



Oscar Bos

Zoet-zoutovergangen in Nederland onder de loep

Typering, functioneren, ecologische sleutelfactoren en aanbevelingen voor beheer

Auteur(s): Susanne van Donk, Alicia Hamer, Marijn Tangelder

Wageningen University &
Research rapport C019/22

Zoet-zoutovergangen in Nederland onder de loep

Typering, functioneren, ecologische sleutelfactoren en aanbevelingen voor beheer



Auteur(s):

Susanne van Donk, Alicia Hamer, Marijn Tangelder

Wageningen Marine Research
Yerseke, april 2022

Wageningen Marine Research rapport C019/22

Keywords: zoet-zoutovergangen, ecologie, sleutelfactoren, inrichtingsmaatregelen

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving, gefinancierd onder Programmatische Aanpak Grote Wateren
T.a.v.: Marieke de Lange, Perry Cornelissen (Staatsbosbeheer)
Griffioenlaan 2
3500 GE Utrecht

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/567804>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Foto omslag: Oscar Bos

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research, hierbij vertegenwoordigd door
Drs.ir. M.T. van Manen, directeur bedrijfsvoering

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

Inhoud

Samenvatting	4
Inleiding	6
1.1 Achtergrond	6
1.2 Doel	7
1.3 Werkwijze	7
1.4 Definities	8
2 Bepalen sleutelfactoren	10
3 Typering en functionering zoet-zoutovergangen aan de hand van sleutelfactoren.	14
3.1 Typen zoet-zoutovergangen	14
3.2 Functioneren zoet-zoutovergangen	16
3.2.1 Type A: Wateren met een permanente en geleidelijke verbinding	17
3.2.2 Type B: Wateren met een permanente en abrupte verbinding	18
3.2.3 Type C: Wateren met een tijdelijk verbroken en geleidelijke verbinding	18
3.2.4 Type D: Wateren met een tijdelijk verbroken en abrupte verbinding	19
4 Functioneren van zoet-zoutovergangen aan de hand van voorbeeldsoorten	20
4.1 Vissen	20
4.2 Planten	22
4.3 Benthos	23
4.4 Vogels	24
5 Mogelijke inrichtingsmaatregelen	26
6 Toekomstige risico's door klimaat verandering.	31
7 Discussie, conclusie en aanbevelingen	33
7.1 Discussie resultaten	33
7.2 Conclusie & aanbevelingen	35
8 Kwaliteitsborging	36
Literatuur	37
Verantwoording	40

Samenvatting

Zoet-zoutovergangen zijn gebieden waar zoet water overgaat/uitmondt in de zoute zee. Deze overgangen kunnen zeer complexe ecosystemen vormen met een groot aantal variabelen in fysische en chemische factoren. Dit zorgt voor het voorkomen van unieke habitats en levensgemeenschappen die variëren in ruimte en tijd. Het zijn productieve systemen met een hoge diversiteit aan soorten. Bovendien fungeren ze als een belangrijke kraam- en kinderkamer voor vissen en garnalen. Daarnaast vormt de verbinding tussen de rivier en de zee een open migratie-corridor voor diadrome vissoorten en staat de hoge primaire productie als basis van een rijk estuarien voedselweb. De geleidelijke zoet-zoutovergangen van estuaria hebben in Nederland op veel plekken plaatsgemaakt voor abrupte zoet-zoutovergangen van sluizen, dammen en andere werken. Deze en andere waterstaatkundige ingrepen hebben bijgedragen aan verlies van getijdedynamiek, habitat, connectiviteit en sedimentbalans, met als gevolg het verlies van leefgebied van estuariene flora en fauna, natuurlijke trekroutes en biodiversiteit.

Om te bepalen hoe een zoet-zoutovergang functioneert, zijn er in dit onderzoek verschillende sleutelfactoren gedefinieerd. Op basis van deze sleutelfactoren kunnen beheermaatregelen opgesteld worden. De sleutelfactoren in deze rapportage zijn deels gebaseerd op de door STOWA gedefinieerde sleutelfactoren voor stromende en stilstaande wateren. De volgende sleutelfactoren zijn voor zoet-zoutovergangen gedefinieerd: 1. Afvoerdynamiek, 2. Getijdedynamiek, 3. Connectiviteit, 4. Productiviteit/belasting, 5. Habitatgeschiktheid & 6. Toxiciteit. Onderling zijn deze sleutelfactoren met elkaar verbonden en zal het functioneren van één sleutelfactor het functioneren van een ander beïnvloeden.

Deze studie typeert zoet-zoutovergangen in vier hoofdgroepen (A,B,C,D), die zijn gebaseerd op de temporele verbinding tussen zoet en zout (tijdelijk onderbroken of permanent) en de ruimtelijke gradiënt tussen zoet en zout (geleidelijk of abrupt). Hierbij zijn permanente en tijdelijk onderbroken verbindingen, door kunstwerken (bv. sluizen) of natuurlijke barrières, van elkaar onderscheiden, evenals systemen met een geleidelijke versus abrupte overgang. De verschillende typen zijn verder uitgewerkt in subtypen, op basis van de aanwezigheid en mate van getijdedynamiek en de algehele dimensie van de overgang (die vaak aan elkaar gerelateerd zijn).

Een aantal voorbeeldovergangen zijn gekozen om het functioneren van de getypeerde zoet-zoutovergangen (type A-D) te beschrijven aan de hand van de gedefinieerde sleutelfactoren. Ook zijn een aantal voorbeeldsoorten gekozen om te monitoren hoe een zoet-zoutovergang functioneert en om het belang van verschillende overgangen in kaart te brengen. Zo zijn er soorten die alleen van specifieke overgangen gebruik kunnen maken. Een voorbeeld hiervan is de fint, die door zijn specifieke habitateisen alleen maar zal voorkomen in een overgang met een permanente temporele verbinding en geleidelijke zoutgradiënt (type A). De rivier- en zeeprick daarentegen gebruiken overgangen vooral voor migratie, en profiteren van verbindingen waarbij de connectiviteit goed is. Ze kunnen gebruik maken van overgangen zolang de ruimtelijke verbinding goed is. Veel benthische soorten hebben voornamelijk voordeel bij het verbeteren van de habitatgeschiktheid en de sleutelfactoren die hier invloed op hebben. Vogelsoorten zullen over het algemeen gebruik maken van overgangstypen waar hun prooi-soorten aanwezig zijn. Hierbij hebben vogels vooral baat bij de ontwikkeling van droogvallende slikken en platen (Habitatgeschiktheid). Additioneel is het voor visetende vogels ook belangrijk dat de condities voor hun prooi-soorten optimaal zijn.

Om de ecologische potentie van een zoet-zoutovergang te vergroten kunnen verschillende maatregelen genomen worden. Welke maatregel passend is en het gewenste effect heeft, zal per gebied en per voorbeeldsoort verschillend zijn en hangt onder andere af van de (lokale) omstandigheden. Van belang is dan ook om voldoende kennis te hebben van de specifieke situatie. In deze studie is er per sleutelfactor gekeken welke maatregelen genomen kunnen worden om het functioneren van deze sleutelfactor in de zoet-zoutovergang te verbeteren. De afvoerdynamiek (1) kan verbeterd worden door het creëren van o.a. natuurlijke oevers en een permanente zoetwaterstroom, de getijdedynamiek (2) kan verbeterd worden door het introduceren van gedempt getij, de connectiviteit (3) kan verbeterd worden door o.a. het plaatsen van vispassages (hiervoor kan de locatie slim bepaald worden op basis van monitoringsdata), aanpassen van spui- en sluisbeheer en het verwijderen van obstakels, de organische productiviteit/belasting (4) kan verbeterd worden door het limiteren van de aanvoer van

nutriënten en het aanpassen van zuiveringsbeleid op rioolwaterzuiveringsinstallaties, de habitatgeschiktheid (5) kan verbeterd worden door het creëren van een brakwaterzone en het aanleggen van laagdynamisch litoraal (belangrijk foerageergebied voor steltlopers) en natuurvriendelijke oevers/kwelders, en de toxiciteit (6) kan verbeterd worden door het aanleggen van bufferzones, aanpassen van zuiveringsbeleid en het verminderen van (illegale) lozingen.

Kijkend naar passende inrichtingsmaatregelen per type is voor zoet-zoutovergangen van type A vooral veel te winnen met natuurontwikkeling. Zo kunnen natuurlijke oevers aangelegd worden, gebieden ontpolderd worden. Maatregelen voor type B liggen ook vooral in de natuurontwikkeling door ruimte te bieden voor de ontwikkeling van bijvoorbeeld een brakwaterkwel of (permanente) aanvoer van zoet water en mogelijk de aanleg van broedeilanden. Het realiseren van een brakwaterzone in een grote (tijdelijk) onderbroken overgang (type C) is vaak gebonden aan randvoorwaarden (zoals zoetwatervoorziening). Brakke zones zijn mogelijk wel te creëren in zoet-zoutovergangen met minder grote massa's water, omdat hier minder dynamiek nodig is. Hier moet rekening gehouden worden met het verschil in zoetwater afvoer over de seizoenen. In de zomer kan een brakwaterzone dan weer helemaal zout worden doordat er geen zoet water meer gespuid wordt. Maatregelen voor zoet-zoutovergang type D liggen vooral in het verbeteren van connectiviteit voor vissen. Daarnaast kan de habitatgeschiktheid verbeterd worden door natuurontwikkeling aan zowel de zoete als de zoute kant.

De grootste klimaatrisico's voor zoet-zoutovergangen betreffen o.a. de toename en onregelmatigheid van de verwachte hoeveelheid neerslag, die vooral in de winter zal toenemen en in de zomer zal afnemen. Dit tast vooral de afvoerdynamiek aan maar ook de connectiviteit doordat het in stand houden van een lokstroom bemoeilijkt wordt. Verder zullen overgangswateren, door het gecombineerd effect van zeespiegelstijging en bodemdaling, te maken krijgen met een sterke relatieve zeespiegelstijging. Dit kan er voor zorgen dat de landwaartse zijde van veel kwelders achter gaan lopen bij de opslibbing, en risico lopen om te verdwijnen. Dit heeft weer invloed op de habitatgeschiktheid van de overgang. Tot slot moet er bij het inrichten van overgangen voldoende ruimte zijn zodat er een buffer is om "coastal squeeze" veroorzaakt door zeespiegelstijging, en hittestress veroorzaakt door temperatuurstijgingen, te voorkomen.

Inleiding

1.1 Achtergrond

Zoet-zoutovergangen zijn de gebieden waar zoet water uitmondt in de zoute zee. Grote zoet-zoutovergangen die van nature voorkomen in Nederland, worden estuaria genoemd en worden als volgt gedefinieerd:

'Estuaria zijn overgangsgebieden tussen één (of meerdere) rivier(en) en de zee, waar de watermassa in beweging is onder invloed van rivierwaterafvoer en het getij, bestaande uit een zoetwatergetijdengebied, een middengebied waar zoet rivierwater en zout zeewater zich mengen en een kustzone' (de Leeuw and Backx, 2001).

De geografische ligging van de estuaria in Nederland zijn grofweg bepaald door het reliëf dat is ontstaan door stromend water en landijs in het pleistoceen (2,58 miljoen-11,7 duizend jaar geleden). Zo ontstonden de geleidelijke zoet-zoutovergangen van de rivieren de Schelde, Rijn/Maas en Eems na de laatste ijstijd, waarin als gevolg van zeespiegelstijging het water de riviervalleien op kroop (Baptist et al., 2007). De zoet-zoutovergangen van estuaria vormen een complex ecosysteem met een groot aantal variabelen in fysische en chemische factoren die continu variëren in ruimte en tijd (Tangelder et al., 2020). Estuaria kunnen hierdoor ecologisch zeer waardevol zijn. Ze zorgen voor een hoge diversiteit aan habitats door de grote variatie in omstandigheden en hoge beschikbaarheid van nutriënten als basis voor het estuariene en mariene voedselweb, vormen een essentieel habitat voor enkele (opgroeïende) soorten en fungeren als migratiecorridor (Tangelder et al., 2020).

Naast estuaria kent Nederland talloze kleinere zoet-zoutovergangen die vanaf de Middeleeuwen echter vergaand zijn beïnvloed door menselijk handelen, door de aanleg van dijken en het inpolderen van land. De Middellzee (een inham van de Waddenzee) werd in de Middeleeuwen grotendeels al ingepolderd, de Oosterschelde, Grevelingen, Haringvliet, Zuiderzee en Lauwerszee recenter (vorige eeuw) (de Leeuw and Backx, 2001). Het Schelde estuarium (Westerschelde), Rijn/Maas (Nieuwe Waterweg) en het Eems-Dollard estuarium zijn de enige nog open verbindingen tussen rivier en zee in Nederland. Maar ook deze estuaria zijn sterk door de mens beïnvloed. De geleidelijke zoet-zoutovergangen van estuaria hebben op veel plekken plaatsgemaakt voor abrupte zoet-zoutovergangen van sluizen, dammen en andere werken (**Figuur 1**). Deze en andere waterstaatkundige ingrepen (zoals het aanleggen van dijken, dammen, sluizen, baggeren van vaargeulen, inpolderen van land en peilbeheer) hebben bijgedragen aan verlies van getijdedynamiek, habitat, connectiviteit en sedimentbalans in de Nederlandse estuaria, met als gevolg o.a. het verlies van leefgebied van estuariene flora en fauna, natuurlijke trekroutes en biodiversiteit.



Figuur 1 De geleidelijke zoet-zoutovergangen Eems-Dollard (links) & een abrupte zoet-zoutovergang bij de Oosterschelde, de Krammersluizen (rechts). Satellietfoto's van satellietportaal.nl.

Door het in kaart brengen van de verschillende "natuurlijke" (open verbinding) en onnatuurlijke zoet-zoutovergangen die er in Nederland zijn en hun functioneren kan inzicht verkregen worden in hoe ecologische waarden van deze overgangen mogelijk verbeterd worden. Beleid en wetgeving spelen hierbij een rol. De Kaderrichtlijn Water (KRW) en Natura 2000 zijn bedoeld om de ecologische waterkwaliteit, soorten en habitats te beschermen en te verbeteren. Verder werkt de overheid met het programma Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW) aan "toekomstbestendige grote wateren waar hoogwaardige natuur goed samengaat aan een krachtige economie" (Rijkswaterstaat, 2017). Rijkswaterstaat, Staatsbosbeheer en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) hebben als opdracht om dit PAGW-doel te realiseren in opdracht van de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

In 2018 is een maatregelenpakket van 33 projecten geïdentificeerd voor de grote wateren in de Zuidwestelijke Delta, het IJsselmeergebied, de Waddenzee en Eems-Dollard en de grote rivieren. Deze projecten zetten in op het herstel van de natuurlijke dynamiek waar mogelijk, het weer met elkaar verbinden van grote wateren en het achterland alsook het ontwikkelen van ontbrekende leefgebieden voor specifieke plant- en diersoorten.

- Op diverse plekken in de Natura 2000-gebieden in de Rijkswateren wordt gewerkt aan het behoud of het herstel van geleidelijke zoet-zoutovergangen, die in het verleden veelal verloren zijn gegaan of in omvang afgenomen zijn door menselijke ingrepen. Hiermee wordt beoogd: meer ruimte te bieden aan o.a. diverse soorten trekvis die tussen zoet en zout water op en neer trekken in de loop van hun levenscyclus;
- het voorkómen van het ongewenste 'uitspoelen' van zoetwatervis tijdens het lozen van overtollig zoetwater;
- het herstellen van een zogenaamde brakwaterzone of andere overgangsgebieden die een geheel eigen bijdrage aan de biodiversiteit kunnen bieden.

Om de PAGW-doelen te behalen wordt o.a. ingezet op het ontwikkelen van een solide ecologische kennisbasis, o.a. ook over zoet-zoutovergangen van onder andere de Waddenzee, Zuidwestelijke Delta en het IJsselmeer.

1.2 Doel

Het hoofddoel van het huidige onderzoek is het typeren van zoet-zoutovergangen in Nederland zodat de ecologische waarden van deze overgangen d.m.v. inrichtingsmaatregelen vergroot kunnen worden. Dit moet ook worden gezien in relatie tot de doelen die voor KRW en Natura 2000 aan de omliggende wateren toegekend zijn.

Voor dit onderzoek zijn de volgende hoofd- en subvragen geformuleerd:

Hoe is het gesteld met de zoet-zoutovergangen in Nederland en wat zijn aanbevelingen voor behoud, beheer en herstel?

- a. Wat zijn de belangrijke ecologische sleutelfactoren voor het functioneren van zoet-zoutovergangen?
- b. Wat zijn verschillende typen zoet-zoutovergangen?
- c. Hoe functioneren deze overgangen aan de hand van de sleutelfactoren?
- d. Hoe functioneren deze overgangen aan de hand van gekozen voorbeeldsoorten? Bij deze vraag ligt de focus op vissen.
- e. Wat zijn aanbevelingen voor inrichtingsmaatregelen?

