algemene trends en relaties. <https://www.vmm.be/publicaties/veldstudies-naar-monitoring-van-biota-algemene-trends-en-relaties>. Geraadpleegd op 22/05/2023.

VMM (2021). Pesticiden in oppervlaktewater (2010-2019). <https://www.vmm.be/water/kwaliteit-waterlopen/pesticiden-in-oppervlaktewater>. Geraadpleegd op 22/05/2023.

VMM (2022). Nutriënten in het oppervlaktewater (2007-2021). <https://www.vmm.be/water/kwaliteit-waterlopen/nutriënten-in-oppervlaktewater>. Geraadpleegd op 22/05/2023.

Wang, Z.B., Vandenbruwaene, W., Taal, M. & Winterwerp, H. (2019). Amplification and deformation of tidal wave in the Upper Scheldt Estuary. *Ocean Dynamics* 69, 829–839.

Wolff, W.J. (1973). The estuary as a habitat. An analysis of data on the soft-bottom macrofauna of the estuarine area of the rivers Rhine, Meuse, and Scheldt. Zoologische Verhandlungen 126.

6.4. Leefomgeving

Adriaensen, F., Van Damme, S., Van den Bergh, E., Brys, R., Cox, T., Jacobs, S., Konings, P., Maes, J., Maris, T., Mertens, W., Nachtergale, L., Struyf, E., Van Braeckel, A., Van Hove, D. & Meire, P. (2005). Instandhoudingsdoelstellingen Schelde-estuarium, Universiteit Antwerpen, Rapport Ecobe 05R.82.

Balke, T., Harman, P.M.J. & Bouma T.J. (2014). Critical transitions in disturbance-driven ecosystems: identifying windows of opportunity for recovery. *Journal of Ecology* 102: 700-708.

Boudewijn, T.J., Walhout, J.M., Zwerver, J., Castelijns, J.W., Sluijter, M., Wolf, P.A. & Arts, F.A. (2022). Vogeltellingen met afgaand waterin de Westerschelde. Integratie van tellingen in de periode oktober 2018 – juni 2021. Rapport 21-037. Bureau Waardenburg, Culemborg/Deltamilieu Projecten, Vlissingen/Het Zeeuwse Landschap, Wilhelminadorp.

Bouma, H., de Jong, D.J., Twisk, F. & Wolfstein, K. (2005). Zoute Wateren Ecotopenstelsel (ZES-1). Voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke wateren. Rapport RIKZ/2005.024. Rijkswaterstaat, Middelbrug.

Brys, R., Ysebaert, T., Escaravage, V., Van Damme, S., Van Braeckel, A., Vandevoorde, B. & Van den Bergh, E. (2005). Afstemmen van referentiecondities en evaluatiesystemen in functie van de KRW: afleiden en beschrijven van typespecifieke referentieomstandigheden en/of MEP in elk Vlaams overgangswatertype vanuit de – overeenkomstig de KRW – ontwikkelde beoordelingssystemen voor biologische kwaliteitselementen. Eindrapport VMM.AMO.KRW.REFCOND OW. Instituut voor natuurbehoud IN.O. 2005.7, 178 pp.

Consortium Schelde in Beeld. (2022). Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium. Update 2021. Consortium Schelde in Beeld. HKV, Universiteit Gent, Bureau Waardenburg en Antea Group. 25 oktober 2022.

Craeymeersch, J.A. & Ysebaert, T. (2020). Foerageergebieden voor steltlopers in de Westerschelde. Voedselbeschikbaarheid en advies over bodemdierbemonstering t.b.v. het laagwatervogeltelprogramma. RapportC108.19. Wageningen Marine Research, Yerseke.

Dyer, K.R., Christie, M.C. & Wright, E.W. (2000). The classification of intertidal mudflats. *Continental Shelf Research* 20, 10, 1039-1060.

Fivash, G.S., Temmink, R.J.M., D'Angelo, M., van Dalen, J., Lengkeek, W., Didderen, K., Ballio, F., van der Heide, T. & Bouma, T.J. (2021). Restoration of biogeomorphic systems by creating windows of opportunity to support natural establishment processes. *Ecological applications* 31(no 5).

Fivash, G.S., Temmerman, S., Kleinhans, M.G., Heuner, M., van der Heide, T. & Bouma, T.J. (2023). Early indicators of tidal ecosystem shifts in estuaries. *Nature Communications* 14, 1911.

IMDC (2022). Monitoringsprogramma Flexibel Storten Westerschelde en Monitoringsprogramma Beneden-Zeeschelde. Voortgangsrapport 2020-2021. IMDC, Antwerpen.

Maris, T., Wijnhoven, S., Damme, S.V., Beauchard, O., Van den Bergh, E. & Meire, P. (2013). Studie naar "Ecotooppervlaktes en intactness index". ECOBE 013-R156, Universiteit Antwerpen, Antwerpen.

Paree, E. (2017). Toelichting op de zoute ecotopenkaart Westerschelde 2016. Rijkswaterstaat CIV.

Schrijver, M.C. (2020). De balans opgemaakt – De ontwikkelingen in de Westerschelde tot 2019 bezien vanuit de sedimentbalans. Rijkswaterstaat Zee en Delta, Middelburg.

STOWA (2018). Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2021-2027. 3e druk. STOWA, Amersfoort

Vanoverbeke, J. & Van Ryckegem, G. (2015). Statistische analyse van het gebruik van het litoraal door steltlopers in de Westerschelde. INBO.R.2015.11358580. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Van Braeckel, A., Piesschaert, F. & Van den Bergh, E. (2006). Historische analyse van de Zeeschelde en haar getijgebonden zijrivieren: 19e eeuw tot heden. Rapport INBO, 2006.29. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

Van Kerkhoven, W. (2019). Het voorkomen van bruine kiekendief (*Curcus aeruginosus*) in Het Verdrongen Land van Saeftinghe. 2019.

Van Ryckegem, G., Van Braeckel, A., Elsen, R., Speybroeck, J., Vandevoorde, B., Mertens, W., Breine, J., De Beukelaer, J., De Regge, N., Hessel, K., Soors, J., Terrie, T., Van Lierop, F. & Van den Bergh, E. (2016). MONEOS – Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2015: monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Van Ryckegem, G., Van Braeckel, A., Elsen, R., Speybroeck, J., Vandevoorde, B., Mertens, W., Breine, J., Spanoghe, G., Buerms, D., De Beukelaer, J., De Regge, N., Hessel, K., Soors, J., Terrie, T., Van Lierop, F. & Van den Bergh, E. (2017). MONEOS – Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2016: monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Van Ryckegem, G., Van Braeckel, A., Elsen, R., Speybroeck, J., Vandevoorde, B., Mertens, W., Breine, J., Spanoghe, G., Bezdenjesnji, O., Buerms, D., De Beukelaer, J., De Regge, N., Hessel, K., Lefranc, C., Soors, J., Terrie, T., Van Lierop, F. & Van den Bergh, E. (2018). MONEOS – Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2017: monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (74).

Van Ryckegem G., Van Braeckel A., Elsen R., Vanoverbeke J., Van de Meutter F., Vandevoorde B., Mertens W., Breine J., Speybroeck J., Bezdenjesnji O., Buerms D., De Beukelaer J., De Regge N., Hessel K., Soors J. & Van Lierop F. (2020). MONEOS – Datarapport INBO: toestand Zeeschelde 2018-2019. Monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapport Geomorfologie, diversiteit Habitats en

diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (38). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: doi.org/10.21436/inbor.18656743

Van Ryckegem G., Vanoverbeke J., Van Braeckel A., Van de Meutter F., Vandevoorde, B., Mertens, W., Mertens, A., Van Braeckel, A., Smeekens, V., Thibau, K., Bezdenjesnji, O., Buerms, D., De Regge, N., Hessel, K., Lefranc, C., Soors, J. & Van Lierop, F. (2022). MONEOS – Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2021. Monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2022 (26). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Zwarts, L., Blomert, A-M, Bos, D. & Sikkema M. 2011. Exploitation of intertidal flats in the Oosterschelde by estuarine birds. A&W rapport 1657. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Veenwouden. *et al.*, 2011,

6.5. Ecologie

Arts, F.A., Lilipaly, S.J., Hoekstein, M.S.J., van Straalen, K.D., Sluijter, M., Wolf, P.A., Boudewijn, T.J., Grutters, B.M.C. & Middelveld, R.P. (2018). Recreatief medegebruik dijktrajecten Oosterschelde en Westerschelde. Een analyse van watervogeltellingen. Notitie DPM, Vlissingen/Bureau Waardenburg, Culemborg.

Arts, F.A., Lilipaly, S. & Strucker, R.C.W. (2014). Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta 2012/2013. RWS Centrale Informatievoorziening BM 14.11. Rijkswaterstaat Waterdienst, Lelystad.

Arts, F.A., Hoek, S., Hoekstein, M.S.J., Janse, W.M., Lilipaly, S.J. & Sluijter, M. (2022). Knelpunten en kansen voor strandbroedvogels in de Delta. Strandplevier, Bontbekplevier en Dwergstern. Rapport 2022-08. Deltamilieu Projecten, Vlissingen.

Balk, T., Herman, P.M.J. & Bouma, T.J.. (2014). Critical transitions in disturbance-driven ecosystems: identifying windows of opportunity for recovery. *Journal of Ecology* 102: 700-708.

Barneveld, H.J., Nicolai, R.P., Boudewijn, T.J., de Jong, J.W., Van Didderen, K., van de Haterd, R.J.W., Van de Moortel, I. & Velez, C. (2018). Evaluatierapport. T2015 rapportage Schelde estuarium. HKV, Bureau Waardenburg, Antea Group.

Beijersbergen R. (2016). Reizen langs de waterkant. De ecologie van de Dwergstern *Sterna albifrons* op de Hooge Platen. Eburon, Delft.

Belpaire, C., Breine, J., Buysse, D., Coeck, J., Pauwels, I., Schneiders, A., Van Wichelen, J., & Hoffmann, M. (2020). Advies over de toestand van de Europese paling in Vlaanderen. Adviezen INBO. INBO.A.4095.

Bijkerk, R. & Brochard, C. (2020). Mesozoöplankton in de Westerschelde, 2019. MONEOS Monitoringprogramma. Bureau Waardenburg Rapportnr.20-201. Bureau Waardenburg, Culemborg. 27 pp.

Boudewijn, T.J., Walhout, J.M., Zwerver, J., Castelijns, J.W., Sluijter, M., Wolf, P.A. & Arts, F.A. (2022). Vogeltellingen met afgaand water in de Westerschelde. Integratie van tellingen in de periode

oktober 2018 – juni 2021. Rapport 21-037. Bureau Waardenburg, Culemborg/Deltamilieu Projecten, Vlissingen/Het Zeeuwse Landschap, Wilhelminadorp.

Bourillon, B., Acou, A., Trancart, T., Belpaire, C., Covaci, A., Bustamante, P., Faliex, E., Amilhat, E., Malarvannan, G. & Virag, L. (2020). Assessment of the quality of European silver eels and tentative approach to trace the origin of contaminants-An European overview. *Science of the Total Environment* 743(5):140675. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140675>

Brasseur, S.M.J.M. (2017). Seals in motion. How movements drive population development of harbour seals and grey seals in the North Sea. Proefschrift Wageningen Universiteit, Wageningen.

Brasseur, S., Jess, A., Körber, P., Møise, K., Schop, J., Siebert, U., Telmann J., Bie Thøstesen, C. & Klöpffer S. (2021). EG-Marine Mammals grey seal surveys in the Wadden Sea and Helgoland in 2020-2021. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.

Brys, R., Ysebaert, T., Escaravage, V, Van Damme, S., Van Braeckel, A., Vandevoorde, B. & Van den Bergh, E. (2005). Afstemmen van referentiecondities en evaluatiesystemen in functie van de KRW: afleiden en beschrijven van typespecifieke referentieomstandigheden en/of MEP in elk Vlaams overgangswatertype vanuit de – overeenkomstig de KRW – ontwikkelde beoordelingssystemen voor biologische kwaliteitselementen. Eindrapport VMM.AMO.KRW.REFCOND OW. Instituut voor natuurbehoud IN.O. 2005.7.

Calle, P., Claus P., Adriaens P., Jong D., Castelijns H., Jacobusse C. & Castelijns W. (2021). Beheerplan Nederlandse natuurkerngebieden Grenspark Groot Saeftinghe 2020-2032. Het Zeeuwse Landschap, Provincie Zeeland.

Coelho, M.R., M.J. Bebianno, W.J. Langston, 2002. Routes of TBT uptake in the clam *Ruditapes decussates*. I. Water and sediments as vectors of TBT uptake. *Marine Environmental Research* 54: 179-192.

Cox, T. (2008). Zuurstof en primaire productie in de zoete Zeeschelde. PhD thesis. Universiteit Antwerpen.

Craeymeersch, J.A. & Ysebaert, T. (2020). Foerageergebieden voor steltlopers in de Westerschelde. Voedselbeschikbaarheid en advies over bodemdierbemonstering t.b.v. het laagwatervogeltelprogramma. Rapport C108.19. Wageningen Marine Research, Yerseke.

Dedert, M., Brasseur S. & van den Heuvel-Greve, M.J. (2015). Zeehonden in het Deltagebied; populatieontwikkeling en geperfluoreerde verbindingen. Rapport C178/14. IMARES, Wageningen.

Devos, K., T' Jollyn, F. & Piesschaert F. (2021). Watervogels in Vlaanderen tijdens de winter 2019-2020. *Vogelnieuws* 34.

Dijkstra J., Dzimbala S. van Nieuwkoop J. *et al.* (2022). Verjonging Zuidgors – Hoe kan een numeriek model gebruikt worden als ontwerptool? Book of abstracts Wetenschappelijk Scheldesymposium 17 november 2022. Pp. 14-15.

Dijkstra, Y.M., Schuttelaars, H.M. & Schramkowski, G.P. (2019). Can the Scheldt River Estuary become hyperturbid? *Ocean Dynamics* 69, 809-827.

Dogruer, G., A. Sneekes, M.R. de Hart & M.J.J. Kotterman, 2023. Biotamonitoring Rijkswateren tot en met 2021. Deel I: Toetsing en Trends. Wageningen Marine Research Rapport C049/22A. Wageningen Marine Research, IJmuiden.

Doornbos, G. (1984). Piscivorous birds on the saline Lake Grevelingen: abundance, prey selection and annual food consumption. *Net. J. Sea Res.* 18:457-479.

Driessen, F., Duijts, O., van der Jagt, H.A., van Moorsel, G., Kruijt, D.B., Japink, M. & Middelveld, R.P. (2018). Macrozoöbenthosbemonstering in de Zoute Rijkswateren, Hoofdrapport, MWTL 2017. Waterlichamen: Westerschelde en Oosterschelde. Bureau Waardenburg Rapport 18-299.

Duijns, S. & Boudewijn, T. (2020). Analyse implementatie verhaallijnen-systematiek in de T-rapportage. Nota 7 Nok-ER3 Verkennend voedsel-ecologisch onderzoek aan zeven slikgebonden watervogels in de Westerschelde. Consortium Schelde in Beeld.

Elschot, K., Vermeulen, A., Vandenbruwaene, W., Bakker, J.P., Bouma, T.J., Stahl, J., Castelijns, H. & Temmerman S. (2017). Top-down vs bottom-up control on vegetation composition in a tidal marsh depends on scale. *PLoS One* 12(2): e0169960.

Ejsmont-Karabin, J. & Karabin, A. (2013). The suitability of zooplankton as lake ecosystem indicators: Crustacean trophic state index. *Polish Journal of Ecology* 61: 561-373.

EU (2014). Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2014/1143/oj>

Fang, X., Mestdagh, S., Ysebaert, T., Moens, T., Soetaert, K. & Van Colen, C. (2019). Spatio-temporal variation in sediment ecosystem processes and roles of key biota in the Scheldt estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 222, 21-31.

Faunabeheereenheid Zeeland 2020. Faunabeheerplan ganzen 2021-2026 ZEELAND. FBE, Provincie Zeeland.

Fijn, R.C., van Horssen, P.W. & Lensink, R., 2013. Vereiste reproductie van gewone en grijze zehonden in de Deltaregio voor een stabiele doelpopulatie. Rapport 13-213. Bureau Waardenburg, Culemborg.

Galatius, A., Abel C., Brackmann J., Brasseur S., Jess A., Meise K., Meyer J., Schop J., Siebvert U., Teilmann J. & Bie Thøstensen C., 2021. EG-Marine Mammals harbour seal surveys in the Wadden Sea and Helgoland 2021. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.

Heunks, C., Wolf, P.A., Lilipaly, S.J., van Horssen, P.W. & Boudewijn, T.J. (2008). Watervogels, kustbroedvogels en recreanten tussen Breskens en Braakmanhaven (Westerschelde). Tellingen in de periode 2004-2007. Rapport 08-051. Bureau Waardenburg, Culemborg.

Hill, M.O., Mountford J.O., Roy D.B. & Bunce R.G.H. 1999. Ellenberg's indicator values for British plants. *Ecofact Volume 2 Technical Annex*. Institute of Terrestrial Ecology.

Hintzen, N., 2021. Garnalenvisserij in Natura 2000 gebieden. Wageningen Marine Research rapport C013/21. Wageningen Marine Research, Ijmuiden.

Hoekstein, M.S.J., Sluijter, M. & Van Straalen, K.D. (2022). Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta 2020/2021. Rijkswaterstaat, Centrale informatievoorziening Rapport BM 22.02. Deltamilieu Projecten Rapportnr. 2022-01 Deltamilieu Projecten, Vlissingen.

Hoekstein, M.S.J., Janse, W., Sluijter, M. & van Straalen, K.D. (2023). Watervogels en zeehonden in de Zoute Delta in 2021/2022. Rijkswaterstaat, Centrale informatievoorziening Rapport BM 23.02. Deltamilieu Projecten Rapportnr. 2023-01. Deltamilieu Projecten, Vlissingen.

Hornman, M., Kavelaars, M., Koffijberg, K., van Winden, E., van Els, P., Kleefstra, R., van Kleinen, A, Hissel, B., van Turnhout, C. & Soldaat, L. (2022). Watervogels in Nederland in 2020/2021. Sovon rapport 2022/58, RWS-rapport BM 22.22. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

Janse, W., Sluijter, M. & Hoek, S. 2022. Strandbroeders op dijken en stranden in het Deltagebied. Rapport 2022-12. Deltamilieu Projecten, Vlissingen.

Keller, V., Herrando, S., Voříšek, P., Franch, M., Kipson, M., Milanesi, P., Martí, D., Anton, M., Klvaňová, A., Kalyakin, M.V., Bauer, H.-G. & Foppen, R.P.B. (2020). European Breeding Bird Atlas 2: Distribution, Abundance and Change. European Bird Census Council & Lynx Edicions, Barcelona.

Langston, W.J., G.R. Burt, M. Zhou, 1987. Tin and organotin in water, sediments and benthic organisms of Poole Harbour. Mar. Pol. Bull. 18:634-639

Langston, W.J., N.D. Pope, M. Davey, K.M. Langston, S.C.M. O' Hara, P.E. Gibbs, P.L. Pascoe, 2015. Recovery from TBT pollution in English Channel environments: A problem solved? Marine Pollution Bulletin 95 (2):551-564.

Langenberg, V.T. (2010). Mesozooplankton in the Scheldt estuary. Carbon flow through the lower trophic levels.

Langston, W.J., N.D. Pope, M. Davey, K.M. Langston, S.C.M. O' Hara, P.E. Gibbs, P.L. Pascoe, 2015. Recovery from TBT pollution in English Channel environments: A problem solved? Marine Pollution Bulletin 95 (2):551-564.

Lensink, R., Reitsma J.M. & Meijer A.J.M. (2008). Beheerplan Verdrongen land van Saeftinghe 2009-2020. Deel1 Inventarisatie, Deel 2 Evaluatie huidig beheer & visie en uitwerking toekomstig beheer. Rapport 08-038. Bureau Waardenburg, Culemborg.

Lilipaly, S.J., Hoekstein M.S.J. & van Straalen, K.D. (2021). Broedsucces van kustbroedvogels in het Deltagebied in 2021. Rapport 2022-01. Deltamilieu Projecten, Vlissingen.

Lilipaly, S.J. & Sluijter, M. (2022). Kustbroedvogels in het Deltagebied in 2021. Rijkswaterstaat, Centrale informatievoorziening Rapport BM 22.04. Rapport 2022-03. Deltamilieu Projecten, Vlissingen.

Maris, T., Cox, T. & Meire, P. (2018). Nota Maximaal debiet voor ecologie in de Boven-Zeeschelde. Nota ECOBE 018-R227.

Meininger, P.L. (2001). Nieuwe dijkbekleding Westerschelde en vogels. Werkdocument RIKZ/OS/2001.812X. RIKZ, Middelbrug.

Meininger, P.L. (ed.) (2022). Avifauna Zeelandica. Vogels, vogelaars en vogelonderzoek in Zeeland. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

Meininger, P.L. & Graveland, J. (2002). Leidraad ecologische herstelmaatregelen voor kustbroedvogels. Balanceren tussen natuurlijke processen en ingrijpen. Rapport TIKZ 2001-046. RIKZ, Middelburg.

Meininger, P.L., Witte, R.H. & Graveland, J. (2002). Zeezoogdieren in de Westerschelde: knelpunten en kansen. Rapport RIKZ/2003.041. RIKZ, Middelburg.

Ministerie van LNV (2009). Aanwijsbesluit Westerschelde+Saeftinghe.

Ministerie van I&M (2016). Natura 2000 Deltawateren. Westerschelde en Saeftinghe. Beheerplan 2016-2022.

Moretto, M., Schepper, R., Pandelaers, C., Pieterse, A. & van Holland, G. (2022). Monitoringsprogramma Flexibel Storten Westerschelde en Monitoringsprogramma Benden-Zeeschelde. Voortgangsrapport 2020-2021. Rapport I/RA/11498/22124/MMO. IMDC, Antwerpen.

Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit 2021. Factsheet Japanse duizendknoop. Update 21-12-2021. Ministerie van LNV.

Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit 2023. Factsheet Japanse duizendknoop. Update 21-12-2021. Ministerie van LNV.

Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit 2023. Factsheet Reuzenbalsemien. Update 8-2-2023. Ministerie van LNV.

Oldeburger, J., Penninkhof, J., de Groot, C. & Voncken, F. (2017). Praktijkproef bestrijding duizendknoop. Resultaten en kostenefficiëntie van zeven bestrijdingsmethoden voor duizendknoop en varianten daarop. Stichting Probos, Wageningen.

Reijnders, P.J.H., Brasseur, S.M.J.M. & Brinkman, A.G. (2000). Habitatgebruik en aantalsontwikkeling van Gewone Zeehonden in de Oosterschelde en het overige Deltagebied. Alterra-rapport 078. Alterra, Wageningen.

Palmer, C.M. (1969). A composite rating of algae tolerating organic pollution. Journal of Phycology 5: 78-82.

Reijnders, P.J.H., Brasseur, S.M.J.M. & Meesters, E. (2010). Earlier pupping in harbour seals, *Phoca vitulina*. Bil. Lett. 6: 854-857.

Respondek, G., C. Günther, U. Beier, K. Bleeker, E.M. Pedersen, T. Schulze & A. Temming, 2022. Connectivity of local sub-stocks of *Crangon crangon* in the North Sea and the risk of local recruitment overfishing. Journal of Sea Research 181: 102173.

Ruiz, J.M., G.W. Bryan & P.E. Gibbs, 1994. Bioassaying the toxicity of tributyltin-(TBT)-polluted sediment to spat of the bivalve *Scrobicularia plana*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 113: 119-130.

Schekkerman, H., Arts, F. Buijs, R-J., Courtens, W., van Daele, T., Fijn, R., van der Jeugd, H., Roodbergen, M., Stienen, E., de Vries, L. & Ens, B.J. (2021). Geïntegreerde populatie-analyse van vijf soorten kustbroedvogels in het Zuidwestelijk Deltagebied. Sovon-rapport 2021/03, CAPS-rapport 2021/01. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

Schellekens, T. & Vanagt, T. 2018. "Ecologische validatie plaatrandstortingen" Synthese rapport. Ecoast, Eurofins, Habita-Advies, Anteagroup, VisAdvies.

Schrijver, M.C. (2020). De balans opgemaakt – De ontwikkelingen in de Westerschelde tot 2019 bezien vanuit de sedimentbalans. Rijkswaterstaat Zee en Delta, Middelburg.

STOWA (2018). Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2021-2027. 3e druk. STOWA, Amersfoort.

Tulp, I., L.J. Nolle, E. Meesters & P. de Vries, 2012. Brown shrimp abundance in northwest European coastal waters from 1970 to 2010 and potential causes for contrasting trends. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 458: 141-154.

Van de Meutter, F., Bezdenjesnji,), Buerms, D., De Beukelaer, J., De Regge, N., Terrie, T., Soors, J., Vanoverbeke, J., Van Braeckel, A., Vandevoorde, B., Van den Bergh, E. & Van Ryckegem, G. (2021). Trofische relaties tussen oligochaeten en epibenthische predatoren op slikken in de Zeeschelde. Tweedelijnsanalyse. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2021 (23). INBO, Brussel.

Van de Kam, J., Ens, B., Piersma, T. & Zwarts L. (1999). Ecologische Atlas van de Nederlandse Wadvogels. Schuyt & Co, Haarlem.

Van der Winden, J., de Fouw, J., Dreef, C., van Horssen, P. & Dirksen, S. (2017). Deltagebied: nationaal en internationaal topgebied voor vogels. Status, trends, bedreigingen en toekomst voor watervogels in het Deltagebied. Sjoerd Dirksen Ecology, Utrecht / Vogelbescherming Nederland.

Van Kerkhoven, W. (2019). Het voorkomen van de bruine kiekendief (*Circus aeruginosus*) in het Verdrongen Land van Saeftinghe, 2019.

Vanoverbeke, J. & Van Ryckegem, G. (2015). Statistische analyse van het gebruik van het litoraal door steltlopers in de Westerschelde. INBO.R.2015.11358580. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Van Rijssel, J. C., Van Keeken, O. A., & De Leeuw, J. J. (2022). Vismonitoring Rijkswateren t/m 2021 Deel 1: Toestand en trends. Rapport C085/22. WUR.

