

Vismigratierivier Delta 21

Een onderzoek naar het concept ontwerp van een Vismigratierivier bij de Haringvlietdam

17 juni 2021



Afstudeeronderzoek
JEROEN LOKKER

Colofon

Documentgegevens:

Titel	Vismigratierivier Delta 21
Ondertitel	Een onderzoek naar het concept ontwerp van een Vismigratierivier bij de Haringvlietdam
Plaats en datum	Rotterdam, 17 juni 2021
Versie	Definitief

Auteursgegevens:

Naam	J.P. Lokker
Studentnummer	0942327
Opleiding	Watermanagement
Instantie	Hogeschool Rotterdam G.J. de Jonghweg 4 – 6 3015 GG Rotterdam
Contact	jeroenlokker@gmail.com

Opdrachtgever:

Organisatie	Delta21	E-mail	info@delta21.nl
Adres	Anker 50	Telefoon	+31 63764 4312
Postcode en plaats	3904 PM Veenendaal		

Begeleider Delta21:

Naam	Dhr. H.Altink
E-mail	haltink@xs4all.nl

Begeleider Hogeschool Rotterdam:

Naam	Dhr. R.Heikoop
E-mail	t.h.heikoop@hr.nl

Voorwoord

Voor u ligt het adviesrapport 'Vismigratierivier Delta 21'. Dit rapport is geschreven in opdracht van Delta 21 en de Hogeschool Rotterdam. Vanaf 7 februari 2021 ben ik met het onderzoek bezig geweest en op 17 juli 2021 is dit rapport opgeleverd.

Ik heb met veel plezier aan mijn afstudeeronderzoek gewerkt en heb veel geleerd. Ik vertrouw erop dat ik met dit onderzoek de basis heb gelegd voor Delta 21 om de Vismigratierivier verder te ontwikkelen. Wat mij erg aansprak was het feit dat het hier om een nieuwe ontwikkeling betreft. Dit maakt het heel interessant en tegelijkertijd complex.

Graag wil ik van deze gelegenheid gebruik maken om iedereen te bedanken die mij geholpen heeft met mijn onderzoek en het adviesrapport. In het bijzonder wil ik Henk Altink, Huub Lavooij en Leen Berke bedanken voor hun ondersteuning vanuit Delta 21. Daarnaast wil ik mijn begeleider vanuit de Hogeschool Rotterdam, Rick Heikoop, bedanken voor zijn positieve kritieken en begeleiding. Tot slot wil ik Bart van der Wolff (collega en medestudent), Leo van Gelder (docent), Erik Bruins Slot (projectleider Vismigratierivier Afsluitdijk), Christiaan Bijl (integraal ontwerpmanager BAM Infraconsult BV) en de leden van de ACT-advies groepen (Universiteit Wageningen) bedanken voor hun hulp.

Ik wens u veel leesplezier!

Jeroen Lokker

Zevenhuizen, 17 juni 2021

Samenvatting

De Haringvlietdam vormt voor verschillende vissoorten een (tijdelijke) barrière. De bereikbaarheid van het Haringvliet en daarmee een belangrijke migratieroute voor de vissoorten is hierdoor ernstig verslechterd. Om de migratieroute en natuurwaarde te herstellen, is een verandering van de huidige situatie noodzakelijk. Binnen het Delta 21 plan wordt de oplossing in de vorm van een Vismigratierivier onderzocht. Het doel van dit onderzoek is om, op vraag vanuit Delta 21, ecologische en technische aanbevelingen op te stellen betreft de Vismigratierivier aan de noordkant van de Haringvlietdam. De volgende onderzoeksvraag is hiervoor opgesteld:

“Welke aanbevelingen kunnen vanuit ecologisch en technisch perspectief gedaan worden ten aanzien van het conceptuele ontwerp van een Vismigratierivier bij de Haringvlietdam, zodat de Vismigratierivier integraal onderdeel wordt binnen het Delta21-plan?”

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden is er gebruik gemaakt van zowel kwalitatieve als kwantitatieve onderzoeksmethoden. Aan de hand van een literatuurstudie, interviews met deskundigen en een data-analyse is er een verscheidenheid aan ecologische en technische randvoorwaarden opgesteld waar de Vismigratierivier aan moet voldoen om zo effectief mogelijk te kunnen functioneren. Met behulp van een Multicriteria-analyse (MCA) is een voorkeursvariant voor de Vismigratierivier bepaald (variant 'Voordelta'). De variant is voor het grootste gedeelte gelegen aan de Voordelta-zijde, aan de noordkant van de Haringvlietdam.

Uit de resultaten blijkt dat de Vismigratierivier van twee ingangen voorzien moet worden, gesitueerd bij de Haringvlietsluizen. De ingangen zijn afsluitbaar en kunnen de zoutwateraanvoer reguleren. Daarnaast zou de Vismigratierivier ingericht moeten worden met een estuarium gedeelte en een meanderend gedeelte. Het estuarium gedeelte wordt als intergetijdengebied ingericht waar twee stroomgeulen (eb- en vloedgeul) doorheen stromen. In het meanderend gedeelte wordt de lengte van de rivier gecreëerd. Op deze manier ontstaat een Vismigratierivier waarbij een geleidelijke overgangszone van zout naar zoetwater ontstaat en die voor zowel zwakke als sterke zwemmers toegankelijk is. De coupure bevindt zich door het smalste gedeelte van de Haringvlietdam (dam vak A2) en is (gedeeltelijk) afsluitbaar waardoor verschillen in verval en stroomrichtingen gereguleerd kunnen worden.

Bovenstaand aanbevolen concept ontwerp is ecologisch en technisch getoetst en past binnen het huidige Delta21 plan. Bij dit ontwerp blijkt dat de Vismigratierivier 93% van de tijd toegankelijk is voor alle beoogde vissoorten. Daarnaast heeft de lokstroom zeker voor 94% van de tijd voldoende aantrekkingskracht voor de vissen.

Er kunnen verschillende aanbevelingen vanuit het verrichte onderzoek gedaan worden. Een vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op optimalisatie van het ontwerp, waarbij het conceptueel ontwerp verder ontwikkeld kan worden tot een definitief ontwerp.

Inhoudsopgave

Voorwoord	II
Samenvatting	III
Lijst met afkortingen	VIII
Begrippenlijst	VIII
1. Inleiding	1
1.1 Probleemstelling.....	4
1.2 Theoretisch kader	6
1.3 Het kennishiaat	7
1.4 Het conceptueel model.....	8
1.5 Doelstelling onderzoek	9
1.6 Eisen aan het beroepsproduct.....	9
1.7 Afbakening	10
1.8 Deltatechnologie	11
1.9 Onderzoeksvragen.....	12
1.10 Leeswijzer	12
2. Methode	13
2.1 Soort onderzoek en validiteit	13
2.2 Dataverzamelmethode.....	14
3. Onderzoeksresultaten	17
3.1 De ecologische randvoorwaarden Vismigratierivier	17
3.1.1 Overzicht ecologische randvoorwaarden Vismigratierivier	17
3.1.2 Doelsoorten en toelichting ecologische vereisten	19
3.2 De technische vereisten Vismigratierivier	24
3.2.1 Overzicht technische vereisten Vismigratierivier	24
3.2.2 Toelichting technische vereisten.....	25
3.3 Scenario's waterstanden en spuidebieten bij de Haringvlietdam	29
3.3.1 Scenario 1: Normale omstandigheden.....	30
3.3.2 Scenario 2: Hoge omstandigheden.....	32
3.3.3 Scenario 3: Extreme omstandigheden	34
3.3.4 Waarschijnlijkheid scenario's.....	36
3.4 Het conceptueel ontwerp	38
3.4.1 Algemene uitgangspunten inrichting Vismigratierivier	38
3.4.2 Variantenkeuze Vismigratierivier	41
3.4.3 Voorkeursvariant 'VMR Voordelta'	42
3.4.4 Toetsing voorkeursvariant	50
4. Conclusie	52

5. Discussie	54
5.1 Proces.....	54
5.2 Resultaten.....	54
6. Aanbevelingen.....	56
Bibliografie	57
Bijlagen	64
Bijlage 1: Toelichting eisen vanuit Delta21	64
Bijlage 2: Interview Erik Bruins Slot.....	66
Bijlage 3: Vis- doelsoorten voor de VMR in de Voordelta/ het Haringvliet.....	68
Bijlage 4: Berekening kritische stroomsnelheid zand.....	69
Bijlage 5: Kentallen en Data-analyse ‘Scenario’s’ Haringvliet en Voordelta.....	71
Bijlage 6: Multicriteria-analyse	90
Bijlage 7: Berekeningen Variant Voordelta.....	102
Bijlage 8: Toetsing Vismigratierivier	106
Bijlage 9: Vooronderzoek.....	110

Figuren- en tabellenlijst

Figuur 1 Spuisluizen van de Haringvlietdam met aan de linkerkant de Voordelta en aan de rechterkant het Haringvliet (Swart, 2020)	1
Figuur 2 Overzicht Delta21 plan. De figuur geeft een overzicht van het concept van het Delta21 plan, gelegen in de omgeving van Rotterdam (Delta21, 2018)	3
Figuur 3 Invloed van de Deltawerken op de vismigratiemogelijkheden bij de Nederlandse kust, met in het rood omcirkeld: de Haringvlietdam (Grontmij, 2016)	4
Figuur 4 De Vismigratierivier bij de Afsluitdijk (Rijkswaterstaat, sd).....	6
Figuur 5 Conceptueel model.....	8
Figuur 6 Onderzoeksgebied.....	10
Figuur 7 Doelsoorten Vismigratierivier, in soortensamenstelling zoals vastgesteld vanuit de Kaderrichtlijn Water (Tangelder, Winter, & Ysebaert, 2017).....	20
Figuur 8 Selectief getijdentransport (Kamermans, Winter, & Schellekens, 2013)	21
Figuur 9 <i>verschillend mogelijke verspreidingspatronen van de trekvis rond de spuisluizen van de Haringvlietdam (de Winter, 2009)</i>	23
Figuur 10 Dwarsdoorsneden estuaria aangegeven met vier regimes voor saliniteit, op basis van de verticale structuur van het zoutgehalte (Valle-Levinson, 2010)	25
Figuur 11 Voorbeeld Migratielimitlijn; In het midden van de waterloop ontstaat er, door de hoge stroming, een zekere bolling in de migratielimitlijn (Bensink, Draisma, Peters, van der Tuin, & van Zwieten, 2019)	26
Figuur 12 Dwarsdoorsnede Haringvlietssluzen met links de waterstanden in Voordelta en rechts in het Haringvliet en boven het spuidebiet.....	31
Figuur 13 Dwarsdoorsnede Haringvlietssluzen met links de waterstanden in Voordelta en rechts in het Haringvliet en boven het spuidebiet.....	33
Figuur 14 Dwarsdoorsnede Haringvlietssluzen met links de waterstanden in Voordelta en rechts in het Haringvliet en boven het spuidebiet.....	35
Figuur 15 <i>Spreiding waterstandsverschillen tussen de Voordelta en het Haringvliet in 2020 (ACT groep).....</i>	36
Figuur 16 Verscheidenheid aan situaties met daarbij de meest geschikte locatie van de ingang (Kroes & Monden, 2005)	38
Figuur 17 Overzicht damvakken Haringvlietdam met in het groen de meest potentiële noordelijke ligging van de coupure (Rijkswaterstaat, 2009)	40
Figuur 18 Dwarsdoorsnede sectie A2 van de Haringvlietdam	40
Figuur 19 variant 1 'lijn' Voordelta.....	41
Figuur 20 variant 2 VMR Voordelta	41
Figuur 21 variant 3 VMR 'lang' Voordelta	41
Figuur 22 variant VMR 4 Haringvliet.....	41
Figuur 23 Bovenaanzicht Vismigratierivier	42
Figuur 24 Schematische weergave lengte rivier.....	44
Figuur 25 Waterdiepte in en rond de Vismigratierivier	45
Figuur 26 links een schema van een veel voorkomend systeem van eb- en vloedscharen (van Veen, 1950) en rechts een schema van de ingangen en het eiland in de Vismigratierivier.	47
Figuur 27 Bovenaanzicht vispassage door Haringvlietdam.....	49
Tabel 1 Deelvragen met onderzoeksmethode en gewenst resultaat.....	13
Tabel 2 Schema geïnterviewden	16

Tabel 3 Waterstanden Scenario 1	30
Tabel 4 Waterstanden Scenario 2	32
Tabel 5 Gegevens Scenario 3.....	34

Lijst met afkortingen

Afkorting	Definitie
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
MCA	Multicriteria-analyse
NGO	Niet-gouvernementele organisatie
VMR	Vismigratierivier

Begrippenlijst

Begrip	Definitie
Vismigratie	De verplaatsing van vissoorten tussen opgroeigebieden, paaigebieden en overwinteringsgebieden (Kroes & Monden, 2005).
Delta21	Delta21 is een integraal plan met als doel om een ruimtelijke oplossing te creëren die zorgt voor waterveiligheid, duurzame energie en natuurherstel voor de omgeving van de Voordelta (Delta21, 2018).
Het Kierbesluit	Sluizenbeleid van de Haringvlietsluizen waar, bij handhaving van het Kierbesluit, de spuisluisen naast opening tijdens een eb-situatie ook gedurende korte periodes tijdens vloed op een 'kier' worden gezet (Burgers, Louwman-Soeters, de Meijer, Storm, & Tiebosch, 2004).
Coupure	Een opening/ gat door een dam of dijk.
Estuariene gebieden	Worden van nature gekenmerkt door diens dynamisch milieu door het samenkomen van zee- en rivierwater (RAVON, 2017).
Stratificatieproces	Gelaagdheid in een waterkolom door een verschil in dichtheid tussen het zoete water en het zoute water (Tangelder, Winter, & Ysebaert, 2017).

1. Inleiding

Het Haringvliet is een voormalige zeearm en bevindt zich in de monding van de rivieren de Rijn en de Maas, die oorspronkelijk in open verbinding stonden met de Noordzee. Tussen 1958 en 1970 is het Haringvliet van zee afgesloten door de aanleg van de Haringvlietdam zie *Figuur 1* (ICBR, sd). De Haringvlietdam is onderdeel van de Deltawerken en is indertijd aangelegd ter bescherming van het achterliggende gebied. Daarnaast is de dam aangelegd om Rijn- en Maaswater gereguleerd af te kunnen voeren naar de Noordzee (Watersnoodmuseum, sd).

De bouw van de Haringvlietdam heeft enorme consequenties gehad voor onder meer trekvispopulaties. De open verbinding tussen de grote Nederlandse rivieren en de Noordzee ging verloren. Hierdoor is de toegankelijkheid van het gebied sterk ingeperkt (Winter, et al., 2020). Dit heeft grote gevolgen gehad voor de visecologie en biodiversiteit binnen en buiten het gebied (Griffioen, Winter, & van Hal, 2017). Bij het ontwerp en de bouw van de Haringvlietdam is in zes pijlers van het sluisencomplex een visriool aangelegd om de vismigratie te waarborgen . Doormiddel van sluisdeuren kan binnen een visriool het waterniveau afwisselend worden aangepast (Kemper, 1997). Op deze manier kunnen vissen de hoge stroomsnelheden in de spuiopeningen omzeilen (Rijkswaterstaat, 2011). Uit onderzoek is echter gebleken dat de doelsoorten nauwelijks gebruik maken van deze passage. Rijkswaterstaat (2011) zegt hierover het volgende: “van alle 1.306 salmoniden voorzien van een transponder trokken er hooguit enkele tientallen via de visriolen naar het zoete water.”



Figuur 1 Spuisluizen van de Haringvlietdam met aan de linkerkant de Voordelta en aan de rechterkant het Haringvliet (Swart, 2020)

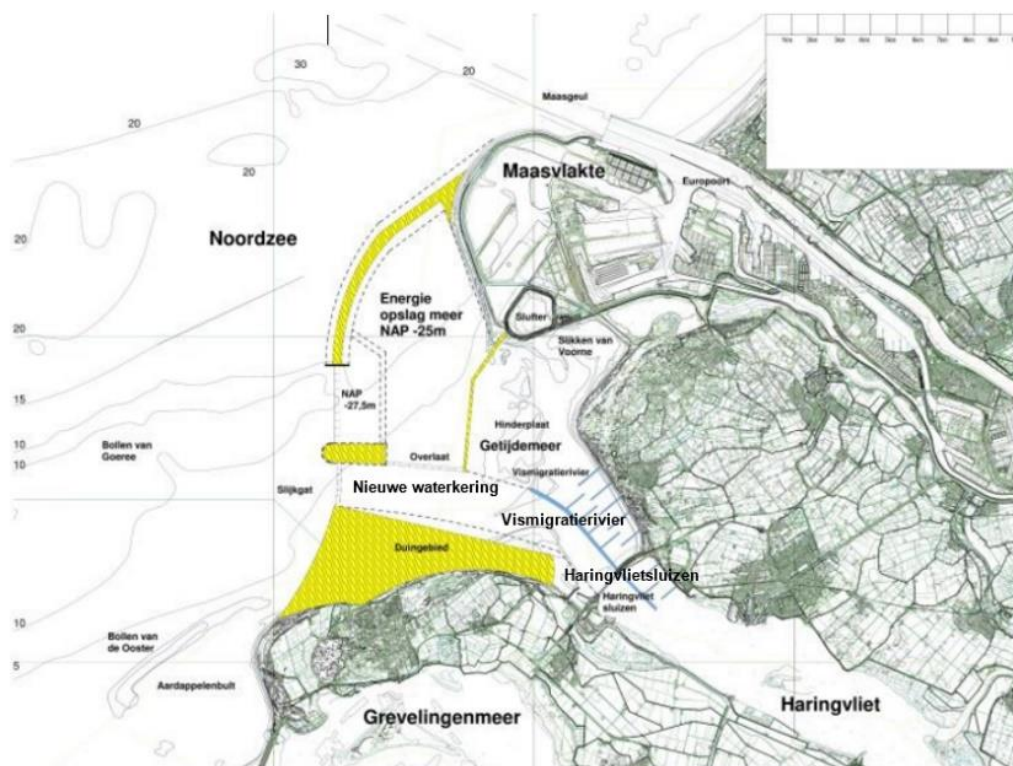
Om de ecologische waarde van het Haringvliet te herstellen, heeft Rijkswaterstaat recentelijk een nieuw beleid van de Haringvlietssluisen ingevoerd: 'het Kierbesluit'. Bij handhaving van het Kierbesluit worden de sluisen, naast opening tijdens een eb-situatie, ook gedurende korte periodes tijdens vloed op een 'kier' gezet. Het sluisbeleid heeft als doelstelling om de passagemogelijkheden voor de vissen te verbeteren en een geleidelijke zoet-zoutovergang te realiseren, zodanig dat er geen uitgebreide compenserende maatregelen nodig zijn (Burgers, Louwman-Soeters, de Meijer, Storm, & Tiebosch, 2004). Het nieuwe beleid van de spuisluisen in de Haringvlietdam zorgt ervoor dat er tijdens een gedeelte van het getij weer zeewater het Haringvliet binnengelaten wordt, waardoor het migratieaanbod voor de vissoorten verlengd wordt (Kroes & Monden, 2005). Daarnaast maakt het af en toe openen van de sluisen het mogelijk om een tijdelijke brakwaterzone te creëren, die voor sommige vissoorten noodzakelijk is om stroomopwaarts te migreren. Handhaving van het Kierbesluit zorgt voor een beperkte zoutindringing in het Haringvliet (Deltares, 2017).

Er zijn verschillende actoren die tegenstrijdige belangen hebben met betrekking tot de huidige situatie van het Haringvliet. De Haringvlietdam speelt een belangrijke rol in de bescherming van het zoete water in het Haringvliet, die de omliggende landbouwgronden van irrigatie voorziet en als inlaatpunt voor drinkwaterbedrijven en waterschappen functioneert (Rijkswaterstaat, 2018). De boeren, drinkwaterbedrijven en waterschappen profiteren als zodanig van de huidige situatie. Dit staat in schril contrast met de belangen van natuurorganisaties en lokale Niet-gouvernementele organisaties (NGO's), die de nadelige gevolgen voor de natuurwaarde van het gebied aankaarten.

Om natuurwaarden voor zee- en kunstgebieden te verhogen, zijn er verschillende ruimtelijke plannen opgesteld. Vaak zijn deze plannen gerelateerd aan waterveiligheid of duurzame energieproductie (TenneT) (Vattenfall, 2018). Delta21 is een integraal plan met als doel om een ruimtelijke oplossing te creëren die zorgt voor waterveiligheid, duurzame energie en natuurherstel voor de Voordelta en het Haringvliet. Tegelijkertijd zorgt het Delta21-plan voor de instandhouding van de zoetwatervoorziening voor Rotterdam en omliggende regio's (Delta21, 2018). Het plan biedt oplossingen om de waterstanden in het benedenstroomse rivierennetwerk te beheersen tijdens hoge rivierafvoeren en zware langdurige stormen vanaf zee. Dit is mogelijk door de aanleg van een energieopslagmeer die een grote pompcapaciteit kan leveren.

In tijden van een hoge rivierafvoer kan het overtollige water rechtstreeks in het aangelegde Energieopslagmeer toegelaten worden, waardoor mogelijke overstromingen worden voorkomen. Door aanleg van aquabatteries, een zonnepark en een windpark kan het Energieopslagmeer energie leveren (Delta21, 2018). Naast het Energieopslagmeer wordt een Getijdenmeer aangelegd. Het getijdenmeer fungeert als verbinding tussen het rivierwater en het Energieopslagmeer en is over het algemeen onderhevig aan instroom van zout water vanuit zee. Een natuurrijke duinenrij ten Westen van het Haringvliet zal het Energieopslagmeer en het Getijmeer omsluiten (Delta21, 2018). Ook zal er een nieuwe primaire waterkering aangelegd worden. Deze kering zal de functie van de huidige primaire waterkering 'de Haringvlietdam' overnemen en zal nagenoeg ten alle tijden open staan.

Het sluitpeil van NAP +2,5 m zal tijdens hoge waterstanden vanaf zee gehanteerd worden (Lavooij, 2021). In *Figuur 2* is een concept schets weergegeven van het Delta 21 plan.



Figuur 2 Overzicht Delta21 plan. De figuur geeft een overzicht van het concept van het Delta21 plan, gelegen in de omgeving van Rotterdam (Delta21, 2018)

1.1 Probleemstelling

“Veel vissoorten zijn voor hun levenscyclus afhankelijk van zowel zout- als zoetwater” (Mulder, 2017). Het is waarschijnlijk dat de meeste van deze vissoorten tot op zekere hoogte migreren tussen stroomopwaarts en stroomafwaarts gelegen gebieden. De vissen leggen deze route af om hun levenscyclus te voltooien en om seizoengebonden ongunstige omstandigheden te vermijden (World Fish Migration Foundation, 2018). Door menselijke activiteiten zoals de bouw van dammen, stuwen en sluizen, worden de vissoorten wereldwijd steeds meer bedreigd. Ook speelt, meer recent, de klimaatverandering voor bedreiging (Wilcove & Wikelski, 2008). Tevens verdwijnen er steeds meer typische estuariene gebieden (van Scheltinga, 2017). Als gevolg hiervan zijn iconische migrerende vissoorten, waaronder zalm, steur en paling, in toenemende mate niet in staat om hun paaigronden te bereiken (IUCN, 2017). De populaties van deze en andere treksoorten nemen met een behoorlijke snelheid af.

De Zuidwestelijke Delta van Nederland kent als rivierdelta een grote variatie aan zout-zoetovergangen (Winter, et al., 2020). Veel van deze overgangen zijn door de aanleg van de Deltawerken afgedamd en vormen tijdelijke slecht, of niet passeerbare barrières voor vissen (*Figuur 3*). Zo ook de Haringvlietdam.

Situatie voor de aanleg van de Deltawerken:



Situatie na de aanleg van de Deltawerken:



Figuur 3 Invloed van de Deltawerken op de vismigratiemogelijkheden bij de Nederlandse kust, met in het rood omcirkeld: de Haringvlietdam (Grontmij, 2016)

Als gevolg van de aanleg van de Haringvlietdam (in 1970) kunnen de bovenstrooms gelegen paaigronden door vele vissoorten niet meer vrij bereikt worden (Griffioen, Winter, & van Hal, 2017). Hierdoor neemt de vispopulatie in het Haringvliet en het achterland af. Migratievertraging, ontstaan uit een onnatuurlijke situatie, kan leiden tot hogere sterftcijfers onder vissen (Dekker & van Willigen, 2002). Zo verdwenen de iconische soorten, zoals de steur en de Atlantische zalm, uit het Haringvliet. Ook veranderde het leefgebied van verschillende vissoorten door de bouw van de Haringvlietdam. Voorheen was er binnen het estuarium een grote variatie in het zoutgehalte, sediment, temperatuur en zuurstofgehalte (RAVON, 2017). Deze variatie in omstandigheden waren de ideale condities voor verschillende vissoorten die destijds op elk gewenst moment konden migreren. Na de bouw van de Haringvlietdam, werd het leefgebied van de vissen een zoetwater leefgebied (Bensink, Draisma, Peters, van der Tuin, & van Zwieten, 2019).

Om de ecologische waarde van het Haringvliet te herstellen, heeft Rijkswaterstaat recentelijk een nieuw beleid van de Haringvlietsluizen ingevoerd: 'het Kierbesluit'. Het Kierbesluit is onderdeel van het door Rijkswaterstaat opgestelde onderzoeksprogramma 'Lerend implementeren'. Binnen dit programma wordt aan de hand van testen en monitoring het Kierbesluit bijgesteld. Het onderzoeksprogramma is in 2018 gestart en duurt naar verwachting 7 tot 10 jaar (Rijkswaterstaat, 2018).

Er is momenteel onvoldoende informatie beschikbaar om te bepalen of het Kierbesluit de vismigratie daadwerkelijk effectief plaats laat vinden (Workel, 2021). Het Kierbesluit werkt slechts gedurende korte periodes. Monitoring zal duidelijkheid geven in hoeverre het Kierbesluit zal bijdragen aan het herstel van de vismigratie. Daarnaast staat de realisatie van het Kierbesluit niet op zichzelf, maar dient het sluisbeleid in relatie tot andere nog te ontwikkelen maatregelen en projecten binnen de Delta te worden gezien (Bensink, Draisma, Peters, van der Tuin, & van Zwieten, 2019).

De integrale aanpak binnen het Delta21-plan is een uitgelezen kans om, aanvullend op het Kierbesluit, de vismigratieproblematiek aan te pakken en bij te dragen aan natuurherstel binnen het Haringvliet (Delta21, 2018). Binnen dit onderzoek zal er gekeken worden naar een alternatieve vismigratieroute als onderdeel van het Delta21-plan: de aanleg van een Vismigratierivier die de verschillende vissoorten een permanente migratieaanbod onder voor alle soorten geschikte condities zal moeten kunnen geven. In de volgende paragraaf zal het concept van de Vismigratierivier verder worden toegelicht.

1.2 Theoretisch kader

In het kader van natuurherstel is er vanuit Delta21 een oplossing in de vorm van een Vismigratierivier voorgesteld. De Vismigratierivier zal als open verbinding tussen de Voordelta en het Haringvliet functioneren en zal onder invloed van getijde een geleidelijke overgang van zout water naar zoet water creëren. Mulder (2017) stelt dat er hierdoor een dynamisch systeem ontstaat met gradiënten in zoutgehalte, diepte en stroming. De overgangszone van zout water naar zout water is voor specifieke vissoorten noodzakelijk om te kunnen migreren (World Fish Migration Foundation, 2018). Er zijn een aantal eisen waaraan een vismigratierivier moet voldoen. Zo mag het water niet te snel stromen, moet er voldoende variatie in stroming en diepte zijn en moeten er schuilgelegenheden zijn (Grontmij, 2016). Ook is het belangrijk dat de vissen, door de geleidelijke overgang van zoutwater naar zoetwater, de tijd krijgen om te acclimatiseren (Winter, Griffioen, & Keeken, 2014). Een zoetwaterlokstroom zou de vissen moeten aantrekken. De vismigratierivier zorgt ervoor dat er, aanvullend op het Kierbesluit, een nieuwe permanente migratieroute voor verschillende vissoorten wordt aangeboden. Het migratieaanbod vindt gedurende het gehele jaar en de gehele getijdencyclus plaats. Hierdoor wordt mogelijk gemaakt dat vispopulaties worden verrijkt en versterkt (Programma Waddenzee, 2013).

De Vismigratierivier (*Figuur 4*) is op initiatief van de Waddenvereniging, Sportvisserij Nederland, It Fryske Gea, het Blauwe Hart en de Vereniging Vaste Vistuigen Noord ontwikkeld en onderdeel geworden van het programma de Nieuwe Afsluitdijk te Kornwerderzand (Waddenvereniging, sd). De komst van de Vismigratierivier zal als een (vis)ecologische verbinding tussen de Waddenzee en het IJsselmeer functioneren. De Waddenzee en het IJsselmeer worden doormiddel van een coupure door de Afsluitdijk met elkaar verbonden. De vissoorten kunnen nagenoeg het gehele jaar door van de passage gebruik maken. Tegelijkertijd zal het achterland beschermd worden tegen hoogwater en zal het IJsselmeer, een belangrijke zoetwatervoorziening, ten alle tijden tegen zoutindringing beschermd zijn (Grontmij, 2016).



Figuur 4 De Vismigratierivier bij de Afsluitdijk (Rijkswaterstaat, sd)

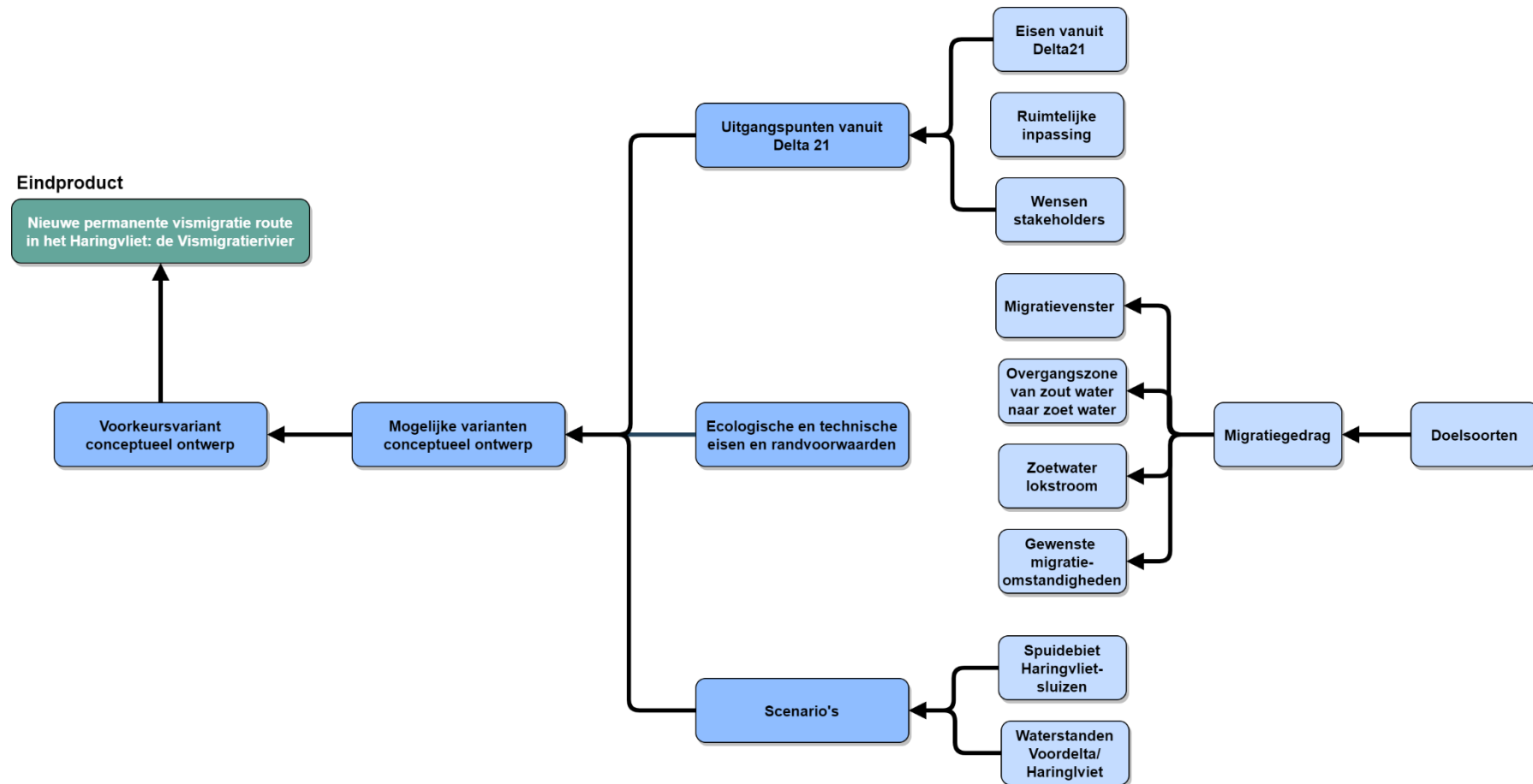
Bij de aanleg van de vismigratierivier bij de Afsluitdijk is het migratiegedrag van de vissoorten leidend geweest voor de inrichting. Deze gewenste condities kunnen behaald worden doormiddel van een goed functionerend watersysteem binnen de Vismigratierivier (Grontmij, 2016).

1.3 Het kennishiaat

De Vismigratierivier bij Kornwerderzand wordt de allereerste Vismigratierivier ter wereld (realisatie in 2022). Aangezien de Vismigratierivier een nieuw concept is, is er nog geen praktische ervaring en kennis over de efficiëntie van de maatregel bekend. Vanuit de theorie is bekend dat de Vismigratierivier afhankelijk is van meerdere factoren die de efficiëntie beïnvloeden, waaronder het migratiegedrag van de (vis) doelsoorten, de werking van het lokale watersysteem en de indeling van de rivier (Grontmij, 2016). Deze ecologische en technische factoren zijn locatie specifiek en zullen, voor het ontwerp van een Vismigratierivier bij de Haringvlietdam, onderzocht moeten worden. De werking van het huidige lokale watersysteem zal mogelijk beïnvloed worden door het Delta 21 plan. Om de inpassing van de Vismigratierivier binnen het Delta 21 plan te realiseren zal er onderzoek gedaan moeten worden naar een mogelijk ontwerp van de Vismigratierivier.

1.4 Het conceptueel model

In onderstaand conceptueel model is een weergave van de te verwachte oorzaak-gevolgrelatie binnen het onderzoek weergegeven. De startpunten zijn de huidige ecologische situatie in het Haringvliet en de Voordelta, het ruimtelijke ontwikkelingsplan Delta21 en de aanbevelingen voor de aanleg van een Vismigratierivier in het Haringvliet in het adviesrapport 'Opening of the Haringvliet, a stream of possibilities' vanuit de Universiteit van Wageningen. Het resultaat is een nieuwe permanente vismigratieroute tussen de Voordelta en het Haringvliet: de Vismigratierivier (*Figuur 5*).



Figuur 5 Conceptueel model

1.5 Doelstelling onderzoek

‘Bijdragen aan natuurherstel binnen de Voordelta en het Haringvliet’, is één van de hoofdoelstellingen binnen het Delta21-plan. Het herstellen van de vroegere ecologische verbinding tussen de Voordelta en het Haringvliet wordt daarbij als uitgangspunt genomen. Medewerkers en studenten van de Universiteit van Wageningen hebben, in opdracht van Delta21, het adviesrapport ‘Opening of the Haringvliet, a stream of possibilities’ geschreven. Hierin wordt als oplossing voor deze verbinding een Vismigratierivier is voorgesteld. De Vismigratierivier zal een constant migratieaanbod voor de doelsoorten leveren.