1.3 Werkwijze

Voor de werkwijze van dit onderzoek zijn de volgende stappen gemaakt:

- In **Hoofdstuk 2** worden de ecologische sleutelfactoren geformuleerd die van belang zijn voor het functioneren van zoet-zoutovergangen. Hier wordt gebruik gemaakt van al eerder

geformuleerde sleutelfactoren voor stromende wateren en stilstaande wateren en aangevuld met sleutelfactoren die specifiek gelden voor zoet-zoutovergangen.

- In **Hoofdstuk 3** worden de verschillende typen zoet-zoutovergangen getypeerd aan de hand van literatuur en experts. Er bestaat een grote verscheidenheid in de mate waarin zoet-zoutovergangen zijn beïnvloed door de mens, variërend van volledig open verbindingen tot (gedeeltelijk) gesloten en wateren met geleidelijke of een abrupte overgang van zoet naar zout. Vervolgens wordt het functioneren van de verschillende typen zoet-zoutovergangen beschreven aan de hand van de ecologische sleutelfactoren.
- In **Hoofdstuk 4** wordt het functioneren van de verschillende typen zoet-zoutovergangen beschreven aan de hand van voorbeeldsoorten. Hier ligt de focus op vissen, omdat inrichtingsmaatregelen bij zoet-zoutovergangen vooral zijn gericht op deze groep organismen.
- In **Hoofdstuk 5** worden aanbevelingen gedaan voor inrichtingsmaatregelen en monitoring voor zoet-zoutovergangen per sleutelfactor.

1.4 Definities

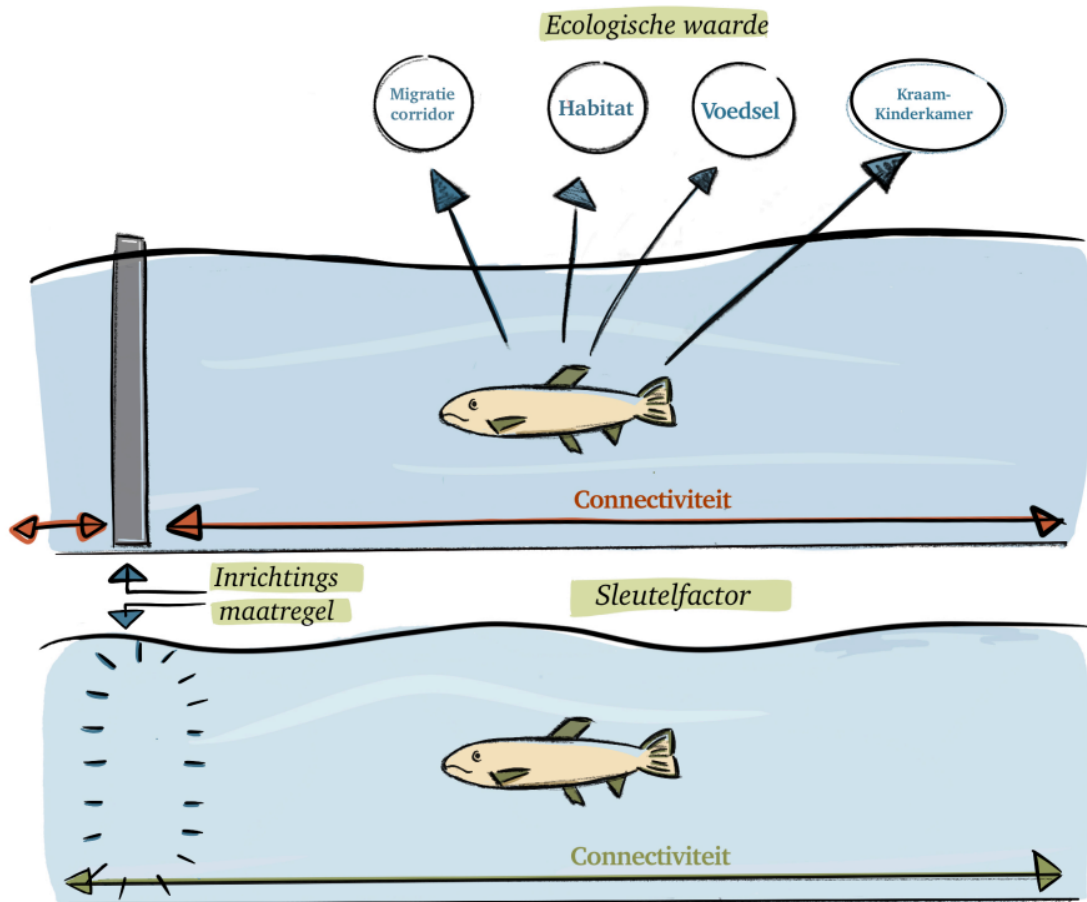
In deze rapportage worden verschillende termen gehanteerd, die nadere uitleg behoeven. Hieronder worden deze termen nader gedefinieerd en uitgelegd.

Zoet-zoutovergang is de overgang van zoet water uit het achterland richting het zoute water van de zee. Oorspronkelijk waren de Nederlandse rivierdelta's van de Rijn, Maas en Schelde rijk aan natuurlijke zoet-zoutovergangen. Door o.a. inpolderingen, aanleg van dammen en stuwen, baggerwerkzaamheden en compartimenteringsdammen (zoals de Deltawerken en de Afsluitdijk) zijn zoet-zoutovergangen vérgaand beïnvloed. In deze rapportage wordt een brede scope gehanteerd waarbij zowel geleidelijke – meer natuurlijke – overgangen als abrupte overgangen (als gevolg van menselijk ingrijpen) worden beschouwd.

Door het identificeren van **ecologische waarden** kan het ecologisch belang van een overgangsgebied voor habitats, soorten en diversiteit in kaart gebracht worden. De vier belangrijkste ecologische waarden voor zoet-zoutovergangen zijn (Tangelder et al., 2020): bieden van diversiteit aan habitats en soorten, voedsel voor het voedselweb, kraam- en kinderkamerfunctie en migratiecorridor.

Sleutelfactoren zijn factoren die bepalend zijn voor ecologie en ze beschrijven de status van een gebied of overgang. Door het identificeren van sleutelfactoren kan in kaart gebracht worden hoe een gebied aan zijn functie voldoet. Het definiëren van ecologische sleutelfactoren voor verschillende typen watersystemen is onderdeel van een methodiek die is ontwikkeld door de STOWA om het begrip van systeem functioneren voor beheerders te vergroten (STOWA, 2018).

In deze rapportage worden **voorbeeldsoorten** gebruikt om het belang van ecologische waarden te demonstren voor organismen met verschillende eisen. Vervolgens kunnen er **inrichtingsmaatregelen** plaatsvinden in zoet-zoutovergangen om de ecologische waarden van de sleutelfactoren te verbeteren. Zo kan bijvoorbeeld de corridorfunctie voor vissen van connectiviteit verbeterd worden door het weghalen van obstakels. **Randvoorwaarden** zijn de condities waarbinnen de inrichtingsmaatregelen moeten blijven, ofwel vanwege omwonenden ofwel vanwege wetgeving of andere factoren. De randvoorwaarde van verbetering van de migratiecorridor voor vissen kan bijvoorbeeld zijn dat de saliniteit (vanwege zoetwatervoorziening) binnen bepaalde waarden moet blijven. In **Figuur 2** is een voorbeeld uitgewerkt van de relatie tussen een ecologische waarde, sleutelfactor en inrichtingsmaatregel.



Figuur 2 Voorbeeld van de relatie tussen ecologische waarde, sleutelfactoren en inrichtingsmaatregelen. De ecologische waarde van de sleutelfactor connectiviteit is bijvoorbeeld migratiecorridor voor vissen, een inrichtingsmaatregel die hierbij genomen kan worden ter verbetering van de connectiviteit is het verwijderen van een obstakel.

2 Bepalen sleutelfactoren

Een **sleutelfactor** zegt iets over de status van het gebied, bijv. de connectiviteit of dynamiek in het systeem. Op basis van sleutelfactoren kunnen beheermaatregelen opgesteld worden. De sleutelfactoren vormen een denkkader dat helpt om vragen te stellen, informatie te achterhalen en hoofdzaken van bijzaken te scheiden. Een aantal sleutelfactoren zijn ontwikkeld door de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), als onderdeel van een methodiek om watersystemen beter te begrijpen en beheren. Deze zijn tot nu toe alleen gedefinieerd voor stromende wateren en stilstaande wateren (STOWA, 2018, 2014), maar nog niet voor overgangswateren (**Figuur 3**). In deze rapportage definiëren we sleutelfactoren voor zoet-zoutovergangen met behulp van de al bestaande sleutelfactoren, aangevuld met sleutelfactoren specifiek voor zoet-zoutovergangen.



Figuur 3. Ecologische sleutelfactoren die zijn gedefinieerd voor stromende wateren en stilstaande wateren (STOWA, 2018).

De volgende sleutelfactoren zijn gedefinieerd voor zoet-zoutovergangen en worden verder uitgewerkt in de tekst;

1. Afvoerdynamiek (rivier)
2. Getijdedynamiek (zee)
3. Connectiviteit
4. Productiviteit/belasting
5. Habitatgeschiktheid
6. Toxiciteit

Deze sleutelfactoren haken als 'tandwielen' in elkaar en zijn onderling verbonden in hun functioneren. Hier onder worden ze een voor een toegelicht, wordt de samenhang met andere sleutelfactoren aangegeven en uitgelegd welke processen de sleutelfactoren kunnen initiëren. Een samenvattende illustratie die alle sleutelfactoren en processen samenvat, en laat zien hoe ze elkaar beïnvloeden, is te zien in **Figuur 4**.

1. Afvoerdynamiek (rivier)

De afvoerdynamiek is de mate van instroom van zoet water richting het zoute milieu. Dit kan erg variabel zijn, en is hoog in het geval van bijvoorbeeld stevige regenval in het achterland en laag door lange periodes van droogte. In kunstmatige systemen is sluisbeheer bepalend voor de afvoerdynamiek door bijvoorbeeld spuien. De afvoerdynamiek heeft invloed op transport van bijvoorbeeld sediment,

voedingsstoffen, organisch materiaal en organismen die worden meegevoerd door de rivier. Vissen die stroomafwaarts migreren naar het zoute water gebruiken ook de stroming van het afvoerwater. De afvoerdynamiek interacteert met 2. getijdedynamiek en gezamenlijk beïnvloeden ze transport van sediment en bodemmateriaal en daarbij de vorming van substraat en bio-chemische interacties (4. Productiviteit/belasting). Wanneer het water langzaam stroomt zal er slib ophopen op de bodem, terwijl bij hogere snelheden alleen grover sediment kan neerslaan. De mate van afvoer bepaald waar het slib wordt afgezet; bij hoge afvoer verder richting zee, met lage afvoer slib dichterbij de rivier. Substraattypen (bijvoorbeeld meer zandig of juist slibrijk) is een belangrijke factor in het voorkomen van planten en dieren. Ook kunnen slikken en schorren ontstaan door afzetten van slib en substraat. Deze sleutelfactor heeft daarom een grote invloed op sleutelfactor 5. Habitatgeschiktheid.

2. Getijdedynamiek (Zee)

De getijdedynamiek is de mate van instroom van het getij in een overgang en is een belangrijke sleutelfactor in het functioneren van een zoet-zoutovergang. Veel processen hangen af van de getijdedynamiek. Door de tweedaagse getijcyclus ontstaat er stroming die het mondingsgebied kan voorzien van sediment en voedingsstoffen.

Doordat de rivier gestuurd door afvoer (1. Afvoerdynamiek) en het zeewater gestuurd door getij als het ware op elkaar 'botsen' ontstaat turbulentie die zorgt voor menging van de waterlagen, waardoor er een brakke mengzone kan ontstaan. In grotere massa's water moet er genoeg dynamiek in een systeem zitten om het zwaardere zoute water te laten mengen met het lichtere zoete water. Temperatuur kan hier ook een rol spelen, omdat in de zomer rivierwater sneller opwarmt en hierdoor de stratificatie (gelaagdheid) kan optreden. De mengzone kan enorm fluctueren in ruimte en tijd afhankelijk van afvoer en getij; per dag, per getijcyclus, per seizoen, per jaar en bij extreme omstandigheden als storm of extreme rivierafvoer. In die overgangszones mengen niet alleen zoet en zout water maar ook zand- en kleideeltjes die worden aangevoerd. Gedreven door waterbeweging en deeltjesinteracties slaat het grootste deel neer in een verscheidenheid aan sedimenttypen, waaronder slib. De dynamiek door afvoer en getijde vermindert daarnaast ook zuurstofloze condities (Tangelder et al., 2019). Ook vinden er afbraakprocessen plaats (4. Productiviteit/belasting). Naast sedimentatie vindt er ook transport plaats van (opgeloste) stoffen en organisch materiaal dat door de rivier wordt aangevoerd en het estuarium passeert. Hierbij gaat het vooral om nutriënten, mineralen en gesuspendeerd organisch materiaal. Ook maken bepaalde vissoorten (getijdemigranten) gebruik van de kracht van het getij om de rivier op te zwemmen (4. connectiviteit).

In grote zoet-zoutovergangen, zoals estuaria, is het getij vaak verder landinwaarts merkbaar dan tot waar de brakke zone loopt. Zo reikt de brakke zone in de Westerschelde tot Antwerpen, terwijl het getij tot in Gent loopt. Hierdoor ontstaan unieke brakwater- en zoetwatergetijdezones (Van Damme et al., 2001), die van groot belang zijn voor diversiteit aan habitats en soorten (5. Habitatgeschiktheid).

3. Connectiviteit

De connectiviteit van de zoet-zoutovergang beschrijft de mate waarin de 1. afvoerdynamiek en 2. getijdedynamiek vrij kunnen plaatsvinden en daarmee menging van waterlagen, transport van sediment en 4. biochemische processen. Een open connectie kan migratie van vissen bevorderen, en ook leiden tot een toename van grotere migrerende vissoorten zoals houting, winde, zeeforel, zeebaars en harder (Winter et al., 2021). Voor bepaalde vissoorten is niet alleen een doorgang belangrijk, maar ook een goede getijdedynamiek, omdat het niet allemaal goede zwemmers zijn. Ook kan een vrij plotselinge zoutgradiënt problematisch zijn voor vissen doordat de zoete 'lokstroom' te gering is. Daarnaast is de mogelijkheid voor migratie over de verschillende zouttranches ook voor bepaalde kreeften, insecten en gastropoden belangrijk. Natuurlijke afzetting van sediment kan door goede connectiviteit in combinatie met de dynamiek worden bevorderd.

4. Organische productiviteit/belasting

De productiviteit heeft betrekking op de aanvoer van organisch materiaal en nutriënten en de beschikbaarheid hiervan voor primaire productie. In een natuurlijk estuarium vindt transport plaats van (opgeloste) stoffen en organisch materiaal dat door de rivier wordt aangevoerd en het estuarium passeert (door 1. afvoerdynamiek en 2. getijdedynamiek). Hierbij gaat het vooral om nutriënten (bv.

stikstof en fosfor afkomstig van het land), mineralen (bv. silicaat, afkomstig van vertering van stenen) en gesuspendeerd organisch materiaal (afgestorven resten van planten en dieren en van menselijke oorsprong). De brakke zone fungeert als een soort bioreactor waar organische vlokken worden gevormd waar grote hoeveelheden bacteriën het organisch materiaal verteren - met consumptie van zuurstof - en op deze manier beschikbaar maken voor de voedselketen in de vorm van nutriënten. De nutriënten die vrijkomen bij de afbraak van organisch materiaal door bacteriën, voornamelijk in de brakke zone, zijn gunstig voor groei van (pelagische) algen. Vanwege de hoge troebelheid in de brakke zone wordt deze groei beperkt door gelimiteerde lichtindringing, maar in de mondings- en kustzone is het water helderder en stijgt de primaire productie (productiviteit). Deze algen worden geconsumeerd door een grote verscheidenheid aan soorten bodemdieren, zoöplankton en vissen die op hun beurt weer het voedsel vormen voor vissen, vogels en zeezoogdieren en vormen daardoor de basis van het estuariene en mariene voedselweb en het voortbestaan van populaties. Bij een meer stagnante situatie of een extreem hoge toevoer van organisch materiaal kunnen deze stoffen echter tot te hoge organisch materiaal en nutriëntenconcentraties leiden, en omslaan naar een belasting voor het ecosysteem. Dit kan zuurstofdeficiëntie, overmatige groei van algen en bacteriën en oever- en waterplantengroei tot gevolg hebben.