Van Ryckegem, G., Van Braeckel, A., Elsen, R., Speybroeck, J., Vandevoorde, B., Mertens, W., Breine, J., De Beukelaer, J., De Regge, N., Soors, J., Dhaluin, P., Terrie, T., Van Lierop, F. N., Hessel, K., Froidmont, M. & Van den Bergh, E. (2015). MONEOS – Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2014: monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Van Ryckegem, G., Van Braeckel, A., Elsen, R., Speybroeck, J., Vandevoorde, B., Mertens, W., Breine, J., De Regge, N., Hessel, K., Soors, J., Terrie, T., Van Lierop, F. & Van den Bergh, E. (2016). MONEOS – Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2015: monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Van Ryckegem, G., Van Braeckel, A., Elsen, R., Speybroeck, J., Vandevoorde, B., Mertens, W., Breine, J., Spanoghe, G., Bezdenjesnji, O., Buerms, D., De Beukelaer, J., De Regge, N., Hessel, K., Lefranc, C., Soors, J., Terrie, T., Van Lierop, F. & Van den Bergh, E. (2018). MONEOS – Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2017: monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (74).

Van Ryckegem G., Van Braeckel A., Elsen R., Vanoverbeke J., Van de Meutter F., Vandevoorde B., Mertens W., Breine J., Speybroeck J., Bezdenjesnji O., Buerms D., De Beukelaer J., De Regge N., Hessel K., Soors J. & Van Lierop F. (2020). MONEOS – Datarapport INBO: toestand Zeeschelde 2018-2019. Monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapport Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (38). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: doi.org/10.21436/inbor.18656743

Van Ryckegem G., Vanoverbeke J., Van Braeckel A., Van de Meutter F., Mertens, W., Mertens, A. & Breine, J. (2021). MONEOS-Datarapport INBO: toestand Zeeschelde 2020. Monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2021 (47). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Van Ryckegem G., Vanoverbeke J., Van Braeckel A., Van de Meutter F., Vandevoorde, B., Mertens, W., Mertens, A., Van Braeckel, A., Smeekens, V., Thibau, K., Bezdenjesnji, O., Buerms, D., De Regge, N., Hessel, K., Lefranc, C., Soors, J. & Van Lierop, F. (2022). MONEOS – Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2021. Monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2022 (26). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Van Ryckegem, G., Vanoverbeke, J., Van de Meutter, F., Vandevoorde, B., Mertens, W., Mertens, A., Van Braeckel, A., Smeekens, V., Thibau, K., Bezdenjesnji, O., Buerms, D., De Regge, N., Hessel, K., Lefranc, C., Soors, J., & Van Lierop, F., 2022. MONEOS - Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2021. Monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek Nr. 26. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. <https://doi.org/10.21436/inbor.85928183>

Van Ryckegem, G., Vanoverbeke, J., Van de Meutter, F., Vandevoorde, B., Mertens, W., Mertens, A., Van Braeckel, A., Smeekens, V., Thibau, K., Bezdenjesnji, O., Buerms, D., De Regge, N., Hessel, K., Lefranc, C., Soors, J., Van Lierop, F. (2022). MONEOS - Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2021. Monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2022 (Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2022 (26)). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: 10.21436/inbor.85928183.

Veltman, K., M.A.J. Huijbregts, M.J. van den Heuvel-Greve, A.D. Vethaak & A.J. Hendriks, 2006. Organotin accumulation in an estuarine food chain: Comparing field measurements with model estimates. *Mar. Env. Res* 61: 511-530.

VNSC 2019. Systemanalyse natuur Schelde-estuarium. Gezamenlijk feitenonderzoek van stakeholders, deskundigen en de Vlaams-Nederlandse Scheldecommissie.

Ysebaert, T., Meininger, P.L., Meire, P., Devos, K., Berrevoets, C.M., Strucker, R.C.W. & Kuijken, E. (2000). Waterbird communities along the estuarine salinity gradient of the Schelde estuary, NW-Europe. *Biodiversity & Conservation* 9: 1275-1296.

Zwarts, L., Blomert, A-M, Bos, D. & Sikkema, M. (2011). Exploitation of intertidal flats in the Oosterschelde by estuarine birds. A&W rapport 1657. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Veenwouden.

Zwartsen, A. & Boon, P.E. (2022). Consumptie van producten verontreinigd met PFAS uit de Westerschelde. RIVM-broefrapport 2022-0020. RIVM, Bilthoven.

A. Bijlage A – Hydrodynamiek

A.1. Aanvullende analyse rivierafvoer en windopzet

A.1.1. Methode

Om de relatie tussen de jaargemiddelde hoogwaterstanden, jaargemiddelde laagwaterstanden en 99^e percentiel hoogwaterstanden enerzijds en de rivierafvoer en windopzet anderzijds explicieter te kunnen maken, is een aanvullende analyse uitgevoerd waarbij de rivierafvoer en windopzet als extra variabelen aan de regressiemodellen zijn toegevoegd. In T2015 bleek dat deze variabelen de residuen van de (lineaire) regressiemodellen goed konden beschrijven. Deze hypothese wordt in deze aanvullende analyse opnieuw getoetst en verder gekwantificeerd. Bovendien is het van belang om de conclusies uit de evaluatie te nuanceren indien trends en trendwijzigingen verklaard kunnen worden uit windopzet en rivierafvoer (en dus niet door systeemwijzigingen in het estuarium).

De formulering van het uitgebreide multiregressiemodel (met de jaargemiddelde hoogwaters als voorbeeld) is als volgt:

$$HW(t) = b_{HW} + m_{HW}t + C \cos(2\pi ft - \phi) + C_{windopzet}W + C_{afvoer}Q + \varepsilon_{HW}(t)$$

In deze formule is $HW(t)$ het jaargemiddelde hoogwater in jaar t , b_{HW} een constante, m_{HW} de lineaire regressiecoëfficiënt (trendparameter), C de amplitude van het nodale getij, f de frequentie van het nodale getij ($1/f = 18,613$ jaar, vaste waarde), ϕ de faseverschuiving van het nodale getij (vaste waarde), $C_{windopzet}$ de regressiecoëfficiënt van de windopzet, W de gestandaardiseerde windopzet, C_{afvoer} de regressiecoëfficiënt van de rivierafvoer, Q de gestandaardiseerde rivierafvoer en ε_{HW} het residu in jaar t .

Het uitgebreide regressiemodel wordt op de beschikbare data gefit met een wisselend slotjaar: 2009, 2015 of 2021 om de ontwikkelingen uit de verschillende evaluatieperiodes in beeld te brengen. Hierbij worden alle parameters (m.u.v. de vaste frequentie en faseverschuiving van het nodale getij) opnieuw gefit.

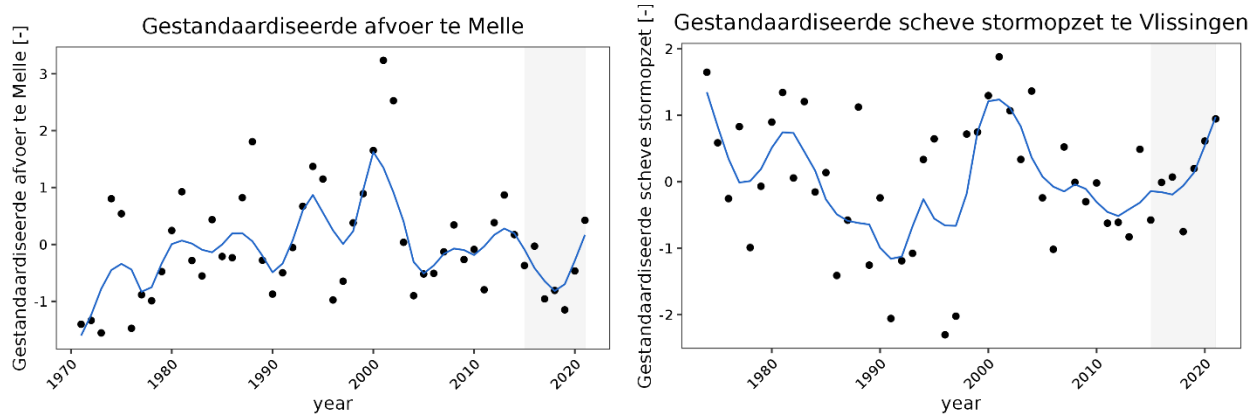
Voor de afvoer wordt de afvoer te Melle of te Schelle ingevoerd in het regressiemodel, afhankelijk van of het station bovenstrooms of benedenstrooms van Schelle ligt. Voor bovenstroomse stations wordt de afvoer te Melle ingevoerd en voor benedenstroomse stations de afvoer te Schelle. Ook voor de stations langs de Rupel en Durme worden de afvoeren van Schelle gebruikt, omdat de waterstanden langs deze takken voor een groot gedeelte bepaald worden door de waterstanden in de Schelde via waterstandskrommen. Afvoergegevens zijn beschikbaar vanaf 1971.

Voor de scheve stormopzet wordt de scheve stormopzet te Vlissingen meegenomen. Deze is in het analyserapport bepaald als het verschil tussen het opgetreden hoogwater en het voorspelde astronomische hoogwater. Als verklarende variabele voor de jaargemiddelde laagwaterstanden is ook de scheve stormopzet ten tijde van de laagwaters bepaald. De scheve stormopzetten zijn tevens beschikbaar vanaf 1971.

Voor de verschillende toetsparameters worden andere (gestandaardiseerde) waarden voor de windopzet en afvoer ingevoerd:

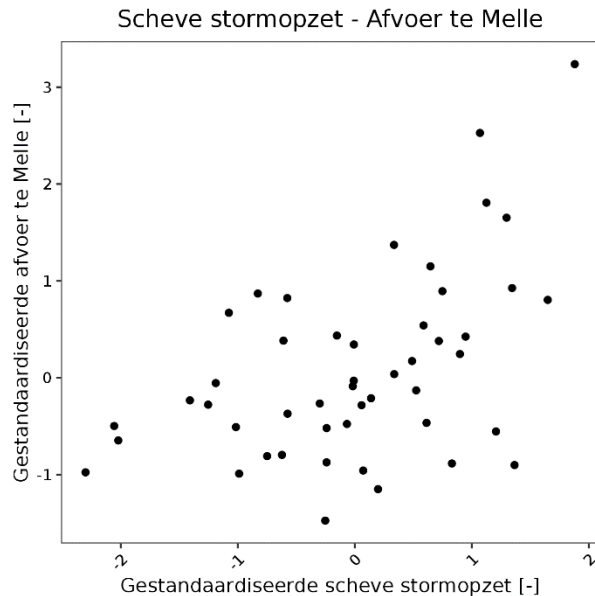
- Rekenparameter jaargemiddeld hoogwater: jaargemiddelde scheve stormopzet te Vlissingen ten tijde van het hoogwater en de jaargemiddelde afvoer te Melle of te Schelle
- Rekenparameter 99^e percentiel hoogwater: 99^e percentiel scheve stormopzet te Vlissingen ten tijde van het hoogwater en de 99^e percentiel afvoer te Melle of te Schelle.
- Rekenparameter jaargemiddeld laagwater: jaargemiddelde scheve stormopzet te Vlissingen ten tijde van het laagwater en de jaargemiddelde afvoer te Melle of te Schelle

In Figuur 6-1 zijn de gestandaardiseerde⁸ afvoer te Melle en scheve stormopzet (HW) geplot over tijd en in Figuur 6-2 zijn deze uitgezet tegen elkaar. Uit de figuren is op te maken dat in de periode 2000-2000 hoge afvoeren en windopzetten zijn opgetreden. In de huidige evaluatieperiode (2016-2021) vallen de relatief lage afvoeren in de jaren 2017-2020 op, net als de relatief lage stormopzet in 2017 en de hoge stormopzet in 2021. Figuur 6-2 laat zien dat de scheve stormopzet (HW) en de afvoer te Melle positief gecorreleerd zijn. Deze correlatie is eerder geconstateerd (bijv. in T2015), maar de oorzaak is niet onderzocht.



Figuur 6-1: Gestandaardiseerde afvoer te Melle (links) en gestandaardiseerde scheve stormopzet ten tijde van het hoogwater te Vlissingen (rechts) voor de periode 1971 t/m 2021

⁸ Gestandaardiseerd wil hier zeggen dat van iedere waarde het gemiddelde is afgetrokken en dat het resultaat door de standaardafwijking is gedeeld.



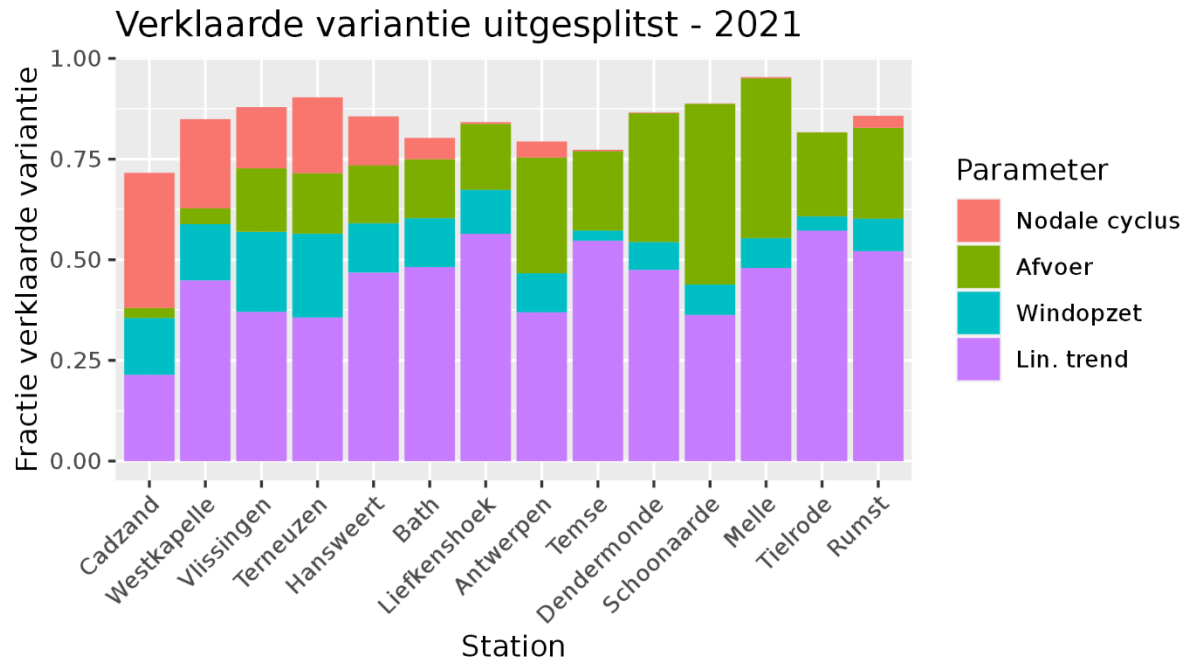
Figuur 6-2: Gestandaardiseerde scheve stormopzet te Vlissingen ten tijde van het hoogwater uitgezet tegen de gestandaardiseerde afvoer te Melle

Doordat er voor de afvoer en windopzet slechts vanaf 1971 (voldoende) gegevens beschikbaar zijn, kan het regressiemodel worden gefit op de jaargemiddelden (HW en LW) en 99^e percentielen HW vanaf 1971. Dit startpunt kan afwijken van het startpunt van de regressies in het analyserapport, waardoor de gepresenteerde trends ook kunnen afwijken van het analyserapport. De resultaten in de volgende paragrafen duiden dus enkel de invloed van de rivierafvoer en scheve stormopzet en vervangen niet de trendwaarden uit het analyserapport en zijn ook niet leidend voor de evaluatie.

A.1.2. Invloed op jaargemiddelde hoogwaterstanden

Figuur 6-4 t/m Figuur 6-17 tonen de resultaten van de gefitte multivariate regressiemodellen voor de belangrijkste stations in de Westerschelde en de Zeeschelde. Deze figuren tonen aan dat een groot gedeelte van de variatie verklaard kan worden door de jaargemiddelde scheve windopzet en de jaargemiddelde afvoer. In Figuur 6-3 is voor elk station de door het model verklaarde variatie uitgesplitst naar de variabelen in het regressiemodel, zijnde de lineaire trend, de jaargemiddelde scheve windopzet, de jaargemiddelde afvoer en de nodale getijcyclus. Dit toont aan zoals verwacht aan dat:

- de invloed van de nodale getijcyclus afneemt vanaf de monding,
- de windopzet met name van belang is in de Westerschelde (en in iets mindere mate bij Liefkenshoek en Antwerpen) en
- de rivierafvoer toenemend belangrijk is dieper het estuarium in.



Figuur 6-3: Uitsplitsing van de verklaarde variantie in het windopzet-afvoermodel gefit op de jaargemiddelde hoogwaterstanden t/m 2021.

Tabel 6-1 presenteert de trends in het jaargemiddelde hoogwater wanneer de twee regressiemodellen zijn gefit op de data vanaf 1971 (of later wanneer er een trendbreuk na 1971 is opgelegd in het analyserapport). Let op, deze trends kunnen dus afwijken van de in het analyserapport gepresenteerde waarden en dienen alleen als doel het effect van de windopzet en de rivierafvoer op de langjarige trends te kunnen beschouwen.

Tabel 6-1: Trends in het jaargemiddelde hoogwater in cm/eeuw in het lineaire model met nodale cyclus en het met windopzet en afvoer uitgebreide model gefit op de data tot en met de verschillende zichtjaren (2009, 2015 en 2021). Let op, de gepresenteerde trends in onderstaande tabel kunnen afwijken van de waarden gepresenteerd in het analyserapport.

Station	Lineaire model: Trend jaargem. HW [cm/eeuw] per zichtjaar			Windopzet-afvoermodel: Trend jaargem. HW [cm/eeuw] per zichtjaar		
	2009	2015	2021	2009	2015	2021
Cadzand	10	9	15	5	8	15
Westkapelle	26	21	23	23	20	22
Vlissingen	31	23	21	25	21	20
Terneuzen	28	22	22	21	20	22
Hansweert	36	33	32	27	29	31
Bath	39	36	32	34	36	35
Liefkenshoek	61	50	43	55	50	46
Antwerpen	46	36	26	42	37	30
Temse	68	57	40	63	57	44
Dendermonde	72	56	46	61	52	48
Schoonaarde	112	85	65	78	66	57
Melle	167	141	115	117	113	104

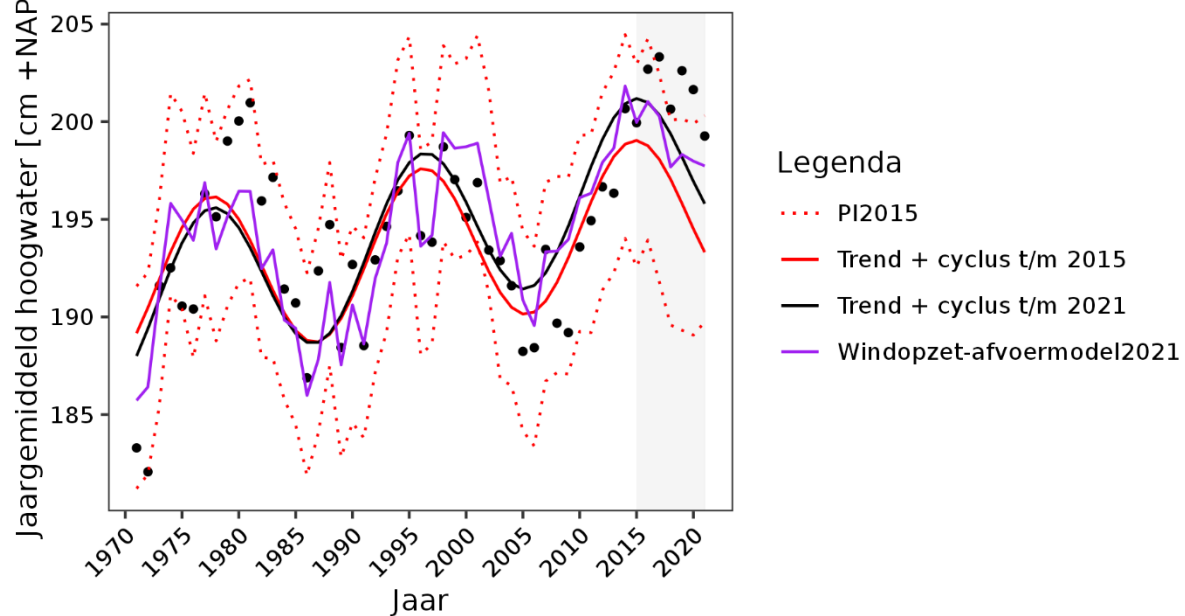
Tielrode (Durme)	91	73	59	77	65	55
Rumst (Rupel)	53	47	38	46	47	41

Voor bijna alle stations zijn de t/m 2009 trends en in mindere mate de t/m 2015 en t/m 2021 trends lager als er rekening gehouden wordt met windopzet en afvoer. Dat wil zeggen dat windopzet en/of afvoer een deel van de (sterke) stijging in het jaargemiddeld hoogwater kunnen verklaren. Dit heeft onder andere te maken met de hoge pieken in de jaargemiddelde hoogwaters in de periode 2000-2005. Een duidelijk voorbeeld hiervan is station Melle. Met de hoge jaargemiddelde afvoeren rond 2000 wordt in het lineaire model geen rekening gehouden en de hoge jaargemiddelde hoogwaters drijven daarmee de trends op omhoog. Door afvoer (en windopzet) aan het model toe te voegen, zijn de trends kleiner.

In de Westerschelde veranderen de conclusies uit het analyserapport niet als gevolg van het expliciet toevoegen van windopzet en afvoer als verklarende parameters in het regressiemodel. De trends blijven in de orde grootte 20 á 30 cm, waarschijnlijk verklaard door de stijging van de gemiddelde waterstand (zeespiegelstijging). Net als in het analyserapport kan gesteld worden dat de trend in het jaargemiddeld hoogwater bij Cadzand versnellende is en dat deze dichterbij de trends van de andere stations komt te liggen en dichterbij de zeespiegelstijging. De trend bij station Bath is met de toevoeging van windopzet en afvoer stabiel stijgend (34 á 36 cm/eeuw), waar deze iets leek af te zwakken in het lineaire model. Bij Hansweert is er met de toevoeging van windopzet en afvoer juist sprake van een licht versnellende stijging van de jaargemiddelde hoogwaterstanden.

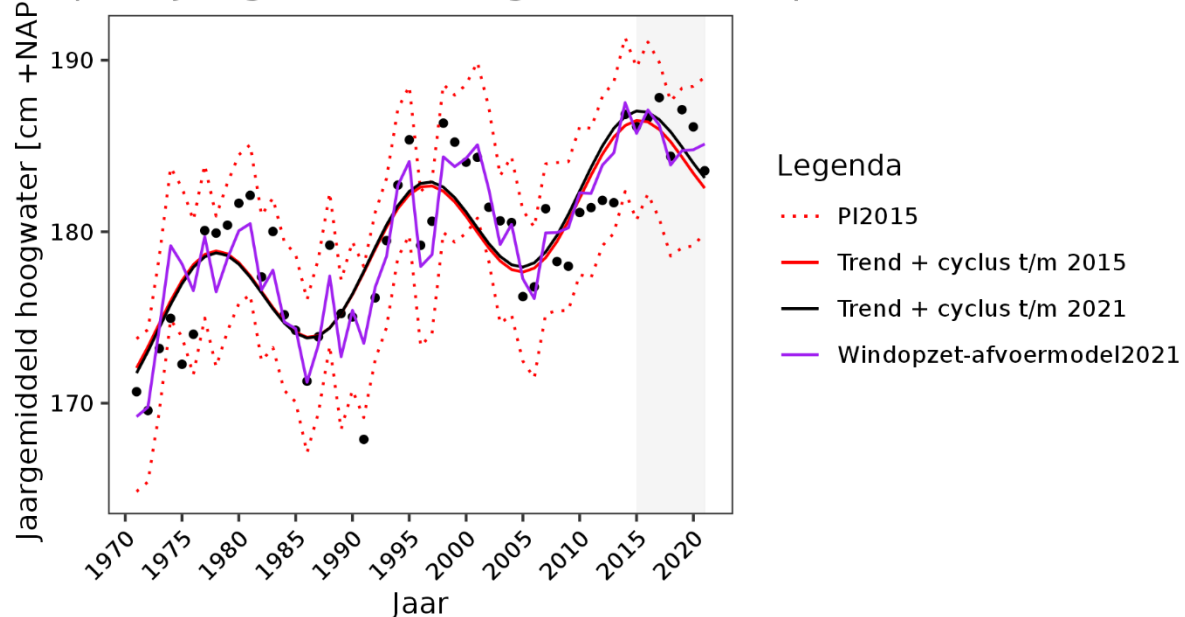
In de Zeeschelde blijven de conclusies uit het analyserapport ook overeind: de trends zwakken af. Met het toevoegen van de windopzet en de afvoer zijn de verschillen tussen de verschillende zichtjaren (de trend t/m 2021 vergelijkend met de trend t/m 2015 en trend t/m 2009) kleiner geworden. Dit heeft twee oorzaken: 1) in het lineaire model worden de trends t/m 2009 en t/m 2015 sterk beïnvloed door de hoge jaargemiddelde afvoeren (en in mindere mate windopzet) in de periode rond 2000 en 2) in het lineaire model wordt de trend t/m 2021 (deels) afgezwakt door de relatief lage jaargemiddelde afvoeren in de jaren 2017 t/m 2020.