Naar aanleiding van in voorgaande alinea vermeld rapport is er vanuit Delta21 vraag naar aanvullend onderzoek naar een conceptueel ontwerp van een Vismigratierivier bij de Haringvlietdam. Het doel van dit onderzoek is om een overzicht van de eisen en randvoorwaarden voor het ontwerp van een Vismigratierivier in het Haringvliet op te stellen, de hydraulische omstandigheden van het Haringvliet en de Voordelta in kaart te brengen en een advies voor een conceptueel ontwerp voor te leggen, zodanig dat deze binnen het Delta21-plan geïntegreerd wordt.

Dit onderzoek vormt de basis en startpunt voor het ontwerp van de Vismigratierivier binnen het Haringvliet. Aan de hand van dit onderzoek kan het Delta 21 plan verder uitgebreid worden en daarnaast biedt de uitkomst van dit onderzoek handvatten om de inpassing van de Vismigratierivier bij de Haringvlietdam verder te kunnen ontwikkelen. Er worden twee eindproducten opgeleverd bestaande uit voorliggend adviesrapport en een beroepsproduct. Het adviesrapport geeft, ondersteund door het eerder ontwikkelde Vooronderzoek rapportage, antwoord op de hoofdvraag en zal daarmee de basis voor het ontwerp vormen. Het beroepsproduct is een visuele weergave van het conceptueel ontwerp opgesteld uit technische tekeningen en een impressie van de Vismigratierivier binnen het Haringvliet inclusief een korte toelichting.

1.6 Eisen aan het beroepsproduct

De volgende eisen zijn vanuit de opdrachtgever aan het beroepsproduct gesteld:

- Het conceptueel ontwerp komt voort uit het verrichte onderzoek, waarin eisen zijn gesteld die bijdragen aan het functioneel ontwerp en waarin de eerste berekeningen zijn verricht;
- Het conceptueel ontwerp is representatief voor het uitgevoerde onderzoek;
- Het ontwerp wordt duidelijk beschreven, zodat de lezer een goed beeld heeft bij de concept inrichting;
- De tekeningen zijn duidelijk weergegeven met een titel en eventueel een legenda, noordpijl en schaalbalk.

Door de wensen en behoeften van Delta21 en van de Hogeschool Rotterdam te combineren zullen bij levering van genoemde eindproducten de doelstellingen van alle partijen gewaarborgd worden.

1.7 Afbakening

De afbakening van dit onderzoek is tot stand gekomen in overleg met de opdrachtgever – voor verdere toelichting zie Bijlage 1. Het onderzoek is als volgt afgebakend:

- Naar vraag vanuit Delta21, wordt er binnen dit onderzoek naar een maatregel in de vorm van een Vismigratierivier gekeken en niet naar alternatieve inrichtingen;
- Er zal binnen dit onderzoek rekening gehouden worden met een situatie zoals beschreven in het Delta21-plan. Dit houdt in dat er onderzocht wordt met de veronderstelling dat het Delta21-plan integraal uitgevoerd is. Er zal daarbij rekening worden gehouden met een sluitpeil van de nieuwe primaire waterkering van NAP +2,5 meter;
- Het onderzoeksgebied is afgebakend aan de Noordzijde van het Haringvliet en de Voordelta tussen Hellevoetsluis, langs Voornes duin, en Hinderplaat (*Figuur 6*). Een ligging van de Vismigratierivier aan de zuidzijde van het Haringvliet zal, op basis van de wensen vanuit Delta21, binnen dit onderzoek uitgesloten worden.



Figuur 6 Onderzoeksgebied

- De Vismigratierivier dient het Kierbesluit in stand te houden en als aanvulling op het sluisenbeleid te werken;
- De aanleg van de Vismigratierivier mag de Haringvlietdam en de spuisluizen niet in hun functie belemmeren;
- De Vismigratierivier dient het gehele jaar zoveel mogelijk toegankelijk/passeerbaar voor de beoogde doelsoorten te zijn (met uitzondering op extreme situaties);
- De minimale aanvoer voor de Vismigratierivier bedraagt 20 m³/s;

- Het waterpeil en waterstromingen binnen de Vismigratierivier moeten te reguleren kunnen zijn;
- De Vismigratierivier moet afsluitbaar kunnen zijn (onder hoge of extreme omstandigheden¹);

1.8 Deltatechnologie

In dit adviesrapport wordt onderzoek gedaan naar een alternatieve vismigratieroute als onderdeel van het Delta21-plan: de aanleg van een Vismigratierivier. Hierin worden onder meer de volgende aspecten behandeld:

Technisch

Een Vismigratierivier bij de Haringvlietdam vereist een goed functionerend hydraulisch systeem (Arcadis, 2018). Op basis van de opgestelde ecologische en technische randvoorwaarden wordt de Vismigratierivier gedimensioneerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van bekende gegevens, ervaring cijfers, berekeningen en relevante vakkennis.

Ruimtelijk

Een goede inpassing van de Vismigratierivier binnen zowel het Delta 21 plan als het onderzoeksgebied is noodzakelijk. Er is een ruimtelijke analyse uitgevoerd. Daarnaast is de ligging aan de hand van een Multicriteria-analyse (MCA) bepaald. De gestelde criteria zijn gericht op de vormgeving en inpassing van de Vismigratierivier binnen het toekomstige plangebied. Hierbij is aandacht aan natuur besteed.

Governance

Er is aandacht besteed aan relevante maatschappelijke aspecten, zoals zoetwaterinname, wensen vanuit de agrarische sector, natuurorganisaties en waterveiligheid (zie Bijlage 1).

¹ Zie Hoofdstuk 3 Scenario's voor verdere toelichting

1.9 Onderzoeksvragen

Totstandkoming onderzoeksvragen

Een belangrijk uitgangspunt bij het ontwerp van de Vismigratierivier bij de Afsluitdijk is dat het gedrag van de (vis) doelsoorten leidend is geweest voor de inrichting van de passage (Grontmij, 2016). Deze gewenste condities kunnen behaald worden doormiddel van een goed functionerend watersysteem binnen de Vismigratierivier.

De ontwikkeling en vormgeving van een Vismigratierivier bij de Haringvlietdam vraagt derhalve om een onderzoek naar de ecologische en technische vereisten.

Aanvullend op de ecologische en technische randvoorwaarden, hebben de waterstanden en het spuidebiet door de spuisluizen in de Haringvlietdam invloed op het ontwerp en de werking van de Vismigratierivier. De waterstanden aan zowel de Voordelta- als de Haringvlietzijde en het spuidebiet door de Haringvlietsluizen zullen, tijdens de scenario's gemiddeld; hoog en extreem, in kaart gebracht moeten worden.

Aan de hand van de vismigratieproblematiek binnen het Haringvliet en de ambities en doelstellingen vanuit het Delta21-plan, zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld:

Hoofdvraag

Welke aanbevelingen kunnen vanuit ecologisch en technisch perspectief gedaan worden ten aanzien van het conceptuele ontwerp van een Vismigratierivier bij de Haringvlietdam, zodat de Vismigratierivier integraal onderdeel wordt binnen het Delta21-plan?

Deelvragen

Onderstaande deelvragen zullen binnen dit onderzoek gezamenlijk antwoord geven op de gestelde hoofdvraag:

1. Aan welke ecologische randvoorwaarden moet de Vismigratierivier voldoen?;
2. Aan welke technische randvoorwaarden moet de Vismigratierivier voldoen?;
3. Wat zijn de spuidebieten en waterstanden bij de Haringvlietdam voor de scenario's normaal, hoog en extreem?;
4. Hoe kan de Vismigratierivier het beste worden vormgegeven?

1.10 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 'Methode' worden de onderzoeksmethoden toegelicht die gebruikt zijn om de hoofdvraag van dit onderzoek te beantwoorden. Hoofdstuk 3

'Onderzoekresultaten' beschrijft de ecologische en technische eisen en randvoorwaarden van de Vismigratierivier, de waterstanden en spuidebieten rond en van de Haringvlietdam en het conceptueel ontwerp van de Vismigratierivier bij de Haringvlietdam. In Hoofdstuk 4 komt 'de Conclusie' aanbod, gevolgd door de Discussie en reflectie (Hoofdstuk 5). Afsluitend worden de aanbevelingen die vanuit dit onderzoek naar voren zijn gekomen in Hoofdstuk 6 overzichtelijk gemaakt.

2. Methode

Om tot de gevraagde data te komen om antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag van dit onderzoek, zijn er verschillende onderzoeksmethodes toegepast. De methodiek is in *Tabel 1* per deelvraag weergegeven. Tevens wordt het gewenste resultaat beschreven.

Tabel 1 Deelvragen met onderzoeksmethode en gewenst resultaat

<i>Deelvraag</i>	<i>Methode</i>	<i>Gewenst resultaat</i>	<i>Model</i>
<i>Aan welke ecologische randvoorwaarden moet de Vismigratierivier voldoen?</i>	Literatuuronderzoek Interview	Een lijst van de ecologische eisen en randvoorwaarden voor de Vismigratierivier	
<i>Aan welke technische randvoorwaarden moet de Vismigratierivier voldoen?</i>	Literatuuronderzoek Interview	Een lijst van de technische eisen en randvoorwaarden voor de Vismigratierivier	
<i>Wat zijn de spuidebieten en waterstanden bij de Haringvlietdam voor de scenario's normaal, hoog en extreem?;</i>	Literatuuronderzoek Data-analyse	Het in kaart brengen van de waterstanden aan zowel de Voordelta- als de Haringvlietzijde, voor de scenario's gemiddeld hoog, en extreem. Het in kaart brengen van het spuidebiet door de Haringvlietsluizen voor de scenario's gemiddeld, hoog en extreem	
<i>Hoe kan de Vismigratierivier het beste worden vormgegeven?</i>	Literatuuronderzoek Interview	Onderbouwing van het conceptueel ontwerp	Multicriteria-analyse (MCA)

2.1 Soort onderzoek en validiteit

Binnen dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van een triangulatie van onderzoeksmethoden. Triangulatie houdt in dat er met behulp van meerdere onderzoekstechnieken van data verzameling antwoord wordt gegeven op de onderzoeksvraag (Boeije, 2012). Op deze manier wordt de validiteit en de kwaliteit van de onderzoeksresultaten verhoogd (Verhoeven, 2016). Er is zowel een kwalitatief als een kwantitatief onderzoek uitgevoerd. Kwalitatief onderzoek is gericht op het verkrijgen van informatie en inzicht in ervaringen en meningen (Verhoeven,

2016). Zo zijn er interviews uitgevoerd en is de uitgevoerde literatuuronderzoek kwalitatief van aard. Kwantitatief onderzoek richt zich op het verzamelen van cijfermatige informatie. Om een beschrijving van de resultaten te geven en om verwachtingen over de resultaten te toetsen worden er statistische technieken toegepast (Verhoeven, 2016). Voor het beantwoorden van deelvraag 4 is een Multicriteria-analyse (MCA) toegepast. Met behulp van een MCA worden aan meerdere onderbouwde criteria een waarde toegekend waar aan de hand van deze waardes alternatieven worden gerangschikt (Stichting Climate Adaptation Services, sd).

2.2 Dataverzamelingmethoden

Literatuuronderzoek

Om bestaande informatie in de vorm van tekstuele gegevens te verzamelen, is er voor het beantwoorden van deelvragen 1, 2 en 4 een literatuurstudie uitgevoerd, waarin gebruik is gemaakt van de beschikbare primaire en grijze literatuur.

Deelvraag 1

Voor de verkenning van de wetenschappelijke literatuur is er een vooronderzoek uitgevoerd. Het vooronderzoek is uitgevoerd met de doelstelling om een lijst met (vis)doelsoorten, vanaf nu te noemen doelsoorten, op te stellen. Tevens is het vooronderzoek uitgevoerd om het migratiegedrag en de kritische eigenschappen van de doelsoorten te onderzoeken. Om deze informatie te vinden zijn onder anderen de volgende zoektermen gebruikt: Vissoorten in het Haringvliet en de Voordelta, migratory behaviour diadromous/ estuarine/ fresh water fish species en leefomstandigheden en kritische condities. Er zijn verschillende databanken geraadpleegd waaronder Natura2000, Kaderrichtlijn Water, WNF, Red List en Droomfondsproject Haringvliet.

Deelvraag 2

Binnen het vooronderzoek is ook onderzoek gedaan naar de technische randvoorwaarden die aan de Vismigratierivier gesteld kunnen worden. Om deze informatie te vinden zijn onder anderen de volgende zoektermen gebruikt: lokstroom, brakwaterbiotoop, stratificatieproces en de morfologische stabiliteit. Er zijn verschillende databanken geraadpleegd waaronder de Provincie Friesland, de Afsluitdijk, Handleiding Vismigratie, Arcadis, Grontmij en Deltares.

Deelvraag 4

Er zijn verschillende ontwerp mogelijkheden onderzocht aan de hand van een literatuurstudie. De volgende zoektermen zijn gebruikt om de informatie te vinden: Leidraad vispassages en rivieren, Ontwerpnota Vismigratierivier en vispassages en Handboek vismigratie. Veel gebruikte documenten zijn de Ontwerpnota van de Vismigratierivier bij de Afsluitdijk door Grontmij en Handboek Vismigratie door Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij (OVV).

Interviews

Voor het beantwoorden van deelvragen 1,2 en 4 zijn er interviews afgenomen. Door het uitvoeren van interviews kan er kwalitatieve informatie gewonnen worden (Verhoeven, 2016). Binnen dit onderzoek is een semigestructureerde interview afgenomen bij Erik Bruins Slot, die werkzaam is voor de provincie Friesland en een huidige functie als projectleider van de Vismigratierivier bij de Afsluitdijk heeft (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Een semigestructureerd interview wordt uitgevoerd aan de hand van vooraf opgestelde vragen. Er is bij deze manier van interviewen geen vaste volgorde van de vragen. Het voordeel van deze methode is dat er indien mogelijk, doorgevraagd kan worden om waardevolle informatie te verkrijgen (Verhoeven, 2016). Met de deskundigheid en ervaring van Erik Bruins Slot werd informatie met betrekking tot de technische eisen en randvoorwaarden aangevuld. Er zijn binnen dit interview verschillende thema's met betrekking tot de Vismigratierivier besproken, waaronder: de maatregelen die bij de Vismigratierivier bij de Afsluitdijk genomen worden om een geleidelijke overgang van zout water naar zoet water te creëren en de functie van het zogeheten 'technisch gedeelte' van de Vismigratierivier. De transcriptie van het interview met Erik Bruins Slot is terug te vinden in Bijlage 2.

Er is daarnaast een open interview afgenomen bij Christiaan Bijl, die werkzaam is voor BAM Infraconsult BV en een huidige functie als integraal ontwerpmanager heeft. Een open interview wordt uitgevoerd met een vaststaande lijst met onderwerpen. Tevens is er alle ruimte voor eigen inbreng van de respondent (Verhoeven, 2016). De ervaring en kennis van Christiaan Bijl heeft voor dit onderzoek tot nieuwe inzichten van de sturing en regulatie van de Vismigratierivier bij de Afsluitdijk geleid. Er zijn binnen dit interview verschillende thema's met betrekking tot de Ecopassage van de Vismigratierivier bij de Afsluitdijk besproken, waaronder: de inrichting en opbouw van de Ecopassage en de regulatie van het watersysteem doormiddel van de regel- en kunstwerken binnen de Ecopassage.

Er zijn daarnaast bij twee ACT-studentengroepen vanuit de Universiteit van Wageningen, focusgroep-interviews afgenomen. Het is gebruikelijk dat bij een focusgroep-interview over een afzonderlijk onderwerp gesproken wordt met meerdere personen tegelijk (Swanborn, 2006). Een aantal thema's die ter sprake kwamen waren: de kritische eigenschappen van de doelsoorten en een potentiële inrichting van de Vismigratierivier bij de Haringvlietdam. De kennis van de studentenadviesgroepen zorgde voor een aanvulling van informatie op de ecologische eisen en randvoorwaarden.

Tabel 2 Schema geïnterviewden

<i>Nummer</i>	<i>Geïnterviewde</i>	<i>Organisatie</i>	<i>Rol</i>	<i>Thema</i>
1	Erik Bruins Slot	Provincie Fryslân	Waterbouwkundig projectleider Vismigratierivier Afsluitdijk	VMR technische randvoorwaarden
2	Christiaan Bijl	BAM Infraconsult BV	Integraal ontwerpmanager	Ecopassage VMR
3	ACT-groep 1 en 2	Universiteit Wageningen	Studentenadviesg roep ecologie en vismigratie	VMR doelsoorten en ecologische randvoorwaarden

Data-analyse

Om de waterstanden aan weerszijden van de Haringvlietdam en het spuidebiet door de Haringvlietdam voor de scenario's gemiddeld, hoog en extreem in kaart te brengen, is er kwantitatief onderzoek gedaan (deelvraag 3). Binnen dit onderzoek is er gebruik gemaakt van de meetgegevens en kentallen opgehaald uit de database 'Waterinfo' geleverd door Rijkswaterstaat. De waardes zijn geanalyseerd en vergeleken over een periode van 6 jaar (2015-2020). Aan de hand van deze analyse zijn de waterstanden in de Voordelta/het Haringvliet en de spuidebiet waardes van de Haringvlietsluizen, onder gemiddelde, hoge en extreme omstandigheden in kaart gebracht.

3. Onderzoeksresultaten

In dit hoofdstuk wordt een overzicht weergegeven van de onderzoeksresultaten. De resultaten worden weergegeven in verschillende paragrafen. Dit zijn:

- 'De ecologische randvoorwaarden Vismigratierivier';
- 'De technische randvoorwaarden Vismigratierivier';
- 'De scenario's';
- 'Het conceptueel ontwerp'.

3.1 De ecologische randvoorwaarden Vismigratierivier

In deze paragraaf wordt allereerst een overzicht van de ecologische randvoorwaarden van de Vismigratierivier weergegeven (paragraaf 3.1.1). De opgestelde randvoorwaarden zijn voortgekomen uit zowel het vooronderzoek als uit onderzoek in een later stadium. In paragraaf 3.1.2 wordt de totstandkoming en onderbouwing van deze randvoorwaarden toegelicht. Voor verdere toelichting op de totstandkoming van de ecologische randvoorwaarden, zie het Vooronderzoek rapportage in Bijlage 9.

3.1.1 Overzicht ecologische randvoorwaarden Vismigratierivier²

Ecologische eisen - Doelsoorten

De doelgroepen van de Vismigratierivier zijn in drie hoofdgroepen te onderscheiden:

1. Diadrome soorten, waaronder:
 - a. Getijdenmigranten
 - b. Zwakke zwemmers (waaronder semi-getijdenmigranten)
 - c. Sterke zwemmers
2. Estuariene soorten
3. Zoetwatersoorten

1 *Ecologische eisen - Omstandigheden Vismigratierivier*

- a) Om de vismigratierivier effectief te laten werken, mag de maximale stroomsnelheid in de Vismigratierivier van 0,30 m/s zo min mogelijk overschreden worden. Deze waarde is gebaseerd op een eb situatie. Ecologisch onderzoek heeft aangetoond dat met deze maximale stroomsnelheid alle doelsoorten tegen de stroming in kunnen zwemmen bij eb. Bij een vloed situatie mag de stroomsnelheid hoger zijn dan 0,30 m/s. Vissen kunnen tijdens vloed gebruik maken van selectief getijdetransport om de vismigratierivier in te komen;
- b) Door de invloed van het getij, is er binnen de Vismigratierivier een afwisselende waterstroom richting de Voordelta dan wel richting het

² In dit overzicht zijn geen verwijzingen/citaten weergegeven. Deze zijn weergegeven in de toelichting (zie Hoofdstuk 3.1.2) en in het Vooronderzoekrapport (Bijlage 9)

- Haringvliet. Om hierop in te spelen, zal een deel van de rivier als estuarium ingericht worden, met een zacht substraat (zand);
- c) Om over predatie (door onder andere visetende vogels) op de migrerende vissen te voorkomen, dienen er binnen de Vismigratierivier voldoende schuil- en zwemmogelijkheden te zijn, in zowel diep als ondiep water;
 - d) De Vismigratierivier dient nagenoeg het gehele jaar (dag en nacht) migratiemogelijkheid aan alle doelsoorten te bieden;
 - e) Er moet voorkomen worden dat de vissen bij de uitgang van de Vismigratierivier (aan de Haringvlietkant) door de stroming terug de Voordelta in belanden. Tegelijkertijd dient er voor de vissen de mogelijkheid te zijn om in zowel diep als ondiep water weg te kunnen zwemmen;
 - f) Voor de acclimatisering van de vissoorten is het van belang dat de doelsoorten zich geleidelijk door de verschillende zoutzones kunnen verplaatsen (van het zoute zeewater met een zoutgehalte van circa ≥ 28 psu naar het zoete rivierwater met een zoutgehalte van circa $< 0,5$ psu). De lengte van de vismigratierivier moet voldoende zijn om de geleidelijke overgang te waarborgen;

3.1.2 Doelsoorten en toelichting ecologische vereisten

Op basis van trekgewoonten en behoeftes van de doelsoorten zijn er vanuit het Vooronderzoeksrapport acht aspecten opgesteld en onderzocht: de kritische stroomsnelheid, turbulentie, substraat, predatie, doorzicht, saliniteit, obstakels en temperatuur- gradiënt. Daarnaast is het verspreidingspatroon van de (vis)doelsoorten rond de Haringvlietdam onderzocht. In onderstaande tekst worden deze ecologische criteria bondig toegelicht. Er kunnen meer ecologische vereisten aan de Vismigratierivier worden gesteld, echter is de keuze op de geselecteerde vereisten gemaakt op basis van wetenschappelijke literatuur, aanbevelingen vanuit de Universiteit van Wageningen en vergelijkbare vispassageprojecten, zoals de Vismigratierivier bij de Afsluitdijk.

Doelsoorten

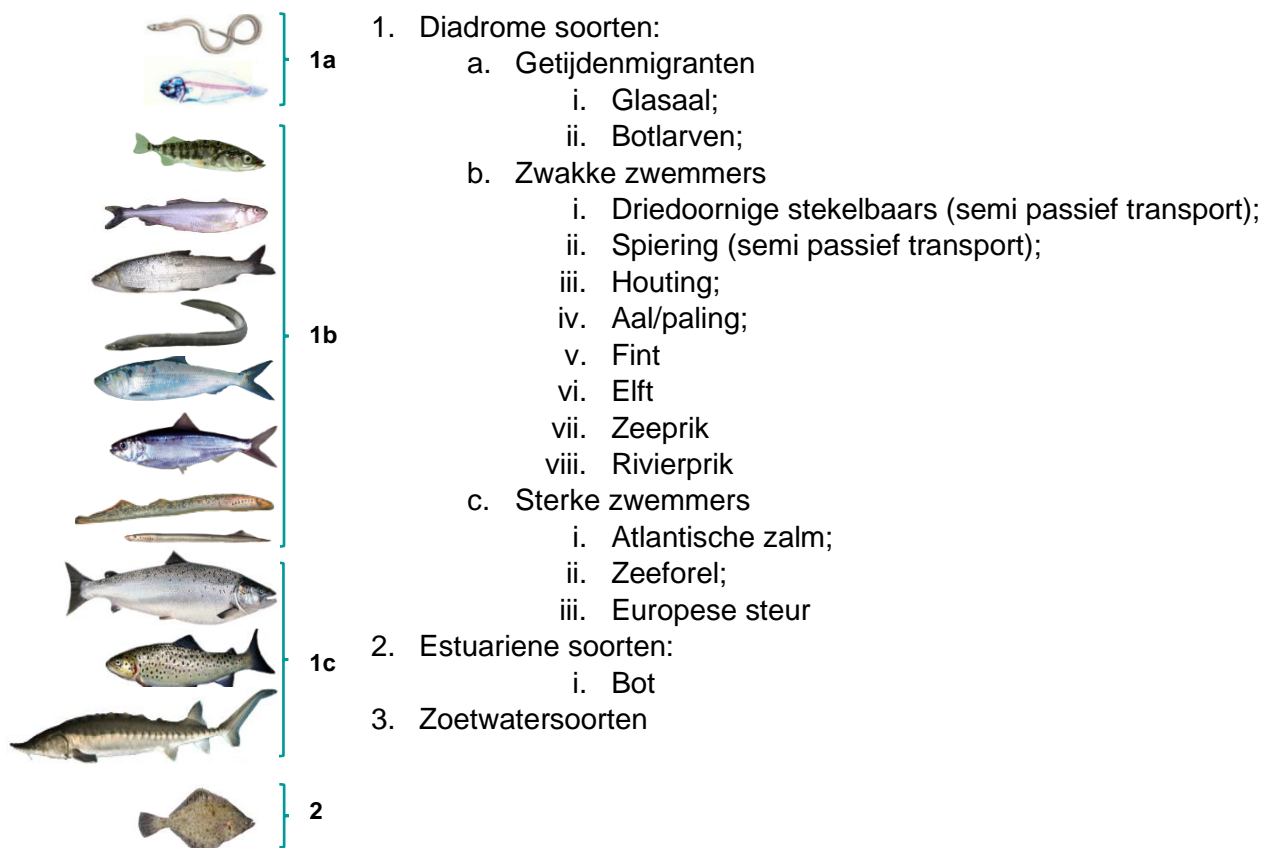
Om tot de ecologische vereisten van de Vismigratierivier te komen is het belangrijk om naar het ecologisch doel van de vispassage te kijken (van den Tweel, et al., 2021). Het streven is naar een migratieroute die voor verschillende vissoorten gedurende nagenoeg het gehele jaar toegankelijk is. Om dit te bereiken wordt binnen dit onderzoek het gedrag en de eigenschappen van de beoogde doelsoorten als leidend beschouwd voor de inrichting van de rivier. De doelsoorten hebben duidelijke behoeften en/of kritieke eigenschappen die kunnen worden gebruikt als ijkpunt voor het ontwerp van de Vismigratierivier (Grontmij, 2016). Bovendien kan door het monitoren van de doelsoorten de werking van de Vismigratierivier beoordeeld worden. Tenslotte zijn de groepen vissoorten een belangrijk doel voor het actuele rivierbeleid van het Haringvliet zoals beschreven in Natura 2000 (elf, fint, rivierprik, zalm, zeeprik), Kaderrichtlijn Water (naast voornoemde soorten ook aal, bot, driedoornige stekelbaars, houting, spiering) en Droomfondsproject Haringvliet (de steur) (RAVON, 2017).

Naast bovengenoemde soorten zijn er vanuit het Vooronderzoek nog een aantal doelsoorten benoemd - voor extra toelichting zie het Vooronderzoeksrapport in Bijlage 9 en voor een overzicht zie Bijlage 3. De 16 doelsoorten waar binnen dit onderzoek mee rekening gehouden is zijn in *Figuur 7* weergegeven.

De verschillende vissoorten die mogelijk gebruik gaan maken van de Vismigratierivier zijn ingedeeld in Diadrome soorten; Estuariene soorten en Zoetwatersoorten.

- Diadrome soorten- waaronder getijdenmigranten, zwakke zwemmers (waaronder semi-getijden migranten) en sterke zwemmers- zijn trekvisen die het estuarium als trekroute tussen opgroei- en paaigebied gebruiken. Sommige van deze soorten maken daarnaast (in bepaalde levensstadia) gebruik van het estuarium als foerageer- en leefgebied (Kritzer & Sale, 2006). Wanneer de verschillende visen migreren, waar naartoe en hoelang het verblijf is verschilt en is in het Vooronderzoek overzichtelijk gemaakt;
- Estuariene soorten- verblijven lange periodes binnen een estuarium- sommige soorten hun gehele leven- en zijn tolerant voor fluctuerende en lagere zoutgehalten (RAVON, 2017);
- Zoetwatersoorten- bevinden zich in zoetwatergetijden tot aan de zwak brakke zone van het estuarium (RAVON, 2017). Tijdens het spuien kunnen sommige visen in de Voordelta terechtkomen en, in de huidige situatie, niet altijd terugkeren.

Doelgroep Vismigratierivier Haringvliet



Figuur 7 Doelsoorten Vismigratierivier, in soortensamenstelling zoals vastgesteld vanuit de Kaderrichtlijn Water (Tangelder, Winter, & Ysebaert, 2017)

Toelichting Ecologische vereisten

Migratiegedrag- zwemcapaciteit

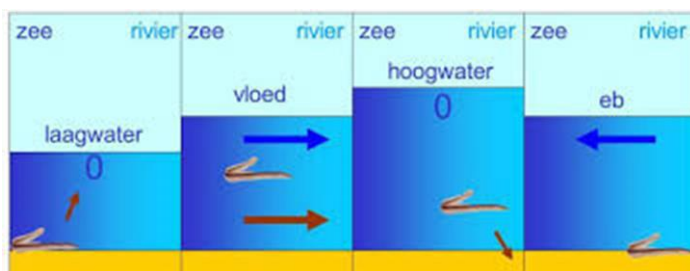
Het migratiegedrag van de verschillende doelsoorten verschilt. Sommige vissoorten, met name de grotere en sterke zwemmers, gaan actief opzoek naar zoetwaterstromen om tegen de stroming in hun opgroei- en paaigebieden te bereiken (Kritzer & Sale, 2006). Deze vissoorten, zoals de zalm en de zeeforel, hebben doorgaans geen moeite met het overbruggen van hogere stroomsnelheden. Andere vissoorten, met name de kleinere en zwakke zwemmers zoals de glasaal en de driedoornige stekelbaars, kunnen geen hogere stroomsnelheden overbruggen en maken gebruik van de vloedstroom (Gibson, Barnes, & Atkinson, 2001).

De kritische stroomsnelheid is de maximale stroomsnelheid waarbij de desbetreffende vissoorten de passage voor een langere tijd kunnen volhouden en onder de meest gunstige omstandigheden de reis door kunnen zetten (van Banning, van der Baan, & de Bruyne, 2018). De maximale stroomsnelheid bij een eb-situatie over grotere afstanden is afhankelijk van de kritische stroomsnelheid van de doelsoorten. Deze kritische stroomsnelheid is voor een aantal doelsoorten op 0,3³ m/s geschat (Kroes & Monden, 2005). Bij opkomend tij mag deze waarde overschreden worden, aangezien de vissen in dergelijke situaties niet tegen de stroming in hoeven te zwemmen (Grontmij, 2016). Naast stroomsnelheid wordt er, afhankelijk van het formaat vis en diens zwemcapaciteiten, door de vissen bij een bepaalde turbulentie-waarde last ondervonden. Over het algemeen kan gesteld worden dat een K-waarde [m^2/s^2] van hoger dan 0.05 voor vissen als hoog wordt beschouwd (Bravo-Córdoba, Fuentes-Pérez, Valbuena-Castro, de Azagra-Paredes, & Sanz-Ronda, 2021).

Selectief getijdentransport

Selectief getijdentransport is een manier van voortbewegen waarbij de vissoorten efficiënt gebruik maken van opkomend tij, door als het ware mee te liften bij vloed en proberen de positie te behouden bij eb (door ofwel in te graven in de bodem, dicht bij de bodem te blijven of stationair te zwemmen in de stroom) (

). Op deze manier besparen de vissoorten energie en worden ze niet 'teruggespoeld' door het afgaand tij (Gibson, Barnes, & Atkinson, 2001).



Figuur 8 Selectief getijdentransport (Kamermans, Winter, & Schellekens, 2013)

³ Voor verdere toelichting zie het Vooronderzoeksrapport in Bijlage 9

Om binnen het ontwerp van de Vismigratierivier zo veel mogelijk rekening te houden met de migratie-eisen van de doelsoorten is een 'open' en 'ademend' systeem, waar door de aanwezigheid van het getij wisselende richtingen waterstromen voorkomen, bevorderlijk. Verschillende vissoorten kunnen- afhankelijk van het migratiegedrag- van deze verschillende stromingspatronen profiteren, mits de stromingssituaties lang genoeg aanhouden (Grontmij, 2016). Op deze manier kunnen zowel de grotere en sterkere zwemmers, als de kleinere en zwakke zwemmers de Vismigratierivier passeren. Tegelijkertijd moet de Vismigratierivier zones hebben met lagere stroomsnelheden, die kunnen dienen als plaatsen waar vissen tijdelijk kunnen rusten en schuilen tijdens eb-situaties (van Banning, van der Baan, & de Bruyne, 2018).

Migratiegedrag- Conditie

Voor vissoorten die over de bodem migreren en/of zich in de bodem schuilhouden, zoals de glasaal en de bot, is een zacht substraat als zand gewenst. Naast een zacht substraat, zal de Vismigratierivier voldoende schuilgelegenheden moeten kunnen bieden (Grontmij, 2016). Rustmogelijkheden vergroten de kans dat de vissen de stroomsnelheden kunnen overbruggen. Bovendien kan de beschikbaarheid van schuilplaatsen vissoorten minder kwetsbaar maken voor predatie tijdens hun migratie (Steele, 1999). Bij het passeren van de Vismigratierivier zijn de vissen vatbaar voor verschillende soorten roofdieren zoals visetende vogels, roofvissen en zeehonden (Legrand, et al., 2021). Een verhoogde predatiedruk, waarbij de vissen massaal weggevreten worden, moet voorkomen worden (Winter, Griffioen, & Keeken, 2014). Sommige vissoorten kiezen ervoor om diep over de bodem te migreren om zichzelf tegen predatie te weren. Aanwezigheid van diepere delen binnen de Vismigratierivier is daarom van belang. Andere vissoorten maken gebruik van de troebelheid van het water, de mate waarin de transparantie van het water/ doorzicht wordt verminderd door slibconcentraties (Winter, Griffioen, & Keeken, 2014). Daarnaast is het van belang dat de vissoorten zonder te veel oponthoud de Vismigratierivier kunnen passeren. Hoe sneller de vissen door de passage heen komen, hoe minder kans op predatie (Grontmij, 2016). Om te voorkomen dat er onnodig oponthoud optreedt, zal de Vismigratierivier ruim gedimensioneerd moeten worden.

Om gedurende een langere tijd te wennen aan de zout/zoet overgang is voor sommige vissoorten een acclimatisatiezone nodig (Winter, Griffioen, & Keeken, 2014). Om het lichaam en de stofwisseling van migrerende vissen geschikt te maken voor een overgang in zoutgehalte, treden bij migrerende vissoorten fysiologische veranderingen op (Winter, Griffioen, & Keeken, 2014). Een geleidelijke overgang in saliniteitsgradiënt stimuleert deze aanpassing en zorgt ervoor dat deze gunstig verloopt. Ook zal er zowel binnen als buiten de Vismigratierivier voor gezorgd moeten worden dat er geen mogelijke obstakels ontstaan die de vissen afschrikken/hinderen: een zekere mate in geluid, kunstlicht en aardmagnetische straling kunnen voor bepaalde vissoorten als obstakel ondervonden worden (Winter, et al., 2020). Daarnaast is een sterk verschil in temperatuurgradiënt niet gunstig voor de leefomstandigheden van de meeste vissoorten (Grontmij, 2016).

Migratiegedrag- verspreidingspatronen rond Haringvlietdam

Momenteel is er weinig tot geen informatie beschikbaar over de locaties van vis concentraties rond de Haringvlietsluizen. Uit onderzoek over het gedrag, dichtheden en voorkomen van diverse trekvissoorten is er vanuit IMARES (Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies) speculatief een voorbeeld van verschillend mogelijke verspreidingspatronen van de trekvissen aan de buitenzijde van de Haringvlietdam weergegeven (*Figuur 9*). Het overzicht bestaat echter enkel uit mogelijke plausibele verspreidingen die voor kunnen komen. Het rode scenario geeft een concentratie van vis voor de Haringvlietsluizen weer. Deze situatie zou zich voor kunnen doen bij sluiting van de spuisluizen, door bijvoorbeeld een periode met een lage rivierafvoer of hoge buitenwaterstanden. Het groene scenario geeft aan weerszijden van de spuisluizen (in de ‘neren’) een ophoping van vissen weer. Deze situatie zou zich voor kunnen doen als er zoetwater gespuid wordt en meerdere sluizen openstaan. Een geel scenario geeft een verspreiding van de trekvissen over grote schaal weer (de Winter, 2009).