5. Habitatgeschiktheid

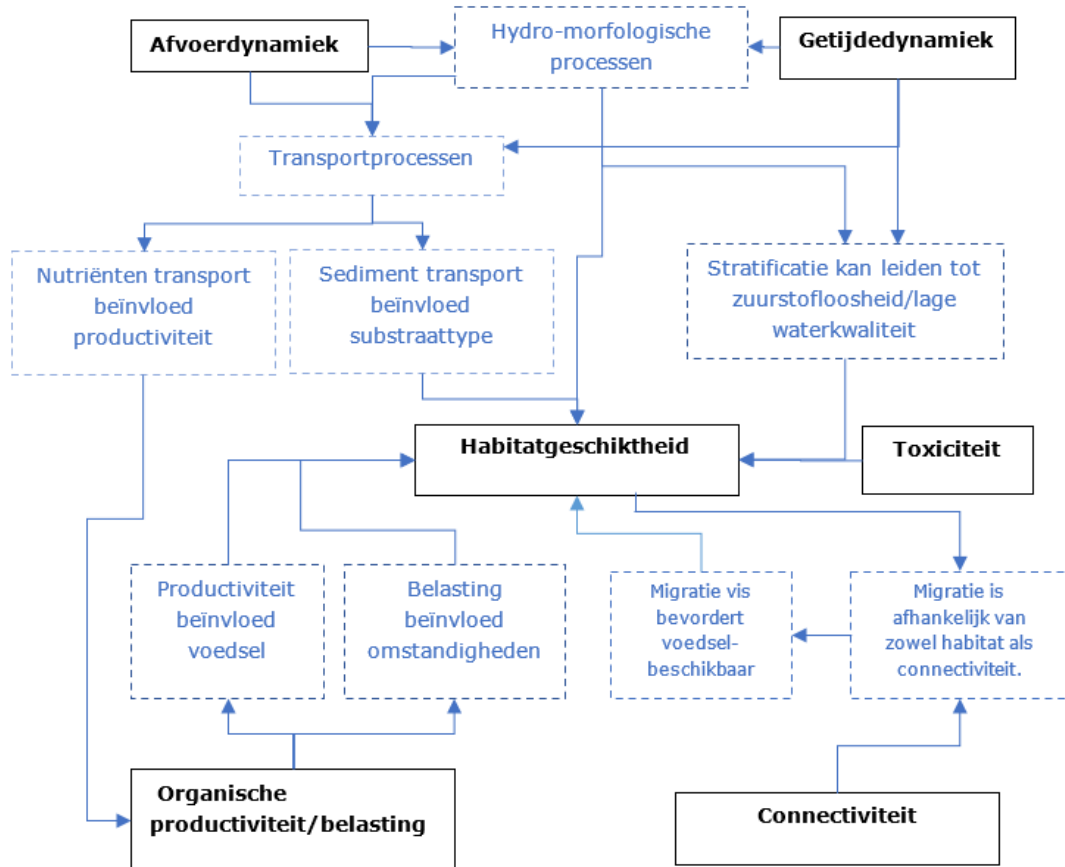
De diversiteit in zoet-, brak- en zoutwaterhabitats van zoet-zoutovergangen vormt de basis voor de habitatgeschiktheid voor allerlei soorten. Organismen stellen eisen aan hun leefomgeving. Deze eisen zijn zowel soort-specifiek als afhankelijk van levensstadia.

De morfologie, diepte, breedte, hellingshoek bodem, en afwisseling hierin, zorgt in een natuurlijk systeem voor diversiteit in leefgebieden die verschillende soorten aantrekt. Natuurlijk substraat, en/of substraattypen spelen hierbij ook een grote rol. Door de aanwezigheid van natuurlijke oevers zullen plantensoorten makkelijker groeien, waarbij vegetatie weer bescherming biedt voor verschillende soorten, die op hun beurt weer voedsel zijn voor andere soorten. Ondiepere oevers, geulen, inhammen, kwelderkreken, kwelders en gebieden achter hard substraat zoals schelpdierriffen vormen luwe gebieden die als habitat kunnen dienen voor (juvenile) vissoorten, en hiermee ook een belangrijk foerageergebied voor piscivore vissen en visetende vogels.

Habitatgeschiktheid valt nauw samen met andere sleutelfactoren. Voedsel voor het voedselweb is belangrijk voor de habitatgeschiktheid en wordt gedeeltelijk beschreven door de sleutelfactor 4. productiviteit/belasting. Habitatgeschiktheid als migratiecorridor voor vissen wordt dan weer beschreven door de sleutelfactor 3. connectiviteit. Voor sommige soorten is de aanwezigheid van brak water ook essentieel wat weer samenhangt met sleutelfactor 1. afvoerdynamiek en 2. getijdendynamiek. Tot slot beïnvloedt ook de aanwezigheid van deze dynamiek, via hydro-morfologische processen zoals (wisselende) stroomsnelheden en overstromingen, de habitatgeschiktheid.

6. Toxiciteit

Chemische stoffen en verontreinigingen in zoet-zoutovergangen kunnen een toxisch effect hebben op aanwezige organismen. Hoge concentratie/langdurige blootstellingen aan deze stoffen kan/kunnen schadelijke effecten hebben, waarvan de hoogte soortafhankelijk is. De status van deze sleutelfactor heeft vervolgens weer invloed op de status van de sleutelfactor 5. habitatgeschiktheid.

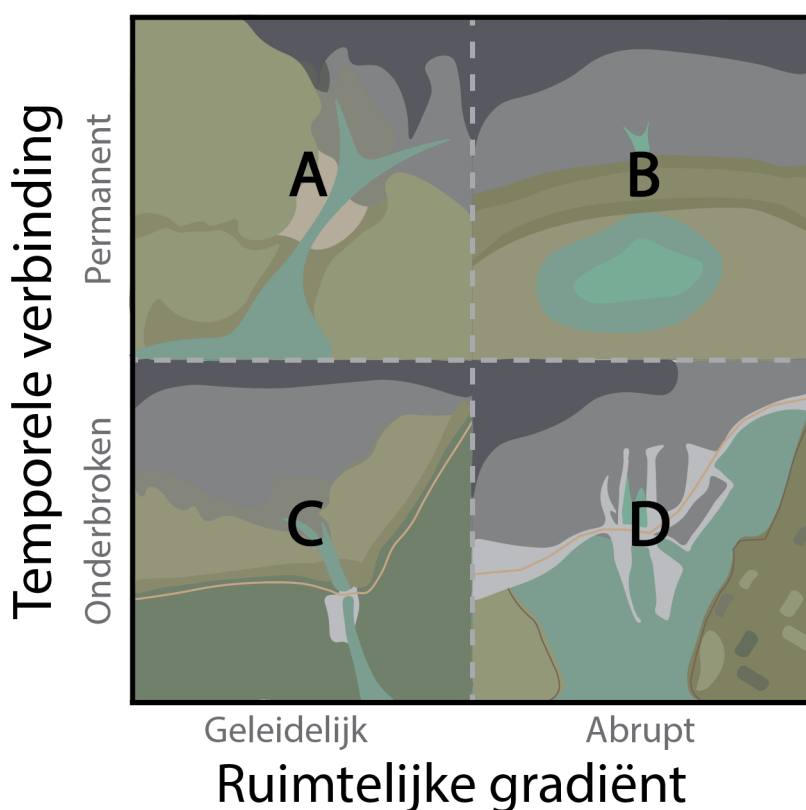


Figuur 4. Gedefinieerde sleutelfactoren voor zoet-zoutovergangen, welke processen hieruit voortkomen en hoe deze elkaar beïnvloeden.

3 Typering en functionering zoet-zoutovergangen aan de hand van sleutelfactoren.

3.1 Typen zoet-zoutovergangen

In deze studie zijn zoet-zoutovergangen getypeerd in vier hoofdgroepen, die zijn gebaseerd op de temporele verbinding tussen zoet en zout (onderbroken of permanent) en de ruimtelijke gradiënt tussen zoet en zout (geleidelijk of abrupt) (**Figuur 5**). Hierbij zijn permanente en tijdelijk onderbroken verbindingen, door kunstwerken (bv. sluizen) of natuurlijke barrières, van elkaar onderscheiden, evenals systemen met een geleidelijke versus abrupte overgang. De verschillende typen zijn verder uitgewerkt in subtypen, op basis van de aanwezigheid en mate van getijdendynamiek en de algehele dimensie van de overgang (die vaak aan elkaar gerelateerd zijn) (Tabel 1). Zo is een permanente geleidelijke overgang onder te verdelen in een estuarium (A1) zoals de Westerschelde of een brakwaterverbindingszone (A2). De typen zoet-zoutovergangen worden hieronder verder toegelicht waarbij ook het functioneren aan de hand van de sleutelfactoren wordt beschreven. De typen zijn grotendeels gebaseerd op eerdere indelingen (de Boer and Wolff, 1996; Philippart and Baptist, 2016).



Figuur 5 Schematisch overzicht van de typen zoet-zoutovergangen. De groenblauwe kleur staat voor zoet of brak water dat naar de donkerder blauw gekleurde zoute zee stroomt.

Tabel 1 Typen zoet-zoutovergangen met abiotische variabelen en voorbeelden uit de Nederlandse kustzone

Type	Naam	Opmerking	Verbinding	Zout- gradiënt	Brak - zone	Getijde dynamiek	Dimensie	Voorbeeld
<i>A – Wateren met een permanente en geleidelijke overgang</i>								
A1	Estuaria	Riviermonding die uitkomt in de zee.	Permanent	Geleidelijk	Breed bij genoeg dynamiek en ruimte.	Aanwezig	Groot	- Eems-Dollard - Westerschelde - Nieuwe waterweg
A2	Brakwater- verbindingszone/ mini-Delta	Aanwezigheid van een zoutgradiënt.	Permanent	Geleidelijk	Kort	Gelimiteerd-aanwezig	Klein	- Toekomstplannen Marnewaard - Vismigratierivier - Afsluitdijk
<i>B – Wateren met een permanente, maar abrupte overgang</i>								
B1	Zoet-zoutwisselingen	Kan bij laag water zoet en bij hoog water volledig zout.	Permanent	Wisselend	Wisselend	Aanwezig	Klein	Duikers kunnen zo'n omgeving creëren. - Polder Breebaart (maar niet volledig zout bij hoog water door continu aanvoer zoet water)
<i>C – Wateren met een tijdelijk verbroken en geleidelijke overgang</i>								
C1	Semi-geïsoleerde geleidelijke overgang	Een tijdelijke/gelimiteerd toegankelijke verbinding wordt gecreëerd tussen zoet en zout door een (aangepast) kunstwerk (gemaal, schutsluis, spuilsuis).	Gedeeltelijk geïsoleerd	Geleidelijk	Kort en Wisselend	Soms gelimiteerd aanwezig	Klein	-Westerwoldse Aa -Grote Polder, Eems-Dollard - Toekomstplannen Balgzandkanaal - Moksloot
<i>D – Wateren met een tijdelijk verbroken en abrupte overgang.</i>								
D1	Semi-geïsoleerde abrupte overgang	Een tijdelijk verbroken verbinding wordt gecreëerd tussen zoet en -zout door een kunstwerk (gemaal, schutsluis, spuilsuis).	Gedeeltelijk geïsoleerd	Abrupt	Afwezig tot kort	Afwezig	Klein	- Bathse spuilsuis - Berge diepsluis - Krammersluizen - Tsjerk Hiddessluizen - Kanaal Gent Terneuzen - Haringvlietsluizen - Paezumerlannen
D2	Supralitorale poelen	Worden alleen overspoeld met springtij en stormen.	Gedeeltelijk geïsoleerd	Abrupt	Wisselend	Afwezig	Klein	Kwelderkreken komen voor op de Waddeneilanden. - Boschplaat - Slufter
D3	Eilandkwelderkreken	Door drempels aan de ingang alleen met hoog water in verbinding met zout water. Bij aanwezigheid van een permanente zoetwaterstroom vaak brak.	Tweedagelijks permanent	Abrupt	Wisselend	Afwezig	Klein	- Klutenplas bij Den Andel - Drijvers Vogelweid De Bol
D4	Binnendijkse brakke wateren	Wordt gevoerd door zoute kwel	Gedeeltelijk geïsoleerd	Wisselend	Aanwezig door kwel.	Uitzonderlijk	Klein	

3.2 Functioneren zoet-zoutovergangen

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste sleutelfactoren omschreven per type zoet-zoutovergang. Om de werkwijze van de sleutelfactoren toe te lichten, is een begin gemaakt om voor elk type zoet-zoutovergang de ecologische status van de sleutelfactoren uit te werken aan de hand van een voorbeeld, als hiervoor genoeg informatie gevonden kon worden (Tabel 2).

Tabel 2 Voorbeelden van de status van ecologische sleutelfactoren per type zoet-zoutovergang. Er is niet voor elke overgang specifieke informatie gevonden over de status van een sleutelfactor. In zo'n geval is er niets ingevuld.

Zoet-zoutovergang	Afvoer-dynamiek	Getijde-dynamiek	Connectiviteit	Organische productiviteit / belasting	Habitat-geschiktheid	Toxiciteit
A1 - Estuaria						
Westerschelde	Verstoord/ Sterk ²	Verstoord/ Sterk ²	Open verbinding ^{1&2}	Organische belasting van natuurlijke en niet-natuurlijke oorsprong	Laagdynamisch litoraal is afgenomen ² . Verbonden met een zoetwater getijdegebied.	Aanwezigheid vervuilende stoffen (zoals PFAS) ³
Nieuwe Waterweg	Sommige periodes laag tot zeer laag (<1000 m ³ /s) ^{4&5}	Verminderde (getij)energie door 'lange rechte goot' van de waterweg ^{4&5}	Open verbinding ¹		Weinig ruimte voor geschikt habitat door veel onnatuurlijk substraat en harde oevers ¹ . Verbonden met een zoetwater getijde gebied	Aanwezigheid vervuilende stoffen
A2 - Brakwater-verbindingszone						
Vismigratierivier in de Afsluitdijk	Water kan (gestuurd) worden afgevoerd als waterstand op IJsselmeer hoger is dan op de Waddenzee ⁷	Gestuurd gedempt getij d.m.v. deuren ⁷	Zowel een doorlaat als een vistrap ter bevordering van vismigratie, zullen zelden tegelijk dicht zijn ⁷		In een groot deel zal sedimentatie plaatsvinden waardoor zacht substraat ontstaat. Enkele delen bevatten minder schuilplaatsen en vis kan hier mogelijk makkelijk ten prooi vallen aan visetende vogels en vissen ⁷	
B1 - Zoetwaterwisseling						
Polder Breebaart	Laag ⁸	Beperkt, door middel van een duiker ⁸	Een vispassage is aanwezig ⁸			
C1 - Semi-geïsoleerde geleidelijke overgang						
Moksloot	Laag	Migratie voor stekelbaars, glasaal via vistrappen	Beperkt door kleine sloot en wanneer stuw open/genoeg zoet waterafvoer		Natuurlijke oevers en kweldervegetatie	
D1 - Semi-geïsoleerde abrupte overgang						
Bathse spuisluis Schelde-Rijn-W'schelde	Verstoord	Afwezig	Matig, grote potentie door aanwezigheid van grote lokstroom en verbinding met visrijke Westerschelde ¹			
Bergse diepsluit Zoommeer-O'schelde	Verstoord	Afwezig	Beperkt	Hoge belasting, die licht is afgenomen door Quagga mossel ⁶	Meer is volledig zoet. Doorzicht (waterkwaliteit) is toegenomen tussen 2008 en 2016 ⁶	
Krammersluizen Volkerak-O'schelde	Verstoord	Afwezig	Beperkt	Hoge belasting, die licht is afgenomen door Quagga mossel ⁶	Meer is volledig zoet. Doorzicht (waterkwaliteit) is toegenomen tussen 2008 en 2016 ⁶	
Haringvliet kier	Verstoord	Afwezig, kieren laat wel beperkt hoeveelheid zout water naar binnen.	Migratie is alleen mogelijk tijdens spuien en kieren, kieren kan alleen bij hoge rivierstanden.			
D2 - Supralitorale poelen						
Paezumerlannen	Laag	Met hoog water	Beperkt/laag in poelen, dagelijks aan de rand		Ruimte voor slikvelden en kwelderbegroeiing,	

				maar verrijging door opslibbing
D3 – Eilandkwelderkreken				
Slufter Texel	Laag, zoete kwel vanuit duin	Sterk	Open verbinding met hoogwater, maar water gedeeltelijk ingeperkt door duinen	Natuurlijke kweldervegetatie en vallei met krekensstelsel met geulen en kreken.
D4 – Binnendijkse brakke wateren				
Klutenplas	Laag/niet	Afwezig	Geen connectiviteit met de zee	Hoogwatervluchtplaats voor vogels, ruimte voor brakwaterplantensoorten

Referenties: ¹Winter et al. 2021, ²Rijkswaterstaat 2019, ³Redactie H2O, 2021, ⁴Beumer et al., 2009, ⁵Kranenburg & van der Kaaij 2019, ⁶Weeber et al. 2018, ⁷van Banning et al., 2018, ⁸Peletier et al., 2004

3.2.1 Type A: Wateren met een permanente en geleidelijke verbinding

Type A is een permanente overgang met een geleidelijke zoet-zoutgradiënt. Type A is verder onderverdeeld in subtype A1 estuarium en subtype A2 brakwaterverbindingszone. De typen A1 en A2 onderscheiden zich met name door het verschil in dimensie. In Nederland zijn er drie zoet-zoutovergangen van type A1; de Westerschelde, de Eems-Dollard en de Nieuwe Waterweg. Deze laatste is het sterkst door mensen beïnvloed (door mensen aangelegd). Type A2 komt zover we weten (nog) niet (meer) voor in Nederland. Wel zijn er plannen om dergelijke overgangen te realiseren bij bijvoorbeeld de Marnewaard (Dankers and Steenberg, 2006).