Trend plot - Jaargemiddeld hoogwater - Cadzand



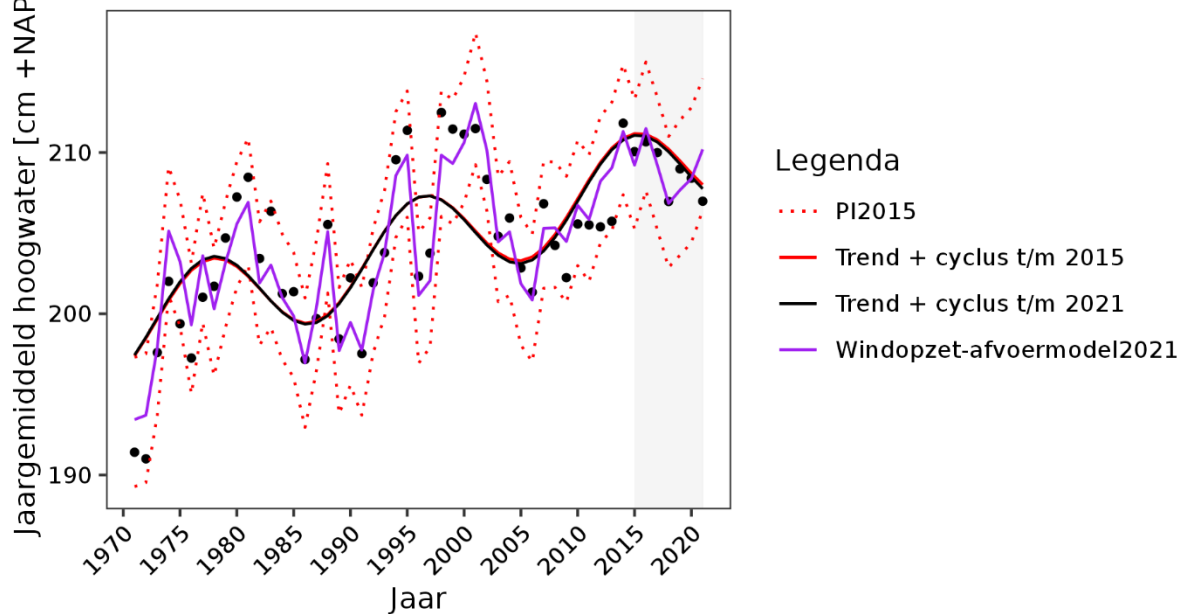
Figuur 6-4: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Cadzand vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld hoogwater - Westkapelle



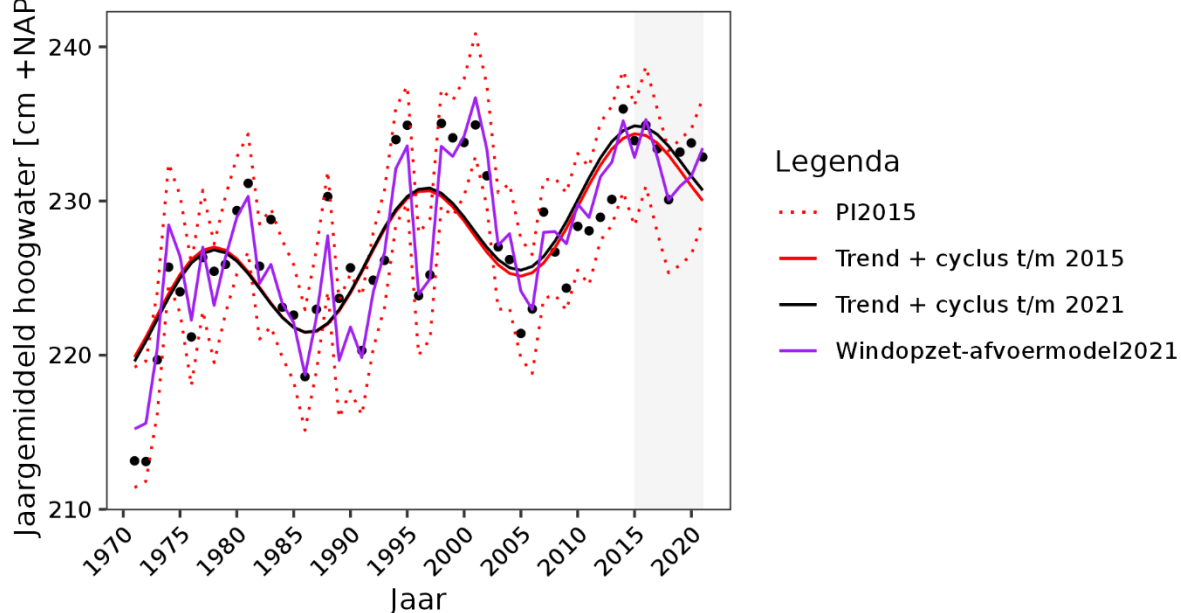
Figuur 6-5: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Westkapelle vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

rend plot - Jaargemiddeld hoogwater - Vlissingen



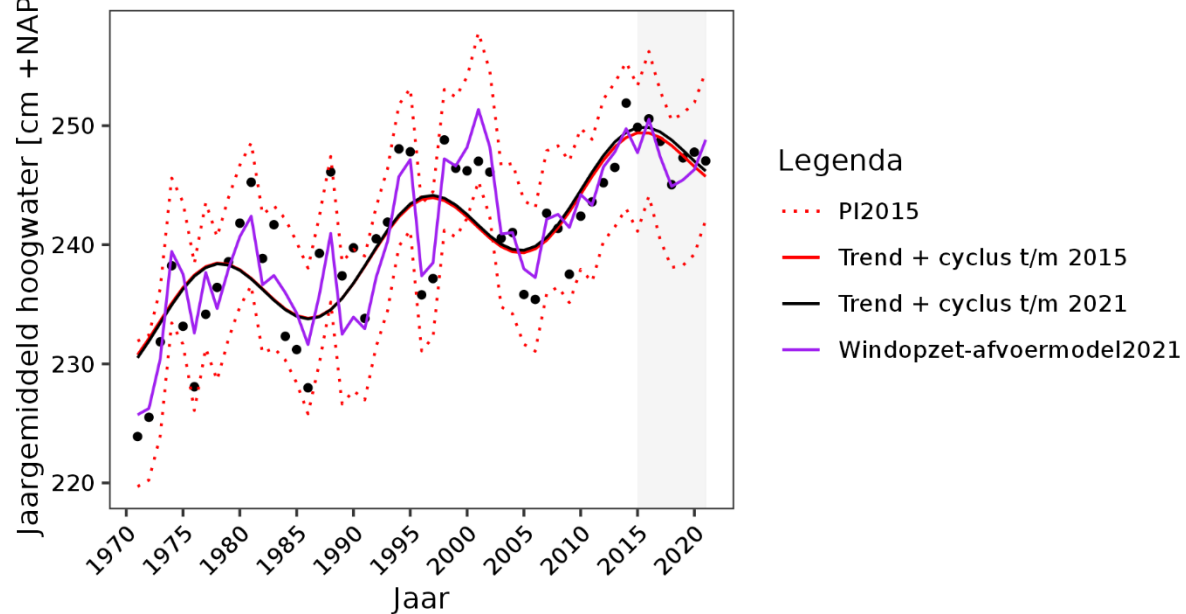
Figuur 6-6: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Vlissingen vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

rend plot - Jaargemiddeld hoogwater - Terneuzen



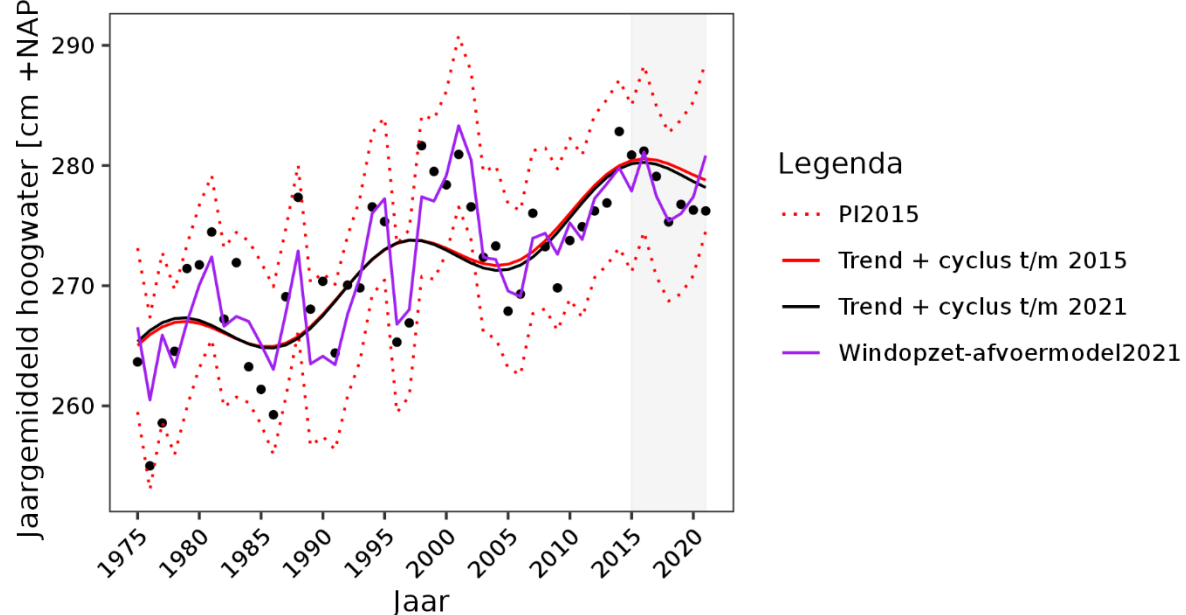
Figuur 6-7: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Terneuzen vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld hoogwater - Hansweert



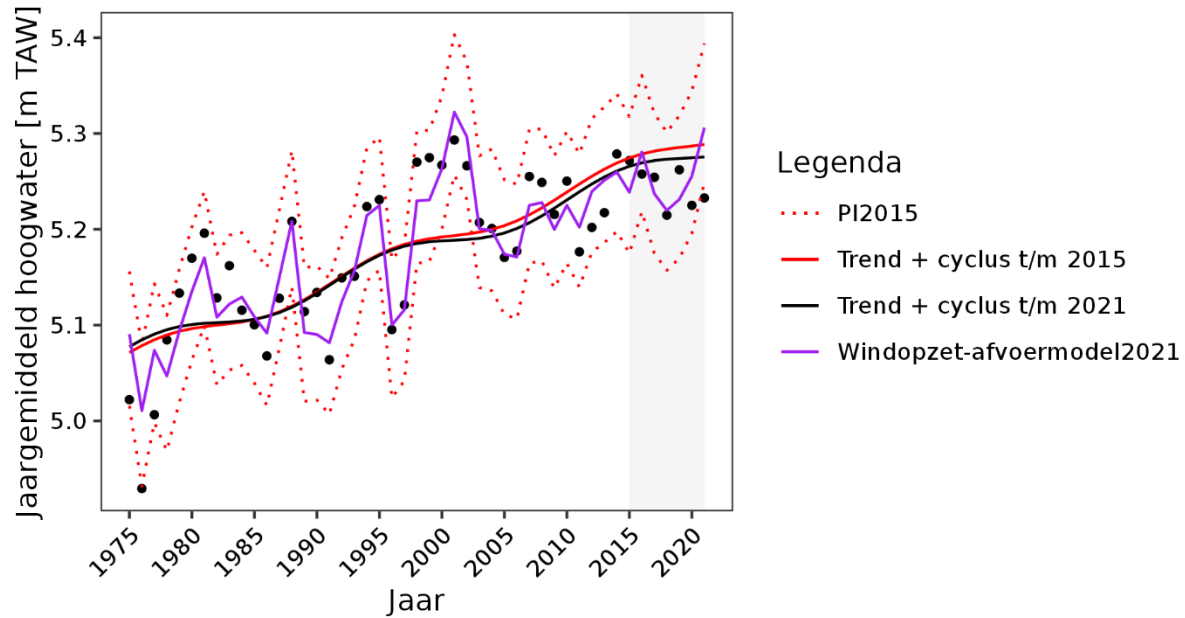
Figuur 6-8: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Hansweert vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermode2021 waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld hoogwater - Bath



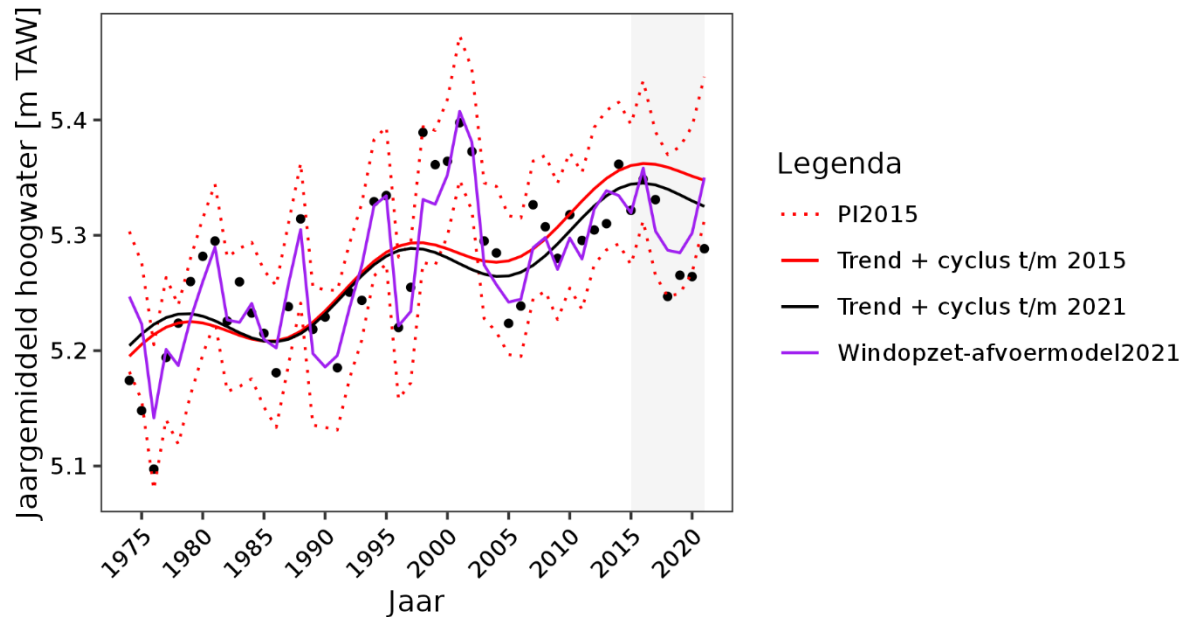
Figuur 6-9: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Bath vanaf 1975. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermode2021 waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

end plot - Jaargemiddeld hoogwater - Liefkenshoek



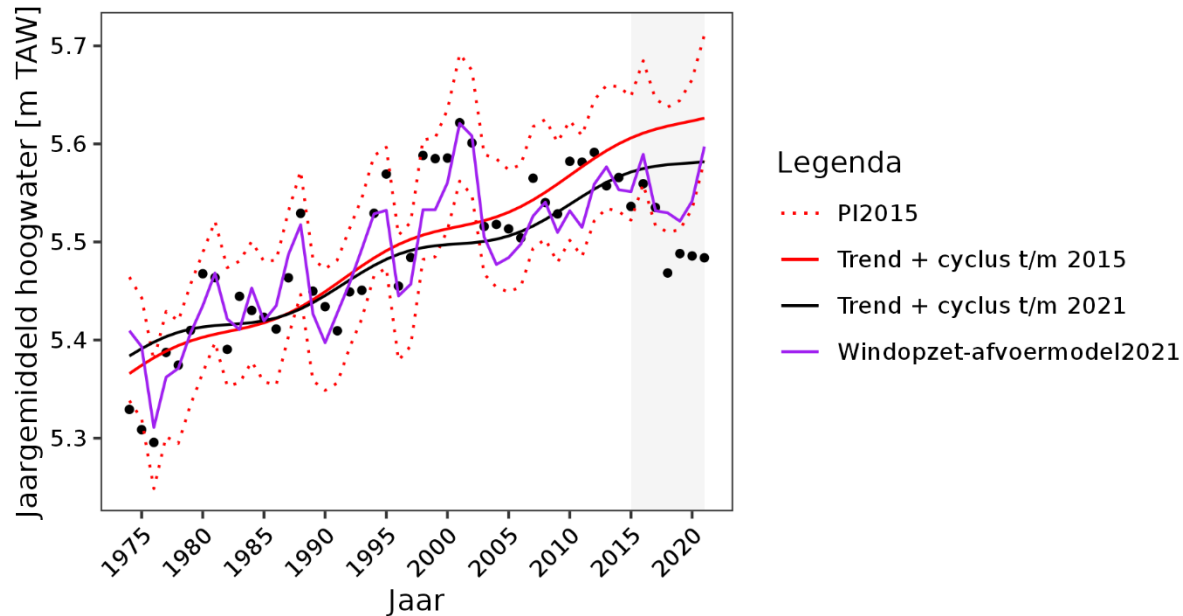
Figuur 6-10: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Liefkenshoek vanaf 1975. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

end plot - Jaargemiddeld hoogwater - Antwerpen



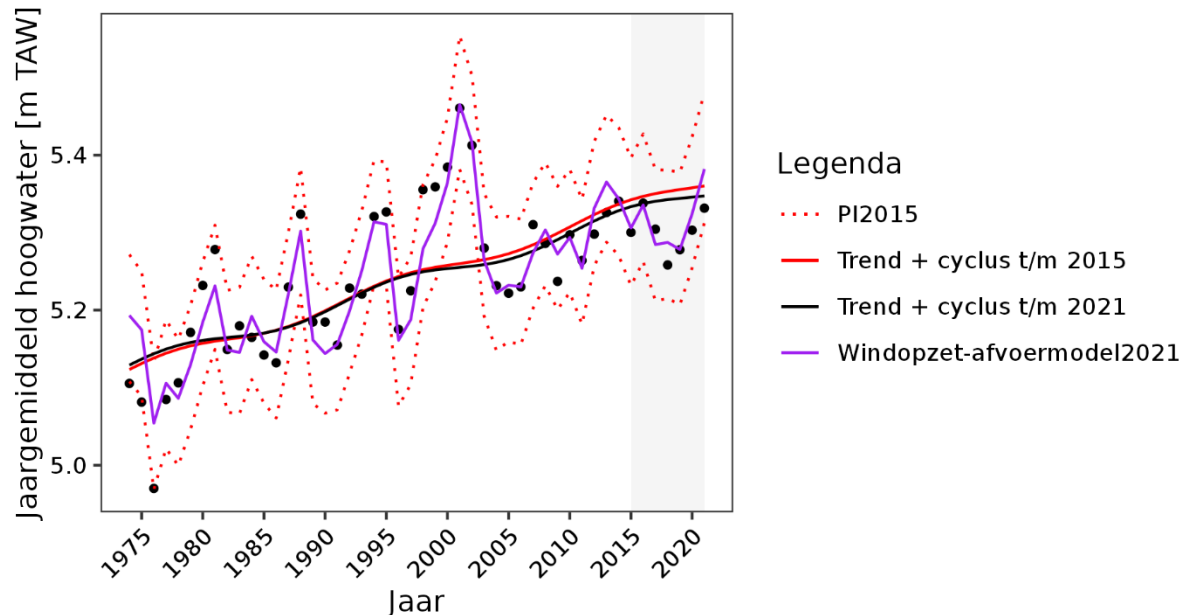
Figuur 6-11: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Antwerpen vanaf 1974. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld hoogwater - Temse



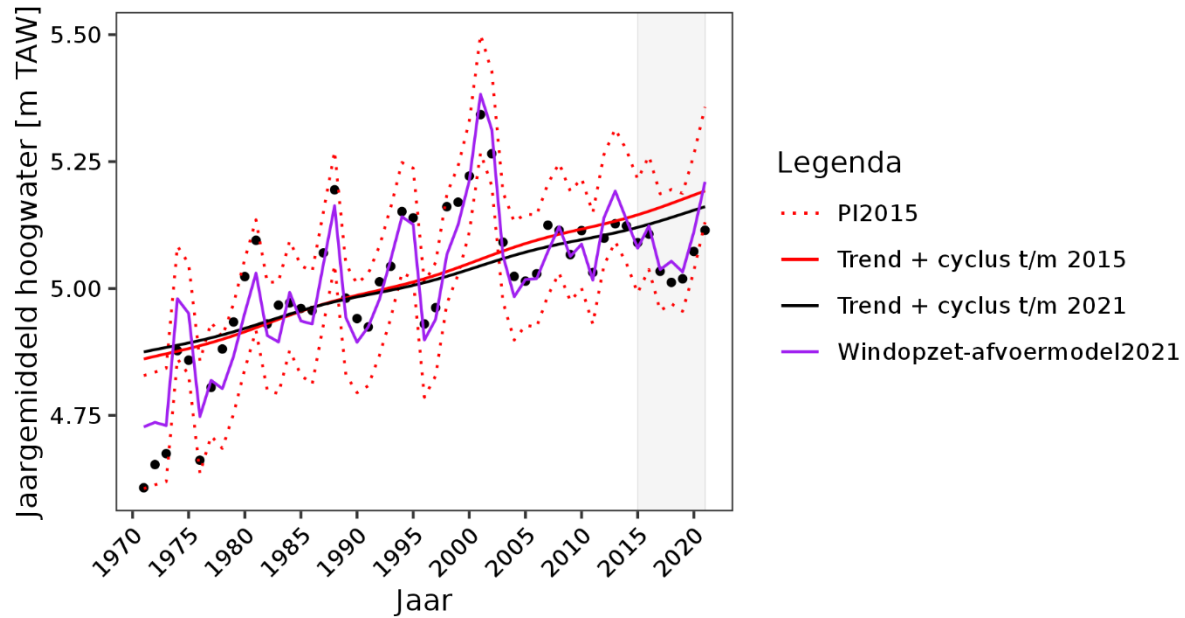
Figuur 6-12: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Temse vanaf 1974. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld hoogwater - Dendermonde



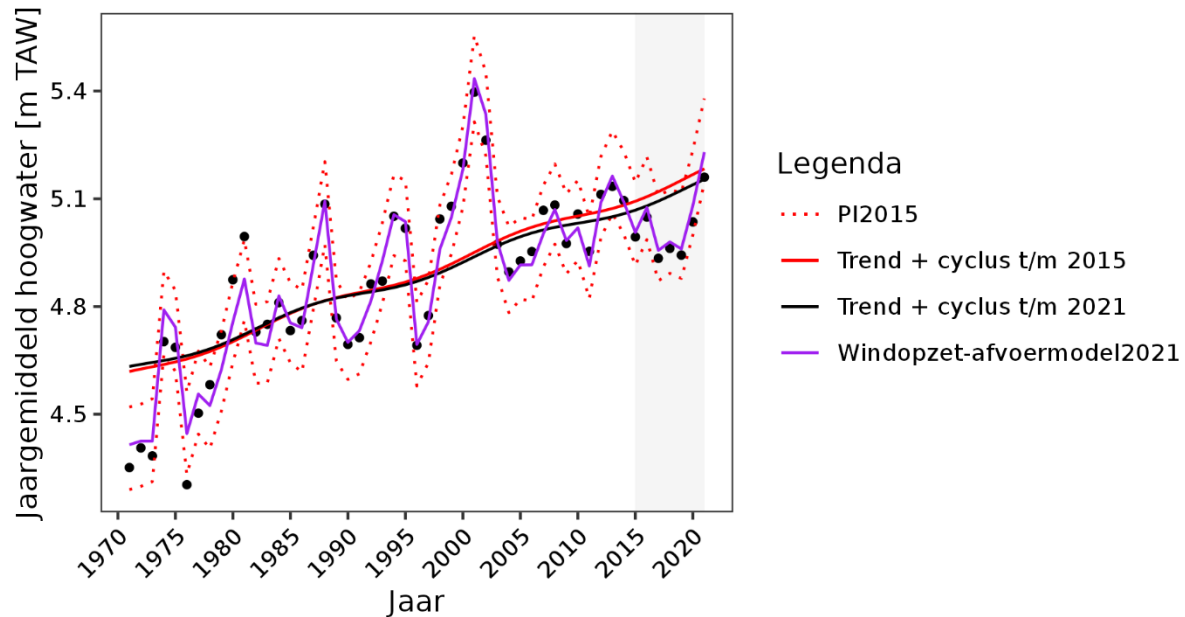
Figuur 6-13: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Dendermonde vanaf 1974. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld hoogwater - Schoonaarde



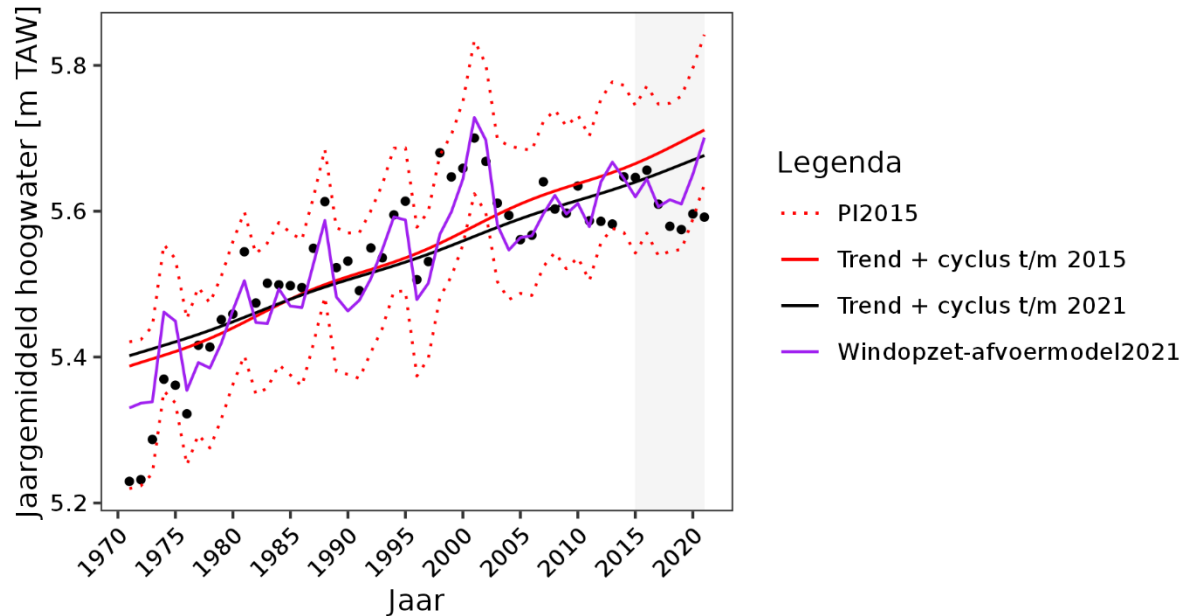
Figuur 6-14: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Schoonaarde vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld hoogwater - Melle