Figuur 9 verschillend mogelijke verspreidingspatronen van de trekvissen rond de spuisluizen van de Haringvlietdam (de Winter, 2009)

3.2 De technische vereisten Vismigratierivier

In deze paragraaf wordt allereerst een overzicht van de technische randvoorwaarden van de Vismigratierivier weergegeven (paragraaf 3.2.1). De opgestelde randvoorwaarden zijn voortgekomen uit zowel het vooronderzoek als uit onderzoek in een later stadium. In paragraaf 3.2.2 wordt de totstandkoming van deze randvoorwaarden bondig toegelicht. Voor verdere toelichting op de totstandkoming van de technische randvoorwaarden, zie het Vooronderzoeksrapport in Bijlage 9.

3.2.1 Overzicht technische vereisten Vismigratierivier⁴

2 Technische eisen- Vismigratierivier

- a) Om een overgangszone van zout naar zoet water te creëren, moet het watersysteem binnen de Vismigratierivier zowel beïnvloed worden door het getij vanaf de Voordelta als door de rivierafvoer vanaf het Haringvliet;
- b) Om een brakwaterzone te verkrijgen die geleidelijk van zout naar zoetwaterzones overgaat, zal horizontale gelaagdheid in zoutgradiënt van het water enigszins beperkt moeten blijven;
- c) De lokstroom uit de vispassage dient minimaal 3 tot 10% van de afvoer uit het naastliggende kunstwerk (bijvoorbeeld een sluis) te zijn. Hoe hoger het percentage van het totale debiet dat kan worden gebruikt voor de lokstroom, des te effectiever de faciliteit is.
- d) Voor de effectiviteit van de Vismigratierivier, dient de mate van turbulentie niet te hoog te zijn. Een K-waarde [m^2/s^2] van hoger dan 0.05 wordt voor vissen als hoog beschouwd;
- e) De lengte van de VMR moet voldoende zijn om de daadwerkelijke transitie van brak- naar zoetwater te realiseren en de waterstandverschillen te kunnen overbruggen.
- f) Het ontwerp dient morfologisch stabiel te zijn. Een maximale stroomsnelheid van 0,30 m/s zal daarbij zo vaak mogelijk gehanteerd moeten worden;
- g) Er mag geen sedimentatie rondom de regelwerken binnen de Vismigratierivier plaatsvinden;
- h) De overgang van het bodemprofiel van de rivier naar het bodemprofiel van het doorlaatmiddel dient volledig op elkaar aan te sluiten.

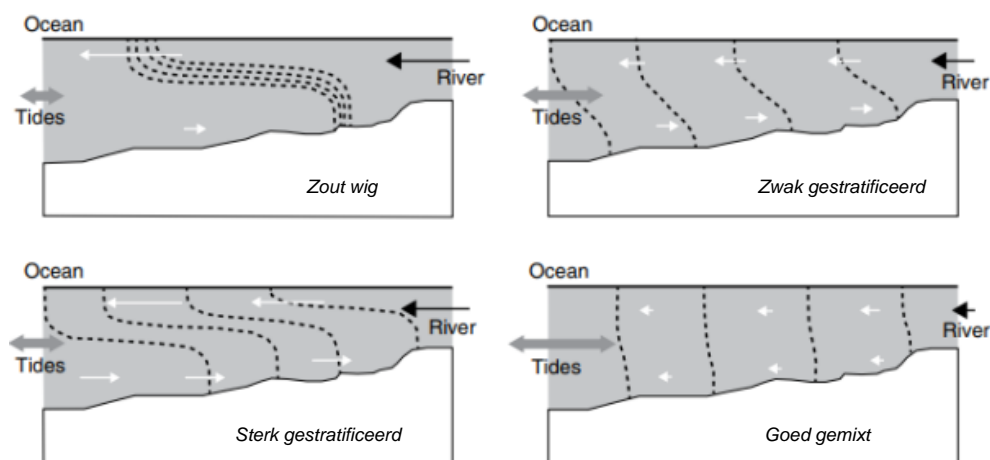
⁴ In dit overzicht zijn geen verwijzingen/citaten weergegeven. Deze zijn weergegeven in de toelichting (zie Hoofdstuk 3.2.2) en in het Vooronderzoeksrapport (Bijlage 9)

3.2.2 Toelichting technische vereisten

Een permanente vismigratieroute in de vorm van een ‘open’ vismigratierivier vereist een goed functionerend hydraulisch systeem. Naast de inrichting van het systeem is ook de regulatie van het watersysteem van belang. Het systeem moet leiden tot een overgangszone van zout- naar zoetwater, die toegankelijk zal zijn voor alle doelsoorten het gehele jaar rond. Er kunnen meer technische vereisten aan de Vismigratierivier worden gesteld, echter is de keuze op de geselecteerde vereisten gemaakt op basis van wetenschappelijke literatuur en het vergelijkbare vispassageproject, de Vismigratierivier bij de Afsluitdijk.

Invloed van het getij binnen de Vismigratierivier

De invloed van het getij op het watersysteem binnen de Vismigratierivier zorgt voor een afwisselende stroom van het water richting de Voordelta dan wel het Haringvliet, waarbij het zoute water tijdens vloed verder naar binnen stroomt en tijdens eb verder terugtrekt. Om voor alle doelsoorten de migratie onder de ideale omstandigheden te faciliteren- ook de soorten die moeite hebben om snel te acclimatiseren- zal er een zachttaardig saliniteitsgradiënt moeten worden gerealiseerd (Winter, Griffioen, & Keeken, 2014). De menging van het zoute water vanuit de Voordelta met het zoete water vanuit het Haringvliet kan in theorie voor een geleidelijke overgang in zoutgradiënt zorgen. Echter bij een slechte vermenging (door bijvoorbeeld zwakke getijdenstroming) van de waterlagen kan er een horizontale gelaagdheid in het water ontstaan, waarbij het zoete water [respectievelijk 1000 kg/m^3] vrij lang aan het oppervlakte blijft en er zich tegelijkertijd een zeer stabiele zoutwatertong [respectievelijk 1025 kg/m^3] over de bodem zal uitstrekken (Delta21, 2018) (zie *Figuur 10*). Om een geleidelijke overgang van zout naar zoet water te stimuleren is er een voldoende lengte van de Vismigratierivier nodig (van Banning, van der Baan, & de Bruyne, Hydraulische en ecologische toetsing van het ontwerp, 2018).

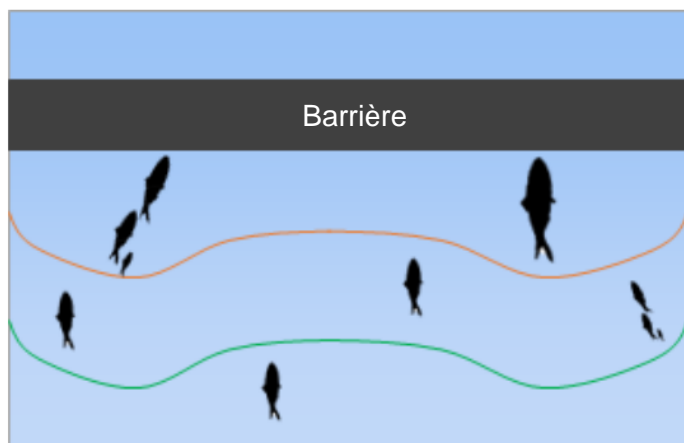


Figuur 10 Dwarsdoorsneden estuaria aangegeven met vier regimes voor saliniteit, op basis van de verticale structuur van het zoutgehalte (Valle-Levinson, 2010)

Lokstroom en inganglocatie Vismigratierivier

De effectiviteit van een vispassage wordt, naast de passeerbaarheid, bepaald door diens attractiviteit (Kroes & Monden, 2005). De attractiviteit ofwel aantrekkingskracht van de passage is afhankelijk van een niet turbulente en sterke zoetwaterstroom: de lokstroom (Kroes & Monden, 2005). Om een geschikte route stroomopwaarts te vinden, vertrouwen vissen voornamelijk op chemische signalen waaronder de uitstroom van zoetwater. De lokstroom zal de stroomopwaarts migrerende vissen begeleiden en zorgt ervoor dat de passage tijdens een eb-situatie beter te vinden is (Grontmij, 2016). Bij vloed, wanneer het zoute water de Vismigratierivier binnen stroomt, zal de lokstroom niet aanwezig zijn. De kwaliteit van de zoete lokstroom wordt bepaald door diens locatie, omvang, dwarsprofiel van de uitstroomopening en uitstroomrichting (Kroes & Monden, 2005).

Het migratiegedrag van de verschillende vissoorten is leidend voor de locatie van de lokstroom. 'Over het algemeen geldt dat vissen de sterkst waarneembare stroming volgen, totdat de stroming de zwemcapaciteit overtreft' (Coenen & Antheunisse, 2013). Dit is de zone achter een stuw of sluzencomplex waar de stroomsnelheden groot zijn en een turbulente zone ontstaat. De begrenzing van de zone wordt de 'migratielimietlijn' genoemd (*Figuur 11*). De optimale locatie van de ingang van een vismigratievoorziening, zal binnen of aan de rand van de migratielimietlijn zijn (Kroes & Monden, 2005). De ligging van de migratielimietlijn is afhankelijk van het geloosde debiet en de zwemcapaciteiten van de vissoorten (Grontmij, 2016). Voor zwakkere zwemmers zal de migratielimietlijn verder van de barrière afliggen dan voor de sterkere zwemmers.



Figuur 11 Voorbeeld Migratielimietlijn; In het midden van de waterloop ontstaat er, door de hoge stroming, een zekere bolling in de migratielimietlijn (Bensink, Draisma, Peters, van der Tuin, & van Zwieten, 2019)

Een voldoende omvang van de lokstroom is nodig om andere dominante stromen te maskeren, waardoor zoveel mogelijk vissen begeleid kunnen worden (Kroes & Monden, 2005). 'Indien de lokstroom te weinig omvang heeft, zal deze niet of slechts met veel zoekwerk in de hoofdstroom vindbaar zijn (Grontmij, 2016). 'Over het algemeen kan gesteld worden: hoe hoger het percentage van het totale debiet dat kan worden gebruikt voor de lokstroom, des te effectiever de faciliteit is' (Monden, 2007). Een stelregel die, volgens Arcadis, vaak voor vispassages aangehouden wordt is dat de lokstroom minimaal 3% van de afvoer uit het naastliggende kunstwerk moet zijn (van Banning, van der Baan, & de Bruyne, 2018). Om voldoende lokstroom voor een Vismigratierivier binnen het Haringvliet te realiseren zal er dus minimaal 3% van het spuidebiet van de Haringvlietsluizen gerealiseerd moeten worden. De ingangen moeten daarnaast toegankelijk zijn voor de vissoorten. Een voldoende grootte dwarsprofiel van de uitstroomopening zal noodzakelijk zijn om oponthoud te voorkomen en de stroomsnelheden zodanig te sturen dat de vissoorten tegen de stroming in kunnen zwemmen.

De meest effectieve uitstroomrichting van de ingang van de vispassage ten opzichte van de hoofdloop is afhankelijk van de omvang van de lokstroom (Kroes & Monden, 2005). Over het algemeen geldt dat bij een lokstroom met een kleine omvang, de ingang het beste loodrecht op de waterloop kan staan. Bij een hoger debiet zal de ingang het beste onder een hoek van maximaal 30 graden met de waterloop geplaatst kunnen worden (Kroes & Monden, 2005).

Morfologie

Vanuit de ecologische aanbevelingen is naar voren gekomen dat een zacht substraat als zand bevorderlijk zal zijn voor de vismigratie (Winter, Griffioen, & Keeken, 2014). Om de Vismigratierivier met een zandige ondergrond morfologisch stabiel te houden: zullen de stroomsnelheden van het water enerzijds dusdanig groot zijn om dichtslibbing te voorkomen en anderzijds klein genoeg zijn om te voorkomen dat het zand het systeem uitspoelt (Bruins Slot, 2021). De kritische waarde voor erosie van fijn zand met een korreldiameter van 2 mm ligt op circa 0,30 m/s (berekening in Bijlage 4). Dit houdt in dat bij een stroomsnelheid van hoger dan 0,30 m/s het zand zal gaan bewegen. Om het systeem morfologisch stabiel te houden zal zo vaak mogelijk aan een maximale stroomsnelheid van 0,30 m/s moeten worden voldaan. Het is echter onwaarschijnlijk dat deze snelheid ten alle tijden voorkomen kan worden. Op plaatsen waar de limiet wordt overschreden zal de rivierbedding versterkt kunnen worden, hetzij natuurlijk of kunstmatig (van Banning, van der Baan, & de Bruyne, 2018).

Waterstandsverschillen

Het watersysteem binnen de Vismigratierivier zal zowel invloed vanuit de Voordelta- als de Haringvlietzijde ondervinden. Zo zal de rivier, vanaf beide zijdes, een verschil in onder anderen waterstand ondervinden. Om deze waterstandsverschillen op te vangen en tegelijkertijd aan de stroomsnelheden te voldoen zal er een voldoende lengte van de rivier gecreëerd moeten worden (Bruins Slot, 2021). Eventuele variaties in verval en stroomrichtingen kunnen gereguleerd worden doormiddel van de aanleg van regelwerken binnen de Vismigratierivier (Bruins Slot, 2021). Om de werking van de regelwerken binnen het systeem te bevorderen, zal aanzanding in de buurt van de kunst- regelwerken voorkomen moeten worden (van Banning, van der Baan, & de Bruyne, 2018).

3.3 Scenario's waterstanden en spuidebieten bij de Haringvlietdam

Het watersysteem binnen de Vismigratierivier wordt beïnvloed door zowel de zoutwater aan- en afvoer vanuit de Voordelta, als de zoetwateraanvoer vanuit het Haringvliet. Een belangrijke eis die aan de Vismigratierivier gesteld is, is dat de Vismigratierivier het gehele jaar toegankelijk moet zijn voor de beoogde doelsoorten met uitzondering van situaties waarbij bijvoorbeeld extreme waterstandverschillen en/of een langdurige storm vanaf zee optreden (eis 1e). Om hieraan te voldoen zal het ontwerp van de Vismigratierivier zodanig gedimensioneerd moeten worden dat de Vismigratierivier onder verschillende omstandigheden goed kan blijven functioneren.

De Haringvlietdam is een harde scheiding tussen de waterstanden aan de Voordelta kant en aan de Haringvlietzijde. Door een verschil in waterstand tussen de Voordelta en het Haringvliet, ontstaat er een bepaald verval. Belangrijk is dat de Vismigratierivier onder verschillende waterstanden en daarmee waterstandsverschillen kan blijven opereren.

Een ecologische vereiste is dat er tijdens een eb-situatie een lokstroom aanwezig moet zijn, teneinde vissen tijdens een eb-situatie naar de Vismigratierivier te leiden. De omvang van de lokstroom moet minimaal 3% van de afvoer uit het naastliggende kunstwerk zijn (eis 3a).

Om de waterstanden in de Voordelta en het Haringvliet en het spuidebiet door de Haringvlietluizen in kaart te brengen, zijn in dit hoofdstuk drie scenario's opgesteld:

- Scenario 1 geeft een 'normale' situatie weer waarbij de waterstanden in de Voordelta en het Haringvliet en het spuidebiet door de Haringvlietdam gemiddelde waardes hebben;
- Scenario 2 geeft een 'hoge' situatie weer waarbij de waterstanden in de Voordelta en het Haringvliet en het spuidebiet door de Haringvlietdam vrij lage en hoge waardes hebben;
- Scenario 3 geeft een 'extreme' situatie weer waarbij de waterstanden in de Voordelta en het Haringvliet en het spuidebiet door de Haringvlietdam extreme waardes hebben.

Aan de hand van de opgestelde scenario's zal de Vismigratierivier in paragraaf 3.4.3 getoetst worden. Bij deze toetsing zal er gekeken worden onder welke omstandigheden de Vismigratierivier operationeel zal zijn. Tevens wordt er getoetst op de omvang van de lokstroom in relatie tot het spuidebiet.

De scenario's zijn gebaseerd op kentallen en een data-analyse met gegevens aangeleverd door Rijkswaterstaat. Alle mogelijke situaties zijn in drie scenario's weergegeven (paragraaf 3.3.1 – 3.3.3). De kentallen en data-analyses zijn uitgebreid terug te vinden in Bijlage 5.

3.3.1 Scenario 1: Normale omstandigheden

Waterstanden

Alle situaties waarbij waterstandsverschillen optreden tussen de Voordelta en het Haringvliet die kleiner zijn dan 180 cm vallen onder dit scenario. De gemiddelde waterstanden zijn per type getij en situatie laag- en hoogwater in *Tabel 3* weergegeven.

Tabel 3 Waterstanden Scenario 1

Type getij	Waterstand Voordelta	Waterstand Haringvliet
Gemiddeld springtij		
1. Laagwater	NAP -92 cm	NAP 0 cm
2. Hoogwater	NAP +145 cm	NAP +80 cm
Gemiddeld tij		
3. Laagwater	NAP -86 cm	NAP 0 cm
4. Hoogwater	NAP +124 cm	NAP +80 cm
Gemiddeld Doodtij		
5. Laagwater	NAP -77 cm	NAP 0 cm
6. Hoogwater	NAP +93 cm	NAP +80 cm

Waarbij: V= verval richting de Voordelta
 en H= verval richting het Haringvliet

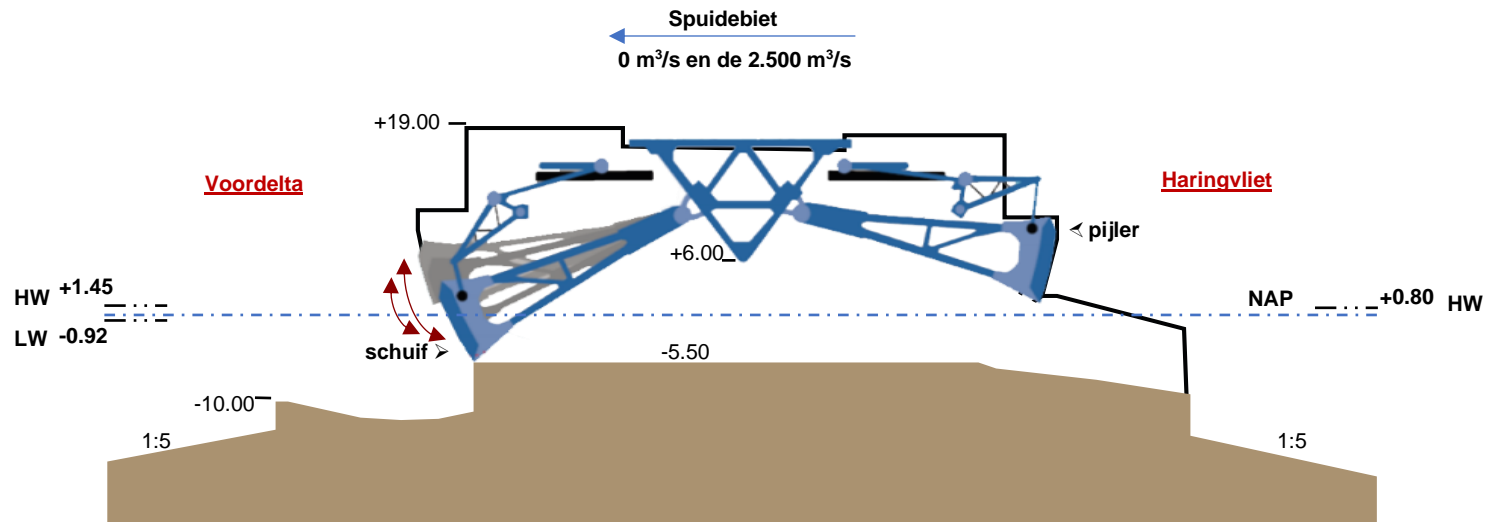
Spuidebiet

Alle situaties waarbij een spuidebiet tussen de 0 m³/s en de 2.500 m³/s optreden vallen onder dit scenario.

In *Figuur 12* wordt een overzicht van de waterstanden en het spuidebiet van Scenario 1 weergegeven.

Scenario 1: Normale situatie

Maximale waterstandsverschillen <180 cm



Figuur 12 Dwarsdoorsnede Haringvlietsluizen met links de waterstanden in Voordelta en rechts in het Haringvliet en boven het spuidebiet

3.3.2 Scenario 2: Hoge omstandigheden

Waterstanden

Alle situaties waarbij waterstandsverschillen tussen de Voordelta en het Haringvliet van 180 cm tot en met 200 cm optreden vallen onder dit scenario. De hoge waterstanden zijn per situatie, laag- en hoogwater, in *Tabel 4* weergegeven.

Tabel 4 Waterstanden Scenario 2

Getij	Waterstand Voordelta	Waterstand Haringvliet
Laagwater	NAP -92 t/m NAP -170 cm	NAP <0 cm
Hoogwater	NAP +146 t/m NAP +200 cm	NAP +80 t/m +190 cm

Waarbij: V= verval richting de Voordelta
 en H= verval richting het Haringvliet

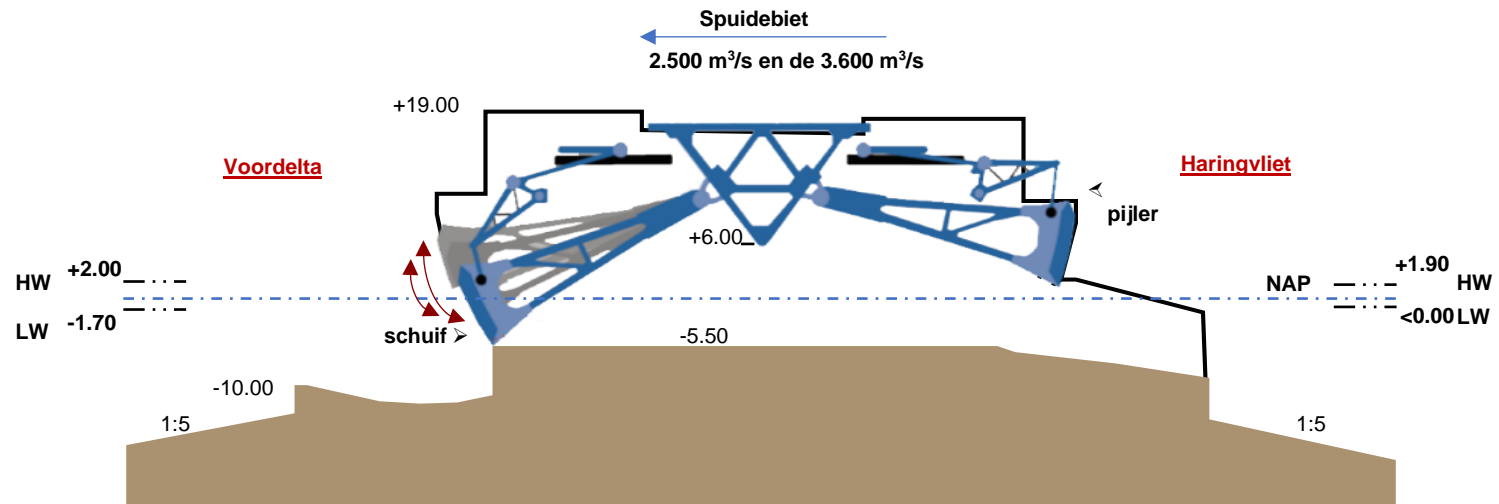
Spuidebiet

Alle situaties waarbij een spuidebiet tussen de 2.500 m³/s en de 3.600 m³/s optreden vallen onder dit scenario.

In *Figuur 13* wordt een overzicht van de waterstanden en het spuidebiet van Scenario 2 weergegeven.

Scenario 2: Hoge situatie

Maximale waterstandsverschillen 180 cm tot en met 200 cm



Figuur 13 Dwarsdoorsnede Haringvlietsluizen met links de waterstanden in Voordelta en rechts in het Haringvliet en boven het spuidebiet

3.3.3 Scenario 3: Extreme omstandigheden

Waterstanden

Alle situaties waarbij waterstandsverschillen tussen de Voordelta en het Haringvliet groter dan de 250 cm optreden vallen onder dit scenario. De extreme waterstanden zijn per situatie, laag- en hoogwater, in *Tabel 5* weergegeven.

Tabel 5 Gegevens Scenario 3

Getij	Waterstand Voordelta	Waterstand Haringvliet
Laagwater	NAP < -170 cm	NAP <0 cm
Hoogwater	NAP +200 t/m +250 cm	NAP +190 t/m +220 cm

Waarbij: V= verval richting de Voordelta
 en H= verval richting het Haringvliet

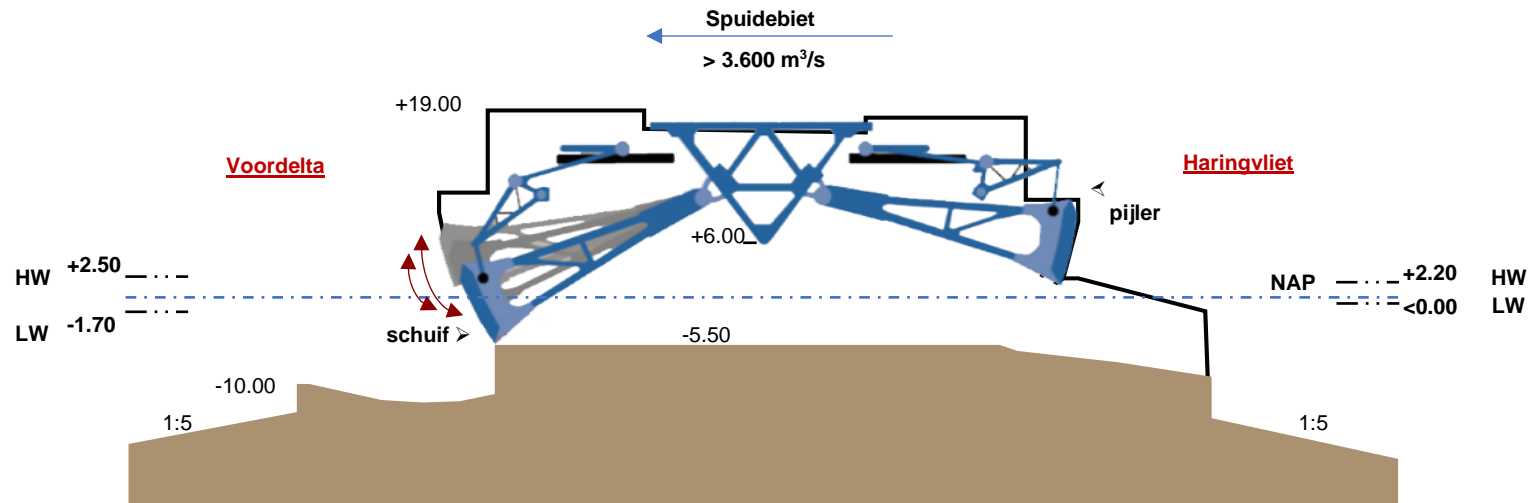
Spuidebiet

Alle situaties waarbij een spuidebiet groter dan 3.600 m³/s optreed vallen onder dit scenario.

In *Figuur 14* wordt een overzicht van de waterstanden en het spuidebiet van Scenario 3 weergegeven.

Scenario 3: Extreme situatie

Maximale waterstandsverschillen circa 250 cm



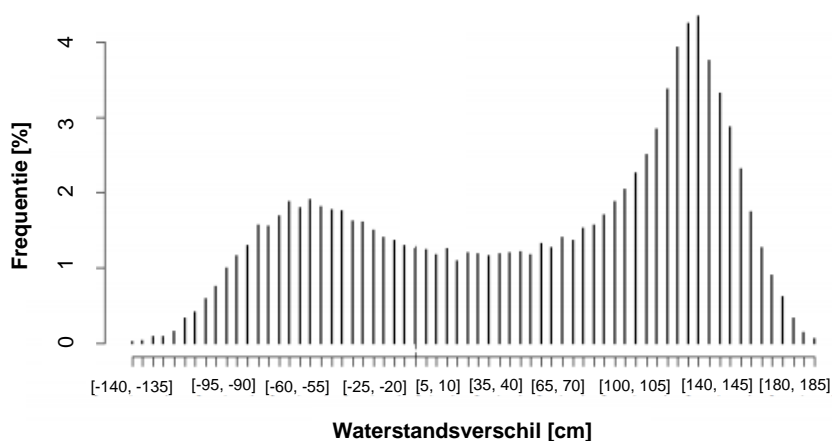
Figuur 14 Dwarsdoorsnede Haringvlietsluizen met links de waterstanden in Voordelta en rechts in het Haringvliet en boven het spuidebiet

3.3.4 Waarschijnlijkheid scenario's

De opgestelde scenario's geven een goede indicatie voor de toekomstige situaties binnen en buiten het watersysteem van de Vismigratierivier. Om in te kunnen schatten hoe vaak en hoelang de Vismigratierivier operationeel is, zijn de frequentie en de duur van de opgestelde scenario's van belang.

Waterstanden

In *Figuur 15* is aangegeven hoe vaak de waterstandsverschillen tussen de Voordelta en het Haringvliet voorkomen. Uit de grafiek is op te maken dat waterstandsverschillen tot en met 180 cm (gemiddeld scenario) veruit het meest voorkomen. Waterstandsverschillen boven de 180 cm komen een aantal keer per jaar voor en vallen onder het hoge scenario. Enkele uitschieters (niet in de grafiek weergegeven) vallen onder het extreme scenario.



Figuur 15 Spreiding waterstandsverschillen tussen de Voordelta en het Haringvliet in 2020 (ACT groep)

Spuidebiet

De door Rijkswaterstaat verrichte metingen van het spuidebiet door de Haringvlietsluizen, geven weer dat de Haringvlietsluizen in de periode 2015 tot en met 2020 gemiddeld zo'n 48% in het jaar gesloten zijn. De reden van sluiting is afhankelijk van het getij en de rivierafvoer vanaf het Haringvliet. Het is twee keer hoogwater en twee keer laagwater over een periode van ongeveer 24 uur en 50 minuten. Een getijcyclus duurt dus ongeveer 12 uur en 25 minuten (Rijkswaterstaat, sd). Bij vloed zijn de sluisen volledig gesloten - met uitzondering van periodes waarin het Kierbesluit wordt gehandhaafd. Sinds de eerste opening op 16 januari 2019 stonden de Haringvlietsluizen op 14 december 2020 voor de 1000^e keer op een kier tijdens vloed, waarbij de openingsduur varieerde tussen de 15 en 90 minuten (Plaatsengids, 2020). In de praktijk wordt het sluisbeheer van de Haringvlietsluizen afgestemd op de rivierafvoer bij Lobith (Deltares, 2017). Bij een rivierafvoer bij Lobith van <math><1.100 \text{ m}^3/\text{s}</math>, zijn de Haringvlietsluizen gesloten. Voorgaande situatie deed zich in de periode 2015 tot en met 2020 ongeveer 13% in het jaar voor (Bijlage 5).

Toekomst

De eerder getoonde kentallen en data geven een patroon weer van de afgelopen jaren. Dit patroon kan ook de komende jaren verwacht worden. Echter licht het in de verwachting dat in de toekomst meerdere hydrodynamische en hydrologische randvoorwaarden zullen veranderen. De toekomstbestendigheid van de Vismigratierivier is afhankelijk van onder anderen de zeespiegelstijging. De te verwachten zeespiegelstijging in 2100 zal, volgens het Deltascenario opgesteld door het KNMI, tussen de 30 en 110 centimeter komen te liggen (KNMI, 2019). Door de aanleg van de nieuwe primaire waterkering binnen het Delta21-plan zal de maximale waterstand aan de Voordelta kant op +2,50 m t.o.v. NAP blijven. De in dit rapport gebruikte data met betrekking tot gemiddelde en hoge waterstanden en spuidebieten zullen door de zeespiegelstijging na verloop van tijd wel wijzigen.

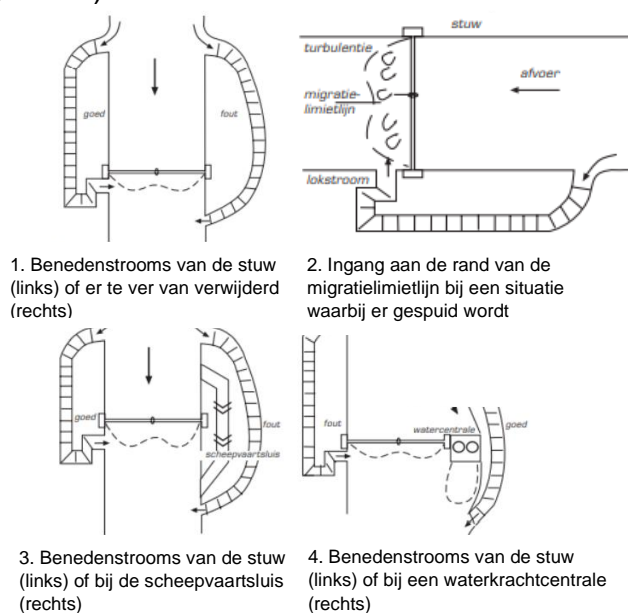
3.4 Het conceptueel ontwerp

In deze paragraaf wordt een aanbeveling gedaan over de vormgeving van de Vismigratierivier, gebaseerd op de vooraf gestelde ecologische en technische randvoorwaarden. Allereerst wordt de locatie van de ingang en de coupure toegelicht. Deze onderdelen zijn op eenzelfde wijze gesitueerd in de vier opgestelde varianten, weergegeven in paragraaf 3.4.2. De opgestelde varianten verschillen in vormgeving en in de ligging. Aan de hand van een Multicriteria-analyse is de voorkeursvariant naar voren gekomen (Bijlage 6). Het ontwerp van de voorkeursvariant wordt toegelicht en onderbouwd in Hoofdstuk 3.4.3. De toetsing van het ontwerp is weergegeven in Bijlage 8. Er wordt getoetst of de voorkeursvariant aan de eerder in dit rapport vastgestelde ecologische en technische randvoorwaarden voldoet onder verschillende omstandigheden (scenario's).

3.4.1 Algemene uitgangspunten inrichting Vismigratierivier

De Ingang

Uit verschillende vismigratiehandboeken geldt als vuistregel dat de meest ideale plek voor de ingang van een vispassage zich bevindt in een gebied waar de lokstroom goed herkenbaar blijft- in relatief kalm water. De zoete lokstroom is het meest effectief als de uitstroom van een vispassage loodrecht op de hoofdstroom wordt gericht (Kroes & Monden, 2005). Daarnaast wordt als uitgangspunt aangehouden dat een plek zo dicht mogelijk gelegen bij de rand van de migratielinielijnt het meest effectief is, bij voorkeur op een plek waar de meeste vissen zich concentreren (Winter, Griffioen, & Keeken, 2014). De vissen zullen immers de sterkste stroom in de waterloop volgen tot aan de migratielinielijnt, vanwaar de vissen naar een uitweg zoeken (Kroes & Monden, 2005). Dit is de meest geschikte plek voor de ingang van een passage (*Figuur 16*).