A1 - Estuaria

Wanneer de **afvoerdynamiek** en **getijdedynamiek** voldoende aanwezig zijn en de dimensie groot genoeg is, kan er een gradiënt aan saliniteit ontstaan met een brakwaterzone (Oost, 2022). In de Westerschelde is door de afname van het wateroppervlak en het uitdiepen van de geulen, de natuurlijke dynamiek verstoord geraakt. Hierdoor worden zandplaten steeds hoger en geulen steeds dieper (Rijkswaterstaat, 2019). Door de grote beweging in het water en aanvoer van nutriënten vanuit de rivier of de zee is de **productiviteit** hoog. Een estuarium kan veel nutriënten verwerken door de hoge dynamiek veroorzaakt door afvoer van de rivier en beweging door het getij en daarmee zuurstof in het water. Echter, als de aanvoer van organisch materiaal te hoog wordt, kan productiviteit omslaan in belasting. Dit was het geval in de Westerschelde in de vorige eeuw toen een hoge hoeveelheid organisch materiaal werd gedumpt, met als gevolg zuurstofloze condities en stervende vissen (Tabel 2) (Moens et al., 2001). Tegenwoordig is deze organische belasting afgenomen. De open verbinding van type A1 biedt vaak voldoende **connectiviteit** tussen de zee, de zoet-zoutovergang en de benedenloop van de rivier, zoals bij Westerschelde. Er zijn echter in het achterland vaak nog vele barrières en andere problemen voor migrerende soorten (Winter et al., 2021). Sommige soorten hebben specifiek zoet getijdewater nodig voor het paaien (Patberg et al., 2005). Wanneer het estuarium de ruimte krijgt met natuurlijke oevers, ontstaan er geulen, inhammen, getijdeplaten, ondiepe luwten en kwelders die **habitat** bieden voor vele organismen. Door harde onnatuurlijke oevers (dammen, dijken) en vaarroutes die verbreed en verdiept worden, is er minder ruimte voor het ontstaan van allerlei typen habitat met hun laagdynamische karakter.

De **toxiciteit** in de Nederlandse estuaria is nog steeds een probleem. De Westerschelde kampt al jaren met verontreinigde stoffen vanwege een diversiteit aan bronnen, zoals emissies vanuit industrie en afvalwaterzuivering. In 2006 zijn bijvoorbeeld dioxinen, zware metalen en PCB's in de hele Westerschelde aangetroffen, met de hoogste concentraties dichtbij Terneuzen en aan de oostkant van het estuarium (Van den Heuvel-Grevel et al., 2006). In recentere jaren is de aanwezigheid van te hoge concentraties aan PFAS aangetoond in de Westerschelde (Redactie H2O, 2021). Dit kan effecten hebben op de habitatgeschiktheid. Door middel van bioaccumulatie kan een stof zich hoger in de voedselketen ophopen waardoor effect concentraties overschreden kunnen worden en negatieve effecten kunnen optreden (Dedert et al., 2015; Van den Heuvel-Grevel and Zabel, 2010; Van den Heuvel-Grevel et al., 2003). Tevens heeft dit een invloed op de voedselveiligheid van gevangen vis en andere voedselproducten afkomstig uit de zoet-zoutovergang.

A2 Brakwater verbindingszone

Omdat de watermassa's in kleinere zoet-zoutovergangen veel kleiner zijn, is er minder dynamiek nodig in **afvoer** en **getij**. Door de beperkte ruimte en de variatie in zoet water afgifte in zoet-zoutovergang type A2, is het uitdagend om een (ruime en permanente) zoutgradiënt en een (ruime en permanente) brakwaterzone te creëren. Dit type zoet-zoutovergang kan een relatief natuurlijke verbinding (**connectiviteit**) vormen voor migrerende vissen die geen nadrukkelijke behoefte hebben aan hoge dynamiek (pers. comm. WMR). Een aantal brakwaterverbindingszones kunnen samen mogelijk bijdragen aan de versterking van de **habitatgeschiktheid** van een groter estuarium. Ook voor het type A2 zoet-zoutovergang is het van belang dat het water de ruimte krijgt met natuurlijke oevers zodat er rietmoerassen kunnen ontstaan en eventueel kwelders en ruimte voor brak- en zoutwaterplanten. Door de geringe omvang van deze zoet-zoutovergang is het niet mogelijk de grote diversiteit van een estuarium te realiseren met alle verschillende typen habitat en soorten. Ook zal dit type zoet-zoutovergang mogelijk minder robuust zijn met extreme weerscondities dan een estuarium. Dit type zou gerealiseerd kunnen worden door de plannen voor de dijkversteving in Marnewaard (Rijkswaterstaat, 2020) of de vismigratierivier bij de Afsluitdijk (Adriaansens and Hooiveld, 2016). Ook is het bij deze overgangstype van belang dat de **toxische** belasting laag blijft.

3.2.2 Type B: Wateren met een permanente en abrupte verbinding

Wateren met een permanente en abrupte overgang kunnen op natuurlijke wijze ontstaan wanneer een beek uitmondt in zee via een verhoging zoals een rotspartij (de Boer and Wolff, 1996). In Nederland komt een dergelijke overgang niet op natuurlijke wijze voor. Wel kan zo'n overgang gecreëerd worden door een duiker of een buis die zoetwater naar zee brengt. Zo'n buis kan dan tijdens laagwater volledig zoet zijn en, afhankelijk van het systeem, met hoogwater volledig zout. Deze zoet-zoutovergang heeft geringe invloed op de omgeving. Vanwege de kleine omvang van deze overgang, zal het weinige zoete water nauwelijks invloed hebben op de grote hoeveelheid zoute water van de zee. Maar binnendijs kan wel een brak gebied ontstaan. Mogelijk speelt deze overgang een kleine rol voor de **connectiviteit** voor een groep vissen die in kleine wateren van het achterland van deze zoet-zoutovergang kunnen overleven, welke soorten dit zouden zijn wordt besproken in H4.1. Een voorbeeld van een type B verbinding is de Polder Breebaart in Noordoost-Groningen waar een aangelegde duiker in de zeedijk zorgt voor een open verbinding tussen de zee en de polder en hierbij ook beperkte getijslag toelaat. Door middel van een vijzel wordt vrijwel continu zoet water aangevoerd, leidend tot een abrupte zoet-brak overgang. Veel kwelders zijn sinds de aanleg in het gebied teruggekeerd door de indringing van het zoute water (Peletier et al., 2004). Ook is het bij deze overgangstype van belang dat de **toxische** belasting laag blijft.

3.2.3 Type C: Wateren met een tijdelijk verbroken en geleidelijke verbinding

Type C beschrijft de zoet-zoutovergangen met een tijdelijk verbroken en geleidelijke overgang. Deze overgang kan ontstaan door een aangepast kunstwerk of aangepast sluisbeheer. Bij de laatste kan bijvoorbeeld de sluis niet alleen opengezet worden voor het spuien van zoet water, maar ook opengezet worden gedurende een periode van het opkomend getij, zodat ook zout water naar binnen kan stromen.

Afvoer en **getij** in zoet-zoutovergang type C kunnen, net als in zoet-zoutovergang type A2, een minder grote rol spelen, omdat het water vaak door een relatief smalle opening moet en ook nog dagelijks of regelmatig gesloten wordt. Wanneer die ruimte niet geboden kan worden is het uitdagend om een (ruime) zoutgradiënt en een (ruime) brakwaterzone te creëren. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het project rond de Kier in het Haringvliet, waar het (zwaardere) zoute water dat binnengelaten wordt in het Haringvliet door de sluisen (nog) nauwelijks mengt met het zoete water (pers. comm. Rijkswaterstaat). Deze zoet-zoutovergang wordt daarom (nog) gekarakteriseerd als een type D. Op kleinere schaal kan op laagdynamische stukken wel een zoet-zoutgradiënt en brakke zone ontstaan (de Leeuw and Meijer, 2003). Dit is het geval bij de Moksloot (Tabel 2). Wel zal door seizoenale verschillen in zoet water aanvoer (regenval) de aanvoer van zoet water niet altijd aanwezig zijn. In de zomer is de toestroom van zoet water laag of afwezig en treedt er verzilting op. Getijdedynamiek kan in vooral grote overgangen voor verbetering zorgen door bijvoorbeeld de aanvoer van nutriënten uit de zee (**productiviteit**) en zuurstofloze condities (tov bijvoorbeeld "normale" sluisen). Deze verbinding levert

bovendien een verbetering voor de **connectiviteit** voor migrerende organismen ten opzichte van "normale" (spui)-sluizen. Een aantal van dit type overgang kunnen mogelijk samen bijdragen aan de versterking van de **habitatgeschiktheid** van een groter estuarium, zoals bijvoorbeeld de zoet-zoutverbinding bij de Westerwoldse Aa kan bijdragen aan de habitatgeschiktheid van het estuarium de Eems (Dankers and Steenberg, 2006). Ook is het bij deze overgangstype van belang dat de **toxische** belasting laag blijft.

3.2.4 Type D: Wateren met een tijdelijk verbroken en abrupte verbinding

De zoet-zoutovergangen met een tijdelijke verbroken en abrupte overgang zijn een grote en diverse groep van zoet-zoutovergangen. Het type D is onderverdeeld in vier subtypen. Subtype D1 zijn *de semi-geïsoleerde abrupte overgangen* die gecreëerd worden door kunstwerken zoals gemalen, schutsluizen en spuisluisen die soms of regelmatig zoet water in het zoute water lozen. Subtype D2 zijn de *supralitorale poelen* die enkel overspoeld raken tijdens springtij of stormen. In de tussentijd wordt het zoutgehalte in de poelen bepaald door de mate van neerslag (laag zoutgehalte) of verdamping (hoog zoutgehalte) (de Boer and Wolff, 1996). Subtype D3 zijn *de eilandkwelderkreken*, die tweedagelijks met hoogwater in verbinding staan met het zoute water. Dit type zoet-zoutovergang kan mogelijk een korte brakwaterzone hebben. Tot slot beschrijft subtype D4 *de binnendijkse brakke wateren*. Dit subtype staat nooit in directie verbinding met de zee en wordt enkel gevoed door zoutwater kwel.

D1 – Semi geïsoleerde abrupte overgangen

Deze overgang wordt vaak gecreëerd door een kunstwerk (gemaal, schutsluizen of een spuisluis), die er voor zorgt dat er geen **getijdendynamiek** in het systeem meer aanwezig is. De **afvoerdynamiek** wordt mede bepaald door het wel of niet openen van het kunstwerk en de grootte van de afvoerstroam. Door de afwezigheid van deze dynamiek, kan **productiviteit** omslaan naar organische belasting. Dit kan leiden tot extreme algenbloei en zuurstofloze condities (zoals in het Volkerak-Zoommeer, die wordt afgesloten door de Krammersluizen, Tabel 2) (Weeber et al., 2018). **Connectiviteit** is laag maar soms wel mogelijk, afhankelijk van het sluisbeheer, vaak wel enkel van zoet water naar zout. Bij de Bathse spuisluis is er een hoge potentie voor het verbeteren van het huidige spuibeleid ter bevordering van de connectiviteit. Er zijn namelijk veel migrerende soorten aanwezig, er is grote getijslag van de Westerschelde en een hoge zoetwaterafvoer in het Schelde-Rijn kanaal die gebruikt kan worden als lokstroom (Griffioen et al., 2017). **Habitat** is afhankelijk van de inrichting van de wateren aan elk kant van het kunstwerk (Zie H5). Habitat met getij of brakwater is in deze overgang altijd afwezig. Ook is het bij deze overgangstype van belang dat de **toxische** belasting laag blijft.

D2, D3 & D4 – Supralitorale poelen, eilandkwelderkreken & binnendijkse brakke wateren

Zoet-zoutovergangen D2 (supralitorale poelen) en D3 (eilandkwelderkreken) zijn beiden zoet-zoutovergangen die ofwel enkel met extreem hoogwater ofwel tweedagelijks overstromen met zout water. Voor D2, D3 en D4 (binnendijkse brakke wateren) zoet-zoutovergangen geldt dat de **dynamiek** laag is (geen rivieruiteinde of menging met rivierwater). Ook de **connectiviteit** is laag omdat er geen (grote) verbinding is met het achterland; hooguit via wat binnendijkse slootjes. Supralitorale poelen zijn uniek vanwege hun soms extreem zoute en dan weer helemaal zoete **habitat**. In eilandkwelderkreken en binnendijkse brakke wateren kunnen wel brakwater- of zoutwaterplantensoorten gedijen vanwege de tweedagelijkse overstroming met zout water. Een voorbeeld is De Slufter op Texel (Tabel 2) waar een rijke kweldervegetatie groeit. In deze slufter is er ruimte voor de zee om met hoogwater naar binnen te stromen waardoor er een krekensysteem is ontstaan. Wel wordt dit gebied, net als de kwelder met supralitorale poelen Paezumerlannen alsnog beperkt door duinen en dijken. De binnendijkse brakke wateren zijn geïsoleerd van de zee omdat ze gevoed worden door zoute kwel. Uiteraard is het in al deze zoet-zoutovergangen van belang voor de ecologie dat de **toxische** belasting laag blijft. Organische belasting kan relatief hoog zijn door bijvoorbeeld omliggende landbouw.

4 Functioneren van zoet-zoutovergangen aan de hand van voorbeeldsoorten

Voorbeeldsoorten kunnen gebruikt worden als indicatie of een zoet-zoutovergang goed functioneert. De meeste habitats zullen aanwezig zijn in een groot estuarium (type A1) met een breed overgangsgebied. Hier verwachten we dan ook dat er veel verschillende soorten kunnen gedijen, mits het estuarium juist is ingericht. In andere zoet-zoutovergangen kunnen minder soorten voorkomen, maar specifieke inrichtingsmaatregelen kunnen het vóórkomen van soorten bevorderen. Voorbeeldsoorten kunnen dan ook gebruikt worden om inrichtingsmaatregelen te monitoren. We bespreken hieronder de voorbeeldsoorten voor vissen, plantensoorten, benthos en vogels. Voorbeeldsoorten zijn het meest uitgebreid uitgewerkt voor vissen, omdat hier vanuit de opdrachtgever de grootste vraag naar was.

4.1 Vissen

Voorbeeldsoorten voor vissen zijn geselecteerd op basis van hoe belangrijk zoet-zoutovergangen zijn voor een populatie en op het deel van een populatie gebruik maakt van een zoet-zoutovergang. Een voorbeeld van deze aanpak is te zien in Figuur 5.2 in (Griffioen et al., 2017). Er zijn voor elk overgangstype een aantal soorten uitgekozen die relatief makkelijk in een gebied te krijgen zijn en soorten die veeleisender zijn.

Voorbeeldsoorten voor vis zijn in Tabel 3. Benoemd. Hierin is aangegeven tot welke Gilde ze behoren. Een Gilde is een groep van soorten die hetzelfde milieu gebruiken op een min of meer vergelijkbare manier (Austen et al., 1994). Hier wordt onderscheid gemaakt tussen vissen die migreren tussen zoet en zout water (diadrome soorten), soorten die thuishoren in het estuariene milieu (estuariene resident) en soorten waarvan de juvenielen opgroeien in estuaria maar, wanneer volwassen, naar de zee trekken (marien juveniel). Verder wordt uiteengezet welke habitateisen vissen aan een overgang stellen en welke typen zoet-zoutovergangen mogelijk bruikbaar zijn voor deze soort. Het is uiteraard van belang dat er een gezonde populatie aanwezig is van een soort. Verder wordt aangegeven hoeveel belang een soort heeft bij (de te gebruiken) overgang(en) aan de hand van twee waarden die zijn beschreven in Griffioen et al, 2017; de corridorfunctie (CF) en de habitatfunctie (HF). Hierbij wordt een score van tussen de 1 (minder belang) en 5 (meer belang) gebruikt. Met de corridorfunctie (CF) wordt aangegeven hoe groot het belang van een soort is om door een zoet-zoutovergang heen te migreren, en hoe afhankelijk de gehele populatie hiervan is. Met de habitatfunctie (HF) wordt aangegeven hoe groot het belang is van een soort om (tijdens een of meerdere levensstadia) gebruik te maken van zoet-zoutovergangen, en hoe afhankelijk de gehele populatie hiervan is.

Fint laat de hoogste habitat- en corridorfunctie scores zien, en kan door zijn specifieke habitateisen alleen voorkomen in overgangstype A. Dit doordat deze soort een sterke getijdendynamiek nodig heeft voor de ontwikkeling van de eitjes en larven. Belangrijk hierbij is dat er goede zuurstofcondities aanwezig zijn (Winter et al., 2021). Elft heeft weer minder sterke habitateisen maar heeft juist meer baat bij het verbeteren van de connectiviteit, en zal zich daarom ook alleen vestigen in type A.