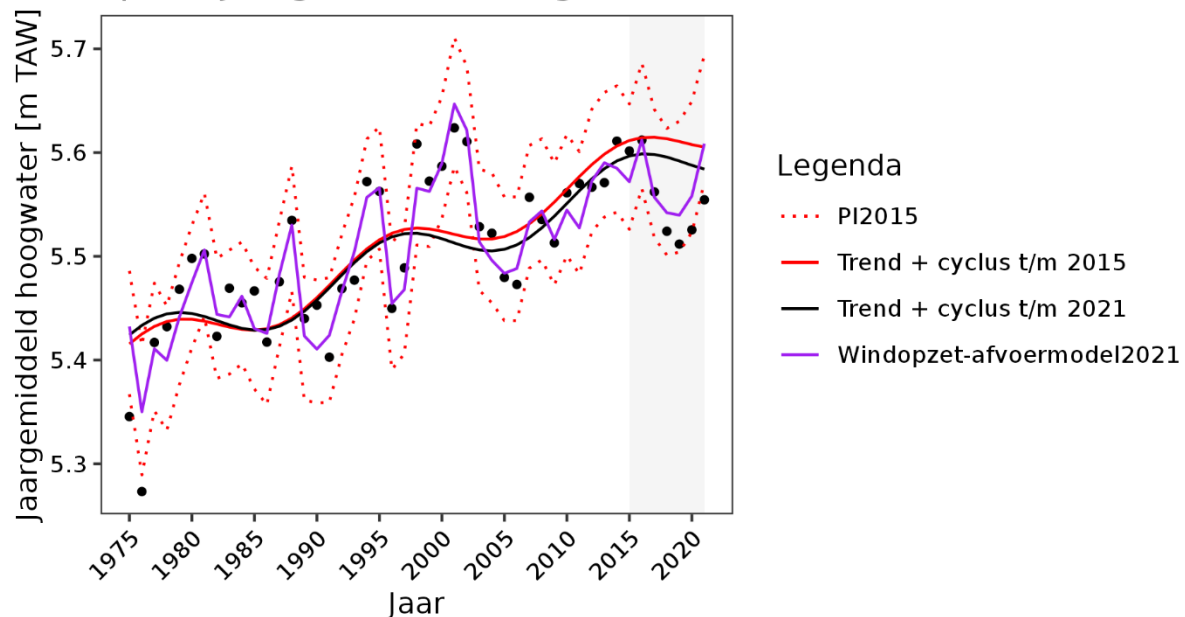
Figuur 6-15: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Melle vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld hoogwater - Tielrode



Figuur 6-16: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Tielrode vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld hoogwater - Rumst

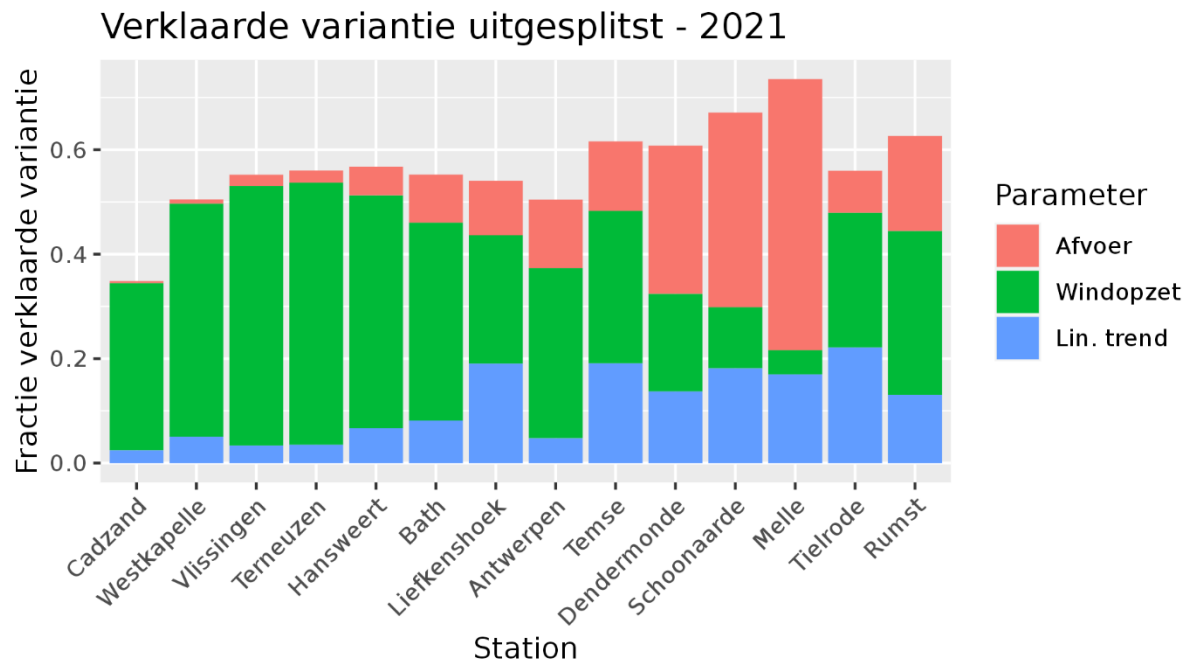


Figuur 6-17: Resultaten van het op de jaargemiddelde hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Rumst vanaf 1975. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

A.1.3. Invloed op 99^e percentiel hoogwaterstanden

Figuur 6-19 t/m Figuur 6-32 tonen de resultaten van de gefitte multivariate regressiemodellen voor de belangrijkste stations in de Westerschelde en de Zeeschelde. Deze figuren tonen aan dat een gedeelte van de variatie verklaard kan worden door de 99^e percentiel scheve windopzet (ten tijde van HW) en de 99^e percentiel rivierafvoer. Desondanks blijft er ook nog veel onverklaarde variatie over. Dit toont aan dat ook andere variabelen en/of combinaties van hoge windopzet en afvoer de 99^e percentiel hoogwaterstanden in belangrijke mate bepalen.

In Figuur 6-18 is voor elk station de door het model verklaarde variantie uitgesplitst naar de variabelen in het regressiemodel, zijnde de lineaire trend, de jaargemiddelde scheve windopzet en de jaargemiddelde afvoer. Extreme stormopzetten verklaren in een groot deel van het estuarium de 99^e percentiel hoogwaterstanden. Deze hoge stormopzetten reiken dus tot ver in het estuarium. Extreme rivierafvoeren zijn een belangrijke verklarende variabele van de 99^e percentiel hoogwaterstanden in de Boven-Zeeschelde (bij Dendermonde, Schoonaarde en Melle). Een lineaire trend is een (redelijk) belangrijke verklarende variabele voor de stations in de Zeeschelde (met uitzondering van Antwerpen).



Figuur 6-18: Uitsplitsing van de verklaarde variantie in het windopzet-afvoermodel gefit op de 99^e percentiel hoogwaterstanden t/m 2021.

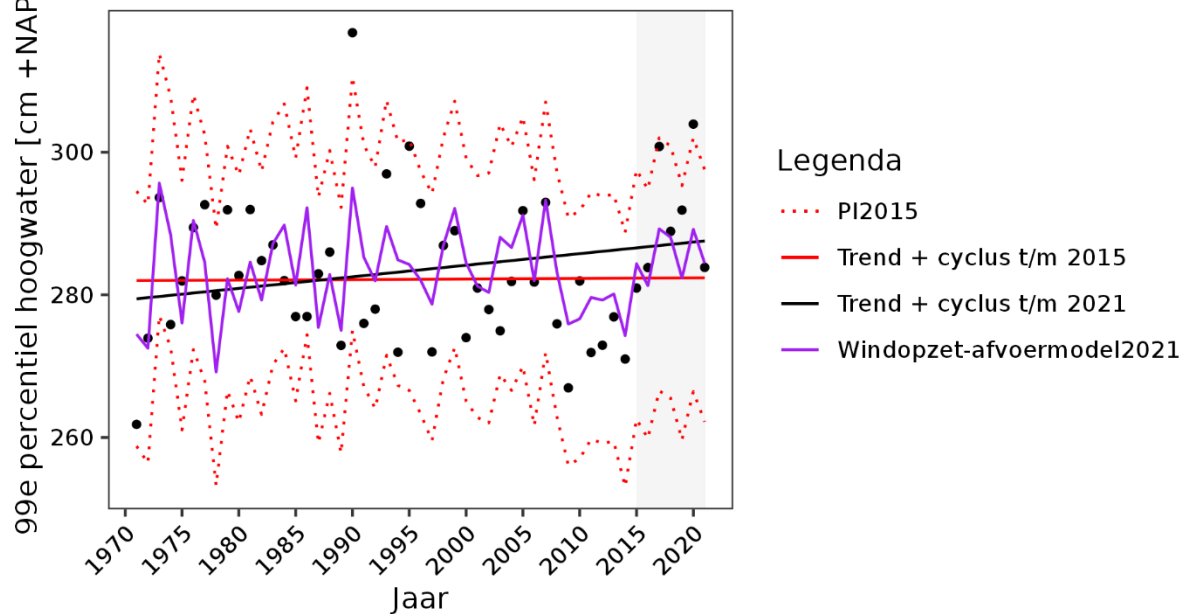
Tabel 6-2 presenteert de trends in de 99^e percentiel hoogwaterstanden wanneer de twee regressiemodellen zijn gefit op de data vanaf 1971. Let op, deze trends kunnen dus afwijken van de in het analyserapport gepresenteerde waarden en dienen alleen als doel het effect van de windopzet en de rivierafvoer op de langjarige trends te kunnen beschouwen.

Tabel 6-2: Trends in de 99^e percentiel hoogwaterstanden in cm/eeuw in het lineaire model met nodale cyclus en het met windopzet en afvoer uitgebreide model gefit op de data tot en met de verschillende zichtjaren (2009, 2015 en 2021). Let op, de gepresenteerde trends in onderstaande tabel kunnen afwijken van de waarden gepresenteerd in het analyserapport. De trends zijn gepresenteerd ongeacht of deze statistisch significant zijn of niet.

Station	Lineaire model: Trend 99 ^e perc. HW [cm/eeuw] per zichtjaar			Windopzet-afvoermodeel: Trend 99 ^e perc. HW [cm/eeuw] per zichtjaar		
	2009	2015	2021	2009	2015	2021
Cadzand	-3	-13	3	1	1	16
Westkapelle	13	-2	6	19	17	22
Vlissingen	22	0	4	25	17	19
Terneuzen	18	-3	5	21	16	22
Hansweert	31	8	14	31	26	30
Bath	54	19	20	51	36	35
Liefkenshoek	86	43	39	82	57	52
Antwerpen	59	18	14	55	31	25
Temse	105	57	44	101	75	58
Dendermonde	100	54	42	95	68	52
Schoonaarde	131	84	62	123	96	70
Melle	142	95	69	129	97	69
Tielrode (Durme)	104	54	46	105	74	62
Rumst (Rupel)	77	39	32	70	53	44

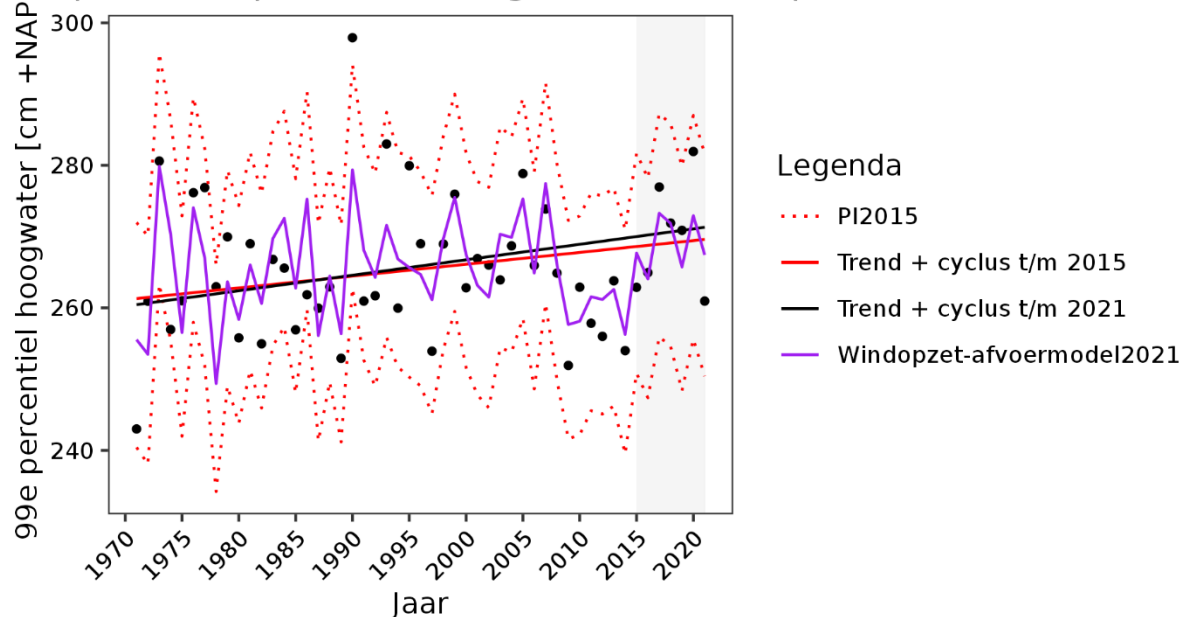
Tabel 6-2 laat zien dat de trends met name in de Westerschelde veranderen als gevolg van het toevoegen van de windopzet en afvoer als variabelen in het multivariate regressiemodel. Met name de windopzet is in de Westerschelde van belang (zie Figuur 6-18). De lage 99^e percentiel windopzetten in de jaren 2010-2014 zorgen voor lage 99^e percentiel hoogwaterstanden in deze jaren. Dit trekt de trend sterk omlaag. Wanneer de 99^e percentiel windopzet wordt meegenomen, ontstaan er daardoor (relatief constant) stijgende trends. Deze stijgende trends zijn in de orde grootte van de zeespiegelstijging (~20 cm/eeuw). In de Zeeschelde wijzigen de trends nauwelijks als gevolg van het toevoegen van de windopzet en afvoer als verklarende variabele. Ook de afvlakking van de stijgende trends blijft zichtbaar.

Trend plot - 99e percentiel hoogwater - Cadzand



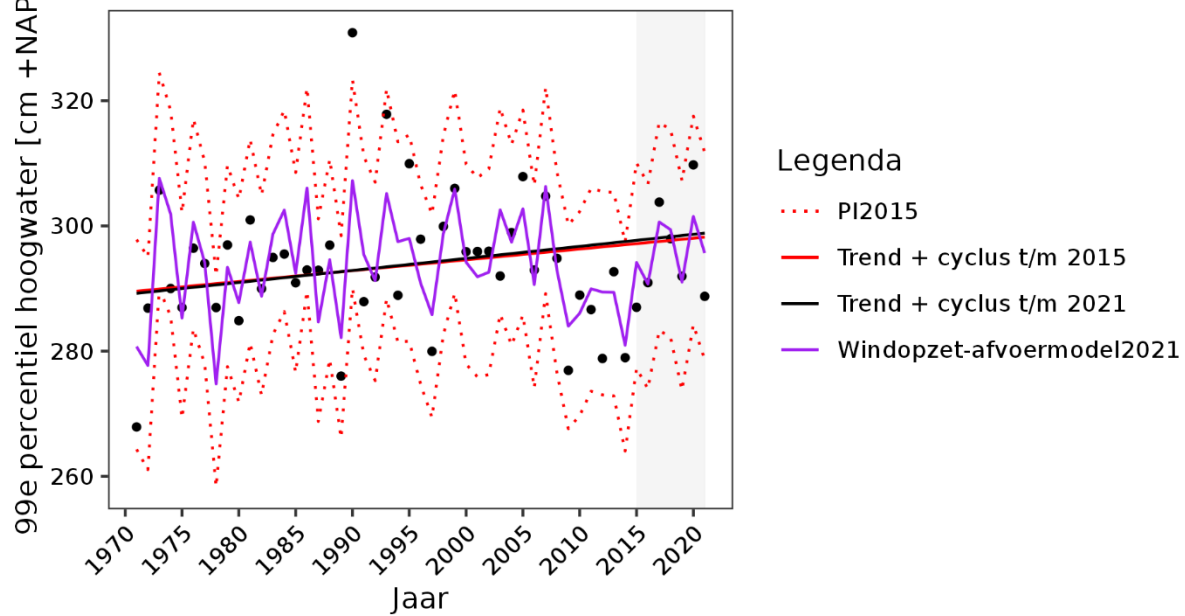
Figuur 6-19: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Cadzand vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodeel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - 99e percentiel hoogwater - Westkapelle



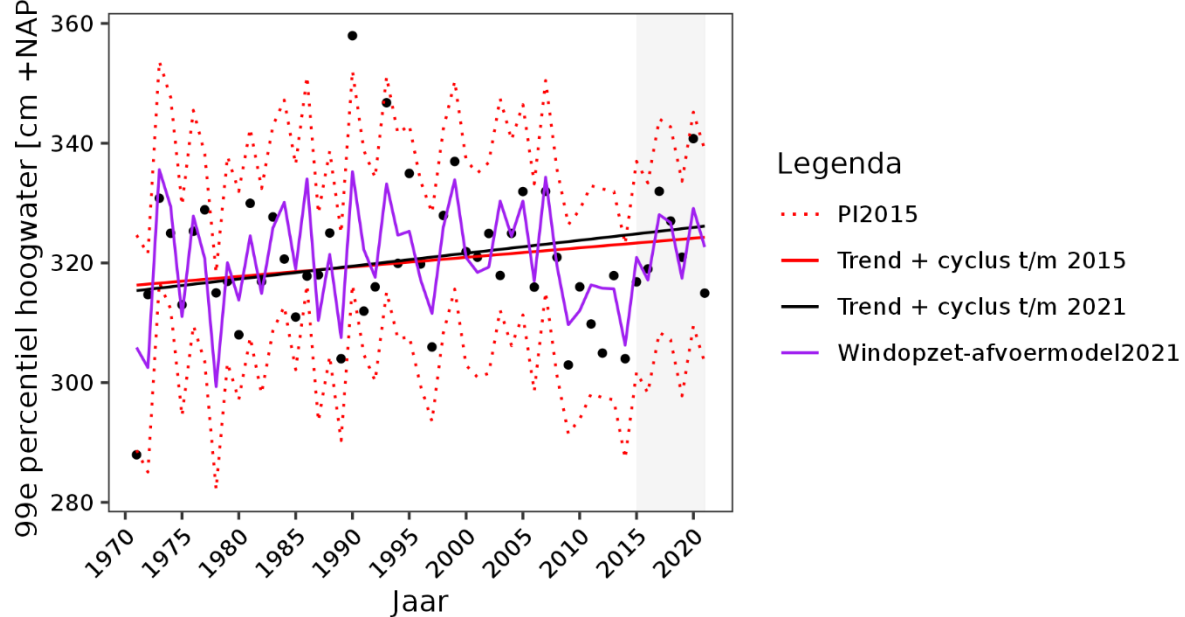
Figuur 6-20: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Westkapelle vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodeel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

rend plot - 99e percentiel hoogwater - Vlissingen



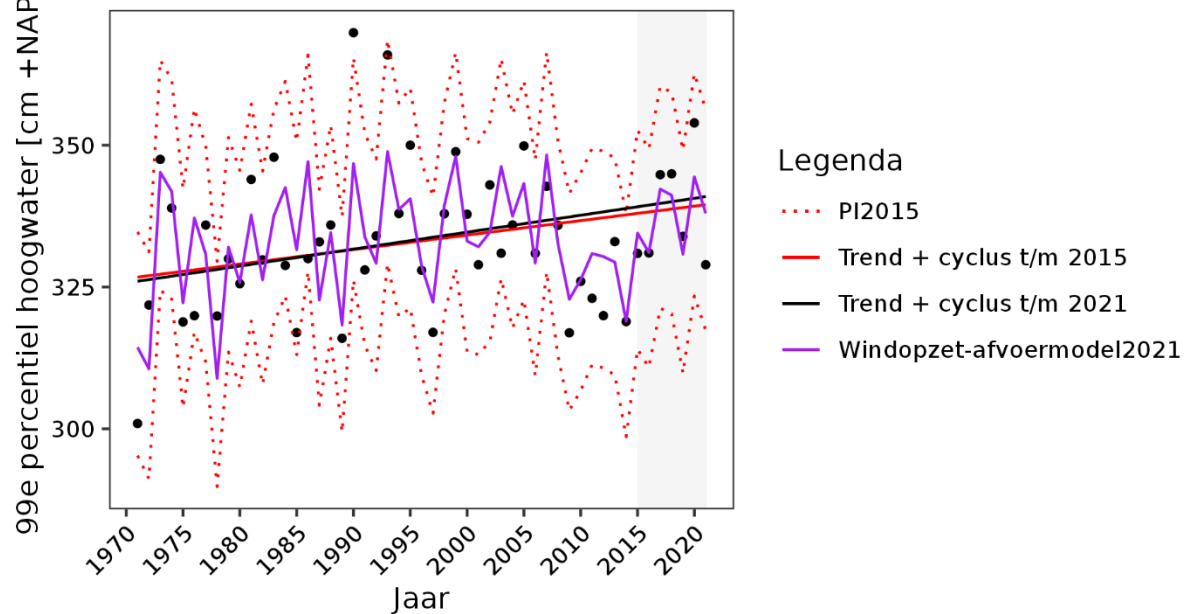
Figuur 6-21: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Vlissingen vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

rend plot - 99e percentiel hoogwater - Terneuzen



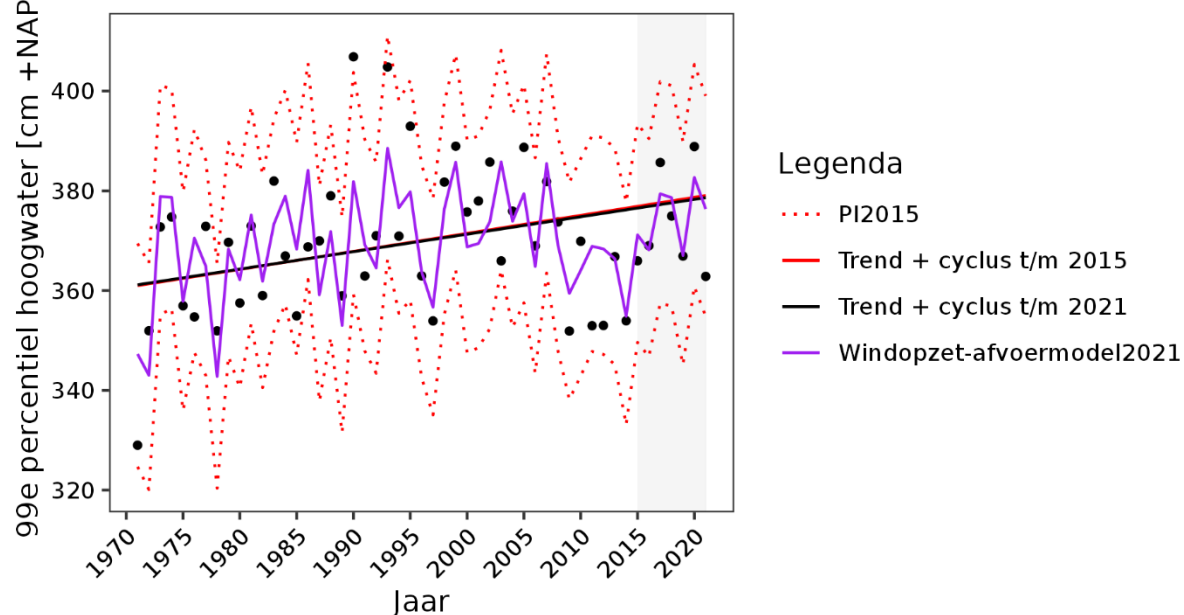
Figuur 6-22: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Terneuzen vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - 99e percentiel hoogwater - Hansweert



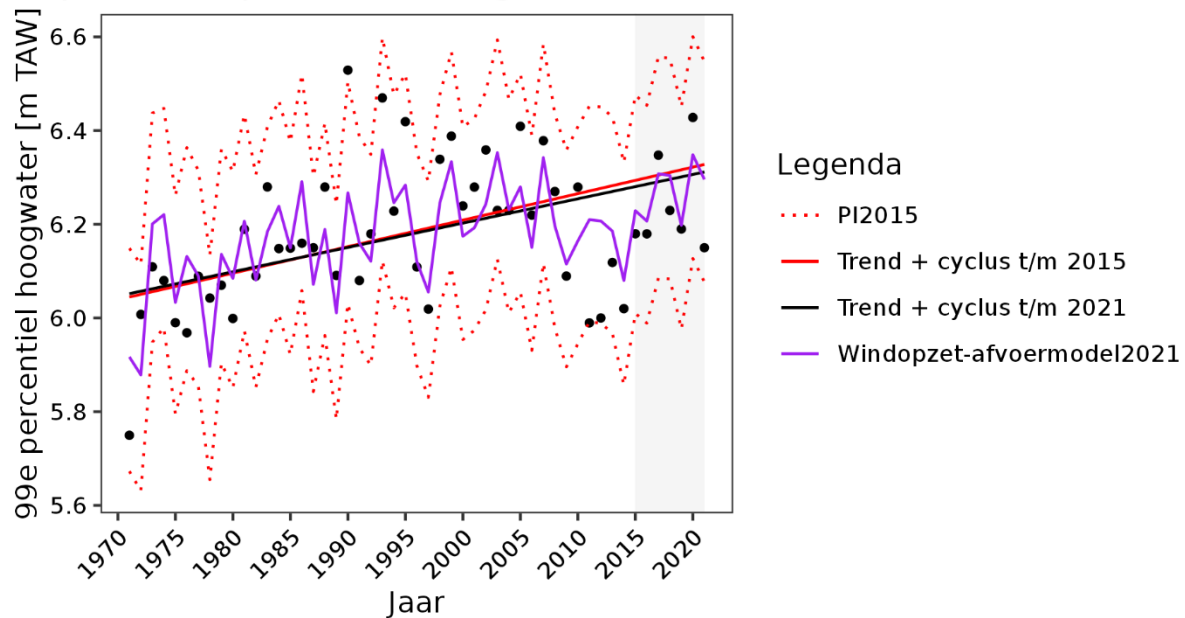
Figuur 6-23: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Hansweert vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - 99e percentiel hoogwater - Bath