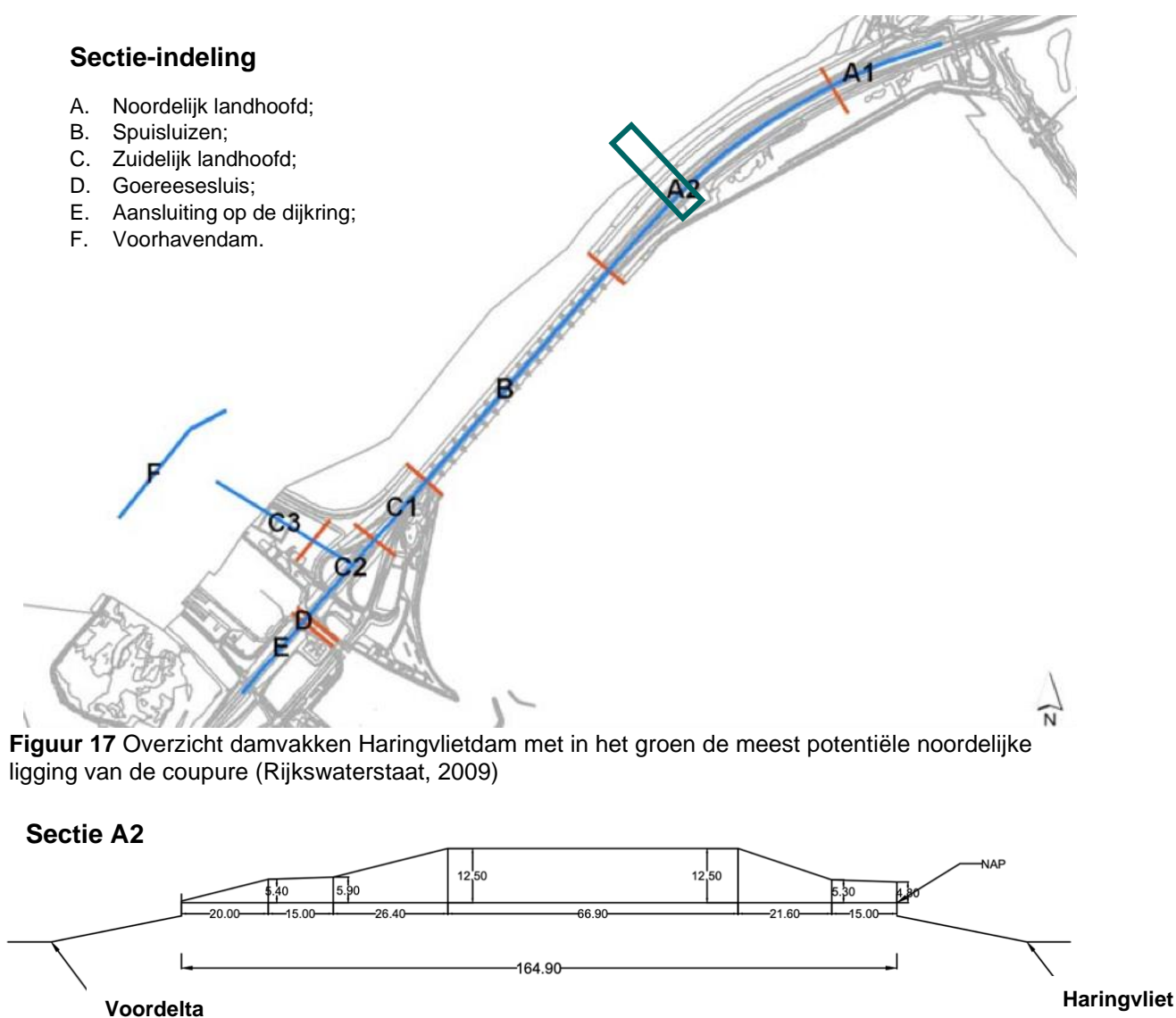
Figuur 16 Verscheidenheid aan situaties met daarbij de meest geschikte locatie van de ingang (Kroes & Monden, 2005)

Om zoveel mogelijk in te spelen op de verspreidingspatronen van de vissen in de brede waterloop rond de Haringvlietsluizen is het raadzaam om de Vismigratierivier te voorzien van meerdere ingangen (Kroes & Monden, 2005). Aanbevolen wordt een ingang dicht bij de spuisluisen in combinatie met een verderop gelegen tweede ingang bij de te ontwerpen (Winter, Griffioen, & Keeken, 2014). De ingangen kunnen het beste gesitueerd worden op plekken waar de grootste concentratie vis zich verzameld (in kalm water), aansluitend aan de migratielinielij (Grontmij, 2016).

Om het mogelijk te maken dat de vissen zowel door de lokstroom vanuit de noordelijke- als de zuidelijke ingang aangetrokken worden, zou een gelijke uitstroom van water over beide ingangen de voorkeur verkrijgen (Grontmij, 2016). Om dit te bereiken kan er naar de vormgeving van de stroomgeulen binnen de Vismigratierivier gekeken worden. De aanleg van een verstevigd eiland kan door diens ligging en assymetische vorm de waterstroom in gelijke verhouding over de ingangen verdelen (van Banning, van der Baan, & de Bruyne, 2018). Het eiland zou daarnaast geschikt kunnen zijn als broedplaats voor vogels (Legrand, et al., 2021).

Coupure door de Haringvlietdam

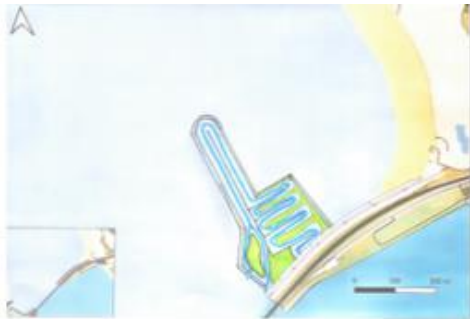
De Vismigratierivier zal op een bepaald punt de Haringvlietdam passeren. De ligging van de coupure door de Haringvlietdam is op meerdere plaatsen mogelijk. De keuze voor een coupure door sectie A2 is als volgt te verklaren. In *Figuur 17* is de indeling van de Haringvlietdam weergegeven. Een ligging aan de zuidzijde van het Haringvliet is binnen dit onderzoek buiten beschouwing gelaten (Delta21, 2018). De secties C1, C2, C3, D, E en F worden hierdoor uitgesloten. Een doorlaatmiddel door sectie B, de Haringvlietsluizen en secties A1 en A2, het Noordelijk landhoofd, zijn alle drie potentiële opties. Echter valt de optie om een sluisopening van de Haringvlietdam te gebruiken, door diens grote afmetingen en benodigde functie af. Een nieuwe doorlaat door sectie A2 is de meest geschikte optie aangezien het dam vak het smalste is en daarbij een gunstige ligging ten opzichte van de Haringvlietsluizen heeft- om mogelijke functies in de sturing en onderhoud te combineren (van der Wolff, 2021). In *Figuur 18* is de dwarsdoorsnede van sectie A2 van de Haringvlietdam weergegeven.



Figuur 18 Dwarsdoorsnede sectie A2 van de Haringvlietdam

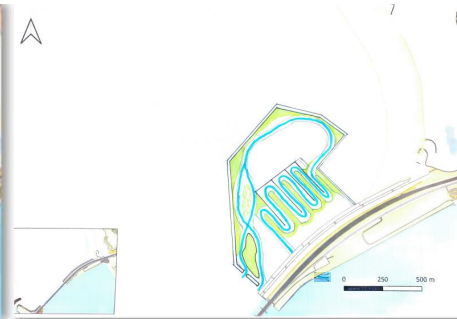
3.4.2 Variantenkeuze Vismigratierivier

Om tot de meest geschikte ligging en opbouw van de Vismigratierivier te komen, zijn er vier verschillende varianten opgesteld (Figuur 19 t/m 22). De varianten zijn aan de hand van een Multicriteria-analyse (MCA) tegen elkaar afgewogen en gerangschikt. Variant 3 'VMR Voordelta', heeft de hoogste score behaald en is daardoor de voorkeursvariant. In onderstaande tekst wordt kort ingegaan op de verschillende varianten. Voor verdere toelichting zie Bijlage 6, waarin de standaardisatie en rangschikking van de criteria wordt toegelicht. Verder wordt er een overzicht van de rangschikking weergegeven en wordt er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.



Figuur 20 variant 1 'lijn' Voordelta
Variant 1 VMR 'lijn' Voordelta

De VMR ligt voor een deel in een rechte lijn parallel aan de kust. De lengte wordt bereikt door een meanderend deel van de rivier. Het rechte deel binnen de rivier wordt als te onnatuurlijk en te technisch beoordeeld.



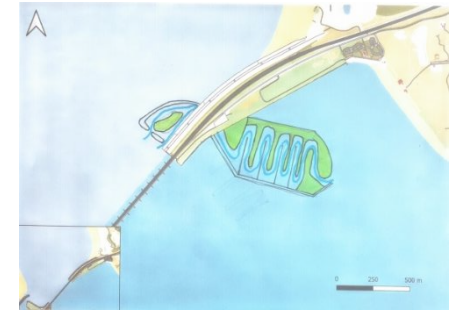
Figuur 21 variant 2 VMR Voordelta
Variant 2 'VMR Voordelta'

De compacte en baaivormige VMR bevindt zich grotendeels in de Voordelta. Door de vrij brede inrichting van het estuariene gedeelte ontstaat er een gebied waar slikken, horen en nieuwe geultjes kunnen ontstaan. De lengte wordt bereikt door een meanderend deel van de



Figuur 19 variant 3 VMR 'lang' Voordelta
Variant 3 'VMR lang Voordelta'

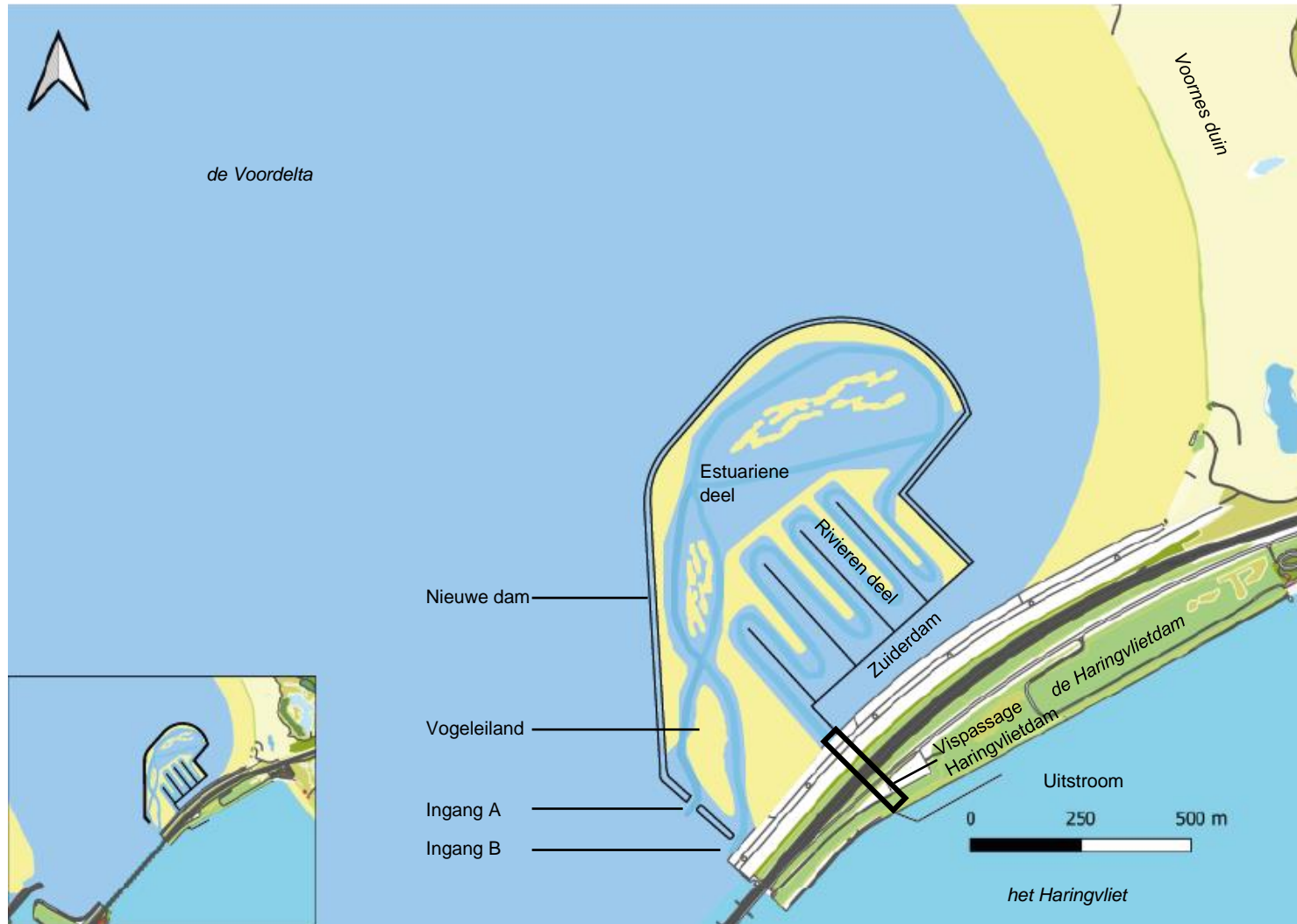
De VMR ligt voor het grootste gedeelte in de Voordelta. Er is niet voor gekozen om een compacte rivier aan te leggen, maar een 'lange' en meer natuurlijke rivier. De rivier werd ruimtelijk beoordeeld als te uitgestrekt.



Figuur 22 variant VMR 4 Haringvliet
Variant 4 'VMR Haringvliet'

Het grootste gedeelte van de VMR ligt aan de Haringvliet-zijde. De lengte wordt bereikt door een meanderend deel van de rivier. Binnen dit gebied bevinden zich diepere delen die minder goed aansluiten op de beoogde waterdieptes. Daarnaast grenst de rivier aan een Catamaran vereniging en kan mogelijk diens functie belemmeren.

3.4.3 Voorkeursvariant 'VMR Voordelta'



Figuur 23 Bovenaanzicht Vismigratierivier

In Figuur is een overzicht weergegeven van het conceptueel ontwerp van de Vismigratierivier. De algemene kenmerken en onderdelen van de voorkeursvariant worden binnen dit Hoofdstuk toegelicht. Tevens wordt de werking van het watersysteem binnen de Vismigratierivier weergegeven.

Algemene kenmerken

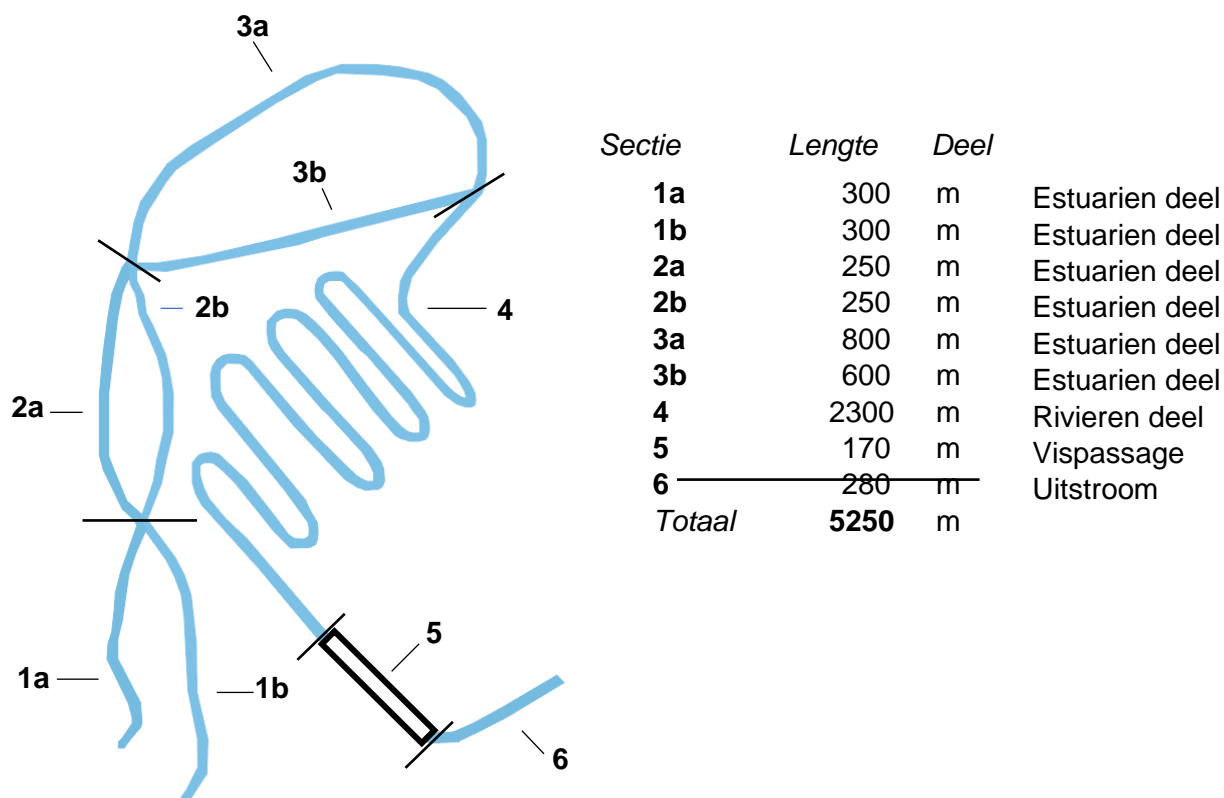
Lengte van de Vismigratierivier

Er zijn verschillende factoren die invloed hebben op de geleidelijke overgang van zoet naar zout. Onder anderen de lengte van de rivier is van belang. De lengte van de VMR bij de Afsluitdijk wordt grotendeels behaald door de aanleg van een zigzaggend deel van de rivier (Bruins Slot, 2021). Volgens van Banning, Et al., (2018) hebben verschillende 3D-simulaties aangetoond dat een lengte van circa 4 kilometer voldoende is om een geleidelijke overgangszone te ontwikkelen waarbij zoutindringing in het IJsselmeer voorkomen kan worden. Uit de zoutsimulaties kan afgeleid worden dat de stratificatie binnen de VMR bij de Afsluitdijk bij een lengte van circa 4 kilometer minimaal is. De oorzaak hiervan is de relatief kleine waterdiepte binnen de Vismigratierivier en de hoge verversingsgraad in het systeem (van Banning, van der Baan, & de Bruyne, 2018). Daarnaast is aangetoond dat met een groter estuarien deel de rivier een kortere lengte kon krijgen (Grontmij, 2016).

In een extreem scenario zal het maximale watersverschil tussen de Voordelta-zijde en de Haringvliet-zijde circa 2,5 meter bedragen. De meest gewenste situatie is om dit verval zoveel mogelijk over de rivier uit te 'spreiden' (Bruins Slot, 2021). Echter zal in deze situatie de stroomsnelheid behoorlijk oplopen. De rivier bestaat voor het grootste gedeelte uit een zacht substraat (zand), waarbij het zand bij een snelheid van 0,30 m/s in beweging komt (Bijlage 4). Om te voorkomen dat het zand mee gaat bewegen en de vormgeving van de rivier ernstig veranderd, zal er gedurende de meeste omstandigheden aan deze maximale stroomsnelheid moeten worden voldaan. Daarnaast is er vanuit de ecologische eisen (eis 1a) naar voren gekomen dat, gedurende de meeste omstandigheden, een maximale stroomsnelheid van 0,30 m/s gegarandeerd moet kunnen worden.

Bij de Vismigratierivier bij de Afsluitdijk is ervoor gekozen om een maximaal verval van 0,5 meter over de rivier (circa 4 kilometer) uit te spreiden. Binnen de coupure door de Afsluitdijk heen bevinden zich zowel regelwerkschuiven als twee hoogwaterkering schuiven (Bijl, 2021). Mocht het verval groter worden zullen de regelwerkschuiven aangestuurd worden (Bruins Slot, 2021). Als het verval groter wordt dan 1,5 meter gaan de hoogwaterkering schuiven dicht (Bijl, 2021).

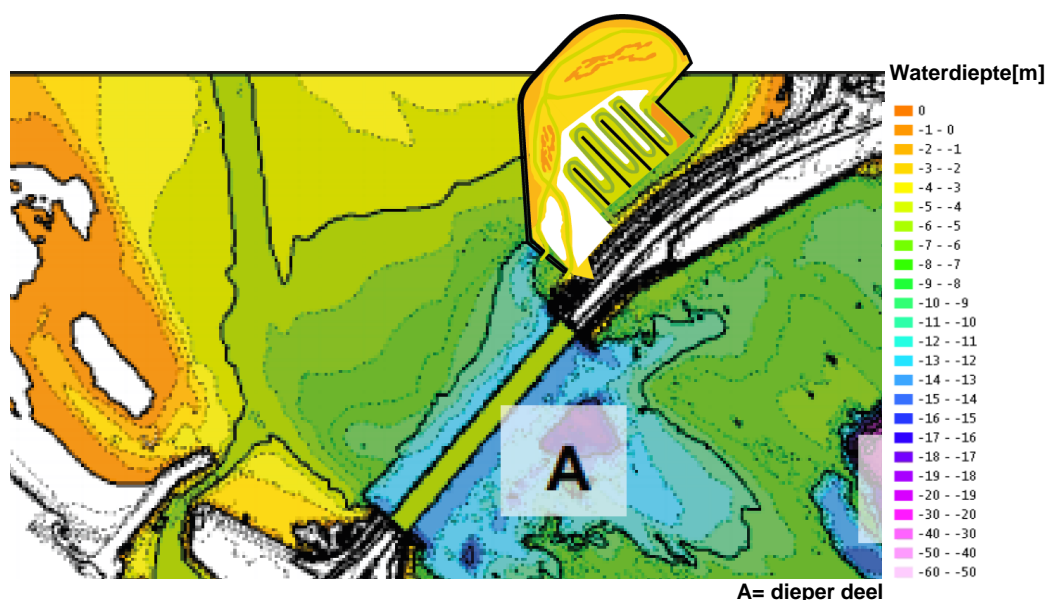
Om zowel een geleidelijke overgang in zoutgraad van zoet naar zout water te realiseren als de waterstandsverschillen te kunnen overbruggen, is het conceptueel ontwerp van de VMR op een lengte van 5,25 kilometer (**Figuur 24**) gedimensioneerd. In Bijlage 7 is een inschatting gemaakt over welke lengte het waterstandsverschil overbrugt kan worden in de rivier. Uit deze berekening is naar voren gekomen dat er vanaf de vispassage door de Haringvlietdam tot en met het estuarien gedeelte een maximaal verval van circa 0,04 meter overbrugt kan worden. Uitgaande van een maximaal waterstandsverschil in een extreem scenario van 2,50 meter, zal de resterende 2,46 meter doormiddel van de regelwerken in het doorlaatmiddel door de Haringvlietdam opgenomen worden. Er moet echter rekening gehouden worden met het feit dat dit slechts een indicatie is van het verval dat overbrugt kan worden over enkel de hoofdgeulen binnen de Vismigratierivier. Daarnaast bevinden zich binnen de Vismigratierivier verschillende vernauwingen die tot energieverliezen van het water kunnen leiden. Hierdoor zou het daadwerkelijke waterstandsverschil dat overbrugt kan worden een stuk hoger kunnen komen te liggen. Aanbevolen wordt om dit in een vervolgstudie verder te onderzoeken.



Figuur 24 Schematische weergave lengte rivier

Waterdieptes binnen de Vismigratierivier

Volgens Raat (1993) is de waterdiepte binnen een vispassage bij voorkeur gelijk aan de waterdiepte in de desbetreffende hoofdstroom. Voor de waterdiepte van de ingang van de Vismigratierivier zijn de dieptes aangehouden die overeen komen met de dieptes van de aanvoerende geulen in de Voordelta -8 m t.o.v. NAP. In het estuaria gedeelte variëren de waterdieptes tussen de -4 m t.o.v. NAP en kleinere waterdieptes. Volgens van Banning et Al. (2018) zou een vispassage zones moeten hebben met lagere stroomsnelheden waar vissen kunnen wachten tijdens eb en kunnen uitrusten. De ontwikkeling van een ruimtelijk diverse omgeving met verschil in waterdiepte, stroomsnelheid, turbulentie, doorzicht, temperatuur, saliniteit en begroeiing sluit hierop aan en bevordert de kwaliteit van de passage (ACT groep Wageningen). De waterdiepte in het rivieren gedeelte ligt op -4 m t.o.v. NAP. Er is voor gekozen om eenzelfde waterdiepte in het doorlaatmiddel aan te houden. Op deze manier krijgen de vissoorten de kans om hun 'natuurlijke' migratielijnt te vervolgen zonder van zwempatroon te hoeven wisselen (Grontmij, 2016).



Figuur 25 Waterdiepte in en rond de Vismigratierivier

Onderdelen Vismigratierivier

Strekdammen

Ter bescherming van de VMR zal de rivier gerealiseerd worden binnen een gebied gevormd door twee nieuw aan te leggen dammen: 'de Nieuwe dam' en de 'Zuiderdam'. De Nieuwe dam zal als buitenste dam de Vismigratierivier de meeste bescherming bieden. De dam bevindt zich aan de kant van de Voordelta en zal bestendig moeten zijn tegen golfslag en hoog waterstanden. De 'Zuiderdam' zal door diens ligging, minder stevig gedimensioneerd hoeven te worden. Het ontwerp van de dammen wordt binnen dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Toegang tot de Vismigratierivier

De twee ingangen bevinden zich aan de zuidkant van de nieuwe dam. Om genoeg lichtinval te creëren en daarmee een harde overgang tussen donker en licht te voorkomen, worden de ingangen als ‘open’ constructie in het talud gebouwd. De ingangen hebben verticale wanden en zijn circa 15 meter breed en 8 meter diep. Op deze manier zijn beide ingangen ruim gedimensioneerd en sluit de waterdiepte goed aan bij de waterdiepte bij de Haringvlietdam (Voordelta-zijde). Het doorstroomprofiel bij laagwater is zo’n 95 m². De maximale stroomsnelheid die bij de ingangen kan ontstaan is circa 0,63 m/s (Bijlage 7). Er kunnen bij de ingangen dus tijdelijk hogere stroomsnelheden ontstaan. Deze stroomsnelheden treden slechts over een geringe afstand op. Vrijwel alle doelsoorten kunnen vermoedelijk over deze kleine afstand hogere stroomsnelheden overbruggen (Videler & Wardle, 1991). Tijdens het overgrote deel van de tijd is de watersnelheid echter lager, of is de stromingsrichting omgekeerd (van Banning et.al., 2018).

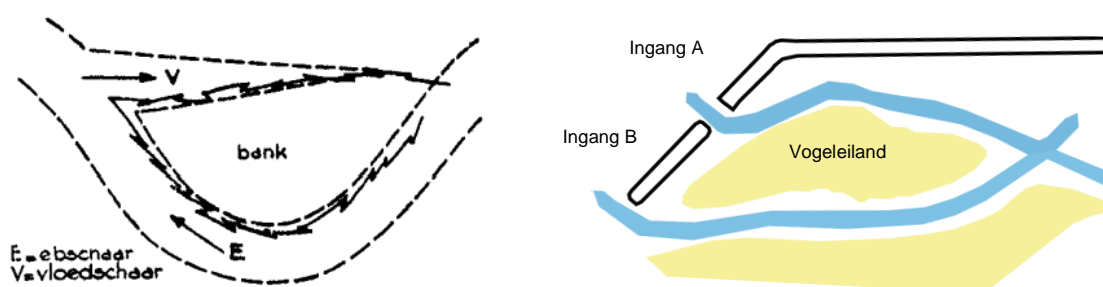
Er wordt aangeraden om de ingangen daarnaast afsluitbaar te maken. Zo kunnen variaties in stroomrichtingen en verval gereguleerd worden en kan er waterveiligheid gegarandeerd worden (Christiaan Bijl, 2021). Vanaf de ingangen leiden twee stroomgeulen naar het estuariene deel. Tussen de twee stroomgeulen in ligt het vogeleiland en een droogvallende zandplaat.

Het vogeleiland

Het vogeleiland is ongeveer 1 hectare groot. Om het eiland ook tijdens hoogwater te beschermen, kan het midden van het eiland het beste een stuk boven de hoogste waterstand komen te liggen (ACT-groep). In dit ontwerp komt het eiland op circa +4 m t.o.v. NAP te liggen. Op deze manier kunnen de verschillende vogels, ook tijdens het broedseizoen, van het eiland gebruik maken.

Het estuariene deel

Het estuariene deel kan gezien worden als een zandplaat waar de stroomgeulen van de Vismigratierivier doorheen gaan. Om een zo natuurlijk mogelijke situatie te creëren is er binnen het estuariene gedeelte gekozen voor de aanleg van een meergeulensysteem. Volgens J.Vroom et.al. (2014) wordt een meergeulen systeem “gekenmerkt door een stelsel van meerdere geulen met geleidelijke overgangen naar de intergetijdengebieden (platen en slikken)”. Binnen een meergeulen systeem bevinden zich een eb- en een vloedgeul, die gescheiden worden door intergetijdengebieden en verbonden worden door kortsluigeulen (Vroom, Taal, Jeuken, & Holzhauer, 2014). De ebgeul is over het algemeen relatief diep en voert gedurende eb-situaties met name de uistroom af (van Veen, 1950). In een vloedsituatie volgt het opgestuwde zeewater slecht gedeeltelijk de ebgeul. Het water heeft door diens grote volume, sterke stroming en centrifugale kracht de neiging om zoveel mogelijk rechtdoor te stromen (van Veen, 1950). De invoer van de vloedgeul wordt met name bepaald door het getij, dat de rivierafvoer tijdens vloed ‘terug drukt’ (Bruins Slot, 2021). De geulen zijn circa 25 meter (op 0 meter NAP) breed. Het gedeelte tussen de geulen in wordt als intergetijdengebied ingericht waarbij door de aanwezige invloed van het getij en de afwisselende rivieraanvoer, de zandplaat deels droogvalt bij een laagwaterstand en onderloopt bij hogere waterstanden binnen de Vismigratierivier.



Figuur 26 links een schema van een veel voorkomend systeem van eb- en vloedscharen (van Veen, 1950) en rechts een schema van de ingangen en het eiland in de Vismigratierivier.

Het gebied wordt gekenmerkt door peilfluctuaties, slikken en stroomgeultjes en een verschil in zoutgradiënt. Om de geleidelijke overgang van zout- via brak- naar zoetwater in stand te houden is het belangrijk dat het watersysteem niet bij elke ebstroom verzoet, waardoor de overgangszone tijdelijk weg is (Bruins Slot, 2021). Het risico van deze situatie is dat de vissen weer meebewegen met het getij omdat het water in een te korte tijd, te snel zoet wordt (Bruins Slot, 2021). Het is dus belangrijk om er voor te zorgen dat er binnen het systeem voldoende brakwaterzones overblijven, zodat de vissen kunnen acclimatiseren. Door de uitwisseling met het getij en de relatief ondiepe geulen (rond de 4 meter diep), wordt er voorkomen dat het zoute water op de bodem blijft en niet goed mengt. Om dit proces te ondersteunen zou er voor gekozen kunnen worden om onderwaterdrempels aan te leggen. Doormiddel van de onderwaterdammten kan de waterhoogte verkleind worden, waardoor de diepe doorstroom van zoutwater tegen gegaan wordt (Bresters & v.d. Velden, 1988). De mogelijke aanleg van onderwaterdrempels in de Vismigratierivier zal in een vervolgstudie verder onderzocht kunnen worden.

Het gebied blijft, door de extreme variaties in zoutgehalte en peilfluctuaties, grotendeels onbegroeid. Het estuariene deel kan door diens zandige ondergrond en het aanbod van voldoende schuilmogelijkheden, de vissoorten onder verschillende omstandigheden bescherming tegen de stroming en mogelijke predatoren bieden (Winter, Griffioen, & Keeken, 2014).

Rivier gedeelte

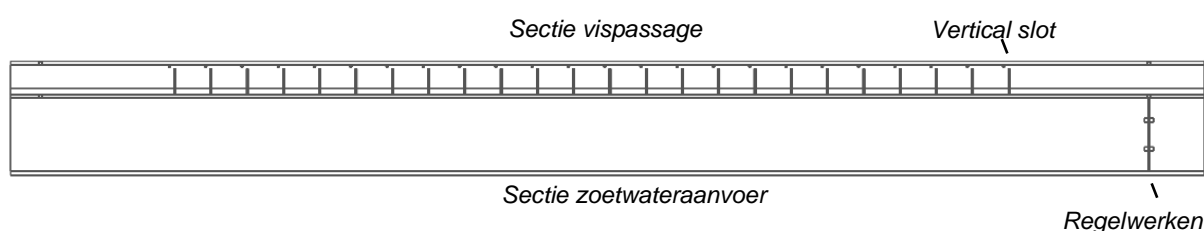
Het estuariene deel loopt over in het rivier gedeelte. Het rivier gedeelte bestaat uit een 'opgevouwen' riviersysteem waar het grootste gedeelte van de lengte- en daarmee weerstand- van de rivier gecreëerd wordt (circa 2,3 kilometer).

Het gebied kan op verschillende manieren ingedeeld worden. In onderstaande tekst worden drie opties weergegeven. Er zijn meerdere manieren mogelijk om het gebied in te richten. In een vervolg onderzoek kan uitgezocht worden welke inrichting het beste toegepast kan worden.

- Zanddammen: Om de vissoorten ook binnen dit gedeelte een zo natuurlijk mogelijke omgeving aan te bieden kan er voor gekozen te worden om zanddammen aan te leggen. De zanddammen steken haaks op de omliggende dam en hebben een gemiddeld talud. De kern van de zanddammen bestaat uit een basis van geotubes gevuld met zand en steenbekleding. Op deze manier kunnen de dammen niet doorbreken bij golfslag of door erosie. De hoogte van de zanddammen kan afgestemd worden op de hoogste getijslag. Tijdens hoogwater staan de dammen daardoor nagenoeg geheel onder water (Grontmij, 2016);
- Kribben: In plaats van/ of in combinatie met de zanddammen kunnen er ook kribben aangelegd worden. De kribben reduceren de stroomsnelheid in de rivier en bieden op twee manieren hydraulische weerstand. Allereerst wordt het doorstroomoppervlak verkleind. Daarnaast kan de introductie van neren (draaikolken) bij een groter debiet leiden tot energieverlies. De lokale weerstanden die de kribben bieden hebben een versnelling in stroomsnelheid en verhoging in turbulentie als gevolg. Er zal daardoor bij de aanleg van kribben een bodembescherming nodig zijn (van Banning, van der Baan, & de Bruyne, 2018);
- Palenrij met geotubes ertussen: De palenrijen staan haaks op de omliggende dam en worden dubbel uitgevoerd gevuld met geotubes waarin zand is geplaatst. Op deze manier vind er in hele kleine mate nog uitwisseling van water plaats. De hoogte van de palen rijen kan afgestemd worden op de hoogste getijslag. Tijdens hoogwater staan de palen daardoor nagenoeg geheel onder water (Grontmij, 2016). De palenrijen kunnen in afwisselend met ofwel de zanddammen ofwel de kribben aangelegd worden.

Vispassage door de Haringvlietdam

De vispassage bestaat uit twee verschillende secties: de sectie zoetwateraanvoer en de sectie vispassage. Binnen de sectie zoetwateraanvoer bevinden zich regelkunstwerken die zorgen voor de juiste hoeveelheid zoetwater instroom. De stroomsnelheden kunnen in dit gedeelte van de vispassage sterk oplopen. Om deze reden wordt er een 'nevengeul' aangelegd: de sectie vispassage. Binnen de sectie vispassage bevinden zich 'vertical slots' (schotten) die zorgen voor de juiste stroomsnelheden en juiste hoeveelheid turbulentie, zodat ook de zwakke zwemmers zoveel mogelijk van de passage gebruik kunnen maken. Door de hogere stroomsnelheden in de sectie zoetwateraanvoer zal er geen sedimentatie rond de kunstwerken plaats vinden (van der Wolff, 2021).



Figuur 27 Bovenaanzicht vispassage door Haringvlietdam

Uitstroom

Er moet voorkomen worden dat de vissen bij de uitgang van de Vismigratierivier (aan de Haringvlietkant) door de stroming terug de Voordelta in belanden (randvoorwaarde 1e). De vormgeving van de uitgang is hierop ontworpen door een stuk naar de oever toe te buigen en daardoor voldoende afstand van de Haringvlietdam te houden.

3.4.4 Toetsing voorkeursvariant

Het ontwerp van de Vismigratierivier is in Bijlage 8, voor zo ver mogelijk, getoetst. Er wordt getoetst of de voorkeursvariant aan de ecologische en technische randvoorwaarden, onder verschillende omstandigheden (scenario's) voldoet.