De rivier- en zeeprink hebben een hoge score op corridorfunctie, maar een redelijk lage score op habitatfunctie. Toch stellen de soorten eisen aan het type substraat, waardoor deze soorten baat hebben bij zowel het verbeteren van de connectiviteit als de habitatkwaliteit en kunnen ze gebruik maken van meerdere overgangstypen (Tabel 3, pers. Comm. WMR medewerker).

De grootste kansen voor de terugkeer van migrerende vis in Nederland, als resultaat van natuurbeheer is eerder omschreven in Winter et al 2021. Hieruit blijkt dat kleine migrerende soorten, zoals spiering, driedoornige stekelbaars, glasaal (paling) en kleine estuariene soorten zoals bot en grondels, vooral baat hebben, en mogelijk kunnen toenemen, bij het verbeteren van de kwaliteit van de verbindingen

(Tabel 3). Dit zou betekenen dat het verbeteren van de sleutfactor connectiviteit bij overgang C en D de meeste kansen biedt. Hierbij wordt vervolgens het voedselaanbod voor andere (N2000) soorten vergroot, zoals visetende vogels en piscivore vissen, en kan dit bijdragen aan de habitatkwaliteit. Grotere diadrome soorten waarbij de verbetering van connectiviteit mogelijk ook invloed zal hebben zijn: Noordzeehouting, de rivierprik en de zeeforel. Voor deze soorten is echter wel een lokstroom nodig wat afhangt van de afvoerdynamiek (Winter et al., 2021).

Tabel 3 Overzicht voorbeeldsoorten vissen per zoet-zoutovergangstype (zie Tabel 1). In grijs staat aangegeven of de voorbeeldsoort voor zou kunnen komen in desbetreffende zoet-zoutovergang. Een score van tussen de 1 (minder belang) en 5 (meer belang) is gegeven voor zowel de corridorfunctie (CF) als de habitatfunctie (HF). De genoemde soorten behoren tot een/enkele van de volgende gildes: CA = diadrome soorten, ER = estuarien resident, MJ = marien juveniel.

Soort	CF	HF	Gilde	Habitatseisen	A1	A2	B	C	D1	D2-D4
Fint (<i>Alosa fallax</i>)	5	5	CA	- Aanwezigheid van getijdendynamiek in zoet water voor de voortplanting - Goede waterkwaliteit met voldoende zuurstof - Planktivoren, dus hebben een productief systeem nodig - Connectiviteit voor migratie						
Diadrome houting* (<i>Coregonus oxyrinchus</i>)	3	2-3	CA,ER	- Niet veeleisend - Lokstroom en verschil in zoutgehalte nodig bij passage van kunstwerken.						
Europese steur (<i>Acipenser sturio</i>)	5	4		- Jonge steur gebruiken estuaria als opgroeigebied - Vereist goede connectiviteit met snelstromende bovenloop met grind substraat						
Diadrome spiering (<i>Osmerus eperlanus</i>)	5	3	CA	- Zoet water nodig om te paaien (kan zowel stromend als stilstaand). - Connectiviteit is belangrijk voor diadrome populatie - Hebben aan de zoetwaterkant een redelijk tot grote dimensie aan water nodig (diep/breed)						
Jonge bot (<i>Platichthys flesus</i>)	4	1	ER	- Paait in zout water maar groeit op in brak/zoet, er moet dus een goede connectiviteit zijn voor juvenielen om binnen te komen.						
Atlantische zalm (<i>Salmo salar</i>)	5	1	CA	- Geen sterke habitatseisen aan overgang - Goede connectiviteit is noodzakelijk						
Elft (<i>Alosa alosa</i>)	5	3	CA	- Geen sterke habitatseisen aan overgang - Goede connectiviteit is noodzakelijk - Voor voortplanting hebben ze hogerop in de rivier een kiezelbodem nodig.						
Driedoornige stekelbaars (<i>Gasterosteus aculeatus</i>)	1	1	CA	- Geen bijzondere habitatseisen						
Diadrome driedoornige stekelbaars (<i>Gasterosteus aculeatus</i>)	5	1	CA	- Geen bijzondere habitatseisen						
Paling (<i>Anguilla anguilla</i>)	3	1	CA	- Goede connectiviteit; heel belangrijk dat de connectiviteit zowel richting zee als richting land goed is.						
Kleine kornaarvis (<i>Atherina presbyter</i>)	1	4	MJ	- Groeit op in brakwater, maar kan niet tegen zoet.						
Zeeforel (<i>Salmo trutta</i>)	3	2-3	CA	- Grote zouttolerantie - Goede connectiviteit met de bovenloop van de rivier, die snelstromend is en grind bevat voor paaien						
Zwarte grondel (<i>Gobius niger</i>)	1	4		- Indicatorsoort voor langdurige aanwezigheid van gradiënt/brakwater systeem						
Puitaal (<i>Zoarces viviparus</i>)	1	4		- Indicatorsoort voor langdurige aanwezigheid van gradiënt/brakwater systeem						
Rivierprik (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	5	2	CA	- Stromend water met hard substraat/grof zand om te kunnen paaien - Aanwezigheid van relatief kleine beekjes en stroompjes - Tegenstroom-snelheden mogen niet te groot zijn (vooral bij kleine overgangen zoals buizen en duikers).						
Zeeprik (<i>Petromyzon marinus</i>)	5	1	CA	- Stromend water met hard substraat/grof zand om te kunnen paaien - Aanwezigheid van relatief kleine beekjes en stroompjes - Tegenstroom-snelheden mogen niet te groot zijn (vooral bij kleine overgangen zoals buizen en duikers).						

*Klassering is bepaald op de diadrome populatie van deze soort.

4.2 Planten

Voorbeeldsoorten voor de plantensoorten zijn gehaald uit de Natura 2000 habitatrictlijn (Tabel 4). Wanneer er een brak gebied ontstaat door aanleg van een zoet-zoutovergang zal in Nederland met name habitat-type 1330: schorren en zilte graslanden toenemen, met bijbehorende plantensoorten en associaties van plantensoorten (zie voor een overzicht (Natura 2000, 2008a)). Een dergelijk gebied kent algemene soorten zoals riet en heen. Wanneer een dergelijk gebied binnendijks ontstaat (binnendijkse brakke wateren), zal er mogelijk ruwe bies groeien. Ook planten en plantenassociaties uit typen 1310 (zilte pionierbegroeiing; (Natura 2000, 2008b)) en 1320 (slijkgrasvelden (Natura 2000, 2008c)) kunnen verwacht worden. Deze planten kunnen groeien op geschikt gebied langs estuaria (A), eventueel brakke gebieden langs semi-geïsoleerde geleidelijke overgangen (C) maar ook op bijvoorbeeld eilandkwelderkeken of bij binnendijkse brakke wateren (D). Eilandkwelders (D3) kunnen een scala aan verschillende plantensoorten hebben vanwege de zoutgradiënt in de bodem van de zoute waterrand naar de zoetere duinen. Het landschap begint dan met kwelders met pionierbegroeiing, slijkgrasvelden en schorren en kan overlopen in rietmoeras en stuifduinen (Elschot et al., 2020). Langs het vasteland bij de Waddenzee worden kwelders begrensd door een dijk, en kan dus niet het scala aan plantensoorten tot aan rietmoeras en stuifduinen over de zoutgradiënt ontwikkelen. De begroeiing blijft dan beperkt tot kwelderplanten.

Planten uit habitattype 1130 (estuaria; met name associaties van klein en groot zee gras (Natura 2000, 2016)) kunnen voornamelijk verwacht worden in estuaria (A1). Groot zee gras *Zostera marina* en klein zee gras *Zostera noltii* waren ooit veelvoorkomende soorten. Tegenwoordig komen ze nog sporadisch voor, alhoewel zee grasvelden weer iets zijn toegenomen in de Waddenzee (Elschot et al., 2020; van der Eijk, 2021). Klein zee gras komt vooral voor in het droogvallend intergetijdengebied (De Los Santos et al., 2010). Groot zee gras komt zowel voor in het intergetijdengebied als in gebieden die permanent onder water staan.

Ontwikkeling van planten langs zoute en brakke oevers is, naast dat er ruimte geboden moet worden aan natuurlijke oevers, afhankelijk van een aantal andere factoren. Zo kunnen de zaden van schorren en zilte graslandplanten, zilte pionierbegroeiing en slijkgrasvegetatie bijvoorbeeld enkel ontkiemen op plekken waar niet teveel erosie is maar ook niet teveel sedimentatie (Hu et al., 2015). Zaden worden dan namelijk ofwel weggespoeld ofwel begraven. Verder moet de dynamiek van golven niet te hoog zijn (Baptist et al., 2021; de Vlas, 2004; Elschot et al., 2020). Hiervoor kunnen eventueel rijshoutendammen geplaatst worden tegen golfslag (de Vries and de Jong, 2000). Nutriëntenaanvoer is over het algemeen hoog, doordat slib wordt aangevoerd met het getij. Kwelderplanten kunnen hier goed op groeien en slaan hiermee koolstof op (Burden et al., 2019). Mogelijk geschikte condities voor het voorkomen van zee gras werden bestudeerd in een uitgebreide studie naar 84 Noordwestelijke Europese wateren. Hieruit bleek dat het voorkomen van groot zee gras is gelinkt aan de helderheid van het water, waterkwaliteit en zuurstof in de bodem, terwijl het voorkomen van klein zee gras vooral is gelinkt aan de plek in het intergetijdengebied (van der Heide et al., 2009).

Tabel 4 Natura 2000 habitattypen, voorbeeld plantensoorten en voorkomen in typen zoet-zoutovergangen

Habitattype	Plantensoorten	Type zoet-zoutovergang
Estuaria	Klein en groot zee gras	A,
Schorren en zilte graslanden	Riet, heen, ruwe bies (binnendijks)	A, C, D (met name 2-4)
Zilte pioniersbegroeiing	Zee kraal, Engels slijk gras	A, C, D (met name 2-4)
Slijkgrasvelden	Kwelder gras, rood zwenk gras, zee-aster (zulte)	A, C, D (met name 2-4)

4.3 Benthos

Wolff heeft in de jaren '70 een indeling ontwikkeld die is voortgekomen uit bemonstering en analyse van macrobenthos in de estuaria van de Zuidwestelijke Delta in de jaren 1958-1970 (Wolff, 1973)(Tabel 6). Hij maakte een onderverdeling in tien verspreidingstypen van soorten variërend van stenohaline mariene soorten (beperkte tolerantie voor zoutfluctuaties), via mariene soorten, die sterk brakke tot brakke omstandigheden tolereren, tot estuariene en zoetwatersoorten. Tabel 5 Geeft weer welk verspreidingstype er bij welke zoet-zoutclassificering voorkomt. Door Tabel 6 en met elkaar te vergelijken kan er worden nagegaan welke soorten er in welk overgangstype verwacht kunnen worden, indien aan andere habitateisen wordt voldaan. Hier is te zien dat het hele scala aan soorten voor kan komen in zoet-zoutovergang type A. Dit is ook de enige zoet-zoutovergang waarbij soorten kunnen voorkomen die zoet getijdenwater nodig hebben. Voor alle zoet-zoutovergangen geldt dat er soorten kunnen voorkomen die een zout milieu nodig hebben (saliniteit>27 psu).

Tabel 5 Verspreidingstypen van soorten met voorbeelden van taxa in de estuaria van de Zuidwestelijke Delta naar Wolff (1973).

Verspreidingstypen	Voorbeeldsoorten	Classificatie phylum/orde	Nederlandse naam
1. Offshore soorten	- <i>Corymorpha nutans</i>	-Cnidaria, Anthoathecata	-een soort van de hydroïdpoliepen orde
2. Soorten die voorkomen zowel offshore als in de monding van de estuaria	- <i>Phyllodoce groenlandica</i>	-Annelida, Polychaeta	-een soort van de borstelwormen orde
	- <i>Ophelia borealis</i>	-Annelida, Polychaeta	-een soort van de borstelwormen orde
3. Soorten die voorkomen zowel offshore als in de mondingsgebieden (saliniteit > 27 psu)	- <i>Aricidea minuta</i>	-Annelida, Polychaeta	-een soort van de borstelwormen orde
4. Soorten die voorkomen zowel in een smalle strook langs de kust als in estuaria (saliniteit >18 psu)	- <i>Cerastoderma edule</i>	-Mollusca, Bivalvia	-kokkel
	- <i>Phyllodoce maculata</i>	-Annelida, Polychaeta	-gestippelde dieseltrein worm
	- <i>Capitella capitata</i>	-Annelida, Polychaeta	-slangpier
	- <i>Arenicola marina</i> (getijdenwateren)	-Annelida, Polychaeta	-zeepier/wadpier
5. Soorten die voorkomen zowel in een smalle strook langs de kust als in estuaria (saliniteit >5.4 psu)	- <i>Limecola balthica</i>	-Mollusca, Bivalvia	-nonnetje
	- <i>Heteromastus filiformis</i>	-Annelida, Polychaeta	-rode draadworm
6. Soorten die hoofdzakelijk voorkomen in de brakke delen van het estuarium	- <i>Hediste diversicolor</i>	-Annelida, Polychaeta	-veelkleurige zeeduizendpoot
	- <i>Boccardiella ligERICA</i>	-Annelida, Polychaeta	-een soort van de borstelwormen orde
	- <i>Streblospio shrubsolii</i>	-Annelida, Polychaeta	-een soort van de borstelwormen orde
7. Soorten die voorkomen in de brakke en zoete getijdenwateren van het estuarium	- <i>Mercuria similis</i>	-Mollusca, Gastropoda	-getijslakje
	- <i>Gammarus zaddachi</i>	-Arthropoda, Amphipoda	-een soort van de vlokreeftjes orde
8. Soorten die voorkomen in zoete getijdenwateren	- <i>Perforatella rubiginosa</i>	-Mollusca, Gastropoda	-een soort van de slakken orde
9. Soorten die voorkomen zowel in de rivier als in de zoete getijdenwateren	- <i>Pisidium</i>	-Mollusca, Bivalvia	-een soort van de tweekleppigen orde
	- <i>Sphaerium</i>	-Mollusca, Bivalvia	-een soort van de tweekleppigen orde
	- <i>Unio</i>	-Mollusca, Bivalvia	-een soort van de tweekleppigen orde
10. Migrerende soorten	- <i>Crangon crangon</i>	-Arthropoda, Decapoda	-noordzeegarnaal/gewone garnaal
	- <i>Liocarcinus holsatus</i>	-Arthropoda, Decapoda	-gewone zwemkrab
	- <i>Eriocheir sinensis</i>	-Arthropoda, Decapoda	-Chinese wolhandkrab

Voor de voorbeeldsoorten zijn de namen gehanteerd als gepubliceerd op <https://www.marinespecies.org/>

Tabel 6 Voorkomen verschillende typen benthos per zoet-zoutovergang. In grijs staat aangegeven of de voorbeeldsoort voor zou kunnen komen in desbetreffende zoet-zoutovergang.

Soorten	A	B	C	D
1. Offshore (verder van de kust) soorten				
2. Soorten die voorkomen zowel offshore als in de monding van de estuaria				
3. Soorten die voorkomen zowel offshore als in de mondingsgebieden (saliniteit > 27 psu)				
4. Soorten die voorkomen zowel in een smalle strook langs de kust als in estuaria (saliniteit > 18 psu)				
5. Soorten die voorkomen in een smalle strook langs de kust evenals in estuaria (saliniteit > 5.4 psu)				
6. Soorten die hoofdzakelijk voorkomen in de brakke delen van het estuarium				
7. Soorten die voorkomen in de brakke en zoete getijdenwateren van het estuarium.				
8. Soorten die voorkomen in zoete getijdenwateren				
9. Soorten die voorkomen zowel in de rivier als in de zoete getijdenwateren				
10. Migrerende soorten				

4.4 Vogels

Voor vogels maken we onderscheid tussen vogels van het Natura 2000 habitatype estuaria en een aantal visetende vogels. Vogels uit habitatype 1130 Estuaria zijn soorten die met laagwater foerageren op droogvallende platen van een estuarium (type A1). Voor de meeste van deze soorten is getij nodig met droogvallende zandplaten waar bodemdieren voorkomen. Sommige soorten zullen enkel (in grote getale) worden verwacht in grotere estuaria verder van de kust waar de ruimte is voor getijdeplaten om te ontstaan. Een voorbeeldsoort is de schelpdieretende kanoetstrandloper. Andere soorten kunnen ook voorkomen bij andere zoet-zoutovergangen, met name aan de zoute zijde maar enkel wanneer de zoet-zoutovergang wordt benut voor (flinke) habitatverbetering. Op het moment dat er diversiteit in habitat wordt geboden, het water de kans krijgt om te meanderen en er (droogvallende) zout-brakwaterplassen en riviertjes ontstaan, kunnen er vogelsoorten op afkomen. Dit zijn bijvoorbeeld soorten als scholekster, strandplevier, wulp, zilverplevier, rosse grutto, tureluur, bonte strandloper en kluut. Kluten zijn soorten die vooral op slijkige platen foerageren en zij kunnen hiernaast dan ook gezien worden in binnendijkse brakke wateren (Tabel 7).