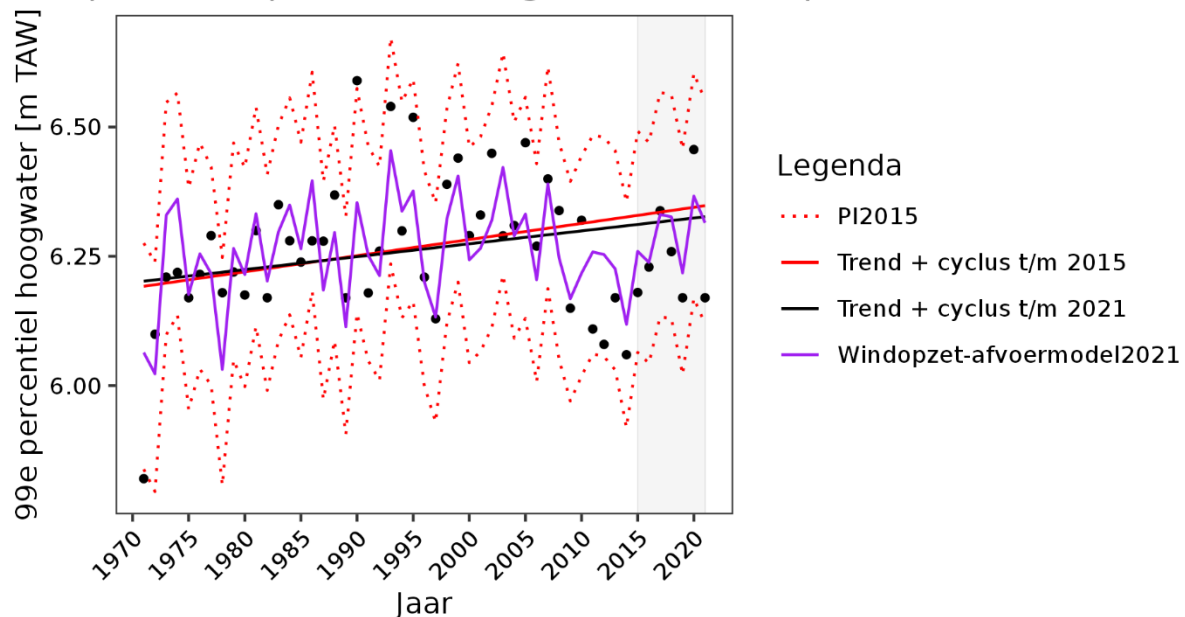
Figuur 6-24: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Bath vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

nd plot - 99e percentiel hoogwater - Liefkenshoek



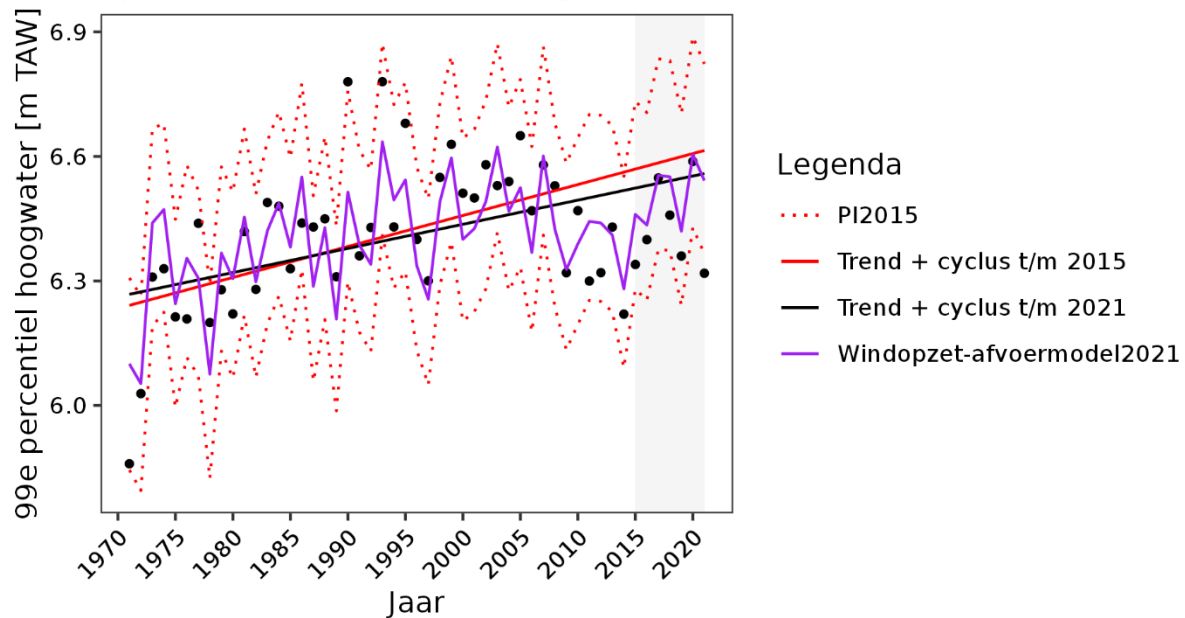
Figuur 6-25: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Liefkenshoek vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

rend plot - 99e percentiel hoogwater - Antwerpen



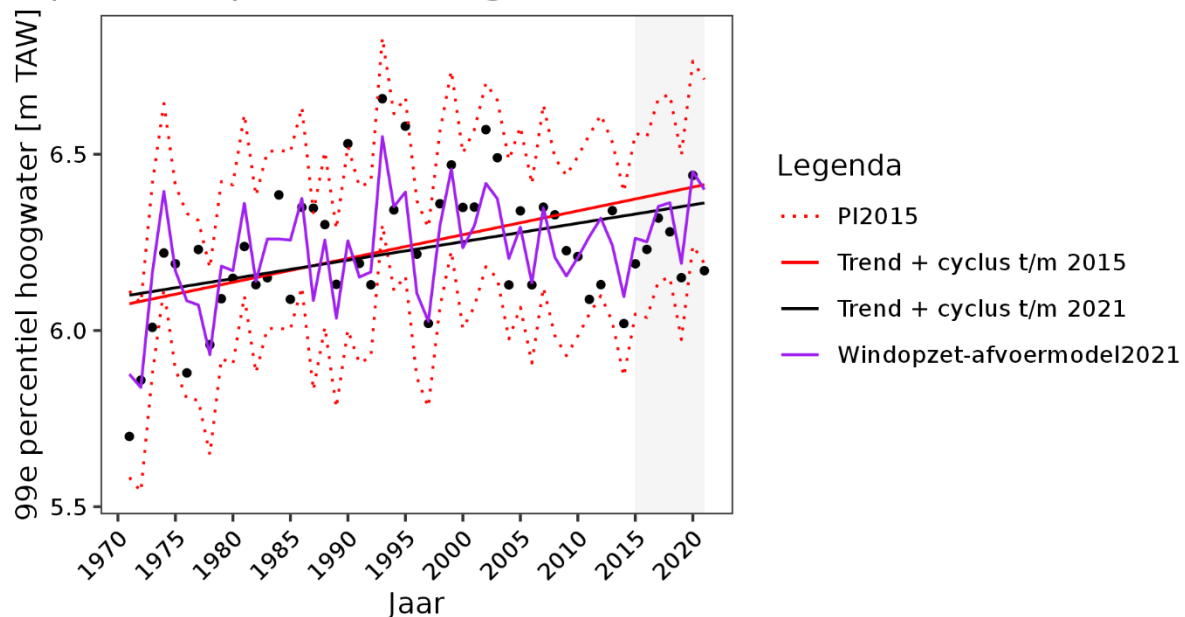
Figuur 6-26: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Antwerpen vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - 99e percentiel hoogwater - Temse



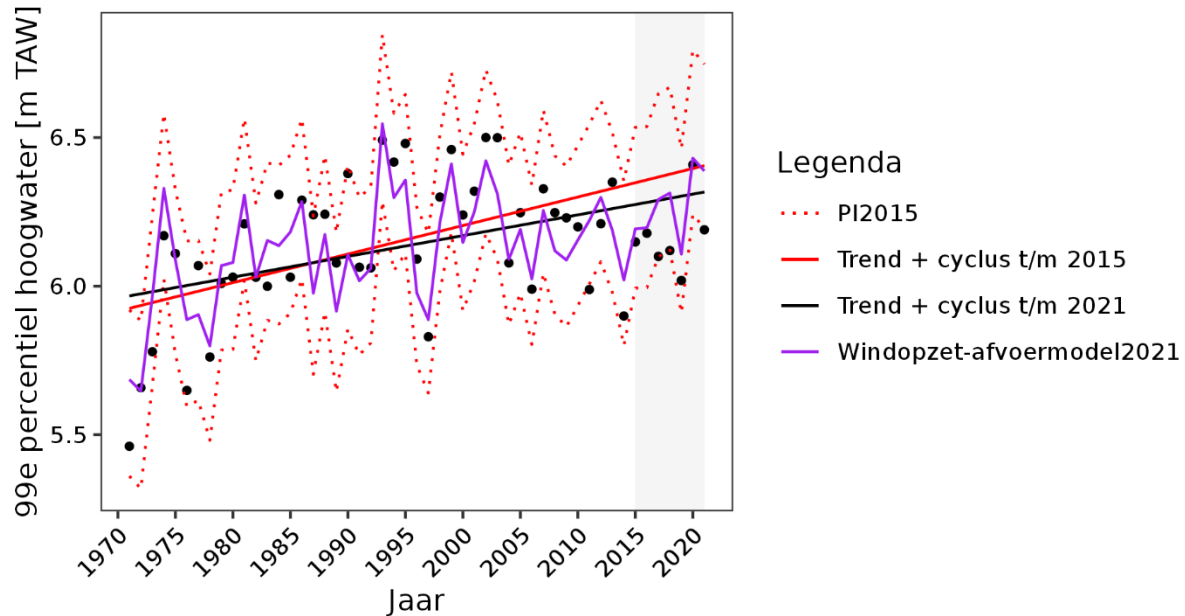
Figuur 6-27: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Temse vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - 99e percentiel hoogwater - Dendermonde



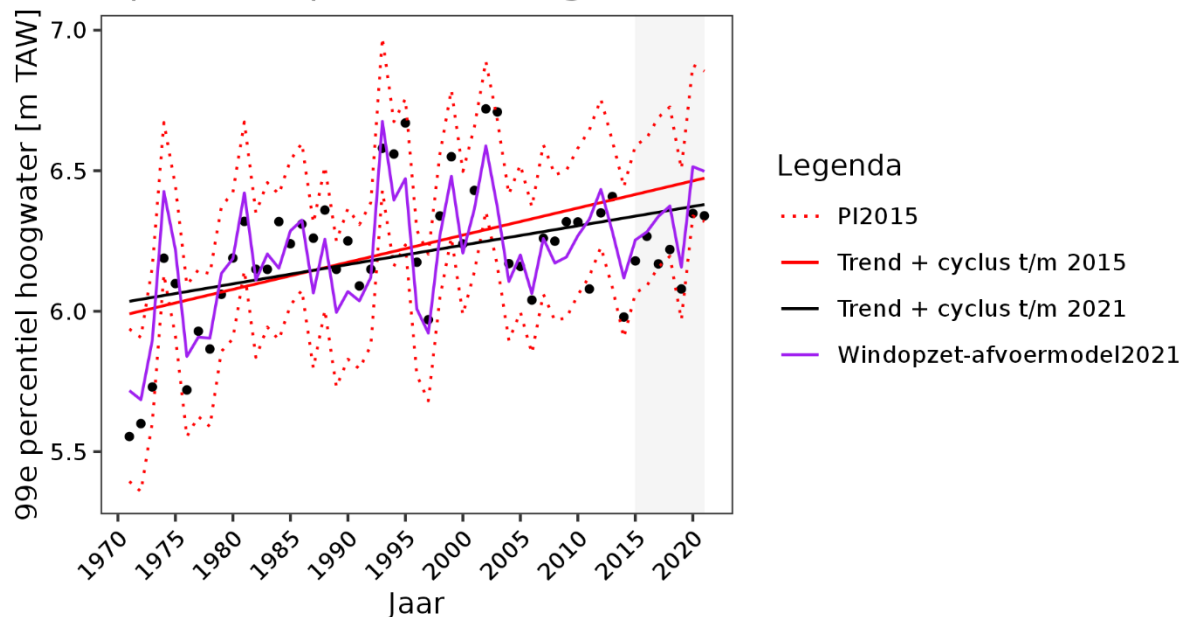
Figuur 6-28: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Dendermonde vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - 99e percentiel hoogwater - Schoonaarde



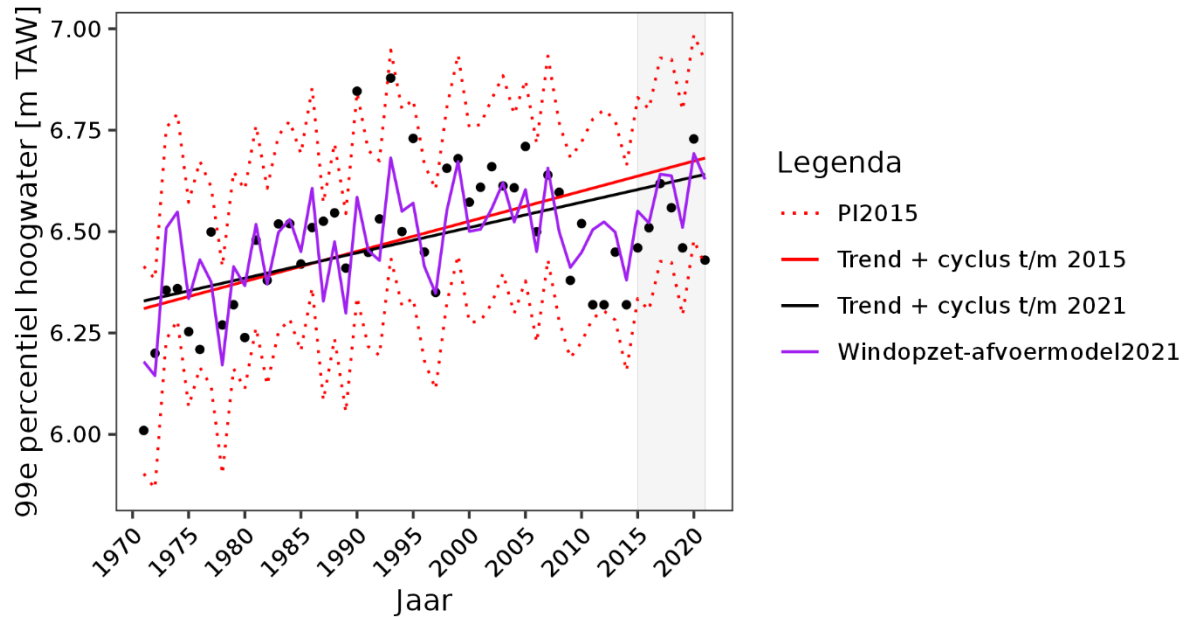
Figuur 6-29: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Schoonaarde vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - 99e percentiel hoogwater - Melle



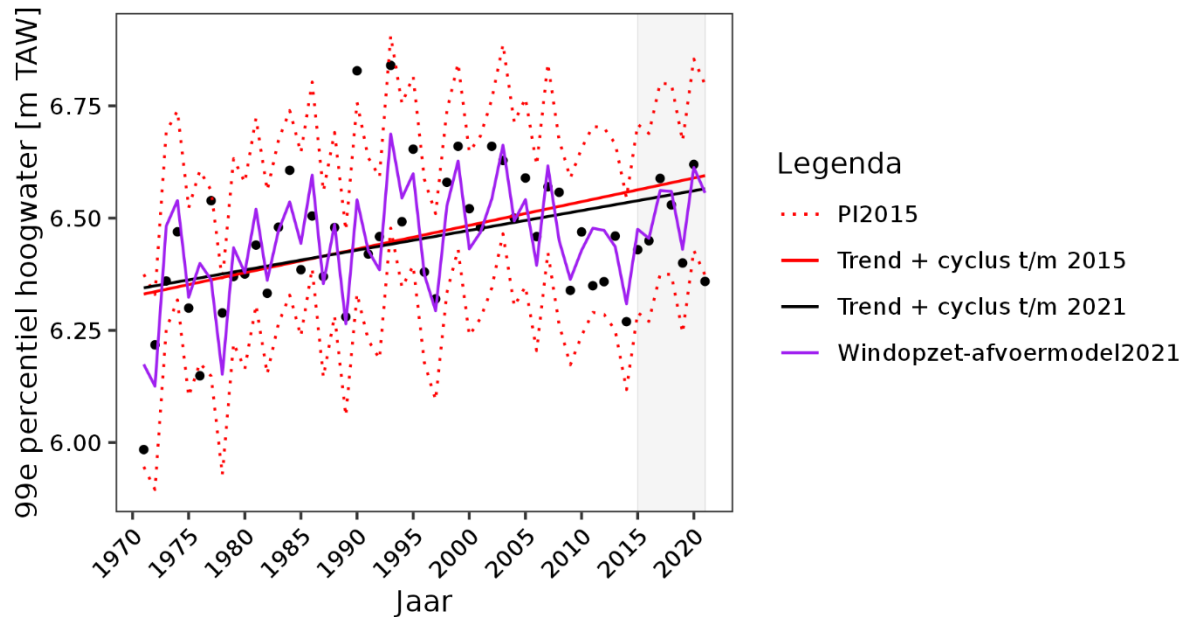
Figuur 6-30: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Melle vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - 99e percentiel hoogwater - Tielrode



Figuur 6-31: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Tielrode vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - 99e percentiel hoogwater - Rumst

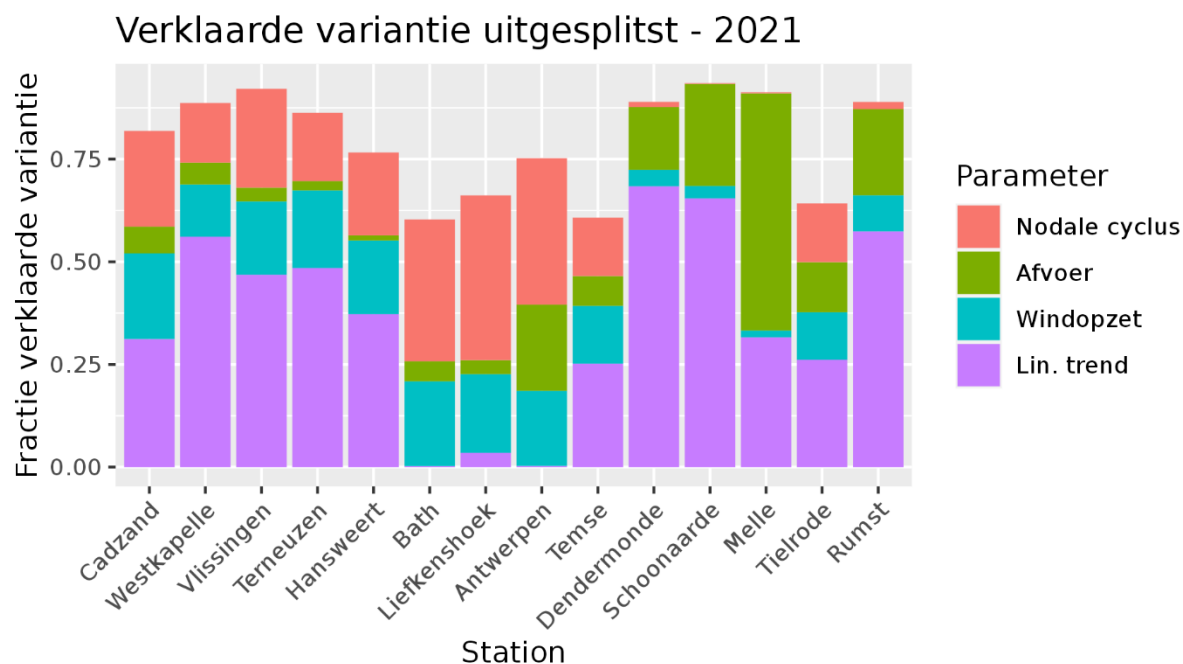


Figuur 6-32: Resultaten van het op de 99^e percentiel hoogwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Rumst vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

A.1.4. Invloed op jaargemiddelde laagwaterstanden

Figuur 6-34 t/m Figuur 6-47 tonen de resultaten van de gefitte multivariate regressiemodellen voor de belangrijkste stations in de Westerschelde en de Zeeschelde. Deze figuren tonen aan dat een groot gedeelte van de variatie verklaard kan worden uit de jaargemiddelde scheve windopzet (ten tijde van LW) en de jaargemiddelde afvoer.

In Figuur 6-33 is voor elk station de door het model verklaarde variantie uitgesplitst naar de variabelen in het regressiemodel, zijnde de lineaire trend, de jaargemiddelde scheve windopzet, de jaargemiddelde afvoer en de nodale getijcyclus. Het figuur laat (wederom) zien dat er nauwelijks een lineaire opwaartse of afwaartse trend in de laagwaterstanden te Bath, Liefkenshoek en Antwerpen te zien is. Voor alle overige stations verklaart deze lineaire trend de variatie wel in grote mate. De nodale getijcyclus is net als bij de jaargemiddelde hoogwaterstanden een belangrijke verklarende variabele in de Westerschelde, maar is deze ook nog sterk aanwezig bij de stations Bath, Liefkenshoek en Antwerpen. Het beeld wordt wel vertekend doordat de absolute variatie kleiner is omdat er geen lineaire trend aanwezig is (het verschil tussen de hoogste en laagste jaargemiddelde hoogwaterstand is 40 cm, terwijl dit maximaal 20 cm is voor de jaargemiddelde laagwaterstand). De windopzet is zoals verwacht een belangrijke verklarende variabele in de Westerschelde. De afvoer verklaart veel variantie in de Zeeschelde, en dan met name bij station Melle (waar het meer dan de helft van de variantie verklaard).



Figuur 6-33: Uitsplitsing van de verklaarde variantie in het windopzet-afvoermodel gefit op de jaargemiddelde laagwaterstanden t/m 2021.

Tabel 6-3 presenteert de trends in het jaargemiddelde laagwater wanneer de twee regressiemodellen zijn gefit op de data vanaf 1971 (of later wanneer er een trendbreuk na 1971 is opgelegd in het analyserapport). Let op, deze trends kunnen dus afwijken van de in het analyserapport gepresenteerde waarden en dienen alleen als doel het effect van de windopzet en de rivierafvoer op de langjarige trends te kunnen beschouwen.

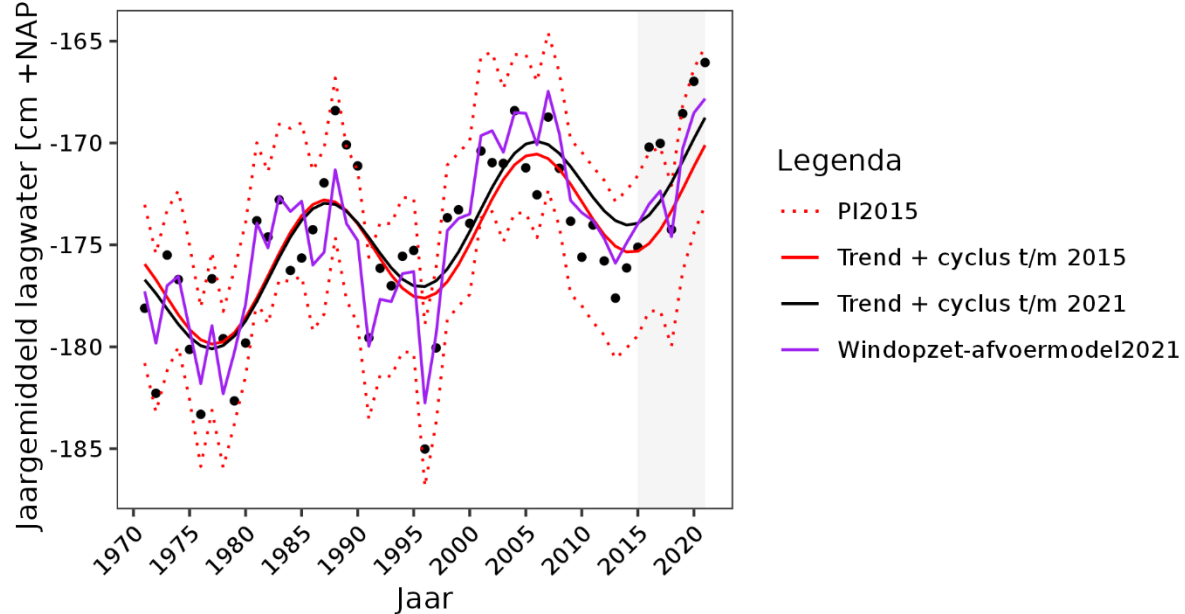
Tabel 6-3: Trends in het jaargemiddelde laagwater in cm/eeuw in het lineaire model met nodale cyclus en het met windopzet en afvoer uitgebreide model gefit op de data tot en met de verschillende zichtjaren (2009, 2015 en 2021). Let op, de gepresenteerde trends in onderstaande tabel kunnen afwijken van de waarden gepresenteerd in het analyserapport. De trends zijn gepresenteerd ongeacht of deze statistisch significant zijn of niet.

Station	Lineaire model: Trend jaargem. LW [cm/eeuw] per zichtjaar			Windopzet-afvoermodel: Trend jaargem. LW [cm/eeuw] per zichtjaar		
	2009	2015	2021	2009	2015	2021
Cadzand	15	12	16	12	12	16
Westkapelle	27	24	25	25	24	25
Vlissingen	27	23	23	27	24	23
Terneuzen	21	19	23	20	20	23
Hansweert	18	22	26	18	22	24
Bath	0	-5	-1	-1	-4	-2
Liefkenshoek	3	-10	-7	3	-9	-7
Antwerpen	12	1	-3	9	2	-2
Temse	-25	-21	-21	-29	-21	-21
Dendermonde	-76	-75	-80	-99	-85	-85
Schoonaarde	-74	-84	-93	-106	-101	-100
Melle	-75	-84	-91	-153	-126	-106
Tielrode (Durme)	-17	-23	-23	-26	-27	-25
Rumst (Rupel)	-43	-43	-39	-56	-47	-40

Tabel 6-3 laat zien dat de trends met name diep in het estuarium veranderen als gevolg van het toevoegen van windopzet en afvoer als variabelen in het multivariate regressiemodel. Met name de afvoer is hierbij van belang (zie Figuur 6-33). Dit heeft onder andere te maken met de hoge pieken in de jaargemiddelde laagwaters in de periode 2000-2005. Een duidelijk voorbeeld hiervan is station Melle. Met de hoge jaargemiddelde afvoeren rond 2000 wordt in het lineaire model geen rekening gehouden en die drijven daarmee de trends omhoog (minder sterke daling), zoals ook het geval is bij de jaargemiddelde hoogwaterstanden. Door afvoer (en windopzet) aan het model toe te voegen, zijn de dalende trends sterker bij Dendermonde, Schoonaarde en Melle.