Toetsing ecologische randvoorwaarden

Aan alle genoemde randvoorwaarden wordt voldaan, op randvoorwaarde 1a na waar niet ten alle tijden aan kan worden voldaan. Deze randvoorwaarde luidt:

Om de vismigratierivier effectief te laten werken, zal de maximale stroomsnelheid in de Vismigratierivier van 0,30 m/s zo vaak mogelijk gehanteerd moeten worden. Deze waarde is gebaseerd op een eb situatie. Alle doelsoorten moeten immers tegen de stroming in kunnen zwemmen tijdens eb. Bij een vloed situatie mag de stroomsnelheid hoger zijn dan 0,30 m/s. Vissen kunnen tijdens vloed gebruik maken van selectief getijdetransport om de vismigratierivier in te komen;

De Vismigratierivier zal zo'n 85% van de eb-periodes aan de stroomsnelheid van 0,30 m/s voldoen. Tijdens vloed situaties ontstaan er hogere stroomsnelheden, waar geen eisen aan gesteld zijn. De Vismigratierivier voldoet zo'n 93% van de tijd aan de gestelde randvoorwaarde. Dit percentage is enkel berekend voor de hoofdgeulen van de Vismigratierivier. Om een beter beeld te krijgen van de stroomsnelheden in de Vismigratierivier en maatregelen te nemen bij eventuele lokale knelpunten, zal er in een vervolgonderzoek nader naar de stroomsnelheden gekeken moeten worden.

Toetsing technische randvoorwaarden

Aan alle genoemde randvoorwaarden wordt voldaan, behoudens randvoorwaarden 2c en 2f. Randvoorwaarde 2c luidt:

De lokstroom uit de vispassage dient minimaal 3 tot 5% van de afvoer uit het naastliggende kunstwerk (bijvoorbeeld een sluis) te zijn. Arcadis (2018) zegt hierover het volgende: "hoe hoger het percentage van het totale debiet dat kan worden gebruikt voor de lokstroom, des te effectiever de faciliteit is".

De Vismigratierivier is op dusdanige manier gedimensioneerd dat er voor circa 94% van de tijd een lokstroom van minimaal 3% van het spuidebiet door de Haringvlietsluizen kan worden gegarandeerd. Tijdens de overige 6% zal er een lokstroom kleiner dan de gestelde waarde optreden. Er zal in een vervolg studie uitgezocht kunnen worden of er eventueel aan de hand van een extra maatregel, bijvoorbeeld door de aanleg van een leiding, wel gedurende het gehele jaar aan de gestelde eis kan worden voldaan.

Randvoorwaarde 2f luidt:

Het ontwerp dient morfologisch stabiel te zijn. Een maximale stroomsnelheid van 0,30 m/s zal daarbij zo vaak mogelijk gehanteerd moeten worden;

De Vismigratierivier zal voor circa 93% van de tijd aan deze eis voldoen. Er kan echter niet voorkomen worden dat op een aantal kritische plekken, zand in beweging zal gaan komen. Dit kan voorkomen worden door lokale verstevigingen zoals bodembescherming. Nader onderzoek is gewenst.

Randvoorwaarde 2e, *De lengte van de VMR moet voldoende zijn om de daadwerkelijke transitie van brak- naar zoetwater te realiseren en de waterstandverschillen te kunnen overbruggen*, voldoet naar verwachting. Om betere inzichten in de overgang van zoutwater naar zoetwater te verkrijgen zal er een modelstudie uitgevoerd kunnen worden.

4. Conclusie

De onderzoeksvraag die binnen dit onderzoek centraal heeft gestaan luidt als volgt:

Welke aanbevelingen kunnen vanuit ecologisch en technisch perspectief gedaan worden ten aanzien van het conceptuele ontwerp van een Vismigratierivier in het Haringvliet, zodat de Vismigratierivier integraal onderdeel wordt binnen het Delta21-plan?

Aan welke ecologische randvoorwaarden moet de Vismigratierivier voldoen?

Vanuit de onderzoeksresultaten kan geconcludeerd worden aan welke ecologische randvoorwaarden de Vismigratierivier moet voldoen. Zo is het belangrijk dat de Vismigratierivier nagenoeg het gehele jaar toegankelijk is voor alle doelsoorten. Daarbij zal een maximale stroomsnelheid van 0,3 m/s tijdens een eb-situatie zo veel mogelijk gehanteerd moeten worden. Wanneer dit niet het geval is kunnen de zwakkere vissoorten tijdelijk niet tegen de stroming inzwemmen. Een geleidelijk overgangszone in zoutgradiënt is van belang voor de acclimatisatie van de vissoorten. Tevens is het van belang dat er voldoende schuilplaatsen voor de vissen zijn om te voorkomen dat de rivier door predatoren ‘leeggeroofd’ wordt. Daarnaast is uit dit onderzoek gebleken dat een gedeelte van de Vismigratierivier als estuarium ingericht zal moeten worden. Op deze manier ontstaat er een gebied met variaties in waterdiepte, stroomsnelheden en zoutgehalten die de migratieomstandigheden voor de vissoorten zal bevorderen. Indien de Vismigratierivier niet aan de ecologische randvoorwaarden voldoet, zal de effectiviteit van de Vismigratierivier afnemen.

Aan welke technische randvoorwaarden moet de Vismigratierivier voldoen?

Uit dit onderzoek is gebleken dat een lokstroom van minimaal 3- tot 5% van de afvoer uit de Haringvlietsluizen de effectiviteit van de Vismigratierivier bevordert. Dit in verband met de attractieve werking van een lokstroom met voldoende omvang. Daarnaast kan geconcludeerd worden dat vorming van horizontale gelaagdheid in zoutgradiënt van het water een ongewenst proces is, aangezien deze gelaagdheid de overgangszone van zoutwater naar zoetwater verslechtert. De rivier zal om deze reden voldoende lengte moeten hebben. Ook is uit het onderzoek gebleken dat bij gebruik van een zacht substraat de Vismigratierivier zo vaak mogelijk de kritische stroomsnelheid van zand, 0,3 m/s, zal moeten hanteren. Op deze manier zal de vormgeving zo lang mogelijk behouden kunnen blijven. Indien de Vismigratierivier niet aan de technische randvoorwaarden voldoet, zal de effectiviteit van de Vismigratierivier afnemen.

Wat zijn de spuidebieten en waterstanden bij de Haringvlietdam voor de scenario's normaal, hoog en extreem?

De waterstanden en de spuidebieten zijn vastgesteld en in de verschillende scenario's weergegeven (zie Hoofdstuk 3). Uit onderzoek blijkt dat bij een gemiddeld scenario een maximaal verval 1,8 meter en een spuidebiet tussen de 0 m³/s en de 2.500 m³/s optreedt. Voor het scenario geldt een maximaal verval 2,5 meter en een spuidebiet tussen de 2.500 m³/s en de 3.600 m³/s. Onder een extreem scenario geldt een maximaal verval van groter dan 2,5 meter en een spuidebiet van groter dan 3.600 m³/s.

Hoe kan de Vismigratierivier het beste worden vormgegeven?

Op basis van verschillende ontwerpvarianten is een concept vormgeving en ligging van de Vismigratierivier bepaald. Binnen het concept ontwerp wordt uitgegaan van twee ingangen die gesitueerd zijn aan de rand van de migratielinielijne en op plekken waar de lokstroom goed herkenbaar blijft. De vormgeving en ligging van de Vismigratierivier zijn gebaseerd op technische en ecologische randvoorwaarden en gegevens van waterstanden en spuidebieten. Een belangrijk punt bij het vormgeven van de vismigratierivier is het gebruik van een vogeleiland, waardoor de waterstroom in gelijke verhouding over de ingangen worden verdeeld. Ook ontstaat er door het inrichten van een eb- en vloedgeul met daartussen een intergetijdengebied een overgangsgebied van zout- naar zoetwater waar een verschil in waterdiepte, waterbreedte en stroomsnelheden aanwezig is. De waterdieptes zijn bepalend voor de horizontale gelaagdheid van het zoutgradiënt in het water en variëren tussen de -4 m t.o.v. NAP en kleinere waterdieptes. Ter bescherming van de Vismigratierivier zal de rivier gerealiseerd worden binnen een gebied gevormd door twee nieuw aan te leggen dammen. Om zowel een geleidelijke overgang in zoutgradiënt van zoet naar zout water te realiseren als de waterstandsverschillen te kunnen overbruggen, is de lengte van de totale rivier op 5,25 kilometer gedimensioneerd.

Uit dit onderzoek komt naar voren dat er een verscheidenheid aan ecologische en technische randvoorwaarden aan de Vismigratierivier gesteld kunnen worden. Ook komt er uit het onderzoek naar voren welke vormgeving en ligging van de Vismigratierivier aan de noordkant de Haringvlietdam het meest geschikt is. Bovenstaand aanbevolen concept ontwerp is ecologisch en technisch getoetst en past binnen het huidige Delta21 plan. Bij dit ontwerp blijkt dat de Vismigratierivier 93% van de tijd toegankelijk is voor alle beoogde vissoorten. Daarnaast heeft de lokstroom zeker voor 94% van de tijd voldoende aantrekkingskracht voor de vissen. Mede op basis hiervan dient het conceptueel ontwerp uit dit onderzoek verder ontwikkeld te worden tot een definitief ontwerp.

5. Discussie

5.1 Proces

Er is voor gekozen om zowel een kwalitatief als een kwantitatief onderzoek uit te voeren. Deze methodes waren passend, aangezien er op deze manier informatie verkregen kon worden vanuit zowel de ervaringen van deskundigen, als cijfermatige informatie. Door zowel een kwalitatief als kwantitatief onderzoek uit te voeren, wordt de interne validiteit en de kwaliteit van de onderzoeksresultaten verhoogt (Verhoeven, 2016). Er is een semigestructureerd en een open interview afgenomen en er zijn twee focusgroep-interviews uitgevoerd. Deze methodes zijn passend aangezien er op deze manier inzichten verkregen kon worden in de ervaringen en meningen van de deskundigen. Tevens is er een literatuuronderzoek uitgevoerd waarbij gebruik is gemaakt van beschikbare wetenschappelijke primaire en grijze literatuur. De betrouwbaarheid van het onderzoek wordt hierdoor verhoogd (Verhoeven, 2016). Om de externe betrouwbaarheid van het onderzoek te verhogen is er in de methode duidelijk beschreven welke onderzoeksstrategieën zijn toegepast (Boeije, 2012).

Op nadrukkelijk verzoek van Delta21 is er binnen dit rapport enkel gekeken naar de maatregel 'ontwikkeling van een Vismigratierivier binnen de Voordelta en het Haringvliet'. Alle andere potentiële oplossingsrichtingen zijn binnen dit rapport buiten beschouwing gelaten. Hierdoor kon er gericht onderzoek gedaan worden naar één oplossing en hoefde er niet gekeken te worden naar eventuele andere geschikte oplossingen. Er kon dieper ingegaan worden op hoe de Vismigratierivier het meest effectief kan functioneren, waardoor er gericht te werk gegaan kon worden.

Dit onderzoek heeft ook beperkingen. De toetsing van het conceptueel ontwerp aan de opgestelde ecologische en technische vereisten en de scenario's wordt binnen dit onderzoek gedaan op basis van handberekeningen. De nauwkeurigheid en daardoor betrouwbaarheid binnen dit onderzoek kan verbeterd worden, door bijvoorbeeld gebruik te maken van modeleringsprogramma's zoals SOBEK (1D en 2D) of Delft 3D.

5.2 Resultaten

Vanuit Delta 21 is vanaf de start van dit onderzoek het onderzoeksgebied binnen de Noordzijde van de Voordelta en het Haringvliet afgebakend (Delta21, 2018). Deltares (2017) stelt dat momenteel de zuidelijke schuiven van de Haringvlietssluisen als eerst worden geopend bij het spuien. Opvallend is dat Bruins Slot (2021) aangeeft dat het mogelijk is dat door de ontstane riviergeul achter de zuidelijke schuiven en de aantrekkingskracht van het zoete water, de vissoorten zich in grotere getalen en vaker bij de Zuidelijke schuiven verzamelen. Daarnaast attendeert Bruins Slot (2021) erop dat er een zijtak aan de zuidkant van het Haringvliet, 'het Spui', bevindt die geschikt zou kunnen zijn voor de aanleg van een Vismigratierivier. Ondanks dat binnen dit onderzoek het gebied wordt uitgesloten zal de Zuidzijde wellicht een geschikte plaats zijn voor de aanleg van een Vismigratierivier.

Aanleg van de Vismigratierivier bij de Haringvlietdam zorgt ervoor dat de vissen gedurende de meeste omstandigheden een range aan migratiemogelijkheden krijgen. Op deze manier worden er voldoende migratiemogelijkheden aangeboden om de blokkade, in de vorm van de Haringvlietdam, te ontwijken. Het gehele traject die de vissen afleggen zal echter beoordeeld worden op de aanwezigheid van eventuele andere blokkades. Zo werd er bijvoorbeeld met het project Rhine 2020 Program (gestart in 2001) jonge zalm gekweekt en uitgezet in Duitsland, zonder obstakels zoals de Haringvlietsluizen aan te pakken. De zalm kon hierdoor de zee niet bereiken. Ad hoc (2008) stelt dat het project daarom ook ineffectief bleek. Binnen voorliggend onderzoek is er enkel gekeken naar de situatie rond de Haringvlietdam en niet naar het volledige migratietraject. Dit onderzoek is daardoor mogelijk niet generaliseerbaar voor het herstel van de gehele vismigratieroute.

De aanleg van een Vismigratierivier is een nieuwe maatregel die voor het eerst bij de Afsluitdijk wordt gerealiseerd (afronding in 2022) (Programma Waddenzee, 2013). De werking van de Vismigratierivier moet in de praktijk nog worden gemonitord. Voor het ontwerp van de Vismigratierivier bij de Haringvlietdam zijn randvoorwaarden en eisen bepaald, die vergelijkbaar zijn met de rivier bij de Afsluitdijk. Bij oplevering van praktische metingen van de Vismigratierivier bij de Afsluitdijk kan er mogelijk meer informatie verkregen worden betreft de werking en daardoor de randvoorwaarden van de Vismigratierivier.

Verschillende waterschappen, drinkwaterbedrijven en de agrarische sector hebben belang bij de beschikbaarheid van zoetwater (Delta21, 2018). Delta 21 (2021) stelt als eis/voorwaarde dat een minimaal debiet van 20 m³/s door de Vismigratierivier zal stromen. Op deze manier kan aan de belangen van de stakeholders worden voldaan in tijden van een lage rivierafvoer van het Haringvliet. Uit literatuuronderzoek blijkt dat hoe groter de omvang van de lokstroom is, hoe effectiever de Vismigratierivier is (Arcadis, 2018). Daarnaast is vanuit de literatuur bekend dat er, om een voldoende lokstroom te creëren, een minimale lokstroom van 3% van de afvoer door de Haringvlietsluizen gerealiseerd moet worden (Arcadis, Hydraulische en ecologische toetsing van het ontwerp, 2018). Mocht er in tijden van een lage rivierafvoer niet aan de gestelde 3% worden voldaan, kan dat mogelijk van invloed zijn op de attractiviteit van de Vismigratierivier en daardoor diens effectiviteit.

6. Aanbevelingen

Aan de hand van het verrichte onderzoek kunnen er aanbevelingen gedaan worden:

De vooraf vastgestelde randvoorwaarde van Delta21 is dat de scope van dit onderzoek (onderzoeksgebied) is afgebakend tot de Noordzijde van de Voordelta en het Haringvliet. Aanbevolen wordt om in een vervolgonderzoek uit te zoeken of een andere ligging van de Vismigratierivier (bijvoorbeeld aan de zuidzijde van de Voordelta en het Haringvliet, of een ligging aan beide zijdes), een betere optie is. Anderzijds kan er gekeken worden naar de optie om het spuibeleid aan te passen en de Noordelijke schuiven als eerste open te zetten.

De Vismigratierivier bij de Afsluitdijk te Kornwerderzand zal in 2022 opgeleverd worden. Vanaf dan zal ook de monitoring van start gaan. De resultaten van de monitoring geven nieuwe inzichten betreft de effectiviteit van de werking van de Vismigratierivier. Aanbevolen wordt om bij publicatie van deze bevindingen, deze informatie te gebruiken voor verdere ontwikkeling van de Vismigratierivier in het Haringvliet. Daarnaast is het van belang dat er ook binnen de Vismigratierivier in het Haringvliet gemonitord gaat worden, om op locatie specifiek de effectiviteit van de vispassage in kaart te brengen en eventuele benodigde aanpassingen te effectueren.

Het voorgelegde onderzoek is nog niet voldoende om de Vismigratierivier daadwerkelijk te realiseren. Aanbevolen wordt om een vervolgonderzoek uit te voeren waarin rekening gehouden wordt met onderhoud, kosten, materiaal, duurzaamheid en verdere berekeningen en afmetingen. Een modelstudie ter controle wordt aanbevolen. Hierbij zal kennis uit meerdere disciplines (bijvoorbeeld ecologisch, technisch (kunstwerken), civiel) benodigd zijn. Mede op basis hiervan dient het conceptueel ontwerp uit dit onderzoek verder ontwikkeld te worden tot een definitief ontwerp.

De effectiviteit van de aanleg van de Vismigratierivier is niet alleen afhankelijk van de werking van de passage zelf. Uit onderzoek van Ad hoc (2008) blijkt dat de migratieroutes die door de vissen afgelegd worden meerdere obstakels kunnen bevatten. Als het doel 'herstel van de vismigratie routes' behaald wil worden, wordt er aanbevolen om de gehele vismigratieroute te onderzoeken en eventuele obstakels aan te pakken.

Bibliografie

- Ad hoc. (2008). *EU-Germany: Report of Implementation Plan for Meeting Objectives of NASCO Resolutions and Agreements*. Opgehaald van www.nasco.int/pdf/implementation_plans/IP_Germany.pdf
- Arcadis. (2018). *Hydraulische en ecologische toetsing van het ontwerp*. Opgehaald van https://deafsluitdijk.nl/wp-content/uploads/2014/01/Hydraulische-en-ecologische-toetsing-ontwerp-Vismigratierivier-Afsluitdijk.pdf?utm_source=website&utm_medium=document&utm_campaign=hydraulisch_ecologische_toetsing_VMR
- Baas, V., Clabbers, N., Moens, J., Schuurke, E., Spierings, J., Termaat, E., & Wolma, A. (2020). *Opening of the Haringvliet a stream of possibilities*. Opgeroepen op februari 2021, van <https://www.delta21.nl/wp-content/uploads/2020/12/GWF-Final-Consultancy-Report.pdf>
- Bensink, O., Draisma, D., Peters, B., van der Tuin, V., & van Zwieten, T. (2019). *Restoring the migratory routes of yore*. Opgehaald van https://www.delta21.nl/wp-content/uploads/2019/06/ACT-Final-Report-Group-2247-Delta21_migratory_routes.pdf
- Bijl, C. (2021, juni). Ecopassage VMR Afsluitdijk. (J. Lokker, & B. van der Wolff, Interviewers)
- Boeije, H. (2012). *Analyseren in kwalitatief onderzoek. Denken en doen*. Den Haag: Boom Lemma uitgevers.
- Boiten, W., Dommerholt, A., & Wit, W. d. (2005). *Uniform ontwerp van de aangepaste De Wit vispassage*. Opgehaald van Wageningen University and Research: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/355344>
- Bravo-Córdoba, F., Fuentes-Pérez, J., Valbuena-Castro, J., de Azagra-Paredes, A., & Sanz-Ronda, F. (2021). *Turning Pools in Stepped Fishways: Biological Assessment via Fish responds and CFD Models*. Opgehaald van <https://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiUweDvoZ3xAhVBIMUKHTmkArIQFjACegQIAxAE&url=https%3A%2F%2Fwww.mdpi.com%2F2073-4441%2F13%2F9%2F1186%2Fpdf&usg=AOvVaw1-6HLzIYohFpfAJaZ74Y8Y>
- Bresters, J., & v.d. Velden, J. (1988). *onderzoek naar het functioneren van een drempel in een zeesluis*. Opgehaald van <http://resolver.tudelft.nl/uuid:fe87cca7-c09e-4a1c-bdba-0f34e9614184>
- Bruins Slot, E. (2021, april 29). Vismigratierivier Afsluitdijk. (J. Lokker, & B. van der Wolff, Interviewers)
- Burgers, M., Louwman-Soeters, L., de Meijer, E., Storm, K., & Tiebosch, T. (2004). *Haringvlietsluizen op een Kier*. Opgehaald van https://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi0Z-s7JzxAhVN3qQKHxUjB1MQFjACegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fpuc.overheid.nl%2FPUC%2FHandlers%2FDownloadDocument.ashx%3Fidentificer%3DPUC_131608_31%26versienummer%3D1&usg=AOvVaw1Tg82V_Cuq
- Coenen, J., & Antheunisse, M. (2013). *Handreiking vispassages in Noord-Brabant*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/247645>

- de Winter, H. (2009). *Voorkomen en gedrag van trekvisser nabij kunstwerken en consequenties voor de vangkans met vistuigen*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/143428>
- Dekker, W., & van Willigen, J. (2002). *De glasaal heeft het tij niet meer mee!*
- Delta21. (2018). *Delta 21 en Natuurherstel*. Opgeroepen op februari 2021, van <https://delta21.nl/wp-content/uploads/2018/10/Natuurherstel-27-9-18.pdf>
- Deltares. (2012). *Sedimentstrategie*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/255344>
- Deltares. (2017). *Het Haringvliet na de Kier*. Opgehaald van https://haringvliet.nu/sites/haringvliet.nu/files/2018-01/Het%20Haringvliet%20na%20de%20Kier%2C%20Deltares%202017_0.pdf
- Dinoloket. (sd). *Bodem- en grondonderzoek*. Opgehaald van www.dinoloket.nl: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- Elliott, M. (2008). *Fishes in Estuaries*.
- Evides. (2017, juni 20). *Haringvliet blijft bron voor drinkwater*. Opgehaald van Evides Drinkwaterbedrijf: <https://www.evides.nl/over-evides/nieuws/2017/haringvliet-blijft-bron-voor-drinkwater>
- Gibson, R., Barnes, M., & Atkinson, R. (2001). *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*. Opgehaald van https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=fPUdxCqI6m4C&oi=fnd&pg=PA305&dq=selective+tidal+transport&ots=Qrtxc-La8H&sig=OqquhltIAZU7CvI9OCRdkXJK_RA&redir_esc=y#v=onepage&q=selective%20tidal%20transport&f=false
- Griffioen, A., Winter, H., & van Hal, R. (2017). *Prognose visstand in en rond het Haringvliet na invoering van het Kierbesluit in 2018*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/425507>
- Grontmij. (2016). *Ontwerpnota vismigratierivier*. Opgehaald van https://www.planviewer.nl/imro/files/NL.IMRO.9921.Vismigratierivier-VA01/b_NL.IMRO.9921.Vismigratierivier-VA01_tb5.pdf
- Haringvliet.nu. (sd). Opgehaald van https://haringvliet.nu/sites/haringvliet.nu/files/2016-05/Vismigratie_flyer_lowres.pdf
- ICBR. (sd). *Rijn-Maasmondingsgebied*. Opgeroepen op april 2021, van ICSR: <https://www.iksr.org/nl/themas/rijn/deelstroomgebieden/rijndelta/mondingsgebied>
- IPPC. (2019). *The Ocean and Cryosphere*. Opgehaald van https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/12/SROCC_FullReport_FINAL.pdf
- IUCN. (2017). *The IUCN red list of threatened species*. Opgehaald van www.iucn.redlist.org: <https://www.iucnredlist.org/>
- Kamermans, P., Winter, E., & Schellekens, T. (2013). *Onderzoek naar vismigratie en voedsel voor schelpdieren in Green Deal Biodiversiteit Oosterschelde*. Opgehaald van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/250269>

- Kemper, J. H. (1997). *Sonar-onderzoek naar het functioneren van de visluizen in de Haringvlietdam*. Opgehaald van https://visadvies.nl/sites/default/files/bestanden/OVB1996_30.pdf
- KNMI. (2019). *Zeespiegelstijging nu en in de toekomst*. Opgehaald van KNMI: <https://magazines.rijksoverheid.nl/knmi/knmispecials/2019/03/nu-en-in-de-toekomst>
- Kritzer, J. P., & Sale, P. F. (2006). *Marine Metapopulations*. Elsevier. Opgehaald van https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=1hN5lxNEPbYC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Marine+Metapopulations&ots=YEMt1PtPv7&sig=lsNUHXUji26UO3R5705AllybD30&redir_esc=y#v=onepage&q=Marine%20Metapopulations&f=false
- Kroes, M., & Monden, S. (2005). *Vismigratie Een handboek voor herstel in Vlaanderen en Nederland*. Jean-Pierre Heirman. Opgehaald van https://www.visadvies.nl/sites/default/files/bestanden/HANDBOEK%20VISMIGRATIE_2005.pdf
- Lavooij, H. (2021, maart). Randvoorwaarden Delta 21. (J. Lokker, & B. van der Wolff, Interviewers)
- Legrand, A., Assink, G., Heijmans, M., van 't Westende, V., Rokmah, L., Vermeiren, P., & van der Drift, F. (2021, mei 30). *Vismigratierivier en brakwater gebied passen uitstekend binnen Delta21*. Opgehaald van <https://www.delta21.nl/vismigratierivieren-brakwater-gebied-passen-uitstekend-binnen-delta21/>
- Mare. (sd). *Alles over haawring*. Leids Universitair Weekblad.
- Monden, S. (2007). Vismigratie en het oplossen van vismigratiekelpunten., (p. 4). Opgehaald van <https://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjllteTn53xAhUoNOwKHStmCLMQFjAAegQIAXAD&url=http%3A%2F%2Fwww.vliz.be%2Fimisdocs%2Fpublications%2F79%2F242079.pdf&usg=AOvVaw273DsWLnXUWkYEYP5rYf0I>
- Mulder, R. (2017, mei). *Vakblad Natuur Bos Landschap*. Opgehaald van www.edepot.wur.nl: <https://edepot.wur.nl/420565>
- Natura 2000. (sd). *Zuid-Holland*. Opgehaald van www.natura2000.nl: <https://www.natura2000.nl/gebieden/zuid-holland>
- Natura2000. (2021). Opgehaald van <https://www.natura2000.nl/gebieden/zuid-holland/voornes-duin/voornes-duin-kaart>
- Nederland, S. (2019). Opgehaald van <https://www.sportvisserijnederland.nl/actueel/nieuws/20661/haringvlietluizen-voor-het-eerst-op-een-kier-video.html>
- Noord, L. (2017). Opgehaald van <https://www.ltonoord.nl/afdeling/hoeksche-waard/nieuws/2017/02/14/lto-wijst-gemeente-op-afspraken-kierbesluit?overview=aHR0cHM6Ly93d3cubHRvbm9vcuQubmwwem9la3Jlc3VsdGF0ZW4/cT1raWVvYmVzbHVpdA==>
- Plaatsengids. (2020). *Haringvliet*. Opgehaald van Plaatsengids: <https://www.plaatsengids.nl/haringvliet>

- Port of Rotterdam. (sd). *Een open haven in een natuurlijke delta*. Opgehaald van Port of Rotterdam: <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/open-haven-in-natuurlijke-delta.pdf>
- Programma Waddenzee. (2013, januari 10). *Vismigratierivier Afsluitdijk*. Opgehaald van Planviewer: https://www.planviewer.nl/imro/files/NL.IMRO.9921.Vismigratierivier-VA01/b_NL.IMRO.9921.Vismigratierivier-VA01_tb4.pdf
- Provincie Zuid-Holland. (2020). Ruimtelijk Plan Regio Rotterdam., (p. 124). Opgeroepen op Februari 08, 2021, van file:///C:/Users/jeroe/Downloads/4-5streekplanrr202011700.pdf
- RAVON. (2017). *Passend Monitoren*. Visionair. Opgeroepen op maart 9, 2021, van <https://edepot.wur.nl/446040>
- Rijksoverheid. (2017, februari 2021). *Wet natuurbescherming*. Opgehaald van wetten.overheid: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0037552/2021-02-17>
- Rijkswaterstaat. (2001). Opgehaald van <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjH9K34zO7uAhWLG-wKHVMgDC8QFjADegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.vliz.be%2Fimisdocs%2Fpublications%2F127584.pdf&usg=AOvVaw2RoLJ6JtykkK5ALJsTg41c>
- Rijkswaterstaat. (2009). Opgehaald van https://www.rijkswaterstaat.nl/rws/legger/legger_primk/Leggerdoc%20kering%2011_tcm318-296860.pdf
- Rijkswaterstaat. (2011). *Kenmerkende waarden*. Informatievoorziening RWS Centrale. Opgehaald van https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_159573_31/
- Rijkswaterstaat. (2011, mei). *Vismigratie in de Rijn-Maasdelta*. Opgehaald van www.edepot.wur.nl: <https://edepot.wur.nl/172548>
- Rijkswaterstaat. (2016). *Beheerplan Natura 2000 Voordelta*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Opgehaald van https://www.rwsnatura2000.nl/gebieden/voordelta/vd_documenten/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=593295
- Rijkswaterstaat. (2018). *Haringvliet: Haringvlietsluizen op een kier*. Opgehaald van www.rijkswaterstaat.nl: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/haringvliet-haringvlietsluizen-op-een-kier/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (2018, April 19). *Migratiemogelijkheden voor trekvissen, 2018*. Opgehaald van Environmental Data Compendium: <https://www.clo.nl/en/node/26901>
- Rijkswaterstaat. (2020). Opgehaald van <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2020/10/trekvissen-weten-kieropening-bij-haringvlietsluizen-massaal-te-vinden.aspx>
- Rijkswaterstaat. (2021). Opgehaald van <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/deltawerken/haringvlietsluizen/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (sd). *Getij*. Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata-en-waterberichtgeving/waterdata/getij>

- Rijkswaterstaat. (sd). *Haringvliet*. Opgehaald van Rijkswaterstaat:
<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/vaarwegenoverzicht/haringvliet>
- Rijkswaterstaat. (sd). *Hellevoetsluis*. Opgehaald van Waterinfo:
[https://waterinfo.rws.nl/#!/details/themakaarten/Waterkwantiteit/Hellevoetsluis\(HELL\)/Waterhoogte__20Oppervlaktewater__20t.o.v.__20Normaal__20Amsterdams__20Peil__20in__20cm](https://waterinfo.rws.nl/#!/details/themakaarten/Waterkwantiteit/Hellevoetsluis(HELL)/Waterhoogte__20Oppervlaktewater__20t.o.v.__20Normaal__20Amsterdams__20Peil__20in__20cm)
- Rijkswaterstaat. (sd). *Vismigratierivier Afsluitdijk*. Opgehaald van de afsluitdijk:
<https://deafsluitdijk.nl/projecten/vismigratierivier/>
- Rijkswaterstaat. (2013). *Kenmerkende waarden*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
 Opgehaald van *Kenmerkende_waarden_getijgebied_2011_tcm21-97249.pdf.pdf*
- Rijnlanden, H. S. (2013). Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/303428>
- Sportvisserij Nederland. (sd). *Dunlipharder*.
- Staatsbosbeheer. (2021). *Droomfondsproject Haringvliet*. Opgehaald van Staatsbosbeheer.nl: <https://www.staatsbosbeheer.nl/overstaatsbosbeheer/projecten/haringvliet-droomfonds>
- Steele, M. (1999). *Effects of shelter and predators on reef fishes*. Opgehaald van <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022098198001270?via%3Dihub>
- Stichting Climate Adaptation Services. (sd). *Multicriteria-analyse*. Opgehaald van Kennisportaal Klimaatadaptatie: <https://klimaatadaptatienederland.nl/website/over-ons/>
- Storm, K., Kuijpers, J., & Harmsen, C. (2006). *Eb... en weer vloed in het Haringvliet*. Opgehaald van https://www.landschap.nl/wp-content/uploads/2006-4_198-207.pdf
- STOWA. (2020). Opgehaald van <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/verzilting/zoutindringing>
- Swanborn, P. (2006). *Basisboek sociaal onderzoek* (Vierde, geheel herziene druk ed.). Amsterdam: Boon.
- Swart, S. (2020). *De Haringvlietsluizen en de Haringvlietdam, tussen Voorne-Putten en Goeree-Overflakkee*.
- Tangelder, M., Winter, E., & Ysebaert, T. (2017). *Ecologie van zoet-zout overgangen in Deltagebieden*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/436428>
- TenneT. (sd). Opgeroepen op maart 2021, van <https://www.tennet.eu/our-grid/offshore-projects-netherlands/programma-2023/>
- Universiteit Wageningen. (2020). *Opening the Haringvliet, a stream of possibilities*. Wageningen: Wageningen universiteit.
- university, W. (2020). Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/525964>
- university, W. (2020). Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/525964>
- Valle-Levinson, A. (2010). *Definition and classification of estuaries*. Opgehaald van <https://doi.org/10.1017/CBO9780511676567.002>

- van Banning, G., van der Baan, J., & de Bruyne, W. (2018). *Hydraulische en ecologische toetsing van het ontwerp*. Opgehaald van https://deafsluitdijk.nl/wp-content/uploads/2014/01/Hydraulische-en-ecologische-toetsing-ontwerp-Vismigratierivier-Afsluitdijk.pdf?utm_source=website&utm_medium=document&utm_campaign=hydraulisch_ecologische_toetsing_VMR
- van den Hurk, B., & Geertsema, T. (2020). *An assessment of present day and future sea level rise at the Dutch coast*. Deltares. Opgehaald van <https://www.deltares.nl/app/uploads/2020/05/An-assessment-of-present-day-and-future-sea-level-rise-at-the-Dutch-coast-.pdf>
- van den Tweel, B., Boer, C., Verbrugge, M., Schefold, L., Kösters, R., Schokker, A., & Verweij, L. (2021, mei 30). *Vismigratierivier en brakwater gebied passen uitstekend binnen Delta21*. Opgehaald van <https://www.delta21.nl/vismigratierivier-en-brakwater-gebied-passen-uitstekend-binnen-delta21/>
- van der Wolff, B. (2021). *Onderzoeksrapport Vispassage Vismigratierivier Haringvlietsluizen*.
- van Looy, K., Liefveld, W., Kurstjens, G., & Hugtenburg, J. (2019). Ruimte voor de grote rivieren en ecologische herstelprogramma's. *Landschap*, 10. Opgehaald van https://www.landschap.nl/wp-content/uploads/2019-2_LandschapVanLooy78-87losse.pdf
- van Scheltinga, K. T. (2017). International Conference on Engineering and Ecohydrology for Fish Passage 2017. University of Massachusetts Amherst. Opgehaald van https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2124&context=fishpassage_conference
- van Veen, J. (1950). *Eb- en Vloedschaar Systemen in de Nederlandse Getijwateren*. Opgehaald van <https://scheldeschorren.be/wp/wp-content/uploads/2015/08/Eb-vloedscharen.pdf>
- Vattenfall. (2018, april). Opgehaald van <https://corporate.vattenfall.co.uk/projects/wind-energy-projects/2194>.
- Verhoeven, N. (2016). *Wat is onderzoek?* Amsterdam: Boom uitgevers.
- Videler, J., & Wardle, C. (1991). *Fish swimming stride by stride: speed limits and endurance*. Opgehaald van https://www.researchgate.net/publication/226033193_Fish_swimming_stride_by_stride_Speed_limits_and_endurance/link/0fcfd506672ef8c64f000000/download
- Vroom, J., Taal, M., Jeuken, C., & Holzhauser, H. (2014). *Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium*. Opgehaald van <https://core.ac.uk/download/pdf/45441193.pdf#page=77>
- Waddenvereniging. (sd). *Vismigratierivier Afsluitdijk*. Opgehaald van de Waddenvereniging: https://www.waddenvereniging.nl/onswerk/vismigratie/afsluitdijk?gclid=Cj0KCQjwi7yCBhDJARIsAMWFScNgYRjzlwbcxJ1Fw9020yZwHJfzgAlgK4gP3UO49ZOR_yQMjyWptsArsXEALw_wcB
- Waterpeilen. (2016). Opgehaald van <https://www.waterpeilen.nl/extremen/jaaroverzicht-rijn-en-maas-2016>

- Waterschap Hollandse Delta. (sd). *Compenserende Maatregelen Kierbesluit*. Opgehaald van Waterschap Hollandse Delta: <https://www.wshd.nl/compenserende-maatregelen-kierbesluit>
- Waterschap Rijn en IJssel. (2016, maart 17). *Vispassages*. Opgehaald van Waterschap Rijn en IJssel: <https://www.wrij.nl/thema/kennis-informatie/waterthema%27-0/natuur-0/vismigratie/vismigratie/vispassages/>
- Watersnoodmuseum. (sd). *Haringvlietdam*. Opgehaald van Watersnoodmuseum: <https://watersnoodmuseum.nl/kennisbank/haringvlietdam/>
- waterstaat, R. v. (2001). Opgehaald van <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:cdfa4f42-9775-41fe-b572-376d335fc027/datastream/OBJ>
- Wilcove, D. S., & Wikelski, M. (2008). *Going, Going, Gone: Is Animal Migration Disappearing*. Opgeroepen op maart 9, 2021, van <https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.0060188>
- Winter, Griffioen, & Keeken, v. (2014). *De Vismigratierivier: Bronnenonderzoek naar gedrag van vis rond zoet-zout overgangen*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/300166>
- Winter, H. (2009). *Voorkomen en gedrag van trekvis nabij kunstwerken en consequenties voor de vangst met vistuigen*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/143428>
- Winter, H., Griffioen, A., & Keeken, O. v. (2014, maart 11). *De Vismigratierivier: Bronnenonderzoek naar gedrag van vis rond zoet - zout overgangen*. Opgehaald van Wageningen University & Research: <https://www.wur.nl/nl/Publicatie-details.htm?publicationId=publication-way-343533303735>
- Winter, H., Mulder, I., Griffioen, A., van Rijssel, J., de Leeuw, J., & Tulp, I. (2020, juli). *Herstel van vismigratie in het Haringvliet*. Opgehaald van Research WUR: <https://research.wur.nl/en/publications/herstel-van-vismigratie-in-het-haringvliet-kennisvragen-monitorin>
- Workel, K. (2021, april). het Kierbesluit. (A. g. Wageningen, Interviewer)
- World Fish Migration Foundation. (2018). *From Sea to Source 2.0*. Opgehaald van www.fishmigration.org

Bijlagen

Bijlage 1: Toelichting eisen vanuit Delta21

Vanuit Delta21 zijn er een aantal eisen opgesteld. In onderstaande tekst wordt er een korte toelichting gegeven op deze randvoorwaarden.