Vis- (en garnaal-)etende vogels kunnen zowel in estuaria als in kleinere zoetzoutovergangen voorkomen (Tabel 7). Voorbeeldsoorten voor visetende vogels zijn aalscholver, lepelaar, middelste zaagbek, dodaars, ijsvogel en grote stern. Aalscholwers duiken individueel of in groepen naar vis (van Eerden and Voslamber, 1995; Wilson et al., 1999). Deze soort kan ook foerageren voor sluizen waar migrerende vis afkomt op een zoete lokstroom of waar zoetwatervis naar buiten gespuid wordt. Lepelaars waden door ondiep water op zoek naar naar kleine vis in zowel zoet, brak als zout water (El-Hacen et al., 2014; Enners et al., 2020). Deze soort heeft ondiepe oevers, sloten en moerassen nodig om te foerageren, en kan als dit ondiepe habitat geboden wordt in principe bij zoet-zoutovergangen voorkomen (Natura 2000, 2008d). Middelste en grote zaagbekken zijn vaak te vinden aan weerszijden van zoet-zoutovergangen waarbij grote zaagbekken vaak aan de zoete kant en middelste zaagbekken aan de zoute kant te vinden zijn. IJsvogels zijn te vinden bij langzaamstromend visrijk zoet en zout helder water (Natura 2000, 2008e). Dodaarzen, maar ook futen, gebruiken uiteinden van duikers als overwinteringsplek, omdat de dichtheid aan stekelbaarzen daar vrij hoog kan zijn (pers. Comm. WMR medewerkers). Grote sterns zijn visetende vogels die niet of nauwelijks foerageren in zoet-zoutovergangen, maar die wel broeden of rusten op zandplaten in bijvoorbeeld de Westerschelde (Natura 2000, 2008f).

Over het algemeen geldt voor veel vogelsoorten dat diversiteit in het landschap rond een zoet-zoutovergang van groter belang is dan bijvoorbeeld een brakwaterzone of connectiviteit. Hiermee kan zelfs bij een spuisluis of gemaal dan ook al goede natuurwinst behaald worden, zoals te zien is bij de Prins-Hendrikzandijk langs de Texelse Waddenkust. Hier is aan de Waddenkust bij twee gemalen een gebied aangelegd waar het gespuide water uitkomt achter een zandtong. Deze zandtong biedt luwte en het getij legt delen van het zand droog. De diversiteit in het habitat heeft nu een variëteit aan vogels getrokken (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, 2021). Wel blijven de grotere estuaria voor de meeste soorten geschikter habitat met meer foerageermogelijkheden voor met name de vogels die foerageren op droogvallende platen.

Tabel 7 Mogelijk voorkomen vogelsoorten per zoet-zoutovergang

In grijs staat aangegeven of de voorbeeldsoort voor zou kunnen komen in desbetreffende zoet-zoutovergang. Lichtgrijs is gebruikt als er een relatief grote inspanning gedaan moet worden wat betreft inrichtingsmaatregelen voordat soorten hier kunnen worden aangetroffen.

Soorten	A	B	C	D	Broedvogel
Bonte strandloper (<i>Calidris alpina alpina</i>)					
Kluut (<i>Recurvirostra avosetta</i>)					
Kanoetstrandloper (<i>Calidris canutus</i>)					
Scholekster (<i>Haematopus ostralegus</i>)					
Tureluur (<i>Tringa totanus</i>)					
Wulp (<i>Numenius arquata</i>)					
Rosse grutto (<i>Limosa lapponica</i>)					
Strandplevier (<i>Charadrius alexandrinus</i>)					ja
Zilverplevier (<i>Pluvialis squatarola</i>)					
Aalscholver (<i>Phalacrocorax carbo</i>)					
Lepelaar (<i>Platalea leucorodia</i>)					
Middelste zaagbek (<i>Mergus serrator</i>)					
IJsvogel (<i>Alcedo atthis</i>)					
Dodaars (<i>Tachybaptus ruficollis</i>)					
Futen (<i>Podicipedidae</i>)					
Grote stern (<i>Thalasseus sandvicensis</i>)					ja

5 Mogelijke inrichtingsmaatregelen

Om de ecologische potentie van een zoet-zoutovergang te vergroten kunnen verschillende maatregelen genomen worden. Welke maatregel passend is en of de maatregel het gewenste effect heeft, zal per gebied en per voorbeeldsoort verschillend zijn en hangt onder andere af van de (lokale) omstandigheden. Van belang is dan ook om voldoende kennis te hebben van de specifieke situatie, zodanig dat de maatregelen hierop afgestemd zijn om het gewenste effect te bereiken (specifieke voorbeelden: (Dankers and Steenbergen, 2006)).

Mogelijke inrichtings- en beheermaatregelen zijn per sleutelfactor omschreven. Inrichtingsmaatregelen zijn bepaald op basis van expertoordeel en recent uitgevoerde inrichtingsmaatregelen bij zoet-zoutovergangen.

1. Afvoerdynamiek (rivier)

- **Creëren natuurlijke oever en meandering:**
Dit veroorzaakt afwisseling in stroomsnelheden, waardoor er zowel gebieden met snelle stroming ontstaan, waar transport van sediment en stoffen kan plaatsvinden, als gebieden met een trage stroming, wat habitat (luwte) biedt voor organismen. Wanneer er te weinig ruimte is voor meandering kunnen stromingsluwe inhammen gecreëerd worden (van Vossen and Verhagen, 2009).
- **Creëren permanente zoetwaterstroom:**
Een permanente zoetwaterstroom kan op verschillende manieren gecreëerd worden. Een manier is om boezemwateren met elkaar te verbinden zodat er meer zoetwater naar één uitstroompunt wordt geleid. Het voordeel is dat er ook in droge zomers een continue zoetwaterafvoer aanwezig is. Een ander voorbeeld is de vismigratierivier in de Afsluitdijk waar een permanente zoetwaterafvoer wordt gerealiseerd.

2. Getijdedynamiek (zee)

- **Introductie gedempt getij:**
Het introduceren van gedempt getij kan door middel van doorlaatmiddelen, innovatief sluisbeheer of het aanleggen van een drempel (Wallis et al., 2017). In Nederland zal dit te allen tijde echter enkel onder strenge voorwaarden kunnen plaatsvinden. Zoet water mag namelijk vaak niet te brak worden in verband met waterwinning en landbouw. De mate van gedempt getij hangt ook samen met sleutelfactor 1. afvoerdynamiek (zie inrichtingsmaatregelen 3. Connectiviteit innovatief sluisbeheer). Een voorbeeld waar de introductie van gedempt getij wordt verkend is het Grevelingenmeer (www.getijgrevelingen.nl). Het Grevelingenmeer is echter al wel zout, dus hier is geen sprake van inrichtingsmaatregelen voor een zoet-zoutovergang.
Wanneer er genoeg ruimte geboden kan worden in een gebied aan de getijdedynamiek door ruimte en natuurlijke oevers kan habitatgeschiktheid voor veel soorten verbeteren (bijvoorbeeld door toename intergetijdezone).

3. Connectiviteit

- **Inlaten zout water:**
Toestaan van (beperkt) inlaten van zout water en aanleg van zoutriolen voor de afvoer van zoutwater (voorbeeld: Haringvliet monding, zie uitleg (Tiessen and Kranenburg, 2019) en bij de Afsluitdijk).
- **Aanpassen spuibeheer (bij afgaand water):**
Aanpassen van het spuibeheer verbetert de connectiviteit van zoet naar zout, door creëren van een meer geleidelijke overgang, meer dynamiek of verbeterde waterkwaliteit. Belangrijke randvoorwaarde is dat de waterstand niet te laag mag zijn in verband met scheepvaart of zoetwatervoorziening. In 2017 is er bij de Bathse Spuisluis een alternatief spuibeheer ingevoerd

waarbij de waakdeur en de schuif twee keer per dag tegelijk open worden gezet, hierdoor ontstaat er gedurende 10 minuten een directe doorgang voor vis (Griffioen et al., 2017).

- **Innovatief sluisbeheer (bij opkomend water):**

Innovatief sluisbeheer ("kieren") vergroot het tijdsvenster waarin een obstakel gepasseerd kan worden, dit is vooral belangrijk voor zwakke zwemmers die afhankelijk zijn van de getijdestroming om te migreren. Ook zorgt het kieren bij spuisluisen ervoor dat de migratie twee kanten kan plaatsvinden. Er zitten aan sluisbeheer vaak strenge randvoorwaarden verbonden, vooral met betrekking tot de hoeveelheid zout water die binnen gelaten mag worden in verband met drinkwaterwinning en landbouw. Dit maakt het kieren op momenten met een lage rivierafvoer moeilijk/onmogelijk. Doordat de hoogte van de rivierafvoer seizoensafhankelijk is, zal er op sommige momenten in het jaar meer gekierd kunnen worden dan op andere momenten. Dit terwijl intrek van sommige soorten juist belangrijk is in bepaalde seizoenen. Vanwege bovengenoemde redenen is innovatief sluisbeheer niet vanzelfsprekend een maatregel die ook bijdraagt aan sleutelfactor 2. Getijdedynamiek & 6. Habitatgeschiktheid, doordat er vaak niet genoeg dynamiek kan worden geïntroduceerd om grote watermassa's te laten mengen tot brakwaterzones of getijde te laten gebeuren. Een voorbeeld is het innovatief sluisbeheer van het Haringvliet (Hanon et al., 2021).

- **Plaatsen van vispassages:**

Voor migrerende soorten is het belangrijk dat er voldoende doorlaatmiddelen aanwezig zijn in de overgang. Hiervoor kunnen vismigratievoorzieningen aangelegd worden bij dam of kunstwerk van type C en D (verbeteren connectiviteit). Een voorbeeld is de aanleg van de vismigratierivier bij de Afsluitdijk (Adriaansens and Hooiveld, 2016).

- **Locatie vispassages slim bepalen:**

In het Haringvliet is geobserveerd dat bepaalde vissen dezelfde geulen herhaaldelijk gebruiken om bij de dam te komen (pers. comm. Rijkswaterstaat), door voorafgaand een monitoringsprogramma uit te voeren kan worden nagegaan waar deze gebruikelijke migratieroutes liggen.

- **Creëren van een lokstroom:**

Voor veel vissoorten is het belangrijk dat er een goede lokstroom van zoet water aanwezig is, deze moet voldoende groot zijn anders kunnen de vissen de ingang naar de rivier niet vinden. Een voorbeeld van een lokstroom is in de Haringvlietdam waar een lokstroom vlak voor het inlaten van zout water wordt gecreëerd. Op deze manier worden vissen al naar de opening gelokt en kunnen zij optimaal gebruik maken van de tijd dat de passage open is (Griffioen et al., 2017). De grootte van een lokstroom hangt af van sleutelfactor 1. Afvoerdynamiek.

- **Verwijderen van obstakels (dammen etc.):**

Voor migrerende vissen zijn er enorm veel obstakels die de verbinding tussen de zee en gebieden in het achterland verhinderen. Dit zijn niet alleen de directe verbindingen tussen het zoete en het zoute water. Het verwijderen van deze obstakels of het bieden van alternatieven verbetert de mogelijkheid voor migratie.



Figuur 6 Prins-Hendrikzanddijk bij Texel. Na inrichtingsmaatregelen is er met een zandtong een inham gecreëerd (links; satellietfoto van satellietdataportal.nl) waar het zoete water vanuit eenemaal gepompt wordt (rechts; foto Mardik Leopold).

4. Organische Productiviteit/belasting

- **Aanvoer nutriënten limiteren:**

In stilstaande wateren (zoals het Volkerak-Zoommeer) kan de aanvoer van nutriënten te hoog zijn. Wanneer er geen verandering mogelijk is in de afvoerdynamiek of getijdendynamiek om productiviteit te verhogen (zie 1. en 2.), kan gepoogd worden de aanvoer van nutriënten te limiteren. Hier kan gedacht worden aan beleid ten opzichte van stikstofuitstoot of bemesting op (aanliggende) landerijen of het creëren van een bufferzone tussen landbouw en oever.

- **Aanpassen zuiveringsbeleid op Rioolwaterzuiveringsinstallaties**

Door een goed zuiveringsbeleid zal het zoete water van verbeterde kwaliteit worden wat de habitatgeschiktheid verbetert.

5. Habitatgeschiktheid

- **Creëren Brakwaterzone:**

Een brakwaterzone biedt habitat voor specifieke brakwatersoorten. Brakwaterzones komen voor in estuaria met voldoende dynamiek (Overgang A) en ruimte voor het water om te mengen. Brakwaterzones kunnen ook gecreëerd worden in kleinere zoet-zoutovergangen (Overgang A2 of D). Hier is in principe minder dynamiek nodig voor het mengen en verkrijgen van een brakwaterzone. Wel is er altijd een verschil in aanvoer van zoet water door het jaar heen. In de zomer zal er minder water komen van rivieren of sluisen dan in de winter. Brakwater ontstaat ook door een zoute kwel of in bijvoorbeeld eilandkwelderkreken of supralitorale poelen. Zulke plekken kunnen ook geschikt zijn voor typische brakke soorten zoals bijvoorbeeld de brakwaterkokkel (*Cerastoderma glaucum*) die is gezien in één van de kreken in de Slufter op Texel, en ook in "Drijvers Vogelweid de Bol" op Texel, een binnendijks brak water waar met een duiker zout water uit de Waddenzee wordt ingelaten (Blom and Dalhuisen, 2017). Ook de condities in dit soort kwelders kunnen fluctueren van vrij zoet (met veel regenval) naar compleet zout (na overspoeling met zeewater).

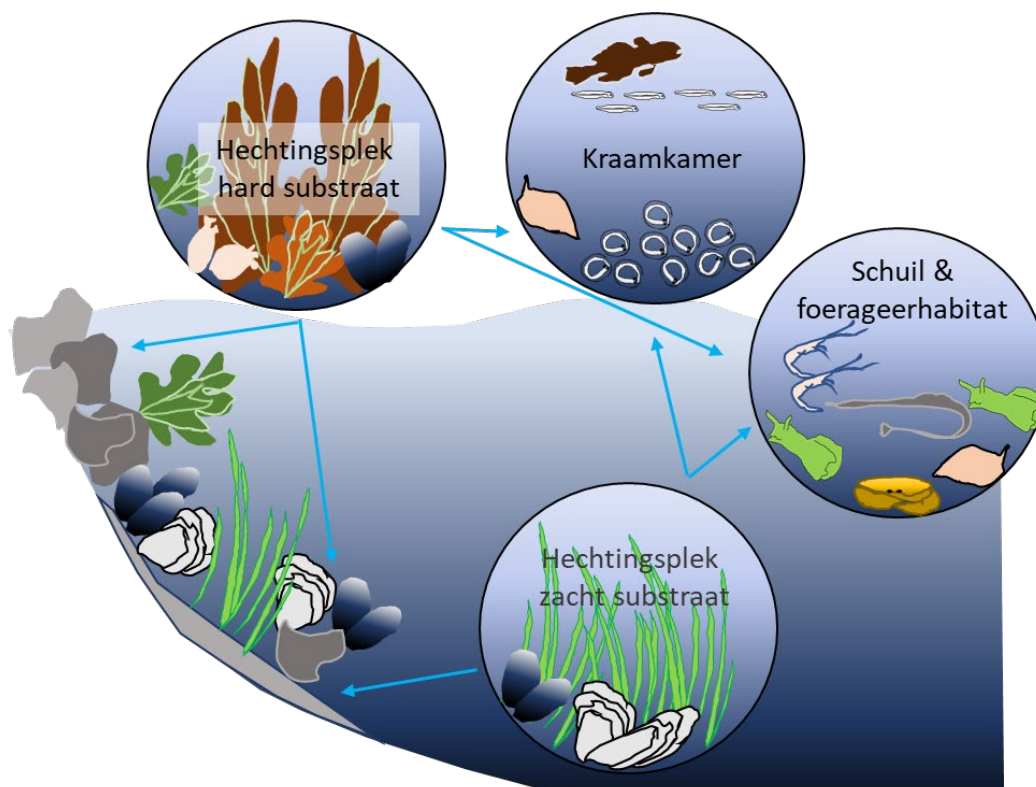
- **Aanleggen van natuurvriendelijke oevers/kwelders**

Een onverharde oeverzone is van nature een systeem met een grote verscheidenheid aan flora en fauna en draagt bij aan een verhoogde biodiversiteit (**Figuur 7**). Bovenop het bestaan uit onverhard substraat, bevatten natuurvriendelijke oevers een geleidelijke en vaak afwisselende helling waar verschillende vegetatieve soorten op kunnen vestigen. Dit bevordert de biodiversiteit doordat er een variëteit aan groeiomstandigheden wordt gecreëerd. Een gedetailleerd overzicht voor het krijgen van natuurlijke oevers in stromende wateren (bovenloop van de zoet-zoutovergang) wordt beschreven in (van Vossen and Verhagen, 2009). Langs het brakke en zoute water kunnen kwelders ontstaan met specifieke soorten. Bevorderen

van kweldergroei wordt besproken in Baptist et al. (2021), de Vries and de Jong (2000), Elschot et al. (2020).