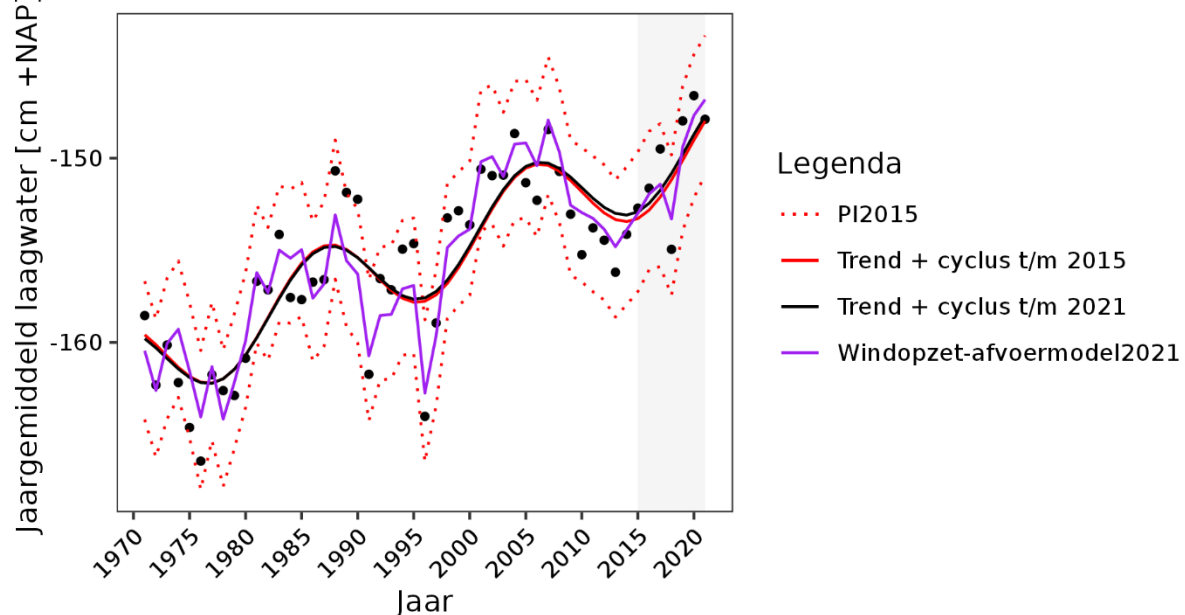
Uit Hoofdstuk 2 is geconcludeerd dat de trendmatige daling in de jaargemiddelde laagwaterstanden versnelt. De resultaten van deze uitgebreide analyse laten zien dat deze versnelling wordt veroorzaakt door lage jaargemiddelde afvoeren in de jaren 2017 t/m 2020. De versnelling is nu omgezet in een continuerende trend (bijv. Schoonaarde) of een afzwakkende trend (Dendermonde en Melle).

Trend plot - Jaargemiddeld laagwater - Cadzand



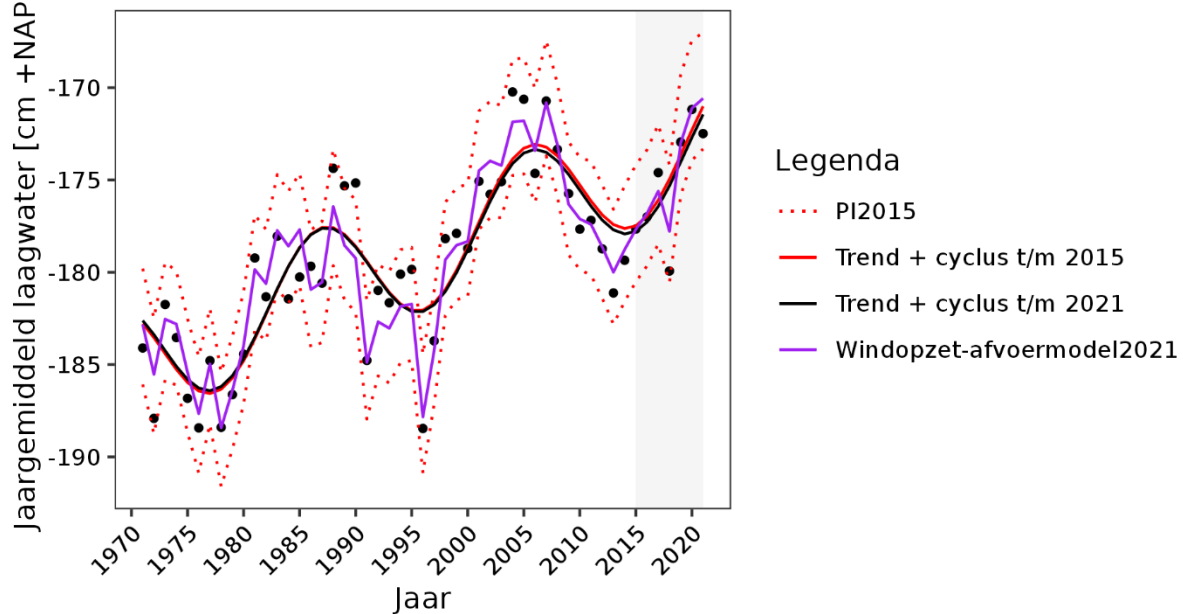
Figuur 6-34: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Cadzand vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodeel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld laagwater - Westkapelle



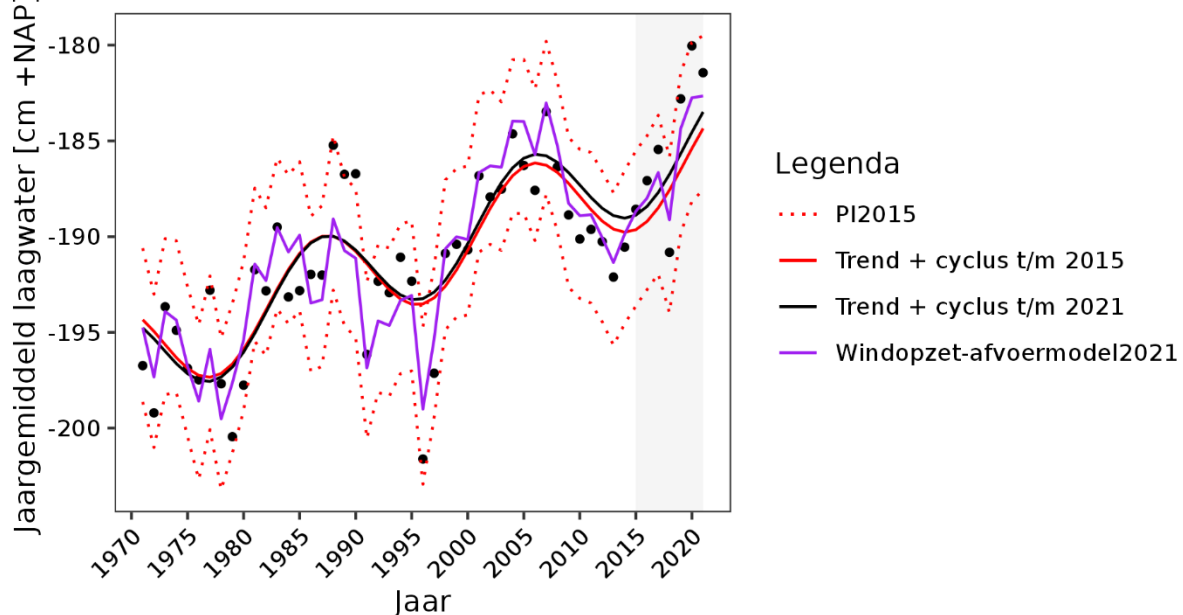
Figuur 6-35: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Westkapelle vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodeel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld laagwater - Vlissingen



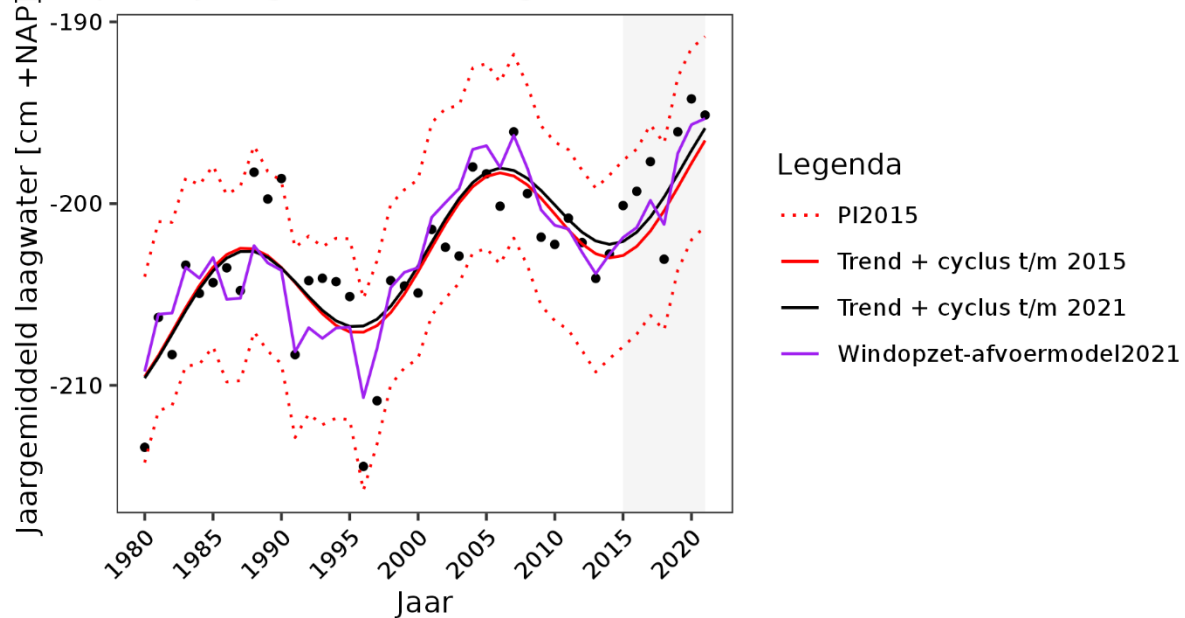
Figuur 6-36: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Vlissingen vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermode2021 waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld laagwater - Terneuzen



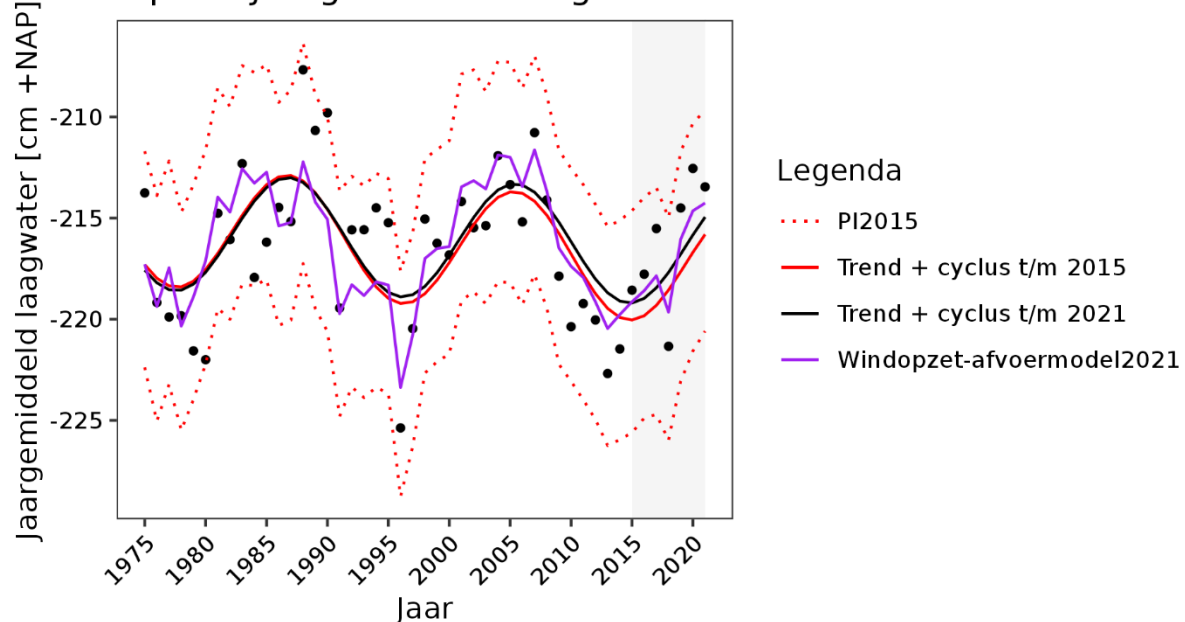
Figuur 6-37: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Terneuzen vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermode2021 waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld laagwater - Hansweert



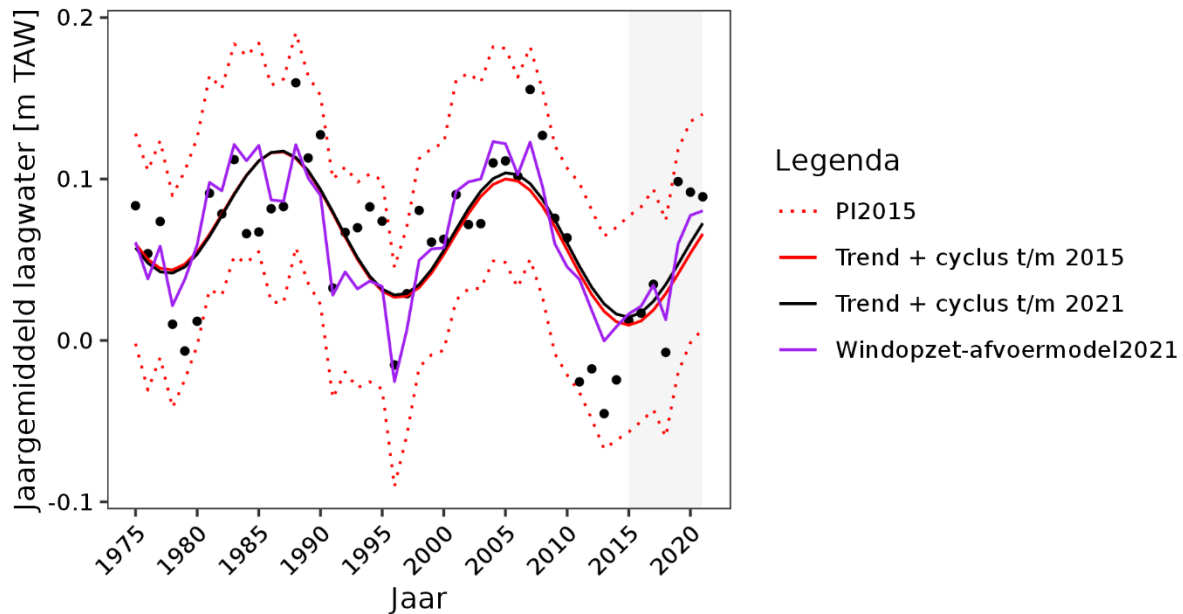
Figuur 6-38: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Hansweert vanaf 1980. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld laagwater - Bath



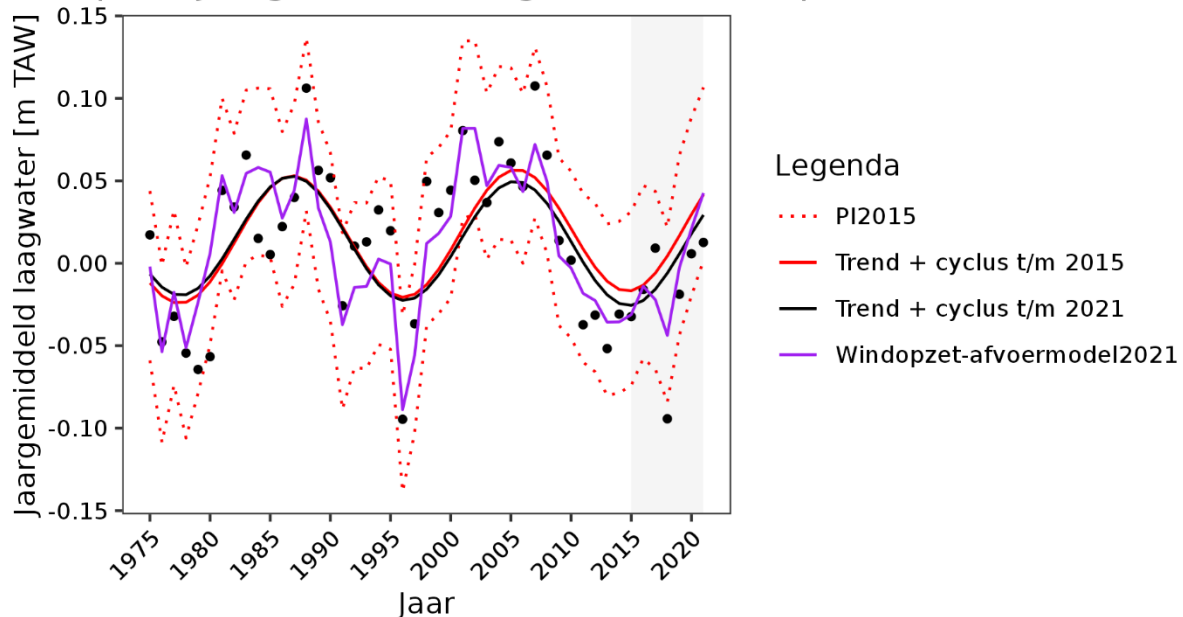
Figuur 6-39: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Bath vanaf 1975. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld laagwater - Liefkenshoek



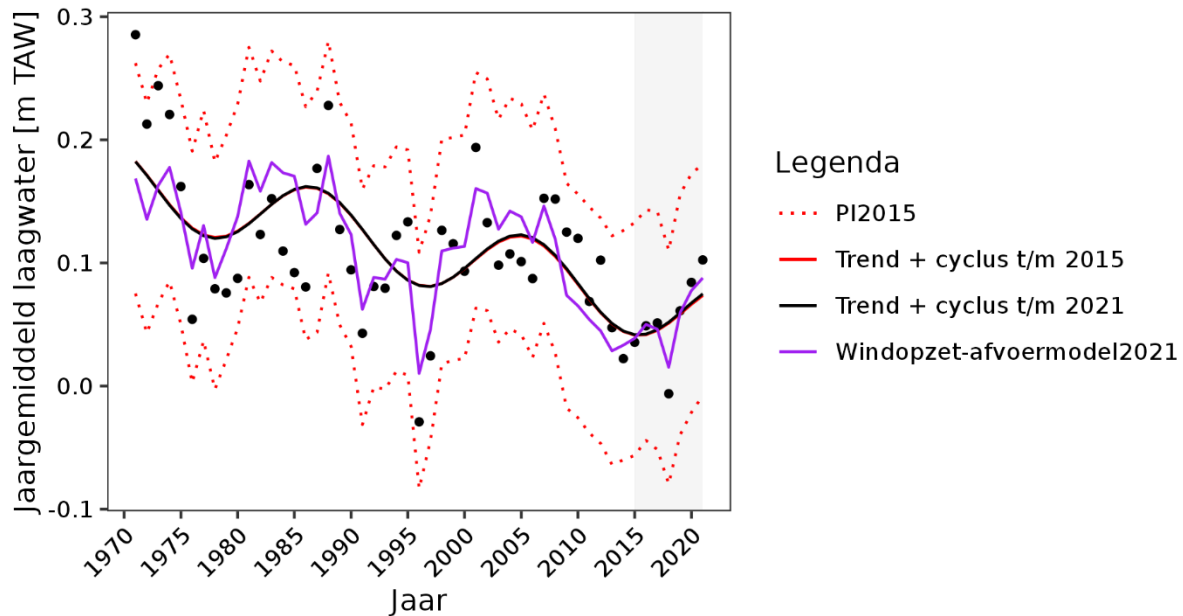
Figuur 6-40: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Liefkenshoek vanaf 1975. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld laagwater - Antwerpen



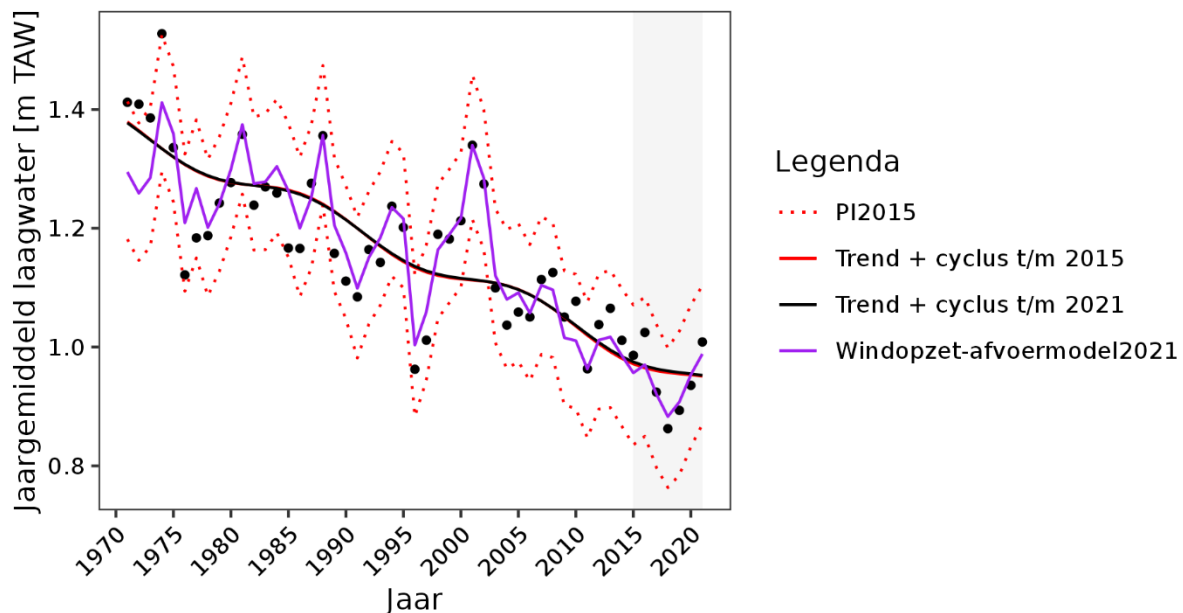
Figuur 6-41: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Antwerpen vanaf 1975. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld laagwater - Temse



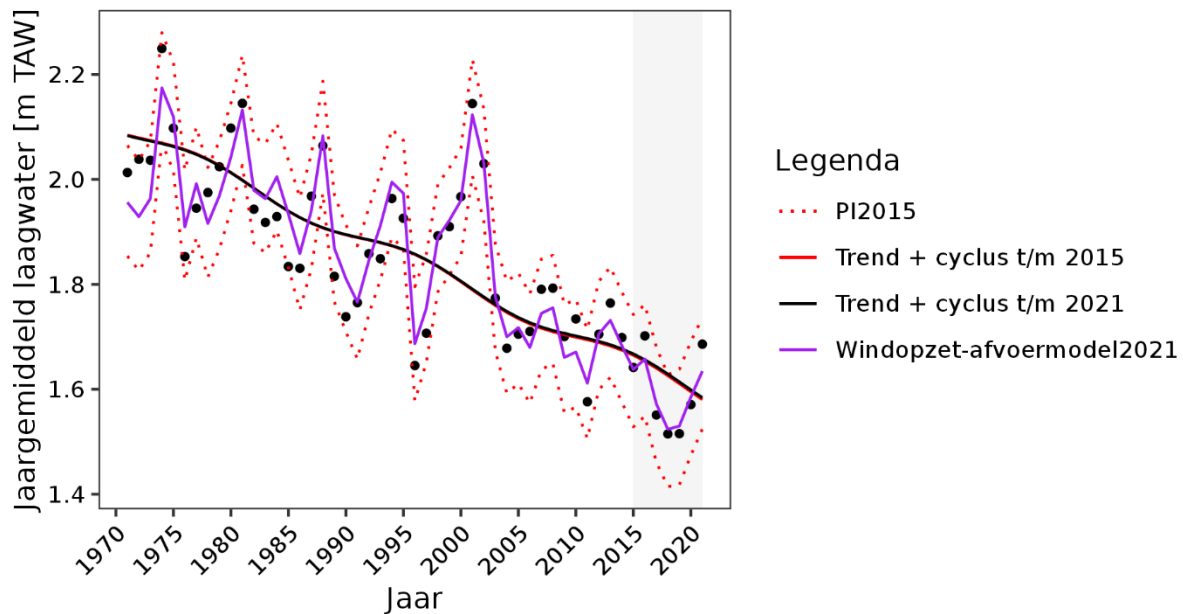
Figuur 6-42: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Temse vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

nd plot - Jaargemiddeld laagwater - Dendermonde



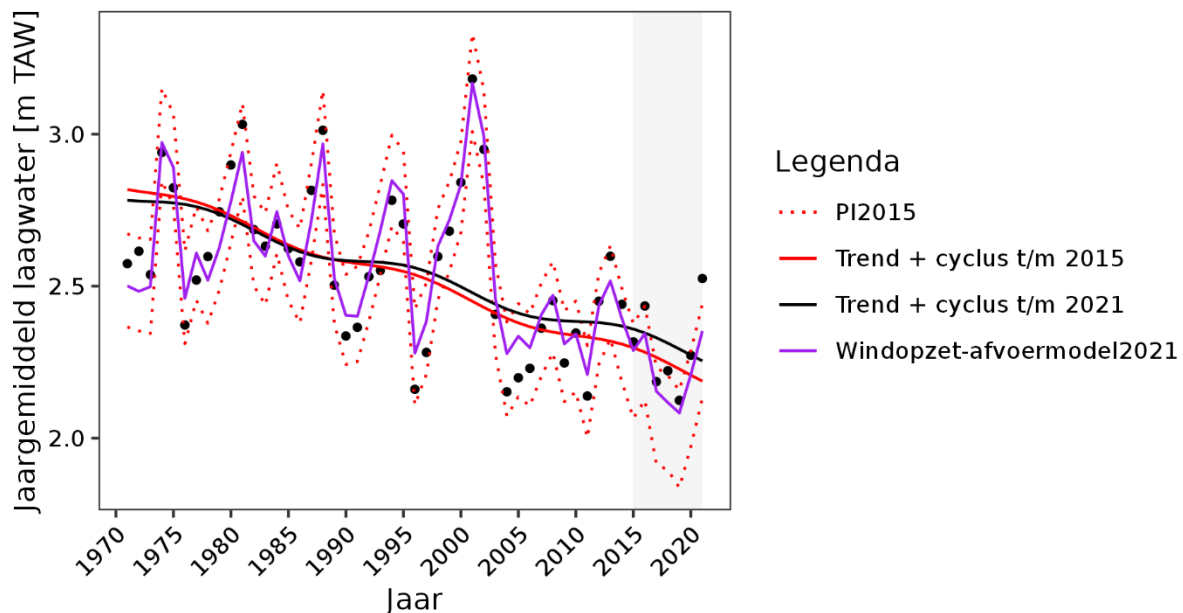
Figuur 6-43: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Dendermonde vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld laagwater - Schoonaarde