Relevante Maatschappelijke aspecten

Het Haringvliet is een belangrijke zoetwatervoorziening, waar verschillende actoren gebruik van maken. Zo hebben zowel waterschap Hollandse Delta als drinkwaterbedrijf Evides een innamestation in het Haringvliet en hebben beide stakeholders samen met de agrarische sector, belang bij een voldoende beschikbaarheid aan zoetwater. Bij een lage rivierafvoer is het van belang dat (als de Haringvlietssluisen bij een rivierafvoer bij Lobith van 1.100 m³/s gesloten zijn) de Vismigratierivier niet als 'afvoerput' zal functioneren en er kostbaar zoetwater verloren gaat. Tegelijkertijd moet er voldoende zoetwateraanvoer de Vismigratierivier instromen. Na overleg met verschillende partijen is vanuit Delta21 vastgelegd dat een aanvoer 20 m³/s voor de Vismigratierivier, ook tijdens hele droge periodes, haalbaar is (Delta21, 2018).

Daarnaast hebben zowel de innamestations als de agrarische sector, belang bij de instandhouding van de gestelde waterkwaliteit die 'zoet' moet blijven. In samenwerking met het Ministerie van Infrastructuur en milieu, Evides en Waterschap Hollandse Delta heeft Rijkswaterstaat gekeken naar 'Compenserende Maatregelen Kierbesluit' (Waterschap Hollandse Delta, sd). Deze samenwerking heeft geleid tot de harde eis dat de zoetwaterkwaliteit achter de grens 'Middelharnis - het Spui' instant moet blijven. Zoutindringing voorbij deze grens via het Vismigratierivier kan zich onder geen enkele omstandigheden voordoen.

De Vismigratierivier zal het Kierbesluit instant houden en als aanvulling op het sluisenbeleid werken. Daarmee wordt het aanbod in migratievenster en migratieconditie voor de (vis) doelsoorten vergroot (Delta21, 2018).

De organisaties Sportvisserij Nederland, Wereld Natuur Fonds, Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer, Vogelbescherming Nederland en ARK hebben samen het project 'Natuurherstel Haringvliet' opgericht met als doel de unieke deltanatuur in het Haringvliet weer tot leven te wekken. De Vismigratierivier sluit aan bij de doelstelling van dit project en wil bijdragen aan natuurherstel binnen het Haringvliet. Daarnaast bestaat het onderzoeksgebied uit de provinciale ecologische hoofdstructuren Voordelta, Voornes duin en Haringvliet die onder de Natura2000 richtlijnen vallen (Provincie Zuid-Holland, 2020).

Om hindering van activiteiten rondom de Stellendam haven te voorkomen, is een locatie aan de zuidzijde van het Haringvliet uitgesloten. Het vaarverkeer op het water van het Haringvliet blijft hierdoor vooral aan de zuidkant, waardoor de vismigratierivier een minimale impact op de scheepvaart van het kanaal zal hebben (Delta21, 2018).

Waterveiligheid

De nieuwe primaire waterkering heeft een sluitpeil van +2,5 m t.o.v. NAP en zal het achterliggende gebied en de Vismigratierivier, bij een mogelijke aanleg aan de Voordelta-zijde, beschermen tegen hogere waterstanden (Lavooij, 2021). Door de aanleg van de nieuwe waterkering zal de Haringvlietdam als secundaire waterkering functioneren (Delta21, 2018).

De Vismigratierivier zal, doormiddel van een coupure, door de Haringvlietdam (secundaire waterkering) komen te liggen. Deze ingreep zal het functioneren van de kering niet mogen belemmeren en naast een vismigratieroute ook waterveiligheid moeten kunnen blijven garanderen. De Vismigratierivier zal afsluitbaar kunnen zijn. Op deze manier kan het watersysteem binnen de Vismigratierivier gereguleerd worden en kan er bij een eventueel te groot waterstandsverschil ingegrepen worden (doormiddel van het aansturen van de regelwerken).

Vismigratie

Verschillende vissoorten gebruiken op verschillende momenten de doorgang van en naar zee. Om deze reden is het van belang om een jaarronde open verbinding te realiseren (van Looy, Liefveld, Kurstjens, & Hugtenburg, 2019).

Bijlage 2: Interview Erik Bruins Slot

29-4-2021

Functie: Eco-Engineer/ Technisch Manager Vismigratierivier De Nieuwe Afsluitdijk.

1. Wat is de functie van het technische gedeelte?

De toepassing van een 'zigzaggend' systeem is een eenvoudige manier om lengte en daarmee weerstand te creëren.

2. Waar in de Vismigratierivier wordt het verval overbrugt?

Normaal gesproken wil je het verval over de gehele rivier proberen uit te spreiden. Omdat de Vismigratierivier een sand based systeem is, zal onder de meeste omstandigheden en op de meeste plekken in de rivier een stroomsnelheid van 30 cm per seconde gehanteerd moeten worden. Daardoor kan het systeem een verval van 0,50 meter aan. Wordt het verval groter, zal er hier en daar zand in beweging komen. Deze situatie is ongewenst aangezien er geen zand toevoer voor de Vismigratierivier is. Het verval is ook wel eens groter dan 0,50 meter. In zo'n geval gaan de schuiven in de coupure sturen. Het verval tussen de coupure en het IJsselmeer blijft daardoor 0,50 meter. Rond laagwater is het verval het grootst. Stroomsnelheden achter de schuiven worden aanzienlijk hoger tijdens het sturen van de schuiven. De snelheden kunnen oplopen tot 1,5 meter per seconde. Deze snelheden (over de lange afstand in de passage) zijn voor vrijwel alle vissoorten te hoog. Doormiddel van het aanbrengen van stenen wordt de wandruwheid en bodemruwheid verhoogd. De bodem ligt op -4 m NAP. De waterdiepte is bij hoogwater +0,90 m t.o.v. NAP en met laagwater -0,90 m t.o.v. NAP.

3. Wat wordt er binnen de VMR gedaan om het zoete water met het zoute water te mengen?

In het estuariën gedeelte in het IJsselmeer heb je een eb en vloed geul. Deze situatie doet zich ook vaak voor in natuurlijke situaties. De ebgeul is smal en diep en wordt met name gevoed door de uitvoer van de rivier. De vloedgeul wordt met name gevoed door het getij en drukt de rivier terug. Binnen de vloedgeul ontstaan nieuwe geultjes die over zandplaten heengaan. Deze geultjes zijn vaak ondieper. Als je een geleidelijke overgangszone wilt creëren, wil je niet dat bij elke ebstroom de rivier in zijn geheel verzoet waardoor de overgangszone verdwijnt. Het risico van deze situatie is dan namelijk dat de vissen weer meebewegen met het getij (aangezien het water te snel te zoet wordt). Dit wil je voorkomen aangezien er op deze manier vertraging ontstaat. Het is dus belangrijk dat binnen het systeem een acclimatisatiezone ontstaat. Daarom zijn de drempels ingebracht. De vismigratierivier is relatief ondiep zo rond de 4 meter en de uitwisseling van het getij is groot met de hoeveelheid water. Daarmee voorkomen we dat het zoute water zich over de bodem uitstrekt en niet goed mengt met het zoete water. Het systeem is zo ontworpen dat het water goed mengt.

4. Opmerking vanuit de respondent:

Binnen het systeem wordt 1,5 keer meer zoetwater dan zoutwater naar binnen gelaten. Er moet vanwege drinkwaterbelangen aangetoond worden dat er door de Vismigratierivier geen extra zoutlast op het IJsselmeer komt. Het technische gedeelte wordt op deze manier elk getij zoet gespoeld.

5. Waarom is er voor twee van de VMR ingangen gekozen?

Je hebt bij Kornwerderzand een situatie met spui en een situatie zonder spui door de spuicomplex van Rijkswaterstaat. Bij een situatie waarin er niet gespuid wordt verzamelen de vissen zich in de spuikom, dicht tegen sluisdeuren aan. Dan kan de meest zuidelijke opening effectief gebruikt worden. Op het moment dat er gespuid wordt ontstaan er hoge stroomsnelheden en een hoge turbulentie. Met name de zwakkere zwemmers gaan in deze situatie op zoek naar een andere ingang (verder van de sluisdeuren af. Op deze manier kan de meest noordelijke opening effectief gebruikt worden.

6. Opmerking vanuit de respondent:

De ligging van een Vismigratierivier aan de zuidkant van het Haringvliet zou ook een goede optie kunnen zijn. Het is mogelijk dat door de ontstane riviergeul achter de zuidelijke schuiven en de aantrekkingskracht van het zoete water, de vissoorten zich in grotere getalen en vaker bij de Zuidelijke schuiven verzamelen. Daarnaast bevindt er zich momenteel een zijtak van het Haringvliet, 'het Spui', aan de zuidzijde die potentieel geschikt zou kunnen zijn voor de aanleg van een Vismigratierivier.

Bijlage 3: Vis- doelsoorten voor de Vismigratierivier in de Voordelta/ het Haringvliet



Aal/ Paling
Anguilla anguilla
Juveniel: circa 50 cm (Grontmij, 2016)



Bot
Platichthys flesus
Juveniel: circa 30 cm (Grontmij, 2016)



Sprot
Sprattus sprattus
Juveniel: circa 10 cm (Sportvisserij Nederland)



Driedoornige Stekelbaars
Gasterosteus aculeatus
Juveniel: circa 10 cm (Grontmij, 2016)



Dunlipharder
Liza ramada
Juveniel: circa 50 cm (Sportvisserij Nederland)



Atlantische zalm
Salmo salar
Juveniel: circa 100 cm (Grontmij, 2016)



Elft
Alosa alosa
Juveniel: circa 40 cm (Grontmij, 2016)



Fint
Alosa fallax
Juveniel: circa 40 cm (Grontmij, 2016)



Zeeforel
Salmo trutta trutta
Juveniel: circa 50 cm (Grontmij, 2016)



Atlantische Haring
Clupea harengus
Juveniel: circa 45 cm (Mare)



Houting
Coregonus oxyrinchus
Juveniel: circa 40 cm (Grontmij, 2016)



Europese steur
Acipenser sturio
Juveniel: circa 150 cm (Grontmij, 2016)



Rivierprik
Lampetra fluviatilis
Juveniel: circa 40 cm (Grontmij, 2016)



Spiering
Osmerus eperianus
Juveniel: circa 25 cm (Grontmij, 2016)



Zeebaars
Dicentrarchus labrax
Juveniel: circa 40 cm (Sportvisserij Nederland)



Zeeprik
Petromyzon marinus
Juveniel: circa 100 cm (Grontmij, 2016)

Bijlage 4: Berekening kritische stroomsnelheid zand

Voor de berekening zijn de volgende uitgangspunten genomen:

- Een waterhoogte (h) van 4 meter;
- Aan de hand van de boormonster afkomstig van Dinoloket, is bepaald dat de bovenste grondlaag van de bodem uit zand (categorie fijn) bestaat (Dinoloket, 2021). Voor de berekening is een korreldiameter van fijn zand van 2 mm gebruikt;
- Een relatieve dichtheid van 2,1;
- Kinematische viscositeit met een waarde van 0,000001 m²/s

Stap 1: berekening Chézy coëfficiënt gerelateerd aan korrelruwheid C':

$$C' = 18 \times \log\left(\frac{12h}{2,5 \cdot d}\right) \quad 4.1$$

C'	=	Chézy coëfficiënt gerelateerd aan de korrelruwheid [m ^{0,5} /s]
H	=	Waterdiepte [m]
d	=	Korreldiameter [m]

geeft een C' waarde van 71,68 m^{0,5}/s

Stap 2: berekening factor D*:

$$D^* = (\Delta g / \nu^2)^{1/3} \times D \quad 4.2$$

D*	=	Factor [-]
Δ	=	Relatieve dichtheid [-]
g	=	Zwaartekracht versnelling [m/s ²]
ν	=	Kinematische viscositeit [m ² /s]
D	=	Korreldiameter [m]

geeft een D* waarde van 5,48

Stap 3: berekening kritische shields parameter:

$$\theta_{cr} = 0,14 / D^{*0,64} \quad \text{als} \quad 4 < D^* \leq 10 \quad 4.3$$

invullen D* geeft een θ_{cr} waarde van 0,01

Stap 4: berekening kritische schuifspanning:

$$U^* = \sqrt{\theta_{cr}} \times \Delta \times g \times D \quad 4.4$$

U^*	=	Kritische schuifspanning snelheid [m/s]
θ_{cr}	=	Kritische shields parameter [-]
Δ	=	Relatieve dichtheid [-]
g	=	Zwaartekracht versnelling [m/s ²]
D	=	Korrel diameter [m]

geeft een U^* waarde van **0,013 m/s**

Stap 5: berekening kritische stroomsnelheid zandkorrel:

$$U_{kr} = C/\sqrt{g} \times U^* \quad 4.5$$

U_{kr}	=	Kritische stroomsnelheid zandkorrel [m/s]
C	=	Chezy coëfficiënt [m ^{0,5} /s]
g	=	Zwaartekracht versnelling [m/s ²]
U^*	=	Kritische schuifspanning snelheid [m/s]

geeft een U_{kr} waarde van **0,30 m/s**

Bijlage 5: Kentallen en Data-analyse ‘Scenario’s’ Haringvliet en Voordelta Meetpunten Stellendam buiten en Hellevoetsluis



Figuur 1 Ligging waterstandsmetpunten de Voordelta en het Haringvliet (Google)

Gegevens van de meetpunten gelegen ter hoogte van Stellendam buiten en Hellevoetsluis (Figuur 1) worden binnen dit onderzoek als representatief beschouwd voor het bepalen van de waterstanden aan de Voordelta en de Haringvlietzijde. Dit betekent dat de gehele benadering van de waterstanden rond de potentiële ligging van de Vismigratierivier op de meetgegevens van de meetpunten zijn gebaseerd. De meetgegevens zijn onderdeel van de Monitoring Waterinfo, opgezet door Rijkswaterstaat.

Binnen dit onderzoek wordt aangenomen dat, door de open ligging van Hellevoetsluis en de geschikte ligging voor getijmeting van Stellendam buiten, de verschillen tussen de metingen en de daadwerkelijke waarden als verwaarloosbaar kunnen worden beschouwd. Echter zou het effect van de afstand tussen de potentiële ligging van de Vismigratierivier en de meetlocaties ten opzichte van de werkelijke waarden nader onderzocht kunnen worden.

Waterstanden Voordelta

Statistiek- Kentallen en data-analyse waterstanden Voordelta

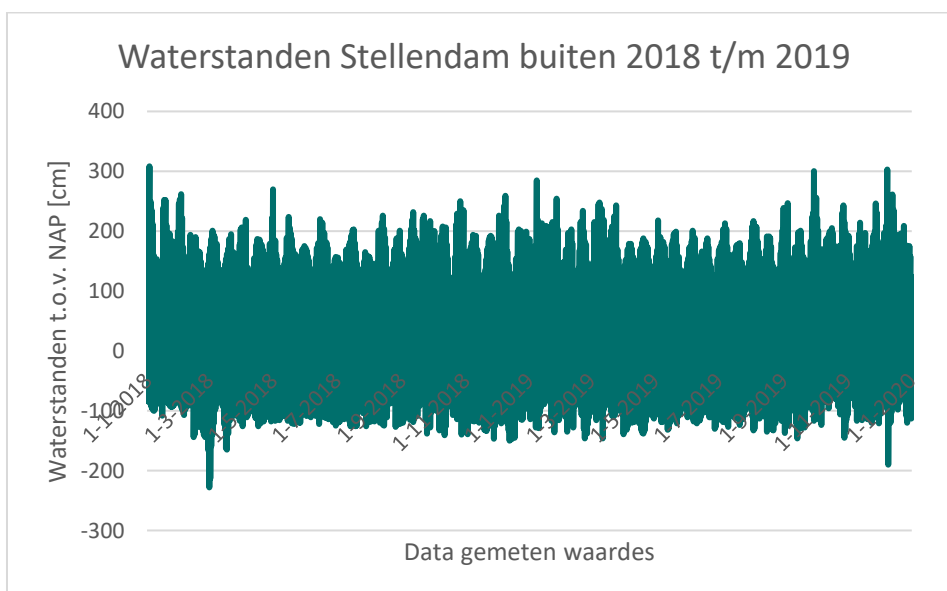
De waterstanden in de Voordelta worden, door de aanwezige getijdencyclus, gekenmerkt door een variatie in hoog- en laagwater. Daarnaast spelen windopzet en het spuien vanuit de Haringvlietsluizen een belangrijke rol.

De hoogst bekende waarde (periode 1982-2019) is 308 cm t.o.v. NAP en de laagst bekende waarde (periode 1982-2019) is -228 cm t.o.v. NAP. Een gemiddelde waterstand in de Voordelta wordt in Tabel 1 weergegeven doormiddel van kentallen, opgesteld door Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2011).

Tabel 1 kentallen gemiddelde waterstand Voordelta

Getijtype	HW-stand t.o.v. NAP [cm]	LW-stand t.o.v. NAP [cm]	Tijverschil [cm]
Gemiddeld springtij	145	-92	237
Gemiddeld tij	124	-86	210
Gemiddeld doortij	93	-77	170

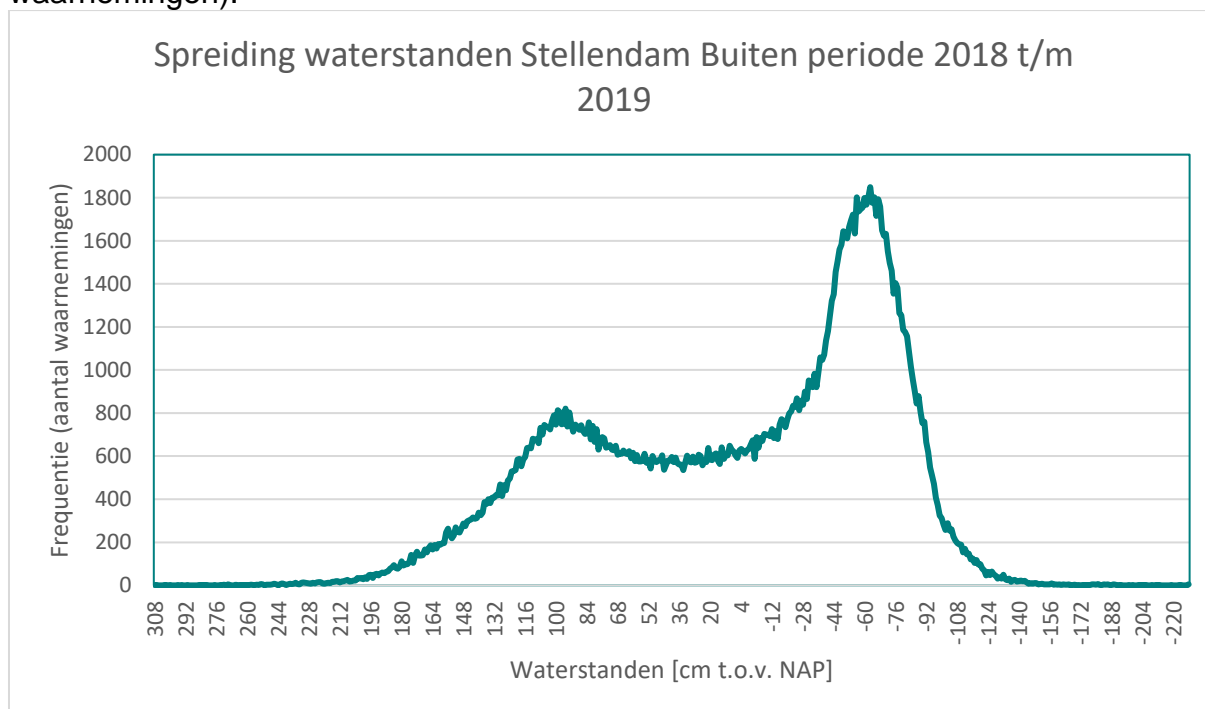
In de praktijk heeft de wind veel invloed op de waterstanden, waardoor de waterstanden regelmatig hoger of lager zijn dan de kentallen aangeven. De waterstanden die in de periode 2018 tot en met 2019 voorkwamen, gemeten bij het meetpunt Stellendam buiten, zijn met behulp van Excel in onderstaande Figuur overzichtelijk gemaakt. De hoogste waterstand die binnen deze periode is gemeten lag op NAP + 308 cm en de laagste waterstand op NAP – 228 cm.



Figuur 2 Waterstanden Stellendam Buiten

Statistiek- Spreiding waterstanden Voordelta

Een spreiding van de waterstanden in de jaren 2018 en 2019 geeft een goed beeld van hoe vaak een bepaalde waterstand daadwerkelijk heeft opgetreden in de afgelopen jaren binnen de Voordelta. In Figuur 3 is de spreiding van de waterstanden in de periode 2018 tot en met 2019 weergegeven, waarbij elke 10 minuten een waarde bij het meetpunt Stellendam Buiten gemeten is (in totaal zo'n 21.500 waarnemingen).



Figuur 3 spreiding waterstanden Voordelta

Zo'n 92% van de tijd lag het waterpeil tussen de NAP -92 cm en NAP +145 cm. Voor de overige (circa) 8% van de tijd geldt een waarde hier buiten (inclusief enkele uitschieters).

De gemiddelde over- en onderschrijdingsfrequenties, zoals die als slotgemiddelden door Rijkswaterstaat zijn opgesteld, worden in onderstaande Tabel weergegeven.

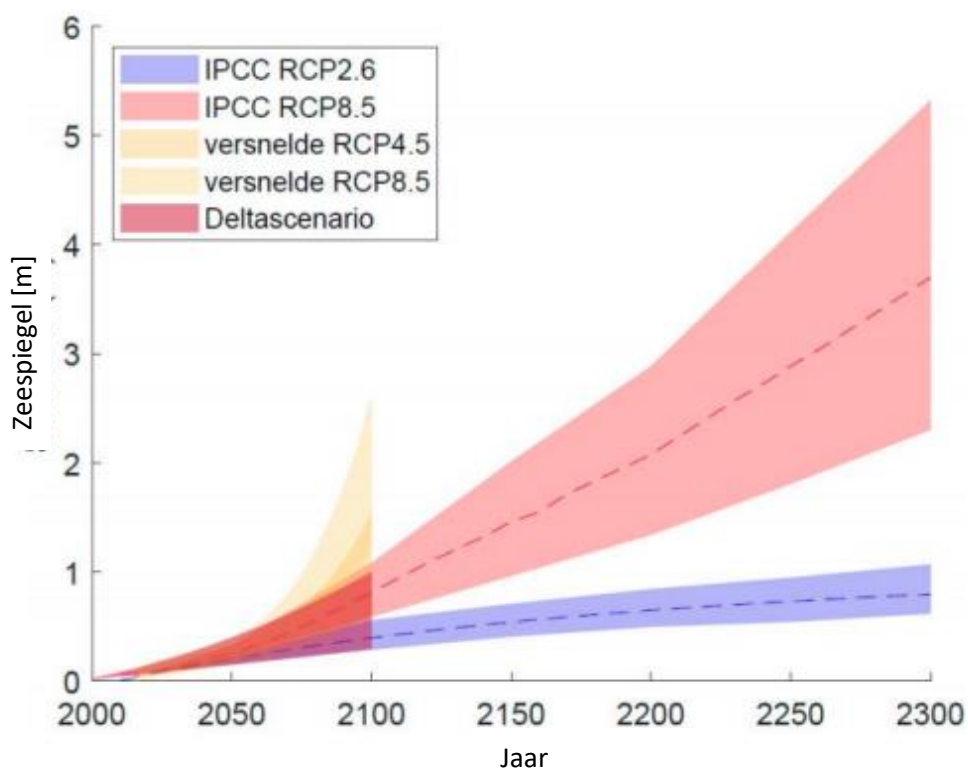
Tabel 2 slotgemiddelden (*Rijkwaterstaat, 2013*)

Gemiddelde over- en onderschrijdingsfrequenties		
Frequentie	Overschrijding hoogwaterstanden	Onderschrijding laagwaterstanden
1x per 10.000 jaar	500	-
1x per 5.000 jaar	480	-
1x per 4.000 jaar	480	-
1x per 2.000 jaar	450	-
1x per 1.000 jaar	430	-
1x per 500 jaar	410	-
1x per 200 jaar	390	-
1x per 100 jaar	370	-
1x per 50 jaar	350	-
1x per 20 jaar	320	-
1x per 10 jaar	300	-205
1x per 5 jaar	280	-200
1x per 2 jaar	260	-185
1x per jaar	245	-170
2x per jaar	230	-165
5x per jaar	210	-150
LAT		-127

Toekomstig beeld- Zeespiegelstijging

De eerder getoonde kentallen en data geven een patroon weer van de afgelopen jaren, die ook de komende jaren verwacht kunnen worden. Echter zullen in de toekomst meerdere hydrodynamische en hydrologische randvoorwaarden veranderen en is de toekomstbestendigheid van de Vismigratierivier afhankelijk van meerdere factoren, waar met name de zeespiegelstijging een belangrijke rol speelt.

Het KNMI heeft verschillende scenario's voor de te verwachten zeespiegelstijging voor 2100 en 2300 opgesteld. Mede gebaseerd op het speciale IPCC-rapport over oceanen en de cryosfeer is daarbij de volgende figuur opgesteld (Figuur 4). De schattingen voor langere tijdschalen zijn onzeker en daarom in banden weergegeven. De te verwachten zeespiegelstijging in 2100 zal, volgens het Deltascenario opgesteld door het KNMI, tussen de 30 en 110 centimeter komen te liggen (KNMI, 2019)



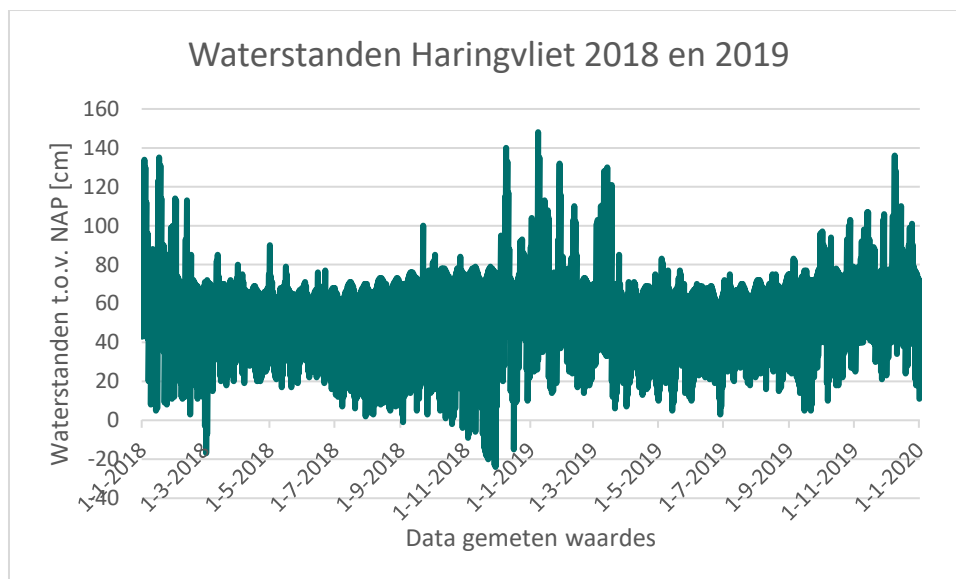
Figuur 4 zeespiegelstijging (van den Hurk & Geertsema, 2020)

Binnen het Delta21-plan zal een nieuwe primaire waterkering aangelegd worden. De kering heeft een sluitpeil van NAP +250 cm en zal voorkomen dat de waterstanden aan Voordelta kant hoger komen te liggen. De Vismigratierivier ondervindt, door diens gunstige ligging achter de waterkering, vanaf de zee kant geen grote gevolgen van de te verwachte zeespiegelstijging. Een stijging van de zeespiegel zorgt echter wel voor een verandering in waarden van de gemiddelde en hoge scenario's. Naar mate de zeespiegel in verloop van tijd stijgt zullen deze waarden mee bewegen.

Waterstanden Haringvliet

Het Haringvliet wordt gevoed door Rijn- en Maaswater, die de waterstanden bepalen. Het getij (zo'n 30 centimeter getijverschil) heeft een geringe invloed op de waterstanden binnen het Haringvliet (Storm, Kuijpers, & Harmsen, 2006).

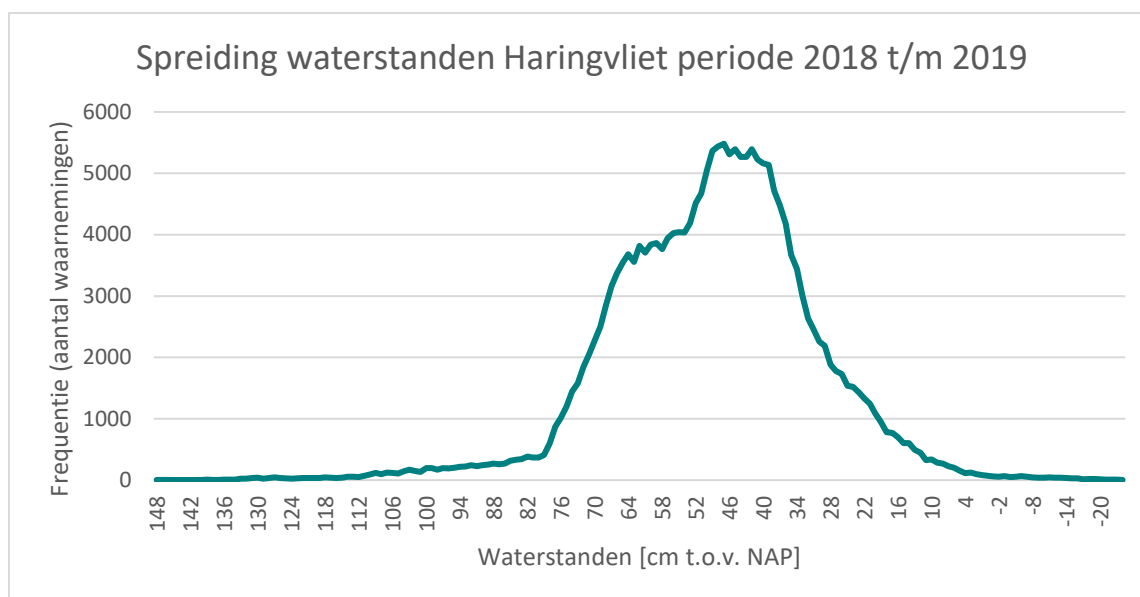
De waterstanden die in de periode 2018 tot en met 2019 voorkwamen (en hoe vaak), gemeten bij het meetpunt Hellevoetsluis, zijn met behulp van Excel in onderstaande Figuur overzichtelijk gemaakt. De hoogst gemeten waterstand tijdens deze periode lag op NAP + 148 cm. De laagst gemeten waterstand tijdens deze periode lag op NAP – 24 cm.



Figuur 5 waterstanden Haringvliet

Statistiek- Spreiding waterstanden

Een spreiding van de waterstanden in de jaren 2018 en 2019 geven een goed beeld van de daadwerkelijk opgetreden waterstanden in de afgelopen jaren. In Figuur 6 is de spreiding van de waterstanden in de periode 2018 tot en met 2019 weergegeven, waarbij elke 10 minuten een waarde bij het meetpunt Hellevoetsluis gemeten is (in totaal zo'n 21.500 waarnemingen).



Figuur 6 spreiding waterstanden Haringvliet

Zo'n 95% van de tijd lag het waterpeil tussen de NAP +79 cm en NAP +11 cm. Voor de overige (circa) 5% van de tijd geldt een waarde hier buiten (inclusief enkele uitschieters).

Scenario's - Indeling

Scenario 1

De gemiddelde waterstanden in de Voordelta zijn bepaald aan de hand van slotgemiddelden en een data-analyse. De slotgemiddelden zijn opgesteld door Rijkswaterstaat. De data-analyse is uitgevoerd aan de hand van de gegevens van meetpunt Stellendam Buiten (periode 2018 tot en met 2020). De waterstanden tijdens gemiddelde omstandigheden in het Haringvliet zijn mede afgeleid uit gegevens van Waterinfo Rijkswaterstaat, waar de waarden NAP 0 cm en NAP +80 cm als 'Normaal' gelabeld zijn (Rijkswaterstaat, sd). Tevens zijn de waterstanden bepaald uit de data-analyse van de gegevens van meetpunt Hellevoetsluis (periode 2018 tot en met 2020).

Alle situaties waarbij waterstandsverschillen tussen de Voordelta en het Haringvliet kleiner dan 180 cm optreden vallen onder dit scenario. De waterstanden zijn per type getij en situatie laag- en hoogwater in onderstaande Tabel weergegeven.

Tabel 3 Scenario 1 waterstanden

Getij	Waterstand Voordelta t.o.v. NAP [cm]	Waterstand Haringvliet t.o.v. NAP [cm]
Springtij		
1. Laagwater	-92	0
2. Hoogwater	+145	+80
Gemiddeld tij		
3. Laagwater	-86	0
4. Hoogwater	+124	+80
Doodtij		
5. Laagwater	-77	0

6. Hoogwater	+93	+80
--------------	-----	-----

Waarbij: V= verval richting de Voordelta
 en H= verval richting het Haringvliet

Scenario 2

De hoge waterstanden in de Voordelta zijn mede bepaald uit de gegevens opgehaald van Waterinfo Rijkswaterstaat. Daarnaast zijn de waterstanden bepaald uit de data-analyse van de gegevens van meetpunt Stellendam Buiten (periode 2018 tot en met 2020). De waterstanden tijdens hoge omstandigheden in het Haringvliet zijn mede afgeleid uit gegevens van Waterinfo Rijkswaterstaat, waar de waardes NAP > +80 cm als 'Licht verhoogd' gelabeld zijn. Tevens zijn de waterstanden bepaald uit de data-analyse van de gegevens van meetpunt Hellevoetsluis (periode 2018 tot en met 2020).