Daarnaast kan, door de aanwezigheid van veel vegetatie, het aanleggen van natuurvriendelijk oevers bijdragen aan een gezond, helder watersysteem wat de waterkwaliteit bevordert. Ook kan de toename aan natuurlijke oevers het areaal broed- en/of hoogwatervluchtplaatsen van (beschermde) vogels vergroten.

Aan het aanleggen van natuurvriendelijke oevers zitten enkele randvoorwaarden verbonden, ten eerste moet de doorstroomcapaciteit en de bergingscapaciteit van het water behouden worden. Daarnaast moet de oever ook toegankelijk blijven voor onderhoudswerk. Wanneer het wenselijk is een brakke zone aan te leggen is dit juist in de oevers van een zoet-zoutovergang belangrijk, echter doordat de meeste dynamiek in het diepe middengedeelte van de dwarsdoorsnee van een grote zoet-zoutovergang zit, is er voor een brakke oeverzone in overgangen met grote watermassa's een zeer hoge getijdendynamiek nodig (zie sleutelfactor 2. Getijdendynamiek.).



Figuur 7 Voorbeeld van een natuurlijke oever met belangrijke ecologische processen overgenomen uit (van Donk et al., 2021)

- **Creëren van laagdynamisch litoraal door ontpoldering/uitdijken:**

Laagdynamisch litoraal is habitat dat belangrijk is voor specifieke bodemdieren en vogels. Het creëren van dit habitat kan bereikt worden door bijvoorbeeld ontpolderen van gebieden in estuaria. Voorbeelden zijn de ontpoldering van de Noordwaard in de Biesbosch en de Hedwige-/Prosperpolder en de Perkpolder langs de Westerschelde (**Figuur 8**). In de Westerschelde neemt laagdynamisch litoraal af door getij-amplificatie (door uitdiepen en verbreden van vaarroutes) (Rijkswaterstaat 2019). Het creëren van luwe zones langs de oevers kan sedimentatie bevorderen en hiermee kunnen stukken van het verloren laagdynamische litoraal weer enigszins "teruggewonnen" worden. Voorbeelden hiervan zijn te vinden bij Baalhoek & Knuitershoek in de Westerschelde. In de Westerschelde wordt ook geëxperimenteerd met het creëren van laagdynamisch litoraal door aanleg van strekdammen (voor luwte) op het intergetijdengebied. Een ander voorbeeld is de zandtong en inham die gecreëerd is bij de Prins-Hendrikzanddijk op Texel (Type D1 Gemaal; **Figuur 6**).

Om laagdynamisch litoraal binnen een zoet-zoutovergang te realiseren moet er eerst aan sleutelfactor 2.getijdendynamiek worden voldaan. Er is voldoende getijslag nodig voor het ontwikkelen van een volwaardige kwelder met een krekensysteem en bijbehorende transportprocessen (Tangelder et al., 2017). Wel kan er zilte pioniersvegetatie ontstaan op

oevers die geleidelijk verziltten door een kleine invloed van zoet getijdynamiek. Hier kunnen zilte soorten zoals zeekraal (*Salicornia europaea*) zich mogelijk vestigen (Tangelder et al. 2017).

- **Verbeteren waterkwaliteit**

Zie sleutelfactor [7.Toxiciteit](#)

6. Toxiciteit

- **Aanleggen bufferszones tussen landbouw en waterlichaam**

Door het aanleggen van bufferzones kunnen gifstoffen (maar ook kunstmest etc) minder makkelijk in de waterlichamen komen

- **Aanpassen zuiveringsbeleid op rioolwaterzuiveringsinstallaties**

Door een verbeterd zuiveringsbeleid zal het zoete water van verbeterde kwaliteit worden

- **Verminderen (illegale) lozingen**

Verminderen van (illegale) lozingen kan aangepakt worden door verbeterde wetgeving en controles



Figuur 8 *Ontpoldering kan de habitatgeschiktheid verbeteren in de Westerschelde. Satellietfoto van Perkpolder (satellietdataportaal.nl) .*

6 Toekomstige risico's door klimaatverandering.

In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op de grootste klimaatrisico's voor zoet-zoutovergangen en hoe deze invloed hebben op de eerder gedefinieerde sleutelfactoren.

- **Toename hoeveelheid neerslag/Afvoerdynamiek:**

Verwacht wordt dat door klimaatverandering de hoeveelheid neerslag, vooral in de winter, zal toenemen. In de zomer wordt verwacht dat de hoeveelheid droge dagen toeneemt en buien zwaarder worden (Klein Tank and Lenderink, 2009). Hierdoor zal de winteraanvoer hoger worden en de zomeraanvoer lager, en zullen er grotere (seizoens-)schommelingen aanwezig zijn (Oost, 2022). Deze onregelmatige afvoerdynamiek zal weer invloed hebben op transportprocessen, waardoor de sleutelfactoren organische productiviteit/belasting en habitatgeschiktheid ook weer beïnvloed zullen worden.

Ook is de verwachting dat in de toekomst gedurende drogere zomerperiodes het verbruik van zoet water toe zal nemen. Hierdoor zal er in dit gedeelte van het jaar de zoetwater toevoer in sommige overgangen mogelijk onvoldoende zijn om een lokstroom voor migrerende vissen in stand te houden. Dit heeft invloed op de connectiviteit van een systeem.

Tot slot kunnen ook getroffen inrichtingsmaatregelen, waaraan bepaalde randvoorwaarde zijn verbonden, belemmerd worden. Een voorbeeld is het "kieren" bij de Haringvliet. Bij lage zomerafvoer kan het Haringvliet minder vaak open, omdat het risico op verzilting bij een lage afvoer van zoet water groter is. Hierdoor moet er bij het selecteren van inrichtingsmaatregelen goed gekeken worden naar hoe de randvoorwaarden worden beïnvloed door klimaatverandering.

- **Zeespiegelstijging:**

Door het gecombineerd effect van zeespiegelstijging en bodemdaling, zullen overgangswateren te maken krijgen met een relatief sterke zeespiegelstijging (Oost, 2022).

Momenteel kunnen kwelders in de Waddenzee nog meegroeien met de zeespiegelstijging. Wel kan de landwaartse zijde van veel kwelders achter gaan lopen bij de opslibbing als de zeespiegelstijging versnelt. Dit komt doordat de voorzijde van de kwelders slib krijgen aangevoerd vanuit zee, en opslibben, terwijl de achterzijde weinig slib ontvangt. Een aantal habitats hebben een groter risico om te verdwijnen; kwelders op de Waddeneilanden, zoet-zoutovergangen met een lagere afvoerdynamiek en daarbij horende lage sedimentatiesnelheden, en landinwaarts-gelegen kwelders, waar ook bodemdaling plaatsvindt (Elschot et al., 2020). De afname van het kwelderareaal zal voornamelijk invloed hebben op de sleutelfactor habitatgeschiktheid.

Bij het inrichten van een zoet-zoutovergang moet er rekening gehouden worden met een zogenaamde "coastal squeeze", waarbij natuurverlies plaatsvindt doordat er een te klein gebied is vrijgehouden voor natuurbehoud. Hierdoor worden diverse milieus tussen de laagwaterlijn en dijken samengedrukt. Het is dus belangrijk om een overgangsgebied groot in te richten zodat er een buffer ontstaat en habitatverlies wordt gemitigeerd (Oost, 2022).

- **Temperatuurstijging:**

Een ander belangrijk gevolg van klimaatverandering is de stijging van temperaturen en het vaker voorkomen van hittegolven (Koffi and Koffi, 2008). Kleinere overgangen zijn hier vatbaarder voor door het kleinere volume aan water dat aanwezig is. Ook overgangen met een lage afvoerdynamiek zijn vatbaar door de lage verversingssnelheid (Oost, 2022). Bij het

inrichten van een overgang is het daarom belangrijk om rekening te houden met de grootte van een overgang.

7 Discussie en aanbevelingen

7.1 Conclusie

Het hoofddoel van deze rapportage was het typeren van zoet-zoutovergangen in Nederland zodat de ecologische potentie door middel van inrichtingsmaatregelen vergroot kan worden. Om tot dit doel te komen zijn verschillende vragen gesteld waarvan de resultaten hieronder bediscussieerd worden.

a. Wat zijn de belangrijke ecologische sleutelfactoren voor het functioneren van zoet-zoutovergangen?

Sleutelfactoren zijn gebruikt om de belangrijkste factoren die de ecologie van zoet-zoutovergangen bepalen te structureren. Ook beschrijven zij de status van een zoet-zoutovergang. De sleutelfactoren zijn gebaseerd op de sleutelfactoren voor stromende en stilstaande wateren van het STOWA en aangepast voor de zoet-zoutovergang. De volgende sleutelfactoren zijn voor de zoet-zoutovergang beschreven: afvoerdynamiek van de rivier, getijdedynamiek van de zee, connectiviteit, productiviteit/belasting, habitatgeschiktheid en de daarmee verbonden toxiciteit. Deze sleutelfactoren zijn onderling verbonden in hun functioneren en dragen samen bij aan de processen in de zoet-zoutovergang.

b. Wat zijn verschillende typen zoet-zoutovergangen?

In hoofdstuk 3 zijn de typen zoet-zoutovergangen beschreven die er in Nederland zijn. Deze typering is gebaseerd op de rapportage van de Boer & Wolff (1996) en aangepast naar eigen inzicht. De focus ligt bij deze classificatie-methode op hoe de overgang van zoet naar zout loopt en niet of deze overgang al dan niet op natuurlijke wijze is ontstaan of met een kunstwerk gerealiseerd is. Typen zoet-zoutovergangen zijn geïnclassificeerd in vier hoofdtypen op basis van de temporele verbinding (onderbroken of permanent) en de ruimtelijke gradiënt (van abrupt naar geleidelijk). Hierbij wordt het type A met een geleidelijke zoutgradiënt en een permanente verbinding bijvoorbeeld gecreëerd door een estuarium en wordt het type D met een abrupte zoutgradiënt en een onderbroken verbinding bijvoorbeeld gecreëerd door een spuisluis. De hoofdtypen zijn vervolgens onderverdeeld in subtypen.

Er zijn enorm veel typen zoet-zoutovergangen te vinden in Nederland, met allemaal hun specifieke kenmerken. Dit komt gedeeltelijk omdat er al veel aanpassingen gedaan zijn om zoet-zoutovergangen te verbeteren wat betreft ecologie. Hierdoor is het niet altijd gemakkelijk elke zoet-zoutovergang te classificeren, en zijn er voorbeelden te vinden die in twee categorieën passen. Afhankelijk van het seizoen kan er bijvoorbeeld bij een bepaalde zoet-zoutovergang wel of juist weer niet een brakwaterzone zijn, zoals in de Moksloot op Texel. Een gedeelte van deze verschillen zijn in deze rapportage niet als typen, maar als verschillende inrichtingsmaatregelen gehanteerd, die besproken zijn in hoofdstuk 5. Ook kunnen zoet-zoutovergangen door bepaalde inrichtingsmaatregelen van categorie veranderen.

c. Hoe functioneren deze overgangen aan de hand van de sleutelfactoren?

In hoofdstuk 3 wordt vervolgens het functioneren van de typen zoet-zoutovergangen besproken. Elke zoet-zoutovergang verschilt in functioneren afhankelijk van de status van de sleutelfactoren, die beïnvloed worden door de geografische ligging, de dimensie en de inrichtingsmaatregelen die genomen zijn. Daarom is elk type zoet-zoutovergang in algemene zin besproken en is vervolgens het functioneren aan de hand van sleutelfactoren in voorbeelden uitgewerkt. Het estuarium (type A1) is een zoet-zoutovergang waarbij alle ecologische processen die mogelijk zijn in een zoet-zoutovergang kunnen plaatsvinden, wanneer de status van de sleutelfactoren met de juiste inrichtingsmaatregelen geoptimaliseerd worden. Echter zijn de drie estuaria die in Nederland voorkomen allemaal erg beïnvloed. Dit biedt wel mogelijkheid voor verbetering met behulp van inrichtingsmaatregelen. Deze zullen vooral gericht moeten zijn op het verbeteren van de habitatgeschiktheid. De semi-geïsoleerde abrupte overgangen (type D1), die gecreëerd worden door een kunstwerk zoals een gemaal, schut- of spuisluis, is een zoet-zoutovergang waarbij minder ecologische processen mogelijk zijn. Met name processen die een zoutgradiënt en brakwaterzone mogelijk maken ontbreken vaak. Inrichtingsmaatregelen kunnen

inspelen op verbeteren van de connectiviteit en door ruimte te bieden aan het water met natuurlijke oevers en luwe zones kan de habitatgeschiktheid verbeteren.

d. Hoe functioneren deze overgangen de hand van gekozen voorbeeldsoorten?

In hoofdstuk 4 wordt vervolgens het functioneren van de typen zoet-zoutovergangen besproken aan de hand van voorbeeldsoorten.

Sommige vissoorten zijn veeleisend en hebben bepaalde omgevingen nodig, denk hierbij aan de fint, die een sterke getijdynamiek en optimale zuurstofcondities vraagt. Dit is alleen mogelijk in overgangstype de grotere estuaria (type A1 zoals de Westerschelde). Ook heeft deze soort zowel een hoge habitatfunctie score als corridorfunctie score, waardoor de populatie afhankelijk is van deze overgang. Andere soorten kunnen gebruikmaken van alle overgangen zolang er aan hun specifieke habitat- en migratie-eisen wordt voldaan. Voor veel vissoorten zijn de belangrijkste sleutelfactoren om te verbeteren habitatgeschiktheid, connectiviteit en getijdynamiek. Welke sleutelfactor prioriteit moet krijgen is afhankelijk van de soort en overgangstype. Voor soorten waarbij de habitatfunctiescore hoog is en de habitateisen ook, is het belangrijk om verbeteringen uit te voeren ten behoeve van de sleutelfactor habitatgeschiktheid en de sleutelfactoren die hier invloed op hebben. Andere soorten zijn makkelijker en kunnen gebruik maken van meerdere overgangen en hebben juist baat bij het verbeteren van de connectiviteit, voorbeelden hiervan zijn de driedoornige stekelbaars, Atlantische zalm, juveniele bot en de diadrome houting. Wat betreft benthos, kunnen soorten die alleen in brakwater kunnen voorkomen zich vestigen in type A en C en soms in brakke binnendijkse wateren (D4). Wanneer er een diversiteit aan habitats wordt geboden met een zoutgradiënt, zoals bij de meeste overgangstype D3 eilandkwelderkeken het geval is, dan zal er een hoge diversiteit aan plantensoorten voor kunnen komen. De mogelijkheid bestaat om door middel van inrichtingsmaatregelen dit voor veel typen overgangen te realiseren, door de sleutelfactor habitatgeschiktheid en de daarop inspelende sleutelfactoren te verbeteren. Benthos heeft voornamelijk voordeel bij het verbeteren van de habitatgeschiktheid en de sleutelfactoren die hier invloed op hebben. Vogelsoorten zullen over het algemeen gebruik maken van overgangstypen waar hun prooisorten aanwezig zijn. Verder hebben vogels baat bij de ontwikkeling van droogvallende slikken en platen wat onder de sleutelfactor habitatgeschiktheid valt, en voor visetende vogels is het belangrijk dat de condities voor vissoorten optimaal is.

e. Wat zijn aanbevelingen voor inrichtingsmaatregelen?

In hoofdstuk 5 zijn de sleutelfactoren gebruikt om inrichtingsmaatregelen op te stellen. Er zijn vooral veel maatregelen toe te passen ter verbetering van de sleutelfactoren connectiviteit en habitatgeschiktheid. Voor connectiviteit gaat het dan met name over de corridorfunctie voor migrerende (vis-)soorten. Inrichtingsmaatregelen als innovatief sluisbeheer en plaatsen van vispassages kunnen hierbij helpen. Voor het verbeteren van de habitatgeschiktheid kunnen natuurlijke oevers of laagdynamisch litoraal aangelegd worden. Het creëren van een (stabiele) brakwaterzone blijkt uitdagend in de grotere zoet-zoutovergangen gezien de grote dynamiek die nodig is voor het mengen van het iets zwaardere zoute water en het lichtere zoete water en de vele randvoorwaarden die gesteld worden voor zoetwaterwinning, landbouw en veiligheid.

Welke maatregel passend is en of de maatregel het gewenste effect heeft, zal per gebied en per voorbeeldsoort verschillend zijn en hangt onder andere af van de lokale omstandigheden. Daarom is in dit hoofdstuk gebruik gemaakt van voorbeelden in de tekst. Hierbij worden mogelijke of al uitgevoerde inrichtingsmaatregelen besproken. Voor type A1 het estuarium de Westerschelde (maar dit geldt ook voor de Eems-Dollard en de Nieuwe Waterweg) is vooral veel mogelijk voor het verbeteren van de habitatgeschiktheid, bijvoorbeeld door creëren van laagdynamisch litoraal door ontpoldering en aanleg strekdammen. Voor type D1 de semi geïsoleerde abrupte overgang de Bathse spuisluis kan het spuibeheer worden aangepast zodat de connectiviteit verbeterd. Inrichtingsmaatregelen om de ecologie van specifieke zoet-zoutovergangen te verbeteren zijn ook te vinden in andere publicaties; Dankers en Steenbergen (2006) en voor grotere estuaria in Oost (2022, in voorbereiding).