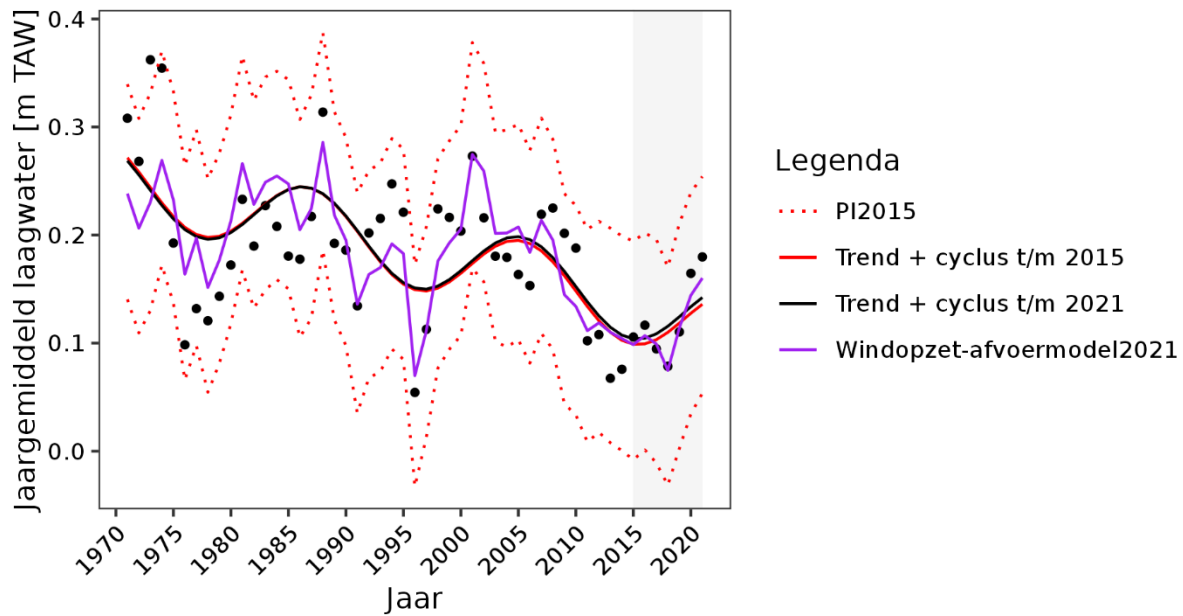
Figuur 6-44: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Schoonaarde vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld laagwater - Melle



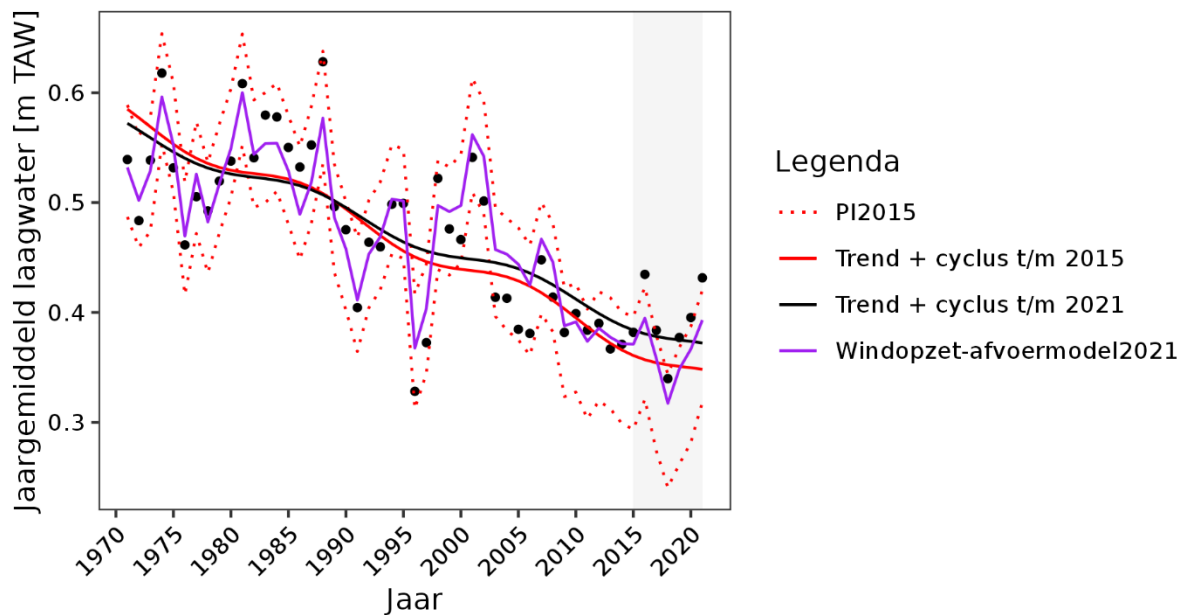
Figuur 6-45: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Melle vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld laagwater - Tielrode



Figuur 6-46: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Tielrode vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

Trend plot - Jaargemiddeld laagwater - Rumst



Figuur 6-47: Resultaten van het op de jaargemiddelde laagwaterstanden gefitte multivariate regressiemodel voor het station Rumst vanaf 1971. 'PI2015' geeft het predictie-interval van het windopzet-afvoermodel waarbij er gefit is op de data t/m 2015. De doorgetrokken rode en zwarte lijnen geven de lineaire trend + de nodale cyclus uit het regressiemodel, respectievelijk voor de fits op de data t/m 2015 en 2021.

A.2. Achtergronden condensatie intensiteit roerwerking en uitwijkafstand van de vaarweg

In Verwilligen *et al.* (2022b) wordt enige achtergrond gegeven bij de gecondenseerde parameters.

“Een belangrijke reden voor de moeilijke interpretatie van de bevaarbaarheidsparameters is de afhankelijkheid van zowel de geografische locatie (opgedeeld per vaarsector) als van de tijconditie. Hierdoor dienen de gegevens weergegeven te worden op een driedimensionale voorstellingswijze. Om een verdere vereenvoudiging van de presentatie van de bevaarbaarheidsparameters toe te laten wordt voorgesteld om de maximale waarde van de parameter over de volledige tijcyclus toe te passen. Deze keuze heeft als nadeel dat negatieve evoluties in tijcondities die niet maatgevend zijn, niet ondervangen worden (en mogelijk wel een impact hebben op de bevaarbaarheid). Bovendien impliceert de methode dat de resultaten voor de twee bevaarbaarheidsparameters (roergebruik en afstand tot referentietraject) kunnen overeenstemmen met verschillende tijcondities of dat een vergelijking van een bevaarbaarheidsparameter over verschillende jaren niet noodzakelijk overeenstemt met dezelfde tijconditie. De beperking van de presentatie tot de minst gunstige tijconditie dient dan ook beschouwd te worden als een middel om een globale beoordeling van de bevaarbaarheid te bekomen.

Er kan opgemerkt worden dat doorgaans beide bevaarbaarheidsparameters een gelijkaardige evolutie vertonen. Dit kan gemotiveerd worden doordat een afwijking van het referentietraject altijd gecompenseerd zal worden door roergebruik, maar dat omgekeerd roergebruik niet noodzakelijk aanleiding zal geven tot een afwijking van het traject. Het roergebruik kan bijgevolg als een meer rechtstreekse parameter voor de bevaarbaarheid beschouwd worden.

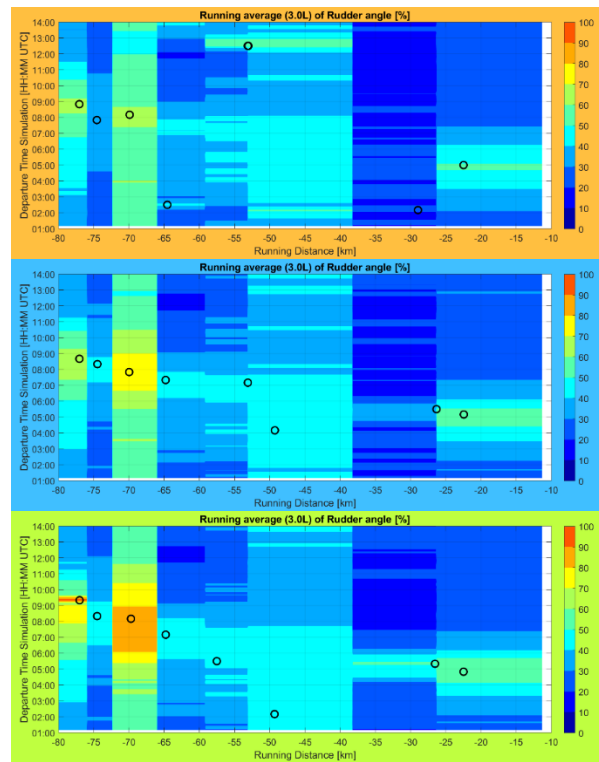
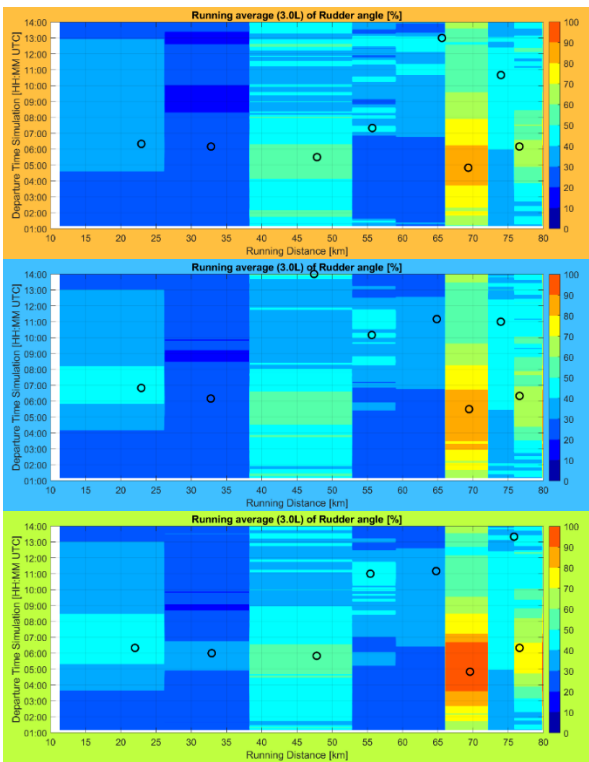
Om de gebruikte methode te illustreren zijn in Figuur 6-48 de contourplots voor het roergebruik per vaarwegsector weergegeven in combinatie met een aanduiding van die conditie (combinatie van geografische positie en tijconditie) die gepaard ging met het maximale roergebruik (gemiddeld over de invloedslengte). Figuur 6-49 bevat dezelfde contourplots maar dan voor afstand tot vaarweg. Hieruit blijkt dat de minst gunstige conditie binnen een bepaalde vaarsector een belangrijke variatie kan vertonen in verschillende jaren. Als voorbeeld wordt gewezen op de situatie voor afvaart in de vaarsectoren Walsoorden en Hansweert, waarbij de maatgevende conditie in 2019 verplaatst naar de positie en tijconditie overeenkomstig de neervorming te Ossensisse (kort na hoogwater), waar in de eerdere jaren de maatgevende tijcondities voor afvaart eerder bij eb of laag water plaatsvonden.”

Tabel 6-4: Vaarsectoren Westerschelde met baanafstanden in kilometers (bron: Verwilligen *et al.*, 2022b)

Borssele	Terneuzen	Hansweert	Walsoorden	Valkenisse	Bath	Saeftinghe	Europaterm.
11-26	26-38	38-53	53-59	59-66	66-72	72-76	76-80

Maximum roergebruik per vaarsector (opvaart)

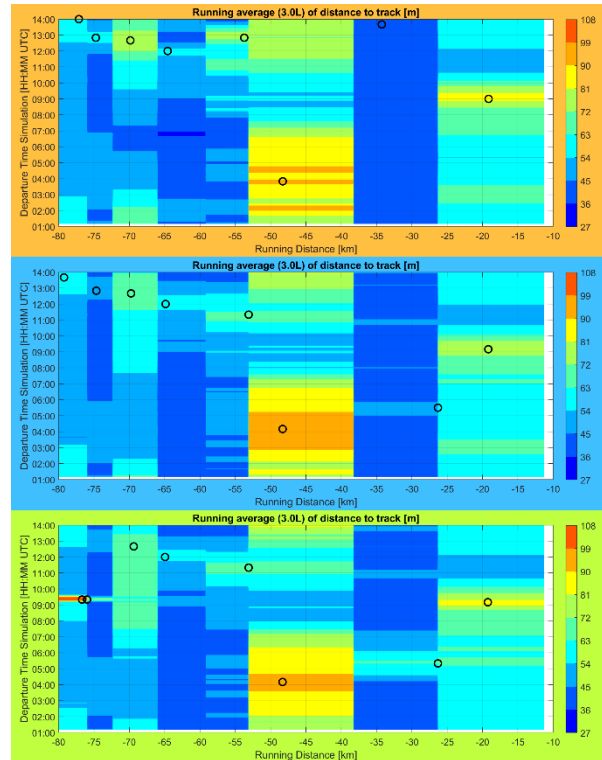
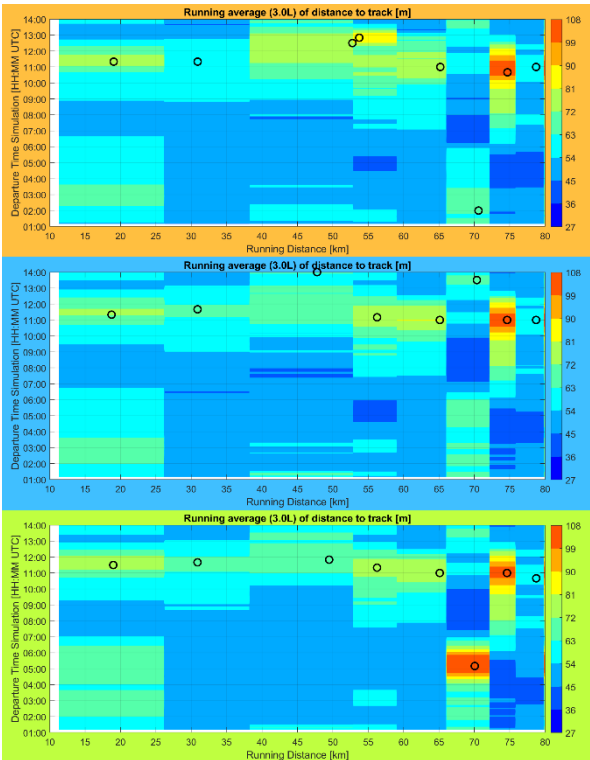
Maximum roergebruik per vaarsector (afvaart)



Figuur 6-48: Contourplots roergebruik per vaarsector met aanduiding maximale conditie (O) als gecondenseerde bevaarbaarheidsparameter voor opvaart (links) en afvaart (rechts) voor de jaartallen 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder). Bron: Verwilligen et al. (2022b) - Figuur 12.

Maximum afstand tot vaarweg per vaarsector (opvaart)

Maximum afstand tot vaarweg per vaarsector (afvaart)



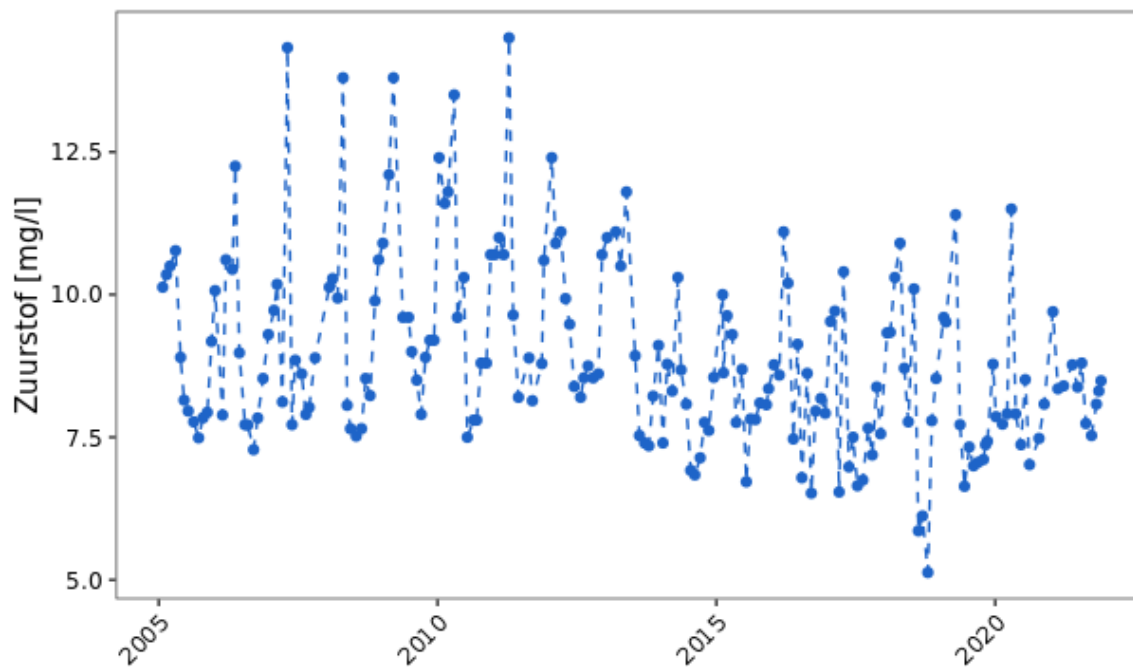
Figuur 6-49: Contourplots afstand tot vaarweg per vaarsector met aanduiding maximale conditie (O) als gecondenseerde bevaarbaarheidsparameter voor opvaart (links) en afvaart (rechts) voor de jaartallen 2019 (boven), 2015 (midden) en 2011 (onder).. Bron: toelevering Verwilligen (2023).

B. Bijlage B – Waterkwaliteit

B.1. Toetsparameter *Zuurstof*

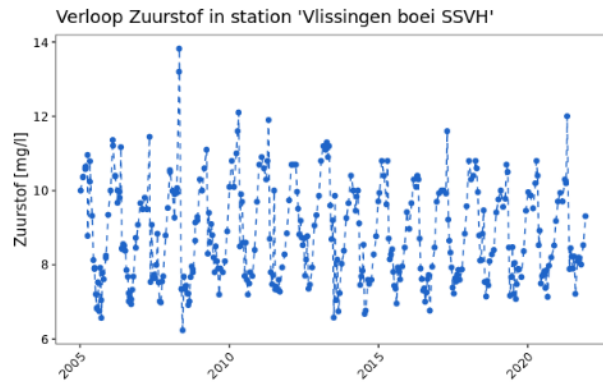
In het Analyserapport van de T2021-rapportage wordt melding gemaakt van een daling van de zuurstofconcentratie in de zone *Monding*. Deze daling lijkt op basis van de 6-jarige statistieken geleidelijk te verlopen, wat een ongewenste evolutie weerspiegelt. Door in meer detail te kijken naar de onderliggende data (in dit geval voor meetstation *Walcheren 2 km*) valt het op dat deze daling niet geleidelijk is, maar eerder plots voorvalt in 2013-2014 (zie Figuur 6-50). Vanaf die periode is er een duidelijke shift in de zuurstofconcentratie, zowel van de minimum- als maximumconcentraties. Een mogelijke regimeshift met warmer water en/of defecte apparatuur kunnen hier aan de basis liggen, maar metingen van de temperatuur en van de zuurstofconcentratie op een ander meetstation lijken dit uit te sluiten (zie Figuur 6-51). Bovendien wordt een gelijkaardige shift in andere stations in de Noordzee opgemerkt (zie Figuur 6-51). Verder onderzoek naar de onderliggende reden is dan ook aangeraden.

Verloop Zuurstof in station 'Walcheren 2 km'

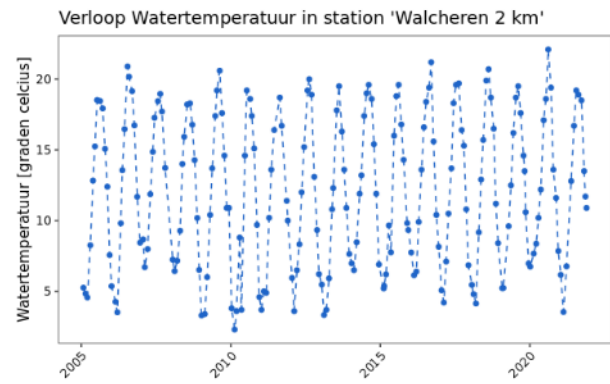


Figuur 6-50: Verloop van de zuurstofconcentratie op het meetstation Walcheren 2 km. De shift lijkt plaats te vinden in de periode 2013-2014.

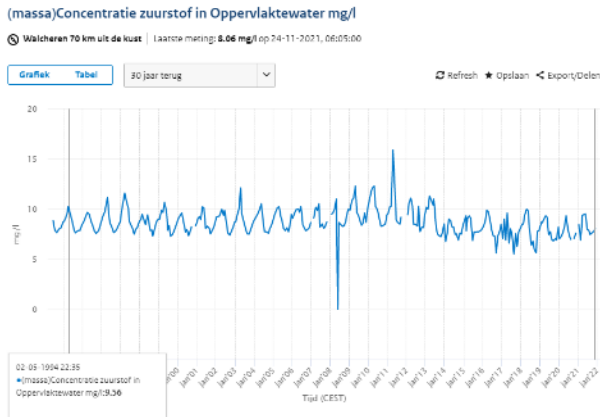
A. Zuurstofconcentratie op Vlissingen



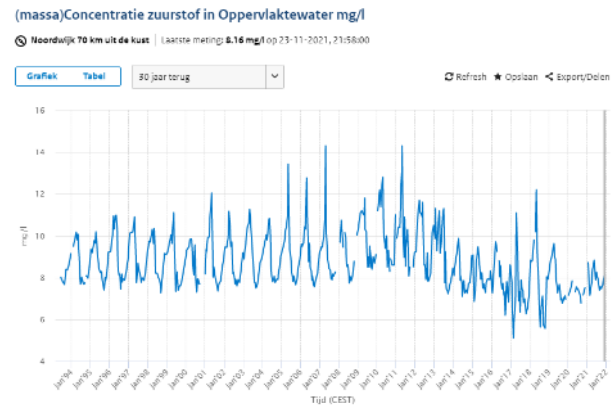
B. Watertemperatuur op Walcheren 2 km



C. Zuurstofconcentratie op Walcheren 70 km



D. Zuurstofconcentratie op Noordwijk 70 km

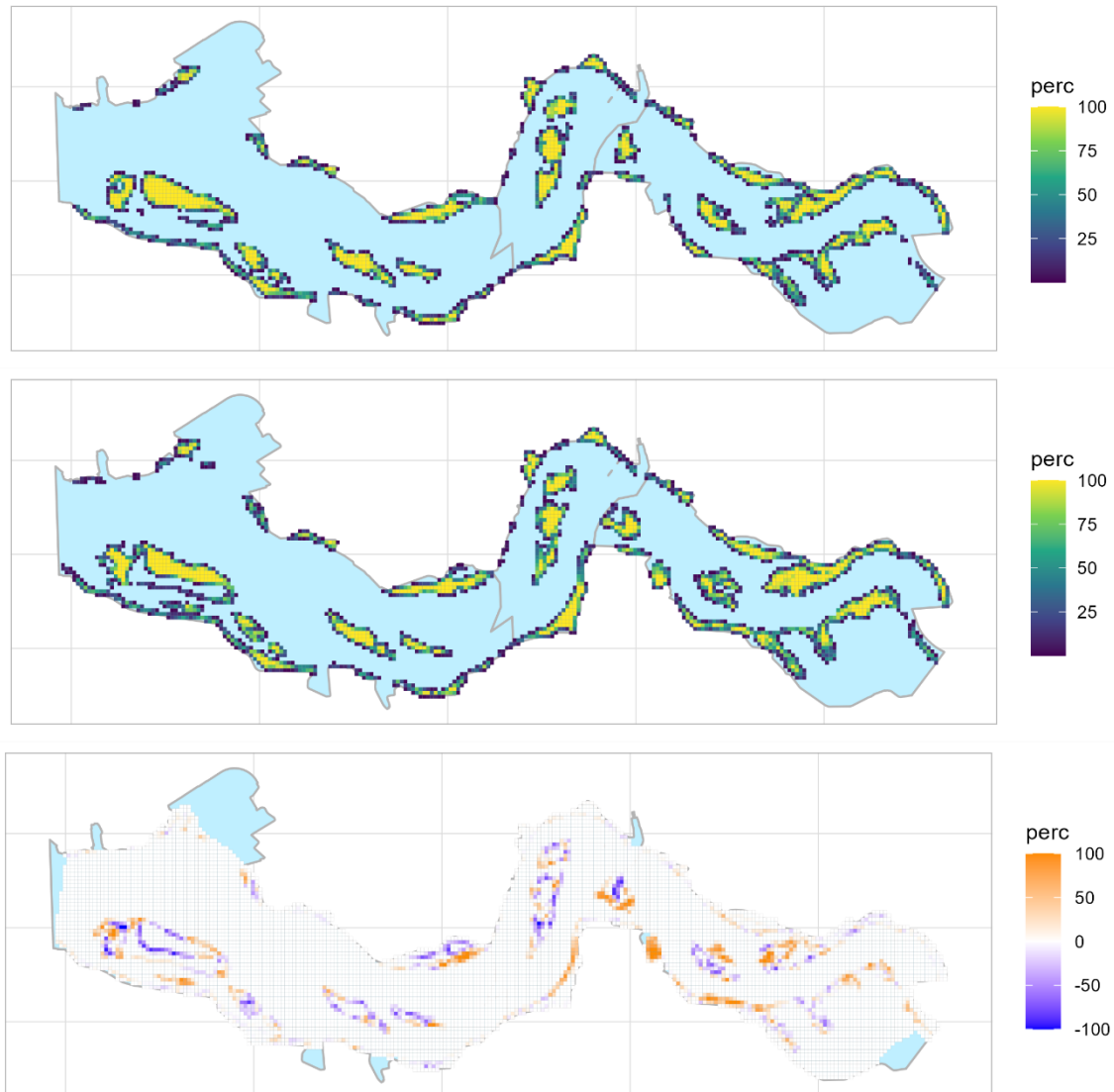


Figuur 6-51: Mogelijke verklaringen voor de shift in zuurstofconcentratie op station Walcheren 2 km (Figuur 6-50). A: Zuurstofconcentratie stroomopwaarts op meetstation Vlissingen, wat een apparatuur-gedreven shift lijkt uit te sluiten; B: Watertemperatuur op meetstation Walcheren 2 km, wat een verminderde oplosbaarheid lijkt uit te sluiten; C: Zuurstofconcentratie op meetstation Walcheren 70 km, waar een gelijkaardige shift wordt opgemerkt; D: Zuurstofconcentratie op meetstation Noordwijk 70 km (meer noordelijk), waar eveneens een gelijkaardige shift wordt opgemerkt.

C. Bijlage C – Leefomgeving

Vergelijking van de ontwikkeling van het laagdynamisch litoraal in de Westerschelde in 2015 (boven) en 2020 (midden). De onderste kaart geeft het verschil weer als percentage toe- of afname.

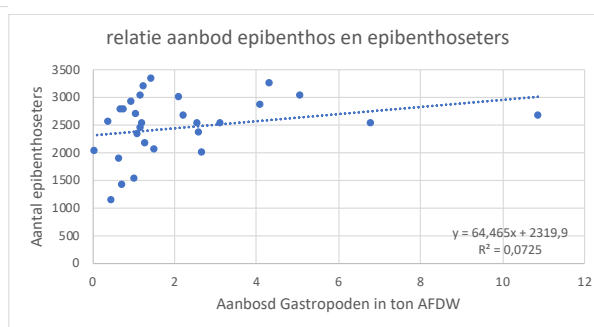
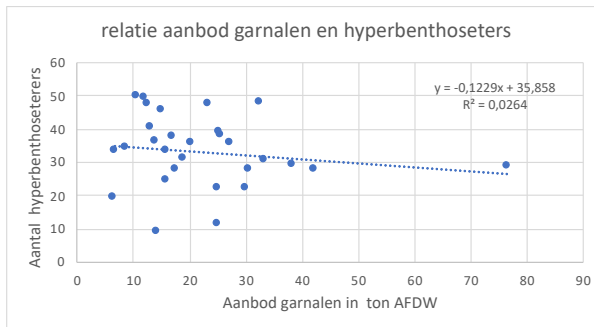
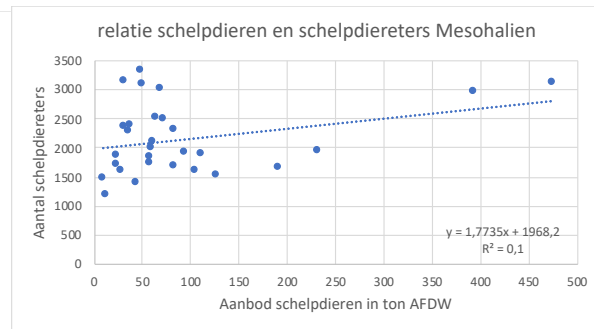
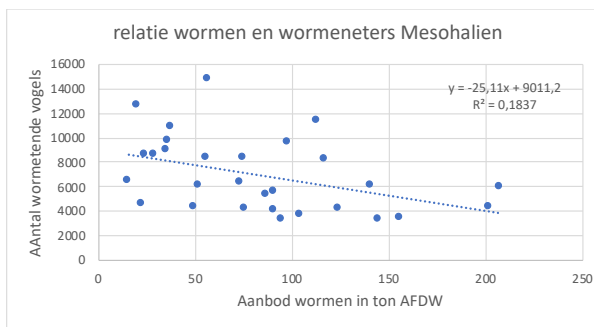
Laagdynamisch litoraal



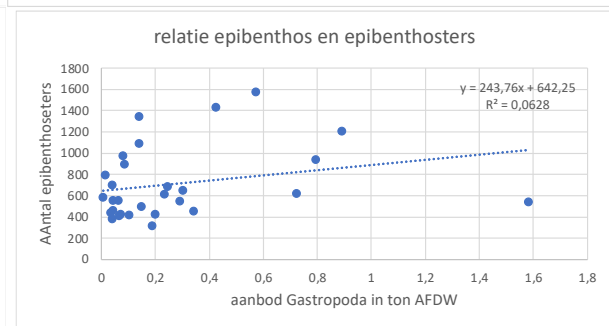
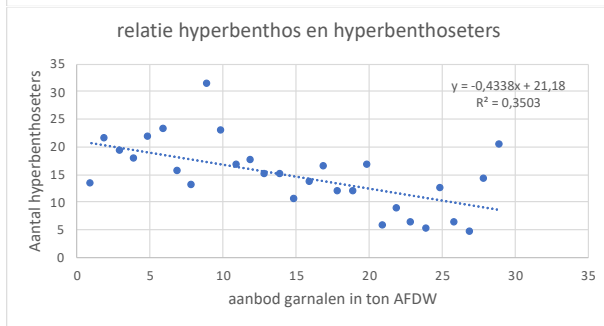
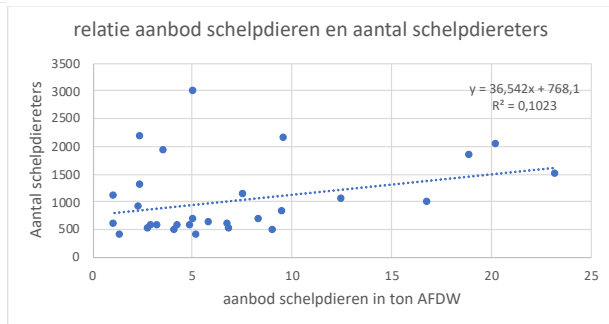
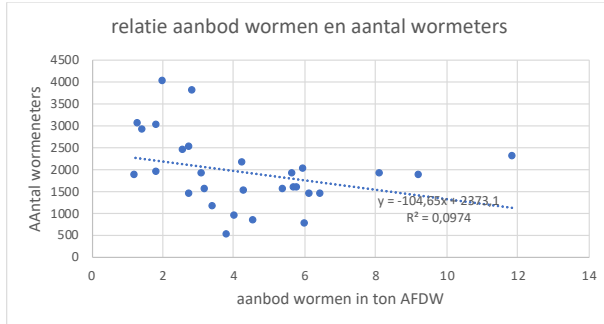
D. Bijlage D – Ecologie

Bijlage D-1: relatie totale aanbod benthos in tonnen AFDW en het seizoengemiddelde aantal vogels per voedselgroep

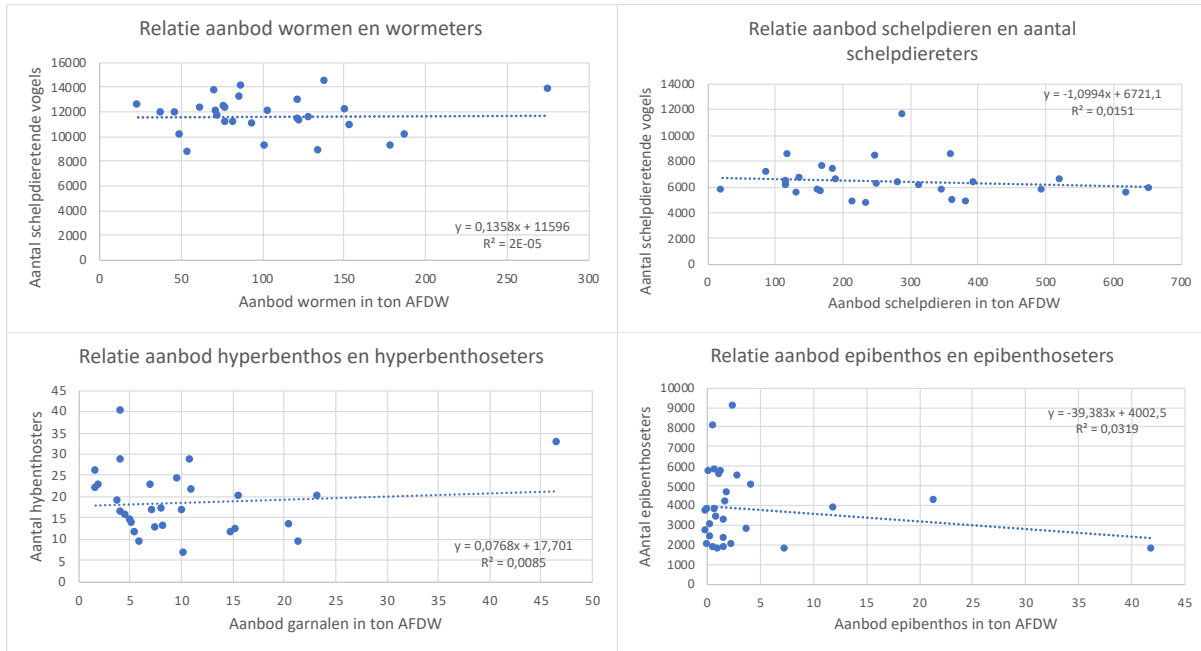
Relatie tussen het aanbod van verschillende groepen benthos en de aantallen daarop foeragerende vogels in het Mesohalieu.



Relatie tussen het aanbod van verschillende groepen benthos en de aantallen daarop foeragerende vogels in het Zwak polyhalien.

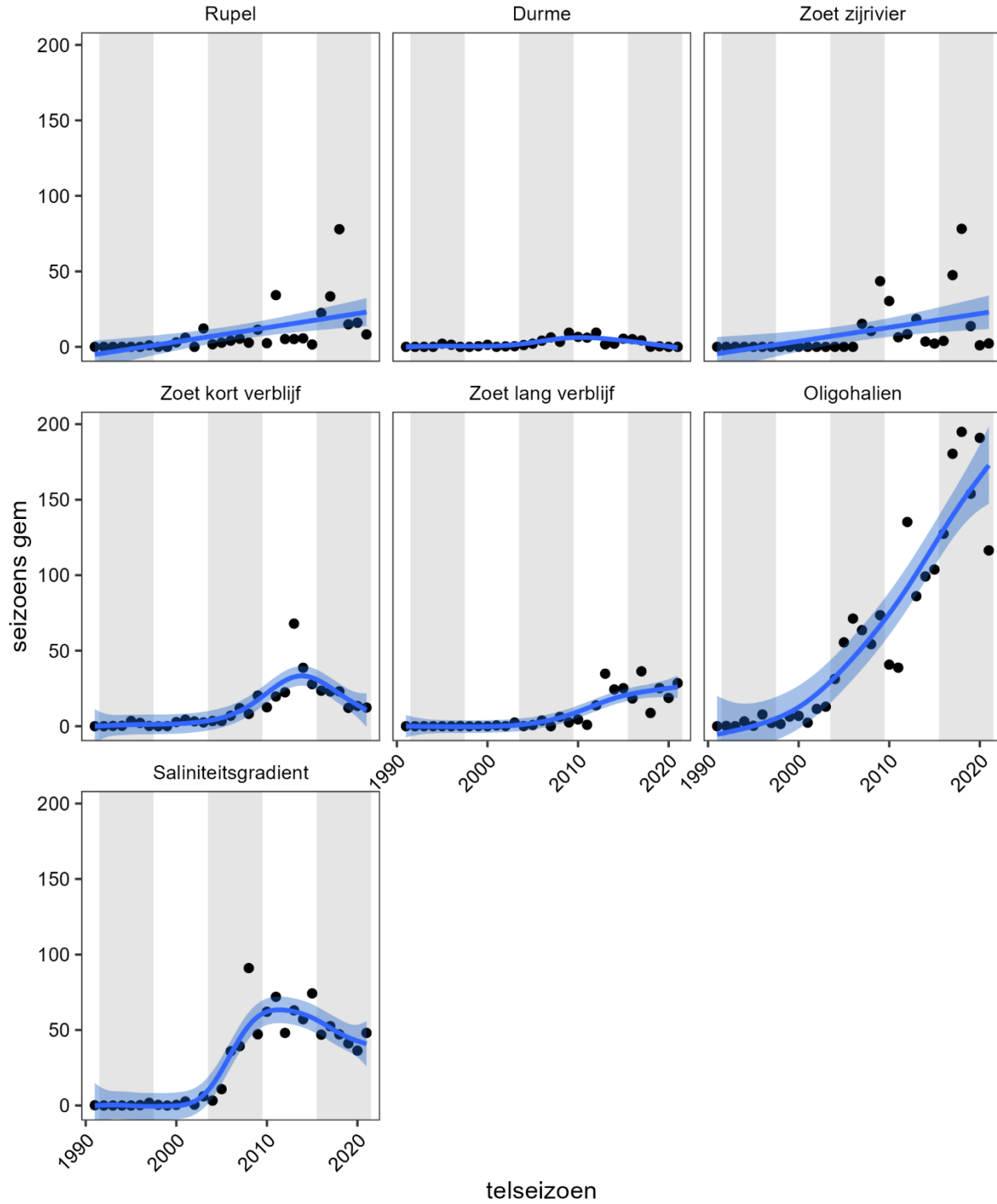


Relatie tussen het aanbod van verschillende groepen benthos en de aantallen daarop foeragerende vogels in het Sterk polyhalien.

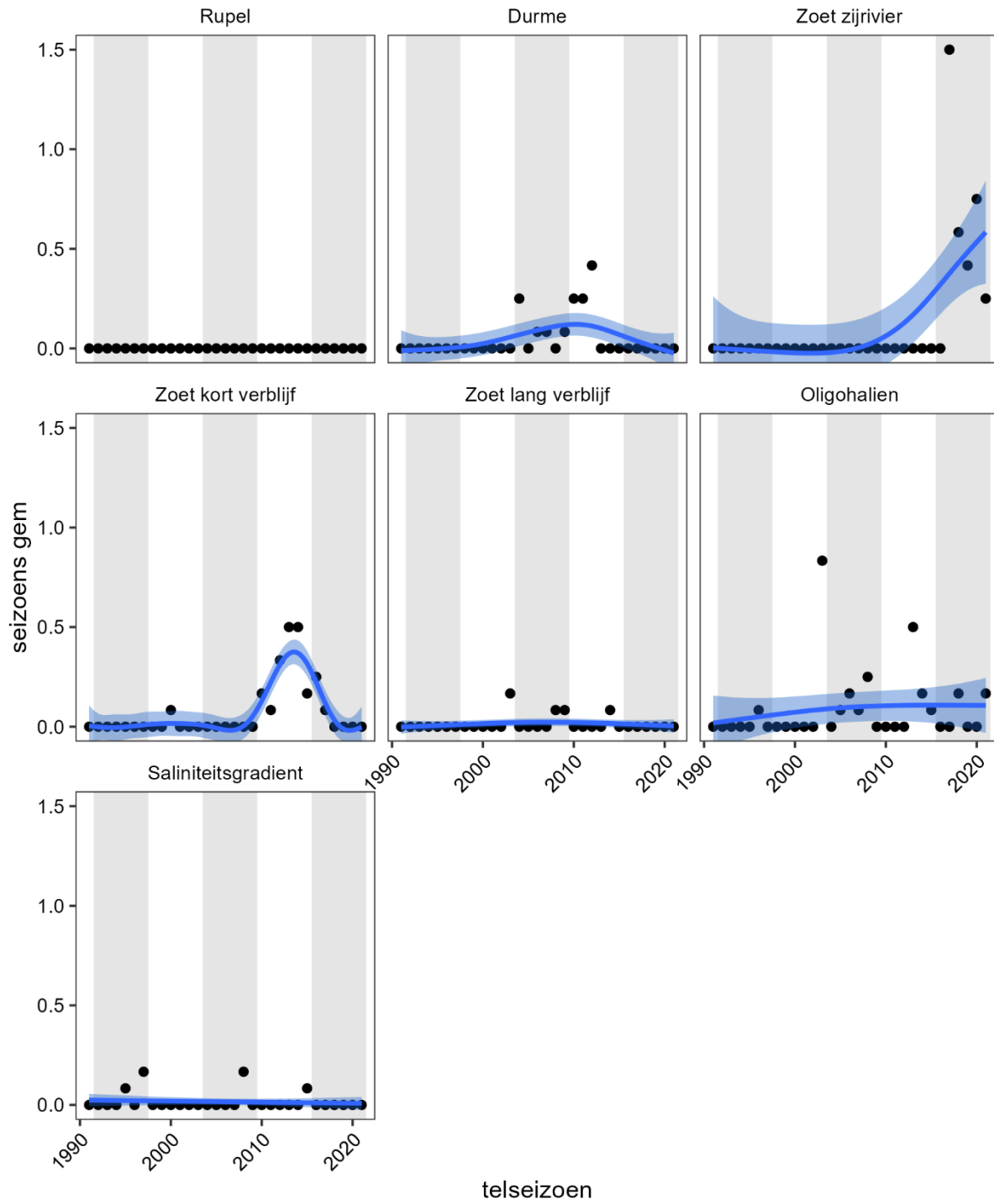


Bijlage D-2: Ontwikkeling invasieve watervogelsoorten in de Zeeschelde

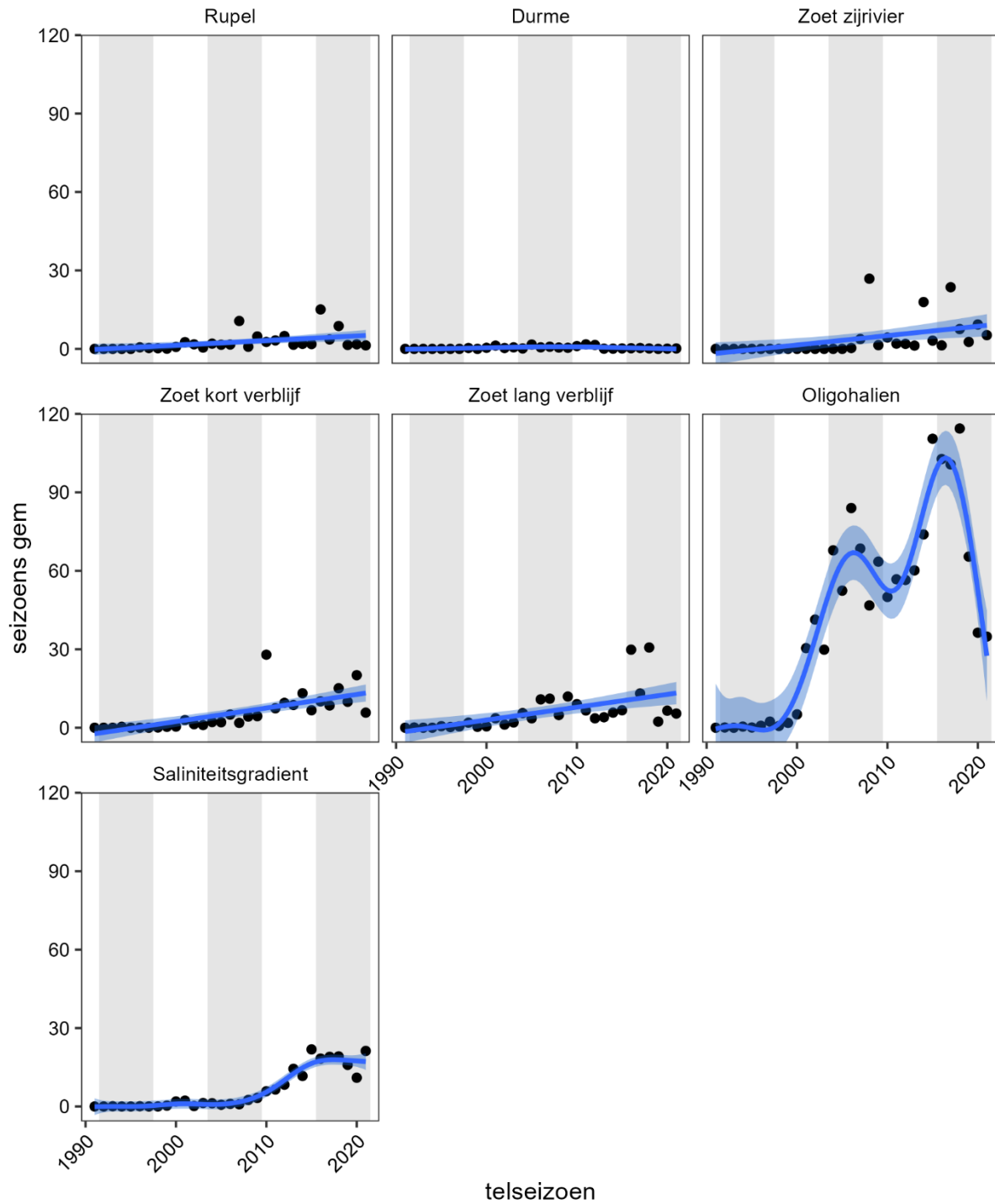
Grote canadese gans - Zeeschelde



Indische gans - Zeeschelde

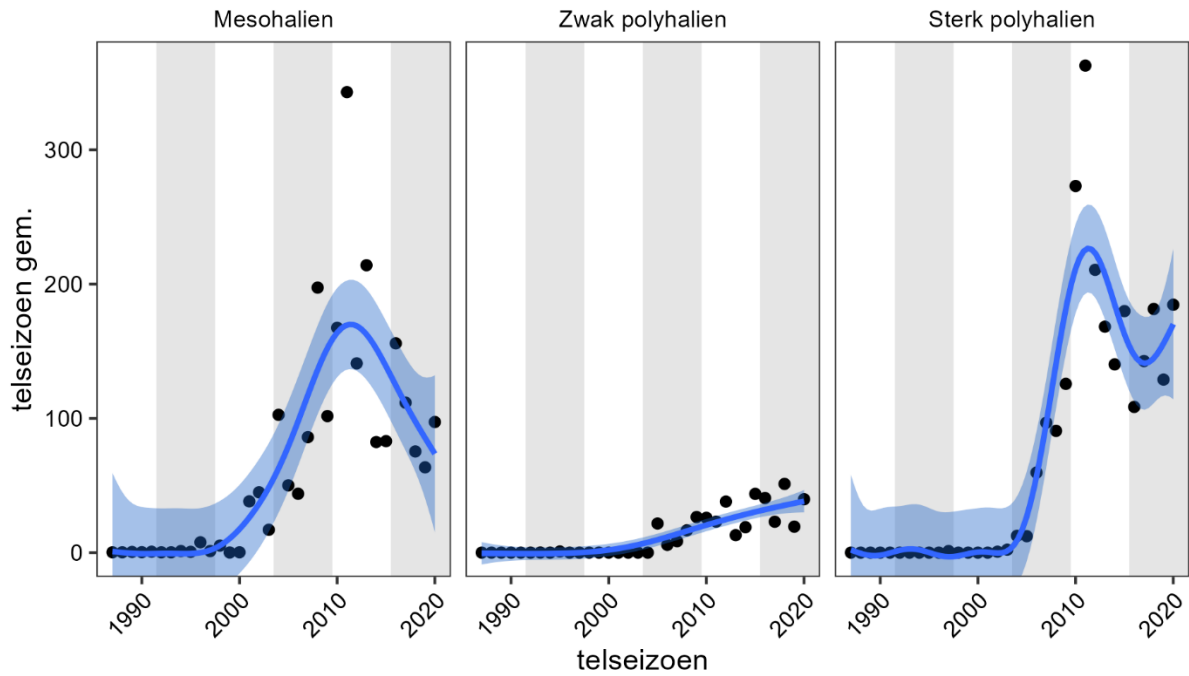


Nijlgans - Zeeschelde

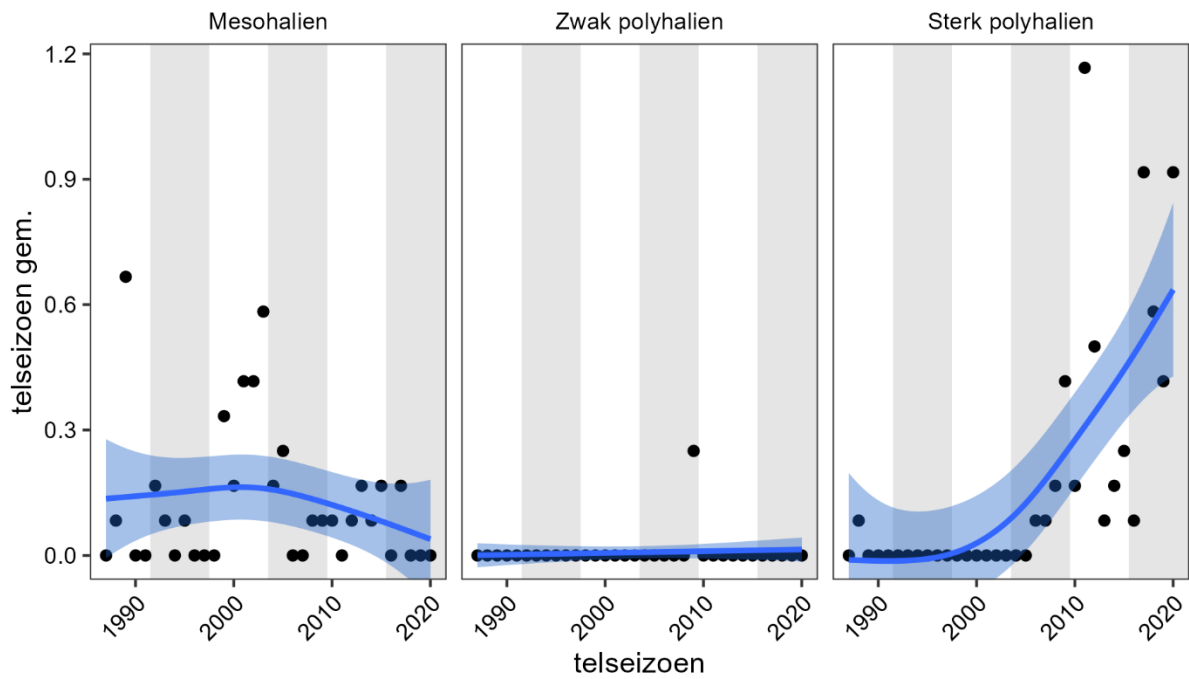


Bijlage D-3: aantalsontwikkeling invasieve vogelxoten in de Westerschelde

Grote canadese gans - Westerschelde



Indische gans - Westerschelde



Nijlgans - Westerschelde