Alle situaties waarbij waterstandsverschillen tussen de Voordelta en het Haringvliet tussen de 180 cm en de 250 cm optreden vallen onder dit scenario. De waterstanden zijn per situatie, laag- en hoogwater, in onderstaande Tabel weergegeven.

Tabel 4 Scenario 2 waterstanden

Getij	Waterstand Voordelta t.o.v. NAP [cm]	Waterstand Haringvliet t.o.v. NAP [cm]
Laagwater	-92 t/m -170	<0
Hoogwater	+146 t/m +200	+80 t/m +190

Waarbij: V= verval richting de Voordelta
 en H= verval richting het Haringvliet

Scenario 3

De extreme waterstanden in de Voordelta zijn mede bepaald uit de gegevens opgehaald van Waterinfo Rijkswaterstaat. Daarnaast zijn de waterstanden bepaald uit de data-analyse van de gegevens van meetpunt Stellendam Buiten (periode 2018 tot en met 2020). De waterstanden tijdens extreme omstandigheden in het Haringvliet zijn mede afgeleid uit gegevens van Waterinfo Rijkswaterstaat, waar de waardes NAP > +190 cm als 'Hoogwater/Stormvloed' en de waardes NAP > +220 cm als 'Extreem hoogwater' gelabeld zijn. Tevens zijn de waterstanden bepaald uit de data-analyse van de gegevens van meetpunt Hellevoetsluis (periode 2018 tot en met 2020).

Alle situaties waarbij waterstandsverschillen tussen de Voordelta en het Haringvliet groter dan de 250 cm optreden vallen onder dit scenario. De waterstanden zijn per situatie, laag- en hoogwater, in onderstaande Tabel weergegeven.

Tabel 5 Scenario 3 waterstanden

Getij	Waterstand Voordelta t.o.v. NAP [cm]	Waterstand Haringvliet t.o.v. NAP [cm]
Laagwater	< -170	<0
Hoogwater	+200 t/m +250	+190 t/m +220

Waarbij: V= verval richting de Voordelta
 en H= verval richting het Haringvliet

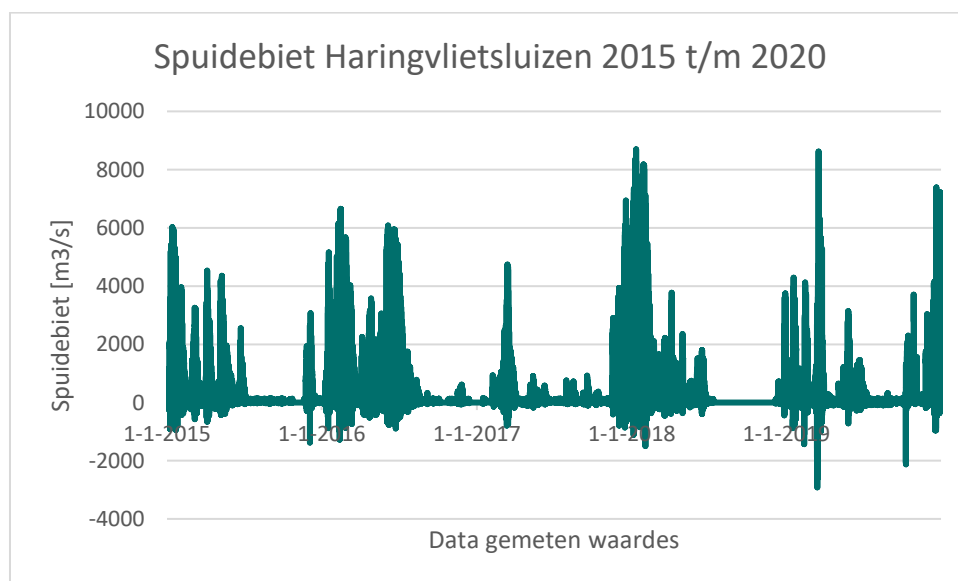
Statistiek: Spuidebiet
Meetpunt- Haringvlietsluizen



Figuur 6 Ligging meetpunt Haringvlietsluizen buiten (Google)

Gegevens van het meetpunt Haringvlietsluizen buiten wordt binnen dit onderzoek als representatief beschouwd voor het bepalen van het spuidebiet door de Haringvlietsluizen. De meetgegevens zijn onderdeel van de Monitoring Waterinfo, opgezet door Rijkswaterstaat.

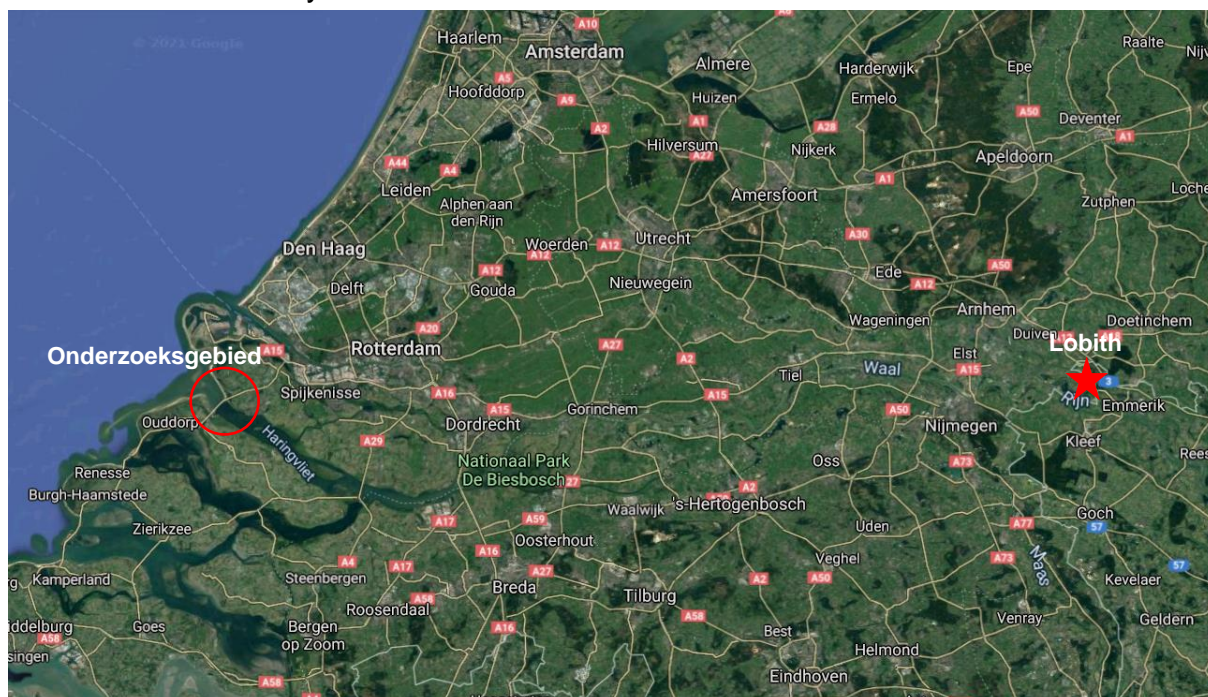
Spuidebiet- Haringvlietsluizen



Figuur 7 spuidebiet Haringvlietsluizen

De spuidebieten die in de periode 2015 tot en met 2020 voorkwamen, gemeten bij het meetpunt Haringvlietsluizen binnen, zijn met behulp van Excel in bovenstaande Figuur overzichtelijk gemaakt. De hoogste waarde die binnen deze periode is gemeten is $8.702 \text{ m}^3/\text{s}$.

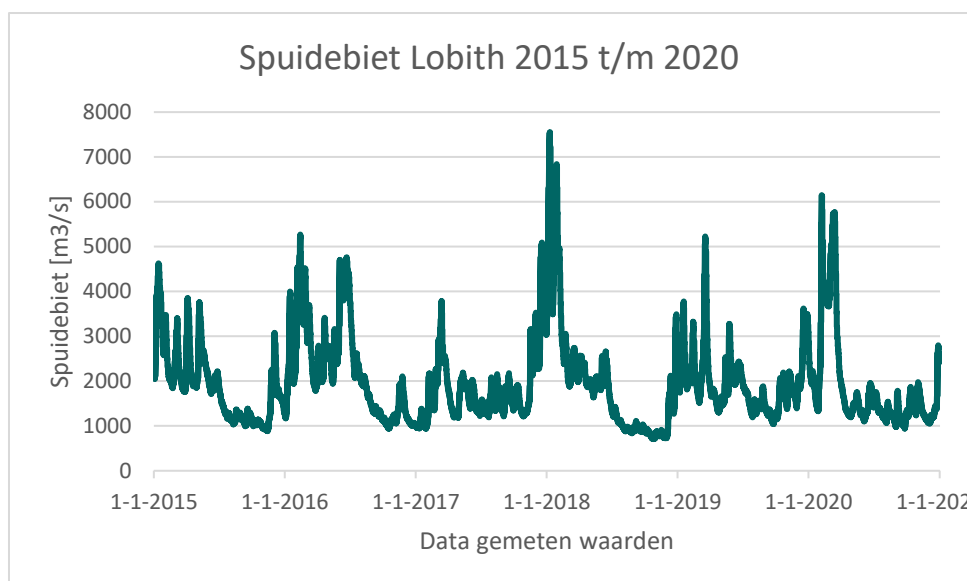
Statistiek - Data-analyse debiet Lobith



Figuur 8 Ligging meetpunt bij Lobith en het onderzoeksgebied (Google)

Gegevens afkomstig van het meetpunt bij Lobith buiten wordt binnen dit onderzoek (naast de gemeten waarde bij Haringvlietsluizen Binnen) gebruikt voor het inschatten van het spuidebiet door de Haringvlietsluizen. De meetgegevens zijn onderdeel van de Monitoring Waterinfo, opgezet door Rijkswaterstaat. In de praktijk wordt het sluisbeheer van de Haringvlietsluizen afgestemd op de rivierafvoer bij Lobith (Deltares, 2017). Daarnaast geeft de rivierafvoer bij Lobith een reëel beeld voor de te verwachte spuidebieten door de Haringvlietsluizen (N. Kuiken, 2021).

De spuidebieten die in de periode 2015 tot en met 2020 voorkwamen, gemeten bij het meetpunt Lobith, zijn met behulp van Excel in onderstaande Figuur overzichtelijk gemaakt. De hoogste waarde die binnen deze periode is gemeten is $7.573 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 9 Ligging spuidebiet Lobith

Scenario's - Indeling

Het spuidebiet door de Haringvlietsluizen in een normale, hoge en extreme situatie, is bepaald aan de hand van de uitgevoerde data-analyse van de gemeten waardes en een berekende waarde.

Gemeten waardes (data-analyse)

De rivierafvoer bij Lobith geeft een reëel beeld voor de te verwachte rivierafvoer bij het Haringvliet (N. Kuiken, 2021). In de praktijk wordt het sluisbeheer van de Haringvlietsluizen afgestemd op de rivierafvoer bij Lobith (Deltares, 2017). Bij een rivierafvoer bij Lobith van $<1.100 \text{ m}^3/\text{s}$, zijn de Haringvlietsluizen gesloten. Bij eb zullen de sluizen bij een Bovenrijn- afvoer vanaf $1.100 \text{ m}^3/\text{s}$ (gedeeltelijk) geopend worden. Bij vloed zullen de sluizen bij een Bovenrijn- afvoer vanaf $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ (gedeeltelijk) geopend worden (Deltares, 2017).

Berekende waardes

Door gebruik te maken van het debiet bij Lobith, het waterstandsverschil over de Haringvlietsluizen en de totale doorstroomopening van de Haringvlietsluizen, is het debiet door de Haringvlietsluizen geschat. De reden voor het bepalen van deze berekende waardes is het feit dat bij de gemeten waardes geleverd door Rijkswaterstaat, overige gegevens zoals de waterstandsverschillen en de doorstroomopening van de Haringvlietsluizen niet beschikbaar zijn. De berekeningen geven enkel een waarde aan en geven niet weer hoe vaak deze waarde zich daadwerkelijk voordoet (de frequentie is terug te vinden onder het kopje Statistiek - Data-analyse debiet Lobith) waar de gemeten waardes weergegeven zijn). De manier waarop de waardes berekend zijn wordt onder het kopje Statistiek - Berekening Spuidebiet Haringvlietsluizen in deze Bijlage weergegeven.

Scenario 1

Gemeten waardes (data-analyse)

Het gemiddelde gemeten debiet bij Lobith in de periode 2015-2020 lag tussen de $1.300 \text{ m}^3/\text{s}$ en de $5.500 \text{ m}^3/\text{s}$. De gemeten waarde bij de Haringvlietsluizen geven een gemiddelde situatie tussen de $0 \text{ m}^3/\text{s}$ en de $2.500 \text{ m}^3/\text{s}$

Berekende waardes

In onderstaande tabellen (**Tabel**, **Tabel** en **Tabel**) is het spuidebiet door de Haringvlietsluizen bij een waterstandverschil (in stappen van 50 cm) tot en met 150 cm weergegeven bij zowel eb als vloed. De bijbehorende waardes van het debiet bij Lobith zijn bepaald uit de gegevens geleverd door Rijkswaterstaat.

Tabel 6 Spuidebiet scenario 1 bij een debiet bij Lobith van $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ in een eb-situatie

Verval	50 cm	100 cm	150 cm
Debiet Lobith [m^3/s]	1500	1500	1500
Doorstroomoppervlakte [m^2]	100	100	100
Spuidebiet Haringvlietsluizen [m^3/s]	250	355	435

Tabel 7 Spuidebiet scenario 1 bij een debiet bij Lobith van $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ in een eb-situatie

Verval	50 cm	100 cm	150 cm
Debiet Lobith [m^3/s]	2000	200	2000
Doorstroomoppervlakte [m^2]	350	350	350
Spuidebiet Haringvlietsluizen [m^3/s]	875	1240	1520

Tabel 8 Spuidebiet scenario 1 bij een debiet bij Lobith van $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ in een eb-situatie

Verval	50 cm	100 cm	150 cm
Debiet Lobith [m^3/s]	2500	2500	2500
Doorstroomoppervlakte [m^2]	600	600	600
Spuidebiet Haringvlietsluizen [m^3/s]	1500	2125	2605

Tabel 9 Spuidebiet scenario 1 bij een debiet bij Lobith van $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ in een vloed-situatie

Verval	50 cm	100 cm	150 cm
Debiet Lobith [m^3/s]	2000	2000	2000
Doorstroomoppervlakte [m^2]	164	164	164
Spuidebiet Haringvlietsluizen [m^3/s]	411	581	712

Tabel 10 Spuidebiet scenario 1 bij een debiet bij Lobith van $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ in een vloed-situatie

Verval	50 cm	100 cm	150 cm
Debiet Lobith [m^3/s]	2500	2500	2500
Doorstroomoppervlakte [m^2]	200	200	200
Spuidebiet Haringvlietsluizen [m^3/s]	501	709	868

Scenario 2

Gemeten waardes (data-analyse)

Het gemeten debiet onder hoge omstandigheden bij Lobith in de periode 2015-2020 lag tussen de 5.500 m³/s en de 11.000 m³/s. De gemeten waarde bij de Haringvlietsluizen geven een hoge situatie tussen de 2.500 m³/s en de 3.600 m³/s

Berekende waardes

In onderstaande tabellen (**Tabel 11** en **Tabel 12**) is het spuidebiet door de Haringvlietsluizen bij een waterstandverschil (in stappen van 50 cm) van 200 cm tot en met 250 cm weergegeven. De bijbehorende waardes van het debiet bij Lobith zijn bepaald uit de gegevens geleverd door Rijkswaterstaat.

Tabel 11 Spuidebiet scenario 2 bij een debiet bij Lobith van 3000 m³/s in een eb-situatie

Verval	200 cm	250 cm
<i>Debiet Lobith [m³/s]</i>	3000	3000
<i>Doorstroomoppervlakte [m²]</i>	600	600
<i>Spuidebiet Haringvlietsluizen [m³/s]</i>	3000	3360

Tabel 12 Spuidebiet scenario 2 bij een debiet bij Lobith van 3600 m³/s in een eb-situatie

Verval	200 cm	250 cm
<i>Debiet Lobith [m³/s]</i>	3600	3600
<i>Doorstroomoppervlakte [m²]</i>	977	977
<i>Spuidebiet Haringvlietsluizen [m³/s]</i>	>3600	>3600

Tabel 13 Spuidebiet scenario 2 bij een debiet bij Lobith van 3000 m³/s in een vloed-situatie

Verval	200 cm	250 cm
<i>Debiet Lobith [m³/s]</i>	3000	3000
<i>Doorstroomoppervlakte [m²]</i>	400	400
<i>Spuidebiet Haringvlietsluizen [m³/s]</i>	2005	2241

Tabel 14 Spuidebiet scenario 2 bij een debiet bij Lobith van 3600 m³/s in een vloed-situatie

Verval	200 cm	250 cm
<i>Debiet Lobith [m³/s]</i>	3600	3600
<i>Doorstroomoppervlakte [m²]</i>	700	700
<i>Spuidebiet Haringvlietsluizen [m³/s]</i>	>3600	>3600

Scenario 3

Gemeten waardes (data-analyse)

Het gemeten debiet onder extreme omstandigheden bij Lobith in de periode 2015-2020 lag tussen de $>11.000 \text{ m}^3/\text{s}$. De gemeten waarde bij de Haringvlietsluizen geven een extreme situatie van $>3.600 \text{ m}^3/\text{s}$.

Berekende waardes

Bij een extreem scenario treedt er zowel bij eb als bij vloed een spuidebiet van >3600 m³/s op.

Statistiek - Berekening Spuidebiet Haringvlietsluizen

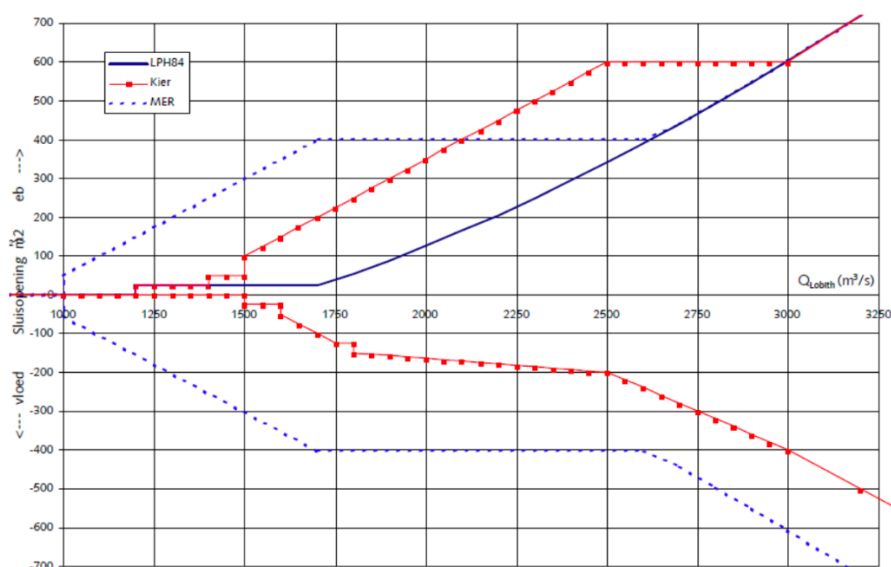
Om het spuidebiet door de Haringvlietsluizen te berekenen is er gebruik gemaakt van onderstaande formule, waarin het waterstandsverschil over de spuisluizen, de rivierafvoer bij Lobith en de bijbehorende doorstroomopening van de sluisen gebruikt worden:

$$Q = A \times \mu \times \sqrt{(2 \times g \times \Delta h)} \quad 5.1$$

waarin:

Q	=	Debiet door de Haringvlietsluizen [m ³ /s]
A	=	Doorstroomoppervlak [m ²]
g	=	Zwaartekrachtversnelling [m ² /s]
Δh	=	Waterstandsverschil over de sluisen [m]
μ	=	Afvoer coëfficiënt 0,8 [-].

De totale doorstroomopening is met behulp van onderstaande grafiek van de sluisconfiguratie van het Haringvliet bepaald (Noordhuis, 2017). Een overzicht van het spuidebiet bij Lobith met de bijbehorende doorstroomopeningen van de Haringvlietsluizen (17 schuiven) opgesteld door Deltares, is in Figuur 11 en Figuur 12 weergegeven. Het waterstandsverschil over de sluisen is bepaald op basis van de gemeten waterstanden. De afvoer coëfficiënt is door Deltares vergeleken met de gemeten waardes (aan de hand van een SOBEK-RE model) en bepaald op 0.8 (Deltares, 2017).



Figuur 10 overzicht spuidebiet Lobith met bijbehorende doorstroomopening Haringvlietsluizen. De sluiting van de spuisluizen is in deze grafiek aangegeven bij een debiet van circa 1200 m³/s, deze waarde moet 1100 m³/s zijn (Deltares, 2017).

Figuur 11 Sluisopeningen bij eb in relatie tot de rivierafvoer bij Lobith

afvoer Lobith m3/sec	doorstroom- opening m2	Sluisconfiguratie																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	8	10	11	12	13	14	15	16	17	totaal m²				
0 tot 1200	0	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	0	0	0		
1200 tot 1400	25																			40	25	25	
1400 tot 1500	50																			80	50	50	
1500	100																			160	99	99	
1550	125																			200	123	123	
1600	150																		0	245	151	151	
1650	175																		40	245	244	151	
1700	200																		80	50	244	151	
1750	225																		120	74	244	151	
1800	250																		160	99	244	151	
1850	275																		200	123	244	151	
1900	300																		0	245	151	244	
1950	325																		40	245	151	244	
2000	350																		80	50	245	151	
2050	375																		120	74	245	151	
2100	400																		160	99	245	151	
2150	425																		200	123	245	151	
2200	450																		0	245	151	244	
2250	475																		40	245	151	244	
2300	500																		80	50	245	151	
2350	525																		120	74	245	151	
2400	550																		160	99	245	151	
2450	575																		200	123	245	151	
2500	600																		245	151	245	151	
2550	600																		245	151	245	151	
2600	600																		245	151	245	151	
2650	600																		245	151	245	151	
2700	600																		245	151	245	151	
2750	600																		245	151	245	151	
2800	600																		245	151	245	151	
2850	600																		245	151	245	151	
2900	600																		245	151	245	151	
2950	600																		245	151	245	151	
3000	600																		245	151	245	151	
3200	720																		0	245	151	244	
3400	844																		0	245	151	244	
3600	977																		0	245	151	244	
3800	1116																		0	245	151	244	
4000	1240																		0	245	151	244	
4200	1301																		0	245	151	244	
4400	1361																		0	245	151	244	
4600	1423																		0	245	151	244	
4800	1484																		0	245	151	244	
5000	1545																		0	245	151	244	
5200	1607																		0	245	151	244	
5400	1669																		0	245	151	244	
5600	1732																		0	245	151	244	
5800	1796																		0	245	151	244	
6000	1860																		0	245	151	244	
6200	1924																		0	245	151	244	
6400	1988																		0	245	151	244	
6600	2052																		0	245	151	244	
6800	2116																		0	245	151	244	
7000	2180																		0	245	151	244	
7200	2244																		0	245	151	244	
7400	2308																		0	245	151	244	
7600	2372																		0	245	151	244	
7800	2436																		0	245	151	244	
8000	2500																		0	245	151	244	
8200	2564																		0	245	151	244	
8400	2628																		0	245	151	244	
8600	2692																		0	245	151	244	
8800	2756																		0	245	151	244	
9000	2820																		0	245	151	244	
vanaf 9500	6000	600	355	600	355	600	355	600	355	600	355	600	355	600	355	600	355	600	355	600	355	600	355

Voorbeeld berekening:

Als voorbeeld wordt voor een rivierafvoer bij Lobith van 1500 m³/s en een verval van 50, 100 en 150 cm uitgerekend wat het bijbehorende spuidebiet is:

$$Q = A \times \mu \times \sqrt{(2 \times g \times \Delta h)} \quad 5.2$$

Met:

Q	=	te bepalen waarde [m ³ /s]
A	=	100,00 m ² , af te lezen uit de grafiek (volgende pagina)
g	=	9,81 m ² /s
Δh	=	0,50 m
μ	=	0,80

Geeft bij een verval van 50 cm:

$$Q = 100 \times 0,8 \times \sqrt{(2 \times 9,81 \times 0,50)} \text{ en}$$

$$Q = 250,57 \text{ m}^3/\text{s}$$

Geeft bij een verval van 100 cm:

$$Q = 100 \times 0,8 \times \sqrt{(2 \times 9,81 \times 1,00)} \text{ en}$$

$$Q = 354,36 \text{ m}^3/\text{s}$$

Geeft bij een verval van 150:

$$Q = 100 \times 0,8 \times \sqrt{(2 \times 9,81 \times 1,50)} \text{ en}$$

$$Q = 433,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabel 16 Spuidebiet scenario 1 bij een debiet bij Lobith van 1500 m³/s

Verval	50 cm	100 cm	150 cm
<i>Debiet Lobith</i>	1500 m ³ /s	1500 m ³ /s	1500 m ³ /s
<i>Doorstroomoppervlakte</i>	100 m ²	100 m ²	100 m ²
<i>Spuidebiet</i>	250 m ³ /s	354 m ³ /s	433 m ³ /s
<i>Haringvlietsluizen</i>			

Bijlage 6: Multicriteria-analyse

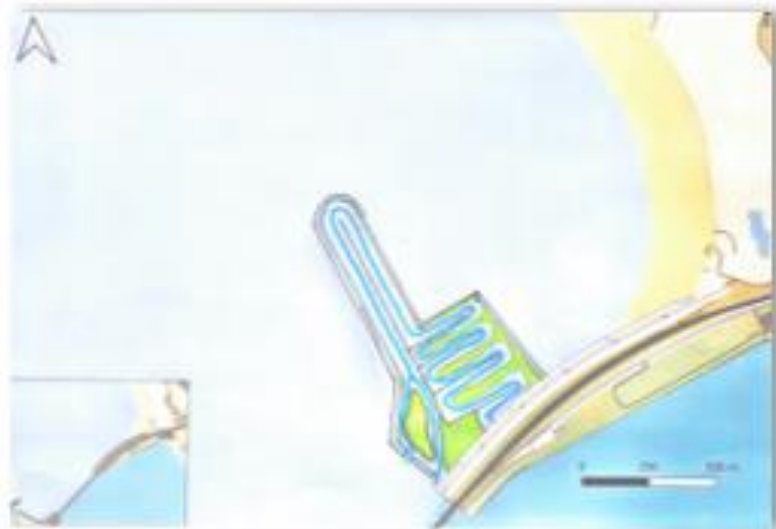
Aan de hand van onderstaande beslissingsanalyse, Multicriteria-analyse (MCA), zijn de varianten gerangschikt. De MCA is opgesteld aan de hand van het stappenplan geleverd door het Deltaprogramma Ruimtelijke adaptatie. Binnen dit Deltaprogramma werken onder anderen maatschappelijke organisaties, rijksoverheid, provincies, waterschappen en gemeenten samen, met de doelstelling om een centrale informatievoorziening, Kennisportaal Klimaat adaptatie, te realiseren (Stichting Climate Adaptation Services, sd). Bij gebruik van de Multicriteria-analyse wordt onderstaande indeling gevolgd:

- 'Context';
- 'Beschrijving varianten', waarin de alternatieven geïdentificeerd worden;
- 'Bepaling criteria', waarmee de alternatieven tegen elkaar afgewogen worden;
- 'Standaardisatie criteria', waarbij een waarde aan de criteria gekoppeld wordt;
- 'Weging criteria', waarmee bepaald wordt hoe belangrijk een criterium is;
- 'Rangschikking varianten', waarmee de varianten aan de hand van de toetsing gerangschikt worden;
- 'Gevoeligheidsanalyse', hierbij wordt er bepaald hoe de rangschikking van de alternatieven varieert wanneer het gewicht (relatieve belang) van de criteria wordt gewijzigd.

Beschrijving varianten

Variant 1: VMR lijn Voordelta

Binnen het ontwerp bevinden de twee ingangen zich ten hoogte van de meest Noordelijke schuif van de Haringvlietsluizen. Vanuit de ingangen bevinden zich twee geulen (eb- en vloedgeul) die het Vogeleiland omringen en daarna weer samenkomen. De VMR volgt de rechte 'lijn' (parallel aan de kust) verder de Voordelta in. Hier loopt een enkele geul door het estuariene gedeelte (zandplaat). Met een scherpe bocht loopt de VMR over in het 'zigzaggende deel', waar de lengte van de rivier gecreëerd wordt. Doormiddel van de coupure (vispassage door de Haringvlietdam), kunnen de vissen hun route vervolgen naar het Haringvliet. De 'uitstroom' van de Vismigratierivier is op zodanige wijze gesitueerd, dat de vissen niet direct terug de Voordelta in belanden.



Figuur 13 overzicht variant 1

Variant 2: VMR Voordelta

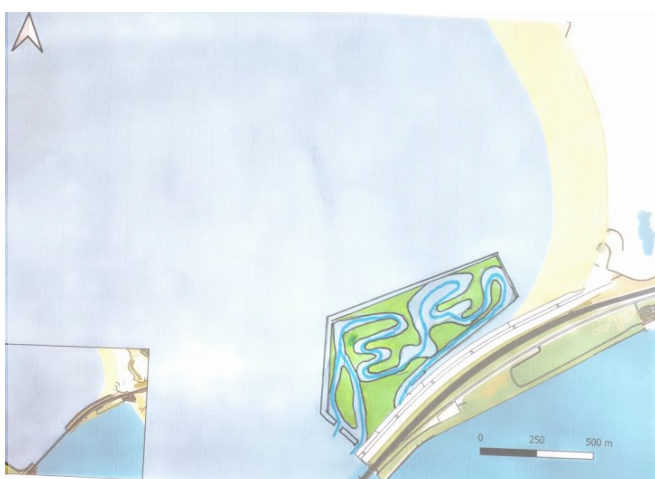
Binnen het ontwerp bevinden de twee ingangen zich ten hoogte van de meest Noordelijke schuif van de Haringvlietsluizen. Vanuit de ingang lopen twee geulen (eb- en vloedgeul) door een gedeelte dat is ingericht als estuarium. Binnen dit deel zijn verschillen in waterdiepte, waterbreedte en stroomsnelheden aanwezig. Tussen de twee geulen in bevindt zich een Vogeleiland en verder Noordelijk een zandplaat die bij hoogwater onderwater kan komen te staan en bij laagwater droog valt. Door de vrij brede inrichting van het estuariene gedeelte (wat gezien kan worden als een zandplaat waar de eb- en vloedgeulen doorheen lopen) ontstaat er een gebied waar slikken, horen en nieuwe geultjes kunnen ontstaan. Vanuit het estuariene deel loopt de VMR doormiddel van een flauwe bocht over in het meanderende deel, waar de lengte van de rivier gecreëerd wordt. De totale lengte van de rivier is 5 kilometer. Doormiddel van de coupure (vispassage door de Haringvlietdam), kunnen de vissen hun route vervolgen naar het Haringvliet. De 'uitstroom' van de Vismigratierivier is op zodanige wijze gesitueerd, dat de vissen niet direct terug de Voordelta in belanden.



Figuur 14 overzicht variant 2

Variant 3: VMR lang Voordelta

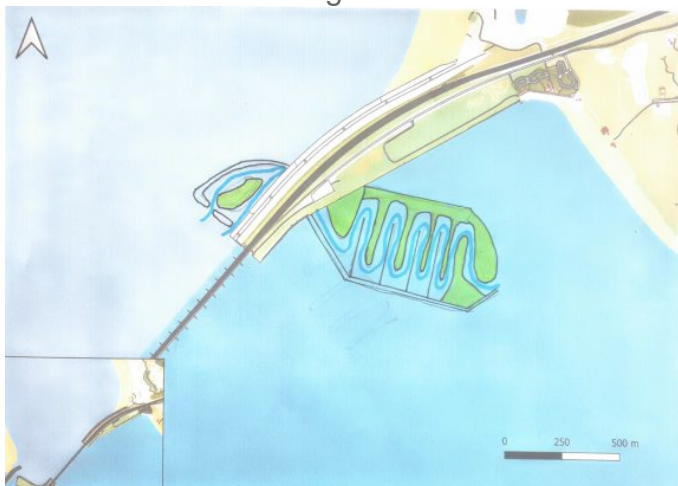
Binnen het ontwerp bevinden de twee ingangen zich ten hoogte van de meest Noordelijke schuif van de Haringvlietsluizen. Vanuit de ingang lopen twee geulen (eb- en vloedgeul) door een gedeelte dat is ingericht als estuarium. Binnen dit deel zijn verschillen in waterdiepte, waterbreedte en stroomsnelheden aanwezig. Tussen de twee geulen in bevindt zich een Vogeleiland en verder Noordelijk een zandplaat die bij hoogwater onderwater kan komen te staan en bij laagwater droog valt. Door de vrij brede inrichting van het estuariene gedeelte (wat gezien kan worden als een zandplaat waar de eb- en vloedgeulen doorheen lopen) ontstaat er een gebied waar slikken, horen en nieuwe geultjes kunnen ontstaan. Het estuariene deel loopt door tot aan de doorlaatmiddel van de coupure (vispassage door de Haringvlietdam). Doormiddel van de coupure kunnen de vissen hun route vervolgen naar het Haringvliet. De 'uitstroom' van de Vismigratierivier is op zodanige wijze gesitueerd, dat de vissen niet direct terug de Voordelta in belanden.



Figuur 15 overzicht variant 3

Variant 4: VMR Haringvliet

De twee ingangen van Variant 3 bevinden zich aan de denkbeeldige lijn van de migratielimietlijn, ten hoogte van de meest Noordelijke schuif van de Haringvlietssluisen. Doormiddel van de coupure (vispassage door de Haringvlietdam), komt de VMR in het Haringvliet terecht. Vanaf de Haringvliet-zijde lopen twee geulen (eb- en vloedgeul) door een gedeelte dat is ingericht als estuarium. Binnen dit deel zijn verschillen in waterdiepte, waterbreedte en stroomsnelheden aanwezig. Tussen de twee geulen in bevindt zich een Vogeleiland en verder Noordelijk een zandplaat die bij hoogwater onderwater kan komen te staan en bij laagwater droog valt. Door de vrij brede inrichting van het estuariene gedeelte (wat gezien kan worden als een zandplaat waar de eb- en vloedgeulen doorheen lopen) ontstaat er een gebied waar slikken, horen en nieuwe geultjes kunnen ontstaan. Vanuit het estuariene deel loopt de VMR over in het meanderende deel, waar de lengte van de rivier gecreëerd wordt. Via de 'uitstroom' komen de vissen het Haringvliet in terecht. De 'uitstroom' van de Vismigratierivier ligt op voldoende afstand van de Haringvlietssluisen, waardoor de vissen niet direct terug de Voordelta in belanden.



Figuur 16 overzicht variant 4

Criteria

De varianten worden aan de hand van onderstaande criteria getoetst:

- Ligging – Gebruiksfuncties
- Ligging – Onderwaterlandschap
- Vormgeving – Esthetische waarde
- Vormgeving – Hydrodynamica en morfologie
- Vormgeving – Strekdammen
- Vormgeving – Toekomstvastheid
- Aanlegfase – Faseringsplan

Ligging – Gebruiksfuncties

Het genoemde criterium is gericht op de locatie van de VMR en diens gevolgen voor de omliggende omgeving. Oftewel hoe verhoudt de desbetreffende ligging van de variant zich ten opzichte van Natura2000-gebieden en recreatiegelegenheden zoals onder andere het badstrand bij Rockanje en de Catamaran vereniging aan het Haringvliet. Ook wordt er gekeken naar de invloed van de ligging van de VMR op onder andere de huidige scheepvaart in het Haringvliet. Daarnaast wordt er per variant afgewogen wat de mogelijkheden zijn om de VMR voor eventuele bezoekers aantrekkelijk te maken.

Ligging – Onderwaterlandschap

De aansluiting van de beoogde varianten op het onderwaterlandschap is van groot belang: vanuit zowel de ecologische als de technische eisen en randvoorwaarden van de VMR is naar voren gekomen dat kleinere waterdieptes bevorderlijk zijn. De aansluiting van de huidige waterdieptes in zowel de Voordelta als het Haringvliet op de gewenste waterdieptes in de VMR zal beoordeeld worden.

Vormgeving – Esthetische waarde

Het doel van Delta21 is om bij te dragen aan natuurherstel binnen de Voordelta en het Haringvliet. Een belangrijk punt hierbij is de esthetische waarde van de VMR. De esthetische waarde heeft invloed op de maatschappelijke draagkracht van de VMR en kan een rol spelen in de mate van Ecotoerisme. Tevens zal de VMR worden geïntegreerd in de omgeving en zal de VMR de iconische uitstraling van de Haringvlietdam kunnen versterken.

Vormgeving – Hydrodynamica en morfologie

De morfologie van de VMR heeft invloed op onder anderen de stroomrichting, de variatie in stroomsnelheid en de mate van stroomluwe gebieden. Deze factoren zijn belangrijk voor de effectiviteit van de VMR. Vanuit de ecologische en technische eisen en randvoorwaarden van de VMR is naar voren gekomen dat een estuariene inrichting binnen de VMR noodzakelijk is. De manier waarop deze gebieden ingericht zijn kan verschelen. Een breed estuarium met een eb- en vloedgeul is de meest gewenste situatie.

Vormgeving – Strekdammen

Belangrijk is dat de VMR beschermd wordt tegen onder andere golfslag en stromingen vanuit de Voordelta en/of het Haringvliet. In alle varianten wordt dit gedaan doormiddel van de aanleg van strekdammen. Echter, verschilt de manier waarop in bijvoorbeeld de omvang van de strekdammen (lengte per strekkende meter) en de benodigde hoogte.

Vormgeving – Toekomstvastheid

De toekomstvastheid betekend in dit criterium de mate van flexibiliteit om de VMR te kunnen optimaliseren. Oftewel: bestaan de varianten met name uit een kunstmatige of natuurlijke vorm/inrichting?, kunnen de varianten gericht afgesloten worden (voor regulatie)? en wat is de beheer- en onderhoudsinspanning?

Aanlegfase – Faseringsplan

De varianten verschelen ten opzichte van elkaar in onder andere de ligging (sommige delen liggen met name aan de Voordelta-zijde, andere aan de Haringvliet-zijde). Om de VMR daadwerkelijk te realiseren zal er gekeken moeten worden naar het faseringsplan. Een ligging aan de Voordelta-zijde zal om meer maatregelen vragen dan een ligging aan de Haringvliet-zijde. Daarnaast kan er naar de hinder die tijdens aanleg veroorzaakt wordt gekeken worden.

Standaardisatie criteria

Binnen deze toetsing zijn de varianten -ten opzichte van elkaar- gescoord, variërend per criteria met een score van 1,2 of 3. Waarbij een score van 1 als 'Minder' wordt beoordeeld, een score van 2 als 'Neutraal' wordt beoordeeld en een score van 3 als 'Beter' wordt beoordeeld.

Elke criteria heeft eenzelfde gewicht toegekend gekregen. De totstandkoming van de scores worden onderbouwd in onderstaande tekst.

Weging

<i>Criteria:</i>	<i>Weging:</i>
• Ligging – Gebruiksfuncties	2,0
• Ligging – Onderwaterlandschap	1,0
• Vormgeving – Esthetische waarde	1,5
• Vormgeving – Hydrodynamica en morfologie	2,0
• Vormgeving – Strekdammen	1,0
• Vormgeving – Toekomstvastheid	2,0
• Aanlegfase – Faseringsplan	1,5

Uitleg:

Ligging – Gebruiksfuncties

De VMR zal als permanente vispassage fungeren. Een locatie waar zo min mogelijk 'last' van onder vonden wordt door verschillende stakeholders is gewenst. Eventuele latere aanpassingen zijn zeer ongewenst. Daarnaast is de mogelijkheid om de VMR aantrekkelijk te maken voor eventuele bezoekers van belang. Het criterium wordt met een weging van 2,0 beoordeeld.

Ligging – Onderwaterlandschap

Aansluiting op het onderwaterlandschap en een geschikte locatie voor de beoogde waterdiepte is belangrijk. Het criterium wordt met een weging van 1,0 beoordeeld.

Vormgeving – Esthetische waarde

Het uiterlijk van de VMR is zowel van belang voor de doelstelling van Delta21, als de maatschappelijke draagkracht voor de VMR en eventuele Ecotoerisme. Eventuele latere aanpassingen zijn zeer ongewenst. Het criterium wordt met een weging van 1,5 beoordeeld.

Vormgeving – Hydrodynamica en morfologie

De morfologie van de VMR en de ruimtelijke indeling van het estuariene deel is van essentieel belang voor de effectiviteit van de VMR. Het criterium wordt met een weging van 2,0 beoordeeld.

Vormgeving – Strekdammen

Bescherming van de VMR en de opbouw van deze bescherming is belangrijk voor zowel de kosten als de werking van de VMR. Het criterium wordt met een weging van 1,0 beoordeeld.

Vormgeving – Toekomstvastheid

De VMR zal als permanente vispassage fungeren. Frequente aanpassingen zijn zeer ongewenst. Het criterium wordt met een weging van 2,0 beoordeeld.

Aanlegfase – Faseringsplan

Het faseringsplan van de aanleg (en diens gevolgen) van de permanente VMR is goed om mee te nemen. Het criterium wordt met een weging van 1,5 beoordeeld.

Rangschikking

In onderstaande tekst wordt per criteria een korte toelichting gegeven op de rangschikking.

Ligging – Gebruiksfuncties

Afweging varianten

Bij alle varianten is er de mogelijkheid om het gebied aantrekkelijk te maken voor eventuele bezoekers. Variant 'Haringvliet' ligt langs een huidige Catamaran vereniging en de langgerekte variant 'lang Voordelta' ligt langs het badstrand van Rockanje. De functies van deze locaties kunnen mogelijk verstoord worden. Variant 'lijn' Voordelta heeft door diens rechte en compacte ligging, weinig invloed op de omgeving. De compacte en baaivormige ligging van Variant 'Voordelta' heeft eveneens weinig invloed op de omgeving.

Alle varianten liggen aan de Noordkant van het Haringvliet/ de Voordelta. Hinder van de scheepvaart wordt daardoor bij alle varianten uitgesloten.

Ligging – Onderwaterlandschap

Afweging varianten

De varianten 'lijn Voordelta', 'Voordelta' en 'lang Voordelta' bevinden zich allemaal voor het grootste gedeelte aan de Voordelta-zijde. De waterdieptes aan deze kant sluiten goed aan op de beoogde waterdiepte binnen de Vismigratierivier. Het dieper gelegen Haringvliet, sluit minder goed aan. Variant 'Haringvliet' scoort daardoor minder goed.

Vormgeving – Esthetische waarde

Afweging varianten

Variant 'lijn Voordelta' wordt door diens kunstmatige vorm als minder natuurlijk beoordeeld. Variant 'Voordelta' heeft een gladde, compacte en baaivormige structuur. De variant is natuurlijk ingericht. De varianten 'lang Voordelta' en 'Haringvliet' zijn meer uitgestrekt over het gebied en zijn daardoor ruim en natuurlijk opgezet.

Vormgeving – Hydrodynamica en morfologie

Afweging varianten

Alle varianten bieden door diens bochtige profiel, een variatie in stroomsnelheden en stroomrichting. Daarnaast zijn de varianten 'Voordelta', 'lang Voordelta' en 'Haringvliet', natuurlijk ingericht waardoor er extra stroomluwe gebieden aangeboden worden.

Vormgeving – Strekdammen Afweging varianten

De varianten 'lijn Voordelta', 'Voordelta' en 'lang Voordelta' bevinden zich allemaal voor het grootste gedeelte aan de Voordelta-zijde. Op deze locatie wordt de VMR niet beschermd door de Haringvlietdam. De strekdammen die aangelegd worden, zullen daardoor een grotere kruinhoogte krijgen (wat leidt tot meer werkzaamheden en kosten). Daarnaast heeft variant 'lang Voordelta', per strekkende meter, veel lengte aan strekdam nodig. Variant 'Haringvliet' ligt beschermd achter de Haringvlietdam. Ondanks dat de variant beter beschermd ligt, heeft deze (door diens vormgeving) per strekkende meter veel lengte aan strekdam nodig.

Vormgeving – Toekomstvastheid Afweging varianten

Variante 'lijn Voordelta' is door diens kunstmatige vorm, met gebruik van harde materialen, niet flexibel. De overige varianten zijn natuurlijker ingericht en kennen daardoor een flexibele inrichting. Voor alle varianten geldt dat de rivier gericht afgesloten en daardoor gereguleerd kan worden. Ook de beheer- en onderhoudsinspanning is nagenoeg vergelijkbaar.

Aanlegfase – Faseringsplan Afweging varianten

De varianten 'lijn Voordelta', 'Voordelta' en 'lang Voordelta' bevinden zich allemaal voor het grootste gedeelte aan de Voordelta-zijde. Op deze locatie wordt de VMR niet beschermd door de Haringvlietdam. De werkzaamheden zullen hierdoor langer duren.

Tabel 17 Rangschikking

Beoordelingsaspecten				Variant 1 IJn Voordelta		Variant 2 Voordelta		Variant 3 lang Voordelta		Variant 4 Haringvliet	
Nummer	Beschrijving	Opmerking	Weging	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score
1	Ligging - Gebruiksfuncties		2,0	Rechte en compacte ligging	3	Compacte en 'baaivormige' ligging	3	Langerekt. Bevindt zich naast het badstrand van Rockanje	2	Bevindt zich aan rand van een Catamaran vereniging	2
2	Ligging - Onderwaterlandschap		1,0	Grootste gedeelte aan Voordelta-zijde	3	Grootste gedeelte aan Voordelta-zijde	3	Grootste gedeelte aan Voordelta-zijde	3	Grootste gedeelte aan Haringvliet-zijde	2
3	Vormgeving - Esthetische waarde		1,5	Deels kunstmatige vorm	2	Gladde en baaivormige/compacte structuur	3	Ruime en natuurlijke vorm	3	Ruime en natuurlijke vorm	3
	Vormgeving - Hydrodynamica en morfologie		2,0	Bochtig profiel	2	Bochtig profiel en natuurlijk ingericht	3	Bochtig profiel en natuurlijk ingericht	3	Bochtig profiel en natuurlijk ingericht	3
4	Vormgeving - Streckdammen		1,0	Grootste gedeelte aan Voordelta-zijde	2	Grootste gedeelte aan Voordelta-zijde	2	Lang en daarnaast gelegen in de Voordelta-	1	Redelijk lang, gelegen in de Haringvliet-zijde	2
5	Vormgeving - Toekomstvastheid		2,0	Een deel kunstmatig, een deel flexibel	2	Flexibel	3	Flexibel	3	Flexibel	3
7	Aanleg - Faseringsplan		1,5	Grootste gedeelte aan Voordelta-zijde	2	Grootste gedeelte aan Voordelta-zijde	2	Grootste gedeelte aan Voordelta-zijde	2	Grootste gedeelte aan Haringvliet-zijde	3
Totale score (incl. weging)				25		30,5		27,5		29	

Beoordeling	1	Minder
	2	Neutraal
	3	Beter

Uit de MCA komt naar voren dat variant 'Voordelta' het hoogst scoort en is daardoor de voorkeursvariant.

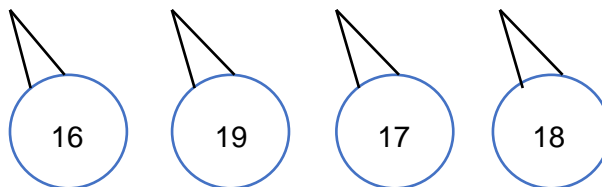
Gevoeligheidsanalyse

De rangschikking van de alternatieven die bij wijziging van het gewicht van de criteria (een gelijke gewing van 1,0), naar voren komt is weergegeven in Tabel. De rangschikking van de varianten blijft ongewijzigd.

Tabel 18 Gevoeligheidsanalyse

Beoordelingsaspecten				Variant 1 lijn Voordelta		Variant 2 Voordelta		Variant 3 lang Voordelta		Variant 4 Haringvliet	
Nummer	Beschrijving	Opmerking	Weging	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score
1	Ligging - Gebruiksfuncties		1,0		3		3		2		2
2	Ligging - Onderwaterlandschap		1,0		3		3		3		2
3	Vormgeving - Esthetische waarde		1,0		2		3		3		3
4	Vormgeving - Hydrodynamica en morfologie		1,0		2		3		3		3
5	Vormgeving - Strekdammen		1,0		2		2		1		2
6	Vormgeving - Toekomstvastheid		1,0		2		3		3		3
7	Aanleg - Faseringsplan		1,0		2		2		2		3
Totale score (incl. gewing)					16		19		17		18

Beoordeling	1	Minder
	2	Neutraal
	3	Beter



Bijlage 7: Berekeningen Variant Voordelta

Voor alle berekeningen is rekening gehouden met onderstaande gegevens.

Tabel 19 Gegevens berekeningen

VMR	Voordelta	Voordeltazijde					Vispassage			Haringvlietzijde				
		breedte (m) op 0 m NAP	talud	bodemligging (m NAP)	lengte (km)	ruwheid Manning (s/m ^{1/3})	Oppervlak (m ²)	Diepte onderzijde (m NAP)	ruwheid Manning (s/m ^{1/3})	breedte (m) op 0 m NAP	talud	bodemligging (m NAP)	lengte (km)	ruwheid Manning (s/m ^{1/3})
		25	recht	4	5	0,024	55	-4	0,013	25	recht	4	0,25	0,024

Afhankelijk van het debiet en het natte oppervlak van de rivier, ontstaat er een bepaalde stroomsnelheid. De stroomsnelheid door de openwatergangen (de hoofdgeulen) kan bepaald worden aan de hand van de volgende formule:

$$Q = v \times A \quad 7.1$$

waarin:

Q	$=$	Debiet [m ³ /s]		
v	$=$	Stroomsnelheid [m/s]		
A	$=$	Nat oppervlakte [m ²]		

Met 20 m ³ /s:	$v = \frac{20}{100}$	En met 75 m ³ /s:	$v = \frac{75}{100}$
	geeft:		
	$v = 0,20$ m/s		$v = 0,75$ m/s

De stroomsnelheid van 0,30 m/s, zal aan de hand van deze berekeningen niet ten alle tijden gehandhaafd kunnen blijven worden. Er moet echter rekening gehouden worden met het feit dat deze stroomsnelheid alleen gebaseerd is op de hoofd stroomgeulen. Om een veel nauwkeurig beeld van de stroomsnelheden in de Vismigratierivier te krijgen wordt er aanbevolen om de rivier in zijn geheel te modelleren (niet alleen de hoofd stroomgeulen). Tevens is tijdens het overgrote deel van de tijd de watersnelheid lager, of is de stromingsrichting omgekeerd (van Banning et.al., 2018).

Voor de ingangen van de Vismigratierivier (15 meter breed en 8 meter diep, rechthoekig) geldt het volgende:

$$Q = v \times A$$

waarin:

Q	=	Debiet [m ³ /s]
v	=	Stroomsnelheid [m/s]
A	=	Nat oppervlakte [m ²]

Met 20 m³/s:

$$v = \frac{20}{120}$$

geeft:

$$v = 0,17 \text{ m/s}$$

En met 75 m³/s:

$$v = \frac{75}{120}$$

$$v = 0,63 \text{ m/s}$$

Bij de ingangen zal dus ook niet ten alle tijden aan de stroomsnelheid van 0,3 m/s voldaan worden. De ingangen zijn echter een kleine afstand binnen de passage en zullen vermoedelijk geen groot probleem vormen. Tijdens het overgrote deel is de watersnelheid daarnaast lager, of is de stromingsrichting omgekeerd (van Banning et.al., 2018). Monitoring van de werking van de ingangen in de praktijk kunnen tot andere inzichten leiden.

Om het verval te berekenen dat in de Voordelta-zijde overbrugt kan worden is gebruik gemaakt van de formule van Manning:

$$Q = A \times \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times s^{\frac{1}{2}} \quad 7.2$$

waarin:

Q	=	Debiet [m ³ /s]
A	=	Nat oppervlakte [m ²]
n	=	Ruwheid coëfficiënt [s/m ^{1/3}]
R	= A/P =	Waterstandverschil over de sluizen [m]
P	=	Perimeter [m]
s	=	Verhang [-]

Waaruit de volgende vergelijking gemaakt kan worden:

$$s = \left(\frac{v}{\left(\frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \right)} \right)^2 \quad 7.3$$

waarin:

v	=	Stroomsnelheid [m/s]
n	=	Ruwheid coëfficiënt [s/m ^{1/3}]
R	= A/P =	Waterstandverschil over de sluizen [m]
P	=	Perimeter [m]
s	=	Verhang [-]

En: $\Delta H = s \times L \quad 7.4$

waarin:

ΔH	=	Verval [m]
s	=	Verhang [-]
L	=	Lengte [m]

Invullen geeft:

$$s = \left(v / \left(\frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \right) \right)^2$$
$$s = 8,16429E-06$$

En: $\Delta H = s \times L$
 $\Delta H = 0,04 \text{ m}$

Uit de formule volgt dat er bij een lengte van 5,25 kilometer (Voordelta-zijde + Haringvliet-zijde) een maximaal verval van circa 0,04 meter overbrugt kan worden. Er moet rekening gehouden worden met het feit dat dit slechts een indicatie is van het verval dat overbrugt kan worden over enkel de hoofdgeulen binnen de Vismigratierivier. Daarnaast bevinden zich binnen de Vismigratierivier verschillende vernauwingen die tot energieverliezen van het water kunnen leiden. Hierdoor zou het daadwerkelijke waterstandsverschil dat overbrugt kan worden een stuk hoger kunnen komen te liggen.

Bijlage 8: Toetsing Vismigratierivier

Nummer	Randvoorwaarden	Voldoet/ voldoet niet
	Ecologische:	
1a	<i>Om de vismigratierivier effectief te laten werken, zal de maximale stroomsnelheid in de Vismigratierivier van 0,30 m/s zo vaak mogelijk gehanteerd moeten worden. Deze waarde is gebaseerd op een eb situatie. Alle doelsoorten moeten immers tegen de stroming in kunnen zwemmen tijdens eb. Bij een vloed situatie mag de stroomsnelheid hoger zijn dan 0,30 m/s. Vissen kunnen tijdens vloed gebruik maken van selectief getijde-transport om de vismigratierivier in te komen;</i>	Voldoet voor 92,72% van de tijd
1b	<i>Door de invloed van het getij, is er binnen de Vismigratierivier een afwisselende waterstroom richting de Voordelta dan wel richting het Haringvliet. Om hierop in te spelen, zal een deel van de rivier als estuarium ingericht worden, met een zacht substraat (zand);</i>	Voldoet, een ruim deel van de rivier is als estuarium met zand ingericht
1c	<i>Om over predatie (door onder andere visetende vogels) op de migrerende vissen te voorkomen, dienen er binnen de Vismigratierivier voldoende schuil- en zwemmogelijkheden te zijn, in zowel diep als ondiep water;</i>	Voldoet, de rivier biedt genoeg kansen voor een inrichting met zowel voldoende schuil- en zwemmogelijkheden
1d	<i>De Vismigratierivier dient nagenoeg het gehele jaar (dag en nacht) migratiemogelijkheid aan alle doelsoorten te bieden;</i>	Voldoet, de VMR is nagenoeg het gehele jaar toegankelijk
1e	<i>Er moet voorkomen worden dat de vissen bij de uitgang van de Vismigratierivier (aan de Haringvlietkant) door de stroming terug de Voordelta in belanden. Tegelijkertijd dient er voor de vissen de mogelijkheid te zijn om in zowel diep als ondiep water weg te kunnen zwemmen;</i>	Voldoet, de uitstroom ligt voldoende ver weg van de spuisluisen. Er zijn voldoende diepe en ondiepe plekken
1f	<i>Voor de acclimatisatie van de vissoorten is het van belang dat de doelsoorten zich geleidelijk door de verschillende zoutzones kunnen verplaatsen (van het zoute zeewater met een zoutgehalte van circa ≥ 28 psu naar het zoete rivierwater met een zoutgehalte van circa $< 0,5$ psu). De lengte van de vismigratierivier moet voldoende zijn om de geleidelijke overgang te waarborgen;</i>	Voldoet naar verwachting

Nummer	Randvoorwaarden	Voldoet/ voldoet niet
	Technische:	
2a	<i>Om een overgangszone van zout naar zoet water te creëren, moet het watersysteem binnen de Vismigratierivier, zowel invloed vanuit het getij vanaf de Voordelta als vanuit de rivierafvoer vanaf het Haringvliet ondervinden;</i>	Voldoet
2b	<i>Om een brakwaterzone te ontwerpen die geleidelijk van zout naar zoetwaterzones overgaat, zal horizontale gelaagdheid in zoutgradiënt van het water enigszins beperkt moeten blijven;</i>	Voldoet
2c	<i>De lokstroom uit de vispassage dient minimaal 3 tot 5% van de afvoer uit het naastliggende kunstwerk (bijvoorbeeld een sluis) te zijn. Arcadis (2018) zegt hierover het volgende: "hoe hoger het percentage van het totale debiet dat kan worden gebruikt voor de lokstroom, des te effectiever de faciliteit is".</i>	Voldoet voor 93,63% van de tijd
2d	<i>Voor de effectiviteit van de Vismigratierivier, dient de mate van turbulentie niet te hoog te zijn. Een K-waarde [m^2/s^2] van hoger dan 0.05 wordt voor vissen als hoog beschouwd;</i>	Voldoet naar verwachting
2e	<i>De lengte van de VMR moet voldoende zijn om de daadwerkelijke transitie van brak- naar zoetwater te realiseren en de waterstandverschillen te kunnen overbruggen.</i>	Voldoet naar verwachting
2f	<i>Het ontwerp dient morfologisch stabiel te zijn. Een maximale stroomsnelheid van 0,30 m/s zal daarbij zo vaak mogelijk gehanteerd moeten worden;</i>	Voldoet voor 92,72% van de tijd
2g	<i>Er mag geen sedimentatie rondom de regelwerken binnen de Vismigratierivier plaatsvinden;</i>	Voldoet
2h	<i>De overgang van het bodemprofiel van de rivier naar het bodemprofiel van het doorlaatmiddel dient volledig op elkaar aan te sluiten.</i>	Voldoet

Toetsing scenario's waterstanden en lokstroom ten opzichte van het spuidebiet

In Tabel is het percentage dat de Vismigratierivier operationeel is weergegeven. Doormiddel van de schuiven kunnen variaties in stroomrichtingen en verval gereguleerd worden (Christiaan Bijl, 2021), waardoor de Vismigratierivier nagenoeg het gehele jaar operationeel is. Met operationeel wordt de tijd dat de passage toegankelijk is voor de doelsoorten bedoeld.

Tabel 20 Periode dat de operationeel Vismigratierivier operationeel is

	Waterstandstans- verschil [m]	Periode van optreden [%]	Voldoet/ Voldoet niet	Percentage operationeel [%]
<i>Scenario 1</i>	0,00 t/m 1,80	99	Voldoet	99
<i>Scenario 2</i>	1,80 t/m 2,00	<1	Voldoet mits schuiven regelwerk deels gesloten zijn	<1
<i>Scenario 3</i>	2,00 t/m 2,50	<1	Voldoet mits schuiven regelwerk deels gesloten zijn	<1
				100

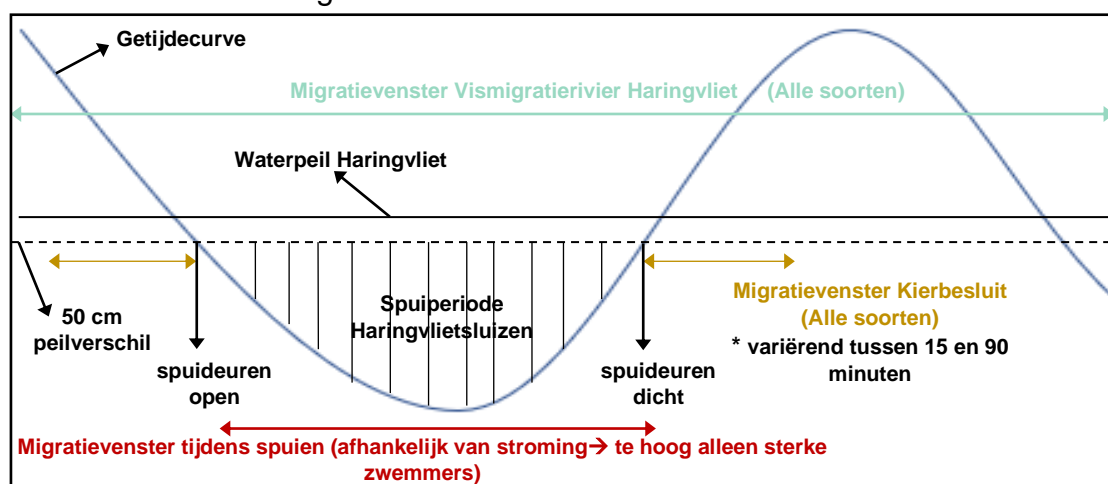
In Tabel is het percentage haalbare lokstroom van de Vismigratierivier weergegeven. Er kan gedurende 93,63% van de tijd aan de minimale lokstroom van 3-5% voldaan worden.

Tabel 21 Periode voldoende lokstroom

	Spuidebiet [m³/s]	Periode van optreden [%]	Lokstroom m [m³/s]	Percentage voldoende lokstroom [%]
<i>Scenario 1</i>	0 t/m 2.500	93,63	20 t/m 75 (Voldoet)	93,63
<i>Scenario 2</i>	2.500 t/m 3.600	2,80	75 (Voldoet niet)	0
<i>Scenario 3</i>	>3.600	3,57	75 (Voldoet niet)	0
				93,63

Toetsing toegankelijkheid Vismigratierivier

Door optimaal gebruik te maken van de regelwerken, kan de Vismigratierivier nagenoeg het gehele jaar toegankelijk zijn voor de beoogde doelsoorten. In onderstaande Figuur 17, in de loop van de getijdecurve, het migratieaanbod van de Haringvlietdam van zowel een situatie mét als zonder Vismigratierivier weergegeven. De Vismigratierivier zal de aangeboden migratievensters van de Haringvlietdam drastisch verhogen. Daarnaast ontstaat er een brede range aan migratiemogelijkheden voor de verschillende vissoorten, die recht doet aan de situatie voor de aanleg van de Deltawerken.



Figuur 17 Schetsmatige weergave aangeboden migratievensters Haringvlietdam per getijcyclus

Toetsing stroomsnelheden

Binnen dit onderzoek is een waarde van 75 m³/s als maximale debiet dat door de Vismigratierivier zal stromen aangehouden. Bij een dergelijke waarde kan er een stroomsnelheid van 0,75 m/s optreden. De stroomsnelheid van 0,30 m/s, zal dus niet ten alle tijden gehandhaafd kunnen blijven worden. Er moet echter rekening gehouden worden met het feit dat deze stroomsnelheid alleen gebaseerd is op de hoofd stroomgeulen. Om een veel nauwkeurig beeld van de stroomsnelheden in de Vismigratierivier te krijgen wordt er aanbevolen om de rivier in zijn geheel te modelleren (niet alleen de hoofd stroomgeulen). Tevens is tijdens het overgrote deel van de tijd het debiet door de rivier (en daardoor de stroomsnelheid) lager, of is de stromingsrichting omgekeerd (van Banning et.al., 2018).

Tabel 22 Periode voldoende stroomsnelheid

	Debiet in de VMR [m³/s]	Periode van optreden [%]	Stroom-snelheid[m/s]	Percentage voldaan[%]⁵
Scenario 1	20 t/m 30	85,42	Voldoet tijdens eb	85,42
	31 t/m 75	8,21	Voldoet niet tijdens eb	4,11
Scenario 2	75	2,80	Voldoet niet tijdens eb	1,40
Scenario 3	75	3,57	Voldoet eb	1,79
				92,72

⁵ De stroomsnelheden van de Vismigratierivier zullen gedurende een vloed situatie voldoen

Bijlage 9: Vooronderzoek



VOORONDERZOEK VISMIGRATIE

Delta 21

Voorkeursvariant ligging en eisen Vismigratierivier in het Delta 21 plan

Bart van der Wolff (0946137) en Jeroen Lokker (0942327)





Dit vooronderzoek is uitgevoerd door Bart van der Wolff en Jeroen Lokker vanuit de opleiding Watermanagement te Rotterdam, ten behoeve van Delta 21.

18-03-2021

Student HR

 Bart van der Wolff
 +31653987235
 0946137@hr.nl
 -

Student HR

 Jeroen Lokker
 +31637625164
 0942327@hr.nl
 -

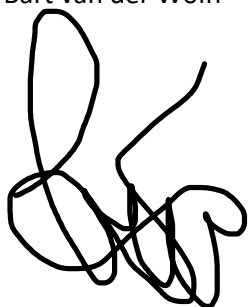
Delta 21

 Anker 50
3904 PM Veenendaal
 +31 63764 4312
 info@delta21.nl
 www.delta21.nl

Hogeschool Rotterdam

 G.J. de Jonghweg 4-6
3015 GG Rotterdam
 010-794 0000
 -
 www.hogeschoolrotterdam.nl

Bart van der Wolff



Jeroen Lokker



Inhoudsopgave

<u>01.</u>	<u>Inleiding</u>	114
	<u>01.01 Afstudeeronderzoek</u>	114
	<u>01.02 Delta21: Het plan</u>	114
	<u>01.03 De vismigratierivier: Het doel</u>	115
	<u>01.04 De vismigratierivier: oplossingsrichting</u>	116
<u>02.</u>	<u>Plangebied</u>	117
	<u>02.01 Scope</u>	117
	<u>02.02 Huidige omgeving</u>	118
	<u>Landschapsfuncties</u>	118
	<u>Obstakels</u>	119
	<u>Watersysteem</u>	119
	<u>Stakeholders</u>	120
<u>03.</u>	<u>Doelsoorten voor de vismigratierivier</u>	123
	<u>Estuaria</u>	123
	<u>Huidige vismigratieroute</u>	124
	<u>Migratiegedrag</u>	124
<u>04.</u>	<u>Toetsing</u>	128
	<u>04.01 Ecologische toetsing</u>	128
	<u>Lokstroom</u>	130
	<u>Barrières</u>	130
	<u>Kritische stroomsnelheid</u>	131
	<u>Turbulentie</u>	133
	<u>Saliniteit</u>	133
	<u>Substraat</u>	134
	<u>Doorzicht</u>	135
	<u>Predatie</u>	135
	<u>Temperatuurgradiënt</u>	135
	<u>Zuurstofgehalte</u>	135
	<u>04.02 Hydraulische toets</u>	136
	<u>Debiet</u>	137
	<u>Saliniteit</u>	139
	<u>Getij</u>	141
	<u>Lokstroom</u>	142

<u>Stroomsnelheid</u>	142
<u>Sedimentatie en erosie</u>	143
05. <u>Eisen en randvoorwaarden vismigratierivier</u>	145
05.01 <u>Eisen Delta21</u>	145
05.02 <u>Functie-eisen</u>	17
<u>Ecologische eisen- Doelsoorten</u>	17
<u>Eisen vismigratierivier- Scheiding zout- en zoetwater</u>	146
<u>Hydraulische eisen- Vismigratierivier</u>	24
06. <u>Ontwerp</u>	147
<u>Varianten</u>	147
<u>Variant 1</u>	147
<u>Variant 2</u>	149
<u>Variant 3</u>	150
<u>Variant 4</u>	151
<u>Multicriteria-analyse</u>	152
<u>Ecologie – Geschiktheid voor doelsoorten</u>	152
<u>Kunstwerk – Bedieningsgemak/implementeerbaarheid</u>	152
<u>Ruimtelijke gebiedsindeling</u>	153
<u>Maatschappelijke gebruiksfuncties</u>	153
<u>Bereikbaarheid – Kunstwerk</u>	153
<u>Bereikbaarheid – Vismigratierivier</u>	154
<u>Aanleg – Faseringsplan</u>	154
<u>Aanleg – Waterveiligheid</u>	154
<u>Voorkeursvariant</u>	155
07. <u>Conclusie</u>	156
<u>Aanbevelingen</u>	157
<u>Bibliografie</u>	158
<u>Bijlagen</u>	162
<u>Bijlage 1 Bodemprofielen</u>	162
<u>Bijlage 2 Vismigratie kalender</u>	51
<u>Bijlage 3 Ruimtelijke schalen migratie</u>	52
<u>Bijlage 4 Vissoorten en lengte</u>	53
<u>Bijlage 5 Schema type migrant</u>	54
<u>Bijlage 6 Multicriteria-analyse</u>	55

01. Inleiding

01.01 Afstudeeronderzoek

Vanuit de opleiding Watermanagement, aan de hogeschool Rotterdam, wordt in het laatste semester door elke vierdejaars student een afstudeeropdracht uitgevoerd. Binnen deze afstudeerperiode wordt de student getest op de beheersing van de drie hoofdcompetenties vanuit de opleiding- Techniek, Design en Governance- en de functionering van de desbetreffende student binnen een bedrijf. Het afstuderen verloopt over een periode van 20 weken, waarna een aantal eindproducten opgeleverd moeten worden.

Het gekozen afstudeerproject is het integraal ontwerpen van een vismigratierivier binnen het Delta21-plan. Hierbij moet allereerst binnen een periode van 4 weken een vooronderzoek uitgevoerd worden, waaruit naar voren komt aan welke eisen en randvoorwaarden de vismigratierivier moet voldoen en -aan de hand van een Multi criteria-analyse- wat de meest geschikte locatie voor de vismigratierivier is. Het op te leveren deelproduct is voor dit onderzoek een rapport. Tijdens de overige 16 weken zal een eerste ontwerp gemaakt worden, en een (technisch) ontwerp van het kunstwerk en doorlaatmiddel door het grondlichaam waarbij als eindproduct een rapport en een ander product opgeleverd moeten worden. Het eerste ontwerp zal gerealiseerd worden door Jeroen Lokker en het technische ontwerp van het kunstwerk en doorlaatmiddel zal gerealiseerd worden door Bart van der Wolff.

01.02 Delta21: Het plan

'Delta21 is een integraal plan gericht op duurzame energie, hoogwaterveiligheid en natuurherstel voor de zuidwestelijke delta' (Delta21, 2018). Het plan biedt oplossingen om tijdens hoge rivierafvoeren en zware langdurige stormen de waterstanden in het benedenstroomse rivierennetwerk, doormiddel van installatie van een grote pompcapaciteit, te beheersen.

De aanleg van een Energieopslagmeer, aquabatteries, een zonnepark en een windpark, zullen een aanbod van energie leveren. Ook zal er een Getijmeer aangelegd worden die, in tijden van een hoge rivierafvoer in combinatie met een zware storm, rechtstreeks in het Energieopslagmeer toegelaten kan worden en het rivierwater meteen naar de Noordzee kan worden weggepompt.

Een natuurlijke duinenrij zal ten Westen van het Haringvliet het Energieopslagmeer en het Getijmeer omsluiten. Tevens wordt er een nieuwe kering aangelegd, waardoor de Haringvlietsluizen als secundaire kering fungeren (hetzelfde geldt voor het grondlichaam waar de Dammenweg overloopt- N57).

Vanuit ecologisch perspectief biedt het plan een oplossing voor natuurherstel en het terugkeren van een dynamisch milieu binnen het Haringvliet met een stabiele brakwaterzone (estuarium). Tijdens de sluiting van de Haringvlietsluizen, om zoutindringing te beperken, ontstaat er een situatie waarbij migratie van de aanwezige vissoorten niet meer mogelijk is. De aanleg van een vismigratierivier zal hierbij als oplossing moeten fungeren.

01.03 De vismigratierivier: Het doel

De vismigratierivier heeft als doel de verbinding van het ecologische systeem tussen de Noordzee en het Haringvliet te herstellen. De