7.2 Aanbevelingen

Deze rapportage laat zien dat zoet-zoutovergangen een rijke ecologie kunnen hebben. Zoet-zoutovergangen zijn geen simpele waterlopen maar complexe ecosystemen. Het beter beheeren ervan begint met het beter begrijpen. De ecologische sleutelfactoren kunnen daarbij als leidraad dienen. Echter, veel zoet-zoutovergangen in Nederland zijn sterk beïnvloed waardoor ze niet optimaal kunnen functioneren.

Inrichtingsmaatregelen kunnen de ecologische waarden van een zoet-zoutovergang verbeteren. Hierbij kan voor niet-doorlopende overgangen vooral relatief gemakkelijk winst worden geboekt met maatregelen die ingrijpen op het verbeteren van de connectiviteit in de zoet-zoutovergang als migratiecorridor. Met name voor minder sterk zwemmende vissen die getij nodig hebben om zich te kunnen verplaatsen is dit van belang, want sterker zwemmende vissen kunnen ook tegen sterke stroming in zwemmen. Habitatgeschiktheid kan bij vele zoet-zoutovergangen verbeterd worden. Dit kan door meer ruimte te bieden aan het water door aanleg van natuurlijke oevers en kwelders, ontpoldering en het creëren van luwtes waardoor habitat ontstaat voor (opgroeïende) organismen. Wanneer er wordt nagedacht over inrichtingsmaatregelen om een brakwaterzone en zoutgradiënt te creëren, zal rekening gehouden moeten worden met randvoorwaarden voor bijvoorbeeld drinkwatervoorziening, zoet water voor de landbouw, veiligheid maar ook klimaatverandering. Dit laatste zal er voor zorgen dat er grotere fluctuaties in de afvoerdynamiek zullen voorkomen, waardoor lokstromen mogelijk onvoldoende zullen zijn, en zoutindringing groter kan zijn. Om de gevolgen van zeespiegelstijging en temperatuurstijging tegen te gaan is een belangrijke maatregel om een overgang de ruimte te geven om temperatuurfluctuaties en zogenaamde "coastal squeeze" tegen te gaan.

Beknopte inrichtingsmaatregelen per type zout-zoutovergang

- Voor zoet-zoutovergangen van **type A** is vooral veel te winnen met natuurontwikkeling. Zo kunnen natuurlijke oevers aangelegd worden, gebieden ontpolderd worden of meer ruimte worden geboden voor brede flauw aflopende oevers en ruimte voor meandering. Voor de Westerschelde geldt dat laagdynamisch litoraal habitat aan het afnemen is door getij-amplificatie. Dit habitat is belangrijk foerageergebied voor steltlopers. Ingrepen zoals het aanleggen van luwe zones zoals strekdammen of ontpoldering kunnen hierbij helpen.
- Maatregelen voor **type B** liggen ook vooral in de natuurontwikkeling door ruimte te bieden voor de ontwikkeling van bijvoorbeeld een brakwaterkwel of aanvoer van zoet water en mogelijk de aanleg van broedeilanden hierin.
- Het realiseren van een brakwaterzone in een grote onderbroken overgang (**type C**) is vaak gebonden aan randvoorwaarden (zoals zoetwatervoorziening). Een poging is gedaan met de kier in het Haringvliet, maar tot nu toe lijkt hierbij enkel de connectiviteit voor vissen verbeterd (en dus wordt deze overgang gekarakteriseerd onder type D). Brakke zones zijn mogelijk wel te creëren in zoet-zoutovergangen met minder grote massa's water, omdat hier minder dynamiek nodig is. Wel moet hier rekening gehouden worden met het verschil in zoetwater afvoer over de seizoenen. In de zomer kan een brakwaterzone dan weer helemaal zout worden doordat er geen zoet water meer gespuid wordt.
- Maatregelen voor zoet-zoutovergang **type D** liggen vooral in het verbeteren van connectiviteit voor vissen. Met name connectiviteit voor de minder sterke zwemmers, want sterke zwemmers vinden over het algemeen makkelijker hun weg. Daarnaast kan de habitatgeschiktheid verbeterd worden door natuurontwikkeling aan zowel de zoete als de zoute kant.

8 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV.

Literatuur

- Adriaansens, D., Hooiveld, M., 2016. Een innovatieve vispassage door de Afsluitdijk, ontwerpnota vismigratierivier, GM-0175018.
- Austen, D.J., Bayley, P.B., Menzel, B.W., 1994. Importance of the guild concept to fisheries research and management. *Fisheries* 19, 12–20.
- Baptist, M.J., Dankers, P., Cleveringa, J., Sittoni, L., Willemsen, P.W.J.M., van Puijenbroek, M.E.B., de Vries, B.M.L., Leuven, J.R.F.W., Coumou, L., Kramer, H., Elschot, K., 2021. Salt marsh construction as a nature-based solution in an estuarine social-ecological system. *Nature-Based Solut.* 1, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100005>
- Baptist, M.J., de Mesel, I., Stuyt, L.C.P.M., Henkes, R., de Molenaar, H., Wijsman, J., Dankers, N., Kimme, V., 2007. Herstel van estuariene dynamiek in de zuidwestelijke Delta, Wageningen IMARES rapport C119/07.
- Beumer, V., Verminnen, R., Holzhauer, H., 2009. Effecten natuurwaarden benedenrivierengebied als gevolg van klimaatmaatregelen 49.
- Blom, K.H., Dalhuisen, C.M., 2017. Invloed van dynamiek op aquatische voedselbronnen (vissen, garnalen en benthos) voor natura2000 vogelsoorten in de slenk van de slufte van Texel. Studentrapportage.
- Burden, A., Garbutt, A., Evans, C.D., 2019. Effect of restoration on saltmarsh carbon accumulation in Eastern England. *Biol. Lett.* 15, 0–3. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0773>
- Dankers, N., Steenbergen, J., 2006. Geleidelijke zoet-zout overgangen in Nederland State of the art huidige problematiek en kennis, proj nr 230243-06.
- de Boer, K., Wolff, W.J., 1996. Tussen zilt en zoet: voorstudie naar de betekenis van estuariene gradiënten in het Waddengebied. Rijkswaterstaat Rapp. C-13739 440 94.
- de Leeuw, C., Meijer, M.-L., 2003. Proefgebieden herstel zoet-zout overgangen in Noord Nederland, Rapport RIKZ/2003.010.
- de Leeuw, C.C., Backx, J.J.G.M., 2001. Naar een herstel van estuariene gradiënten in Nederland.
- De Los Santos, C.B., Brun, F.G., Bouma, T.J., Vergara, J.J., Pérez-Lloréns, J.L., 2010. Acclimation of seagrass *Zostera noltii* to co-occurring hydrodynamic and light stresses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 398, 127–135. <https://doi.org/10.3354/meps08343>
- de Vlas, J., 2004. Bijlage 1.6 Kwelders, RIKZ.
- de Vries, S., de Jong, J., 2000. Duurzaam rijshout voor instandhouding kwelders: resultaten van een praktijkproef 1995 - 2000 [Sustainable. Alterra-rapport 101.
- Dedert, M., Brasseur, S.M., van den Heuvel-Greve, M.J., 2015. Zeehonden in het Deltagebied; populatieontwikkeling en geperfluoreerde verbindingen., IMARES rapport C178/14.
- El-Hacen, E.-H.M., Piersma, T., Jouta, J., Overdijk, O., Lok, T., 2014. Seasonal variation in the diet of Spoonbill chicks in the Wadden Sea: a stable isotopes approach. *J. Ornithol.* 155, 611–619. <https://doi.org/10.1007/s10336-014-1043-y>
- Elschot, K., van Puijenbroek, M.E.B., Lagendijk, D.D.G., van der Wal, J.-T., Sonneveld, C., 2020. Lange termijnontwikkeling van kwelders in de Waddenzee (1960-2018), WOT-technical report 182/WMR-rapport C023/20.
- Enners, L., Guse, N., Schwemmer, P., Chagas, A.L.J., Voigt, C.C., Garthe, S., 2020. Foraging ecology and diet of Eurasian spoonbills (*Platalea leucorodia*) in the German Wadden Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 233, 106539. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106539>
- Griffioen, A.B., Winter, H.V., van Hal, R., 2017. Prognose visstand in en rond het Haringvliet na invoering van het Kierbesluit in 2018, Wageningen Marine Research rapport C081/17.
- Hanon, G.T.M., Roels, B., Winden, A., Litjens, G., 2021. Kennisdocument Voorbij de Kier. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, 2021. Prins Hendrikzanddijk - Texel [WWW Document]. <https://www.hhnk.nl/prinshendrikzanddijk>.
- Hu, Z., Van Belzen, J., Van Der Wal, D., Balke, T., Wang, Z.B., Stive, M., Bouma, T.J., 2015. Windows of opportunity for salt marsh vegetation establishment on bare tidal flats: The importance of temporal and spatial variability in hydrodynamic forcing. *J. Geophys. Res. G Biogeosciences* 120, 1450–1469. <https://doi.org/10.1002/2014JG002870>
- Klein Tank, A.M.G., Lenderink, G., 2009. Klimaatverandering in Nederland; Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's, KNMI, De Bilt.
- Koffi, B., Koffi, E., 2008. Heat waves across Europe by the end of the 21st century: Multiregional climate simulations. *Clim. Res.* 36, 153–168. <https://doi.org/10.3354/cr00734>
- Moens, T., Herman, P., Ysebaert, T., 2001. Eten en gegeten worden in het Schelde-estuarium. *levende Nat.* 102, 52–55.

- Natura 2000, 2016. Habitatrichtlijn estuaria [WWW Document]. <https://www.natura2000.nl/profielen/h1130-estuaria>.
- Natura 2000, 2008a. Habitatrichtlijn schorren en zilte graslanden [WWW Document]. <https://www.natura2000.nl/profielen/h1330-schorren-en-zilte-graslanden>.
- Natura 2000, 2008b. Habitatrichtlijn zilte pionierbegroeiingen [WWW Document]. <https://www.natura2000.nl/profielen/h1310-zilte-pionierbegroeiingen>.
- Natura 2000, 2008c. Habitatrichtlijn slijkgrasvelden [WWW Document]. <https://www.natura2000.nl/profielen/h1320-slijkgrasvelden>.
- Natura 2000, 2008d. Profielschets lepelaar (*Platalea leucorodia*) A034 [WWW Document]. https://www.natura2000.nl/sites/default/files/profielen/Profielen_Vogels_Actueel/Profiel_vogel_A034.pdf.
- Natura 2000, 2008e. Profielschets ijsvogel (*Alcedo atthis*) A229 [WWW Document]. https://www.natura2000.nl/sites/default/files/profielen/Profielen_Vogels_Actueel/Profiel_vogel_A229.pdf.
- Natura 2000, 2008f. Profielschets grote stern (*Sterna sandvicensis*) A191 [WWW Document]. https://www.natura2000.nl/sites/default/files/profielen/Profielen_Vogels_Actueel/Profiel_vogel_A191.pdf.
- Oost, A.P., 2022. Voorzet grote estuariene overgangen in het Waddengebied. Voorbereid.
- Patberg, W., de Leeuw, J.J., Winter, H. V., 2005. Verspreiding van rivierprik, zee-prik, fint en elft in Nederland na 1970, RIVO Rapport C004/05.
- Peletier, H., Wanningen, H., Speelman, B., Esselink, P., 2004. Resultaten van een gedempt getijdenregime in polder Breebaart. *Levende Nat.* 105, 191–194.
- Philippart, C.J.M., Baptist, M.J., 2016. An explanatory study into effective measures to strengthen diadromous fish stocks in the Wadden Sea. Leeuwarden, Waddenacademie Position P.
- Redactie H20, 2021. Onderzoek: veel te veel PFAS in vissen in de Westerschelde [WWW Document]. H20 actueel.
- Rijkswaterstaat, 2020. Samen het Waddengebied verbeteren [WWW Document]. <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2020/05/samen-het-waddengebied-verbeteren>.
- Rijkswaterstaat, 2019. Sedimentbeheer Westerschelde [WWW Document]. https://iplo.nl/publish/pages/163176/180318-02_4_informatieblad_sedimentbeheer_westerschelde.pdf.
- Rijkswaterstaat, 2017. Memo Conclusies uit de Verkenning grote wateren, samenvatting van de regionale analyses in de factsheets, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving.
- STOWA, 2018. Ecologische Sleutelfactoren stilstaande en stromende wateren. STOWA 2018-24 32.
- STOWA, 2014. Ecologische sleutelfactoren; Begrip van het watersysteem als basis voor beslissingen. STOWA 2014-19 44.
- Tangelder, M., Winter, E., Nolte, A., Ysebaert, T., 2020. Ecologische betekenis van zoet-zout-overgangen en evaluatie van herstel met modelstudie Volkerak Zoommeer. *Water matters* 8–11. <https://doi.org/10.2307/2538311>
- Tangelder, M., Winter, E., Ysebaert, T., 2017. Ecologie van zoet-zout overgangen in deltagebieden. *Wageningen Univ. Res. Rapp.* C116/17.
- Tangelder, M., Ysebaert, T., Wijsman, J., Janssen, J., Mulder, I., Nolte, A., Stolte, W., van Rooijen, N., van den Bogaart, L., 2019. Ecologisch onderzoek Getij Grevelingen, Wageningen University & Research rapport C089/19.
- Tiessen, M., Kranenburg, W., 2019. Memo: Data-analyse Kierproef Haringvliet:VK2018_1 Visvriendelijk sluisbeheer (10-12-2018 – 30-4-2019).
- van Banning, G., van der Baan, J., de Bruijne, W., 2018. ismigratierivier Afsluitdijk (Fish migration river Afsluitdijk) 1–129.
- Van Damme, S., De Winder, B., Ysebaert, T., Meire, P., 2001. Het “bijzondere” van de Schelde: de abiotiek van het Schelde-estuarium. *Levende Nat.* 102, 37–39.
- Van den Heuvel-Greve, M., Zabel, A., 2010. Identification and trophic transfer of contaminants in estuarine foodwebs; state of the art report 2008-2010., *Deltares rapport* Z4635/1200235.002.
- Van den Heuvel-Greve, M.J., Hoekstein, M.S.J., Lefèvre, F.O.B., Meininger, P.J., Vethaak, A.D., 2003. Mogelijke oorzaken van slecht broedsucces in de visdiefkolonie bij Terneuzen: Stand van zaken en aanbevelingen. *Rapp. RIKZ/2003.037*.
- Van den Heuvel-Grevel, M.J., Leonards, P.E.G., Vethaak, A.D., 2006. Dioxineonderzoek Westerschelde, *Rapport RIKZ/2006.011*.
- van der Eijk, A., 2021. Nieuwsbrief Sleutelen aan zeegrasherstel.
- van der Heide, T., Peeters, E.T.H.M., Hermus, D.C.R., Katwijk, M.M. Van, Roelofs, J.G.M., 2009. Predicting habitat suitability in temperate seagrass ecosystems. *Limnol. Oceanogr.* 54, 2018–2024.
- van Donk, S., Tulp, I., Tangelder, M., 2021. Ecologie van ondiepe oevers in zoute meren en baaien, Wageningen University & Research rapport C023/21.

- van Eerden, M.R., Voslamber, B., 1995. Mass fishing by cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis* at Lake IJsselmeer, the Netherlands: A recent and successful adaptation to a turbid environment. *Ardea* 83, 199–212.
- van Vossen, J., Verhagen, D., 2009. Handreiking natuurvriendelijke oevers. STOWA 2009-37 78.
- Walles, B., Brummelhuis, E., Ysebaert, T., 2017. Development of the benthic macrofauna community after tidal restoration at Rammegors, Wageningen University & Research Report C110/17.
- Weeber, M.P., Kramer, L., Genseberger, M., Tiessen, M.C.H., Troost, T.A., Eijsberg-Bak, C.I., Nolte, A.J., 2018. Data-analyse en modelvalidatie van het Volkerak-Zoommeer ecosysteem, Deltares. 1-169.
- Wilson, R.P., Kiel, M., Kiel, D.-, 1999. A life in the fast lane : energetics and foraging strategies of the great cormorant 10, 516–524.
- Winter, H.V., Mulder, I.M., Tangelder, M., 2021. Vismigratie in de Zuidwestelijke Delta. Wageningen Univ. Res. Rapp. C020/21 1–41.
- Wolff, W., 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. PhD, State university of Leiden.

Geraadpleegde experts;

Anna de Kluijver, Koen Workel, Karin Stone, Marinka van Puijenbroek, Mardik Leopold, Erwin Winter, Hans Verdaat

Verantwoording

Rapport C019/22

Projectnummer: 4313100174

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van Wageningen Marine Research.

Akkoord: Martin Baptist
Collega-onderzoeker

Handtekening:



Datum: 5 april 2022

Akkoord: Jakob Asjes
Manager integratie

Handtekening:



Datum: 5 april 2022

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 70 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Bezoekers adres:

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden



Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.

Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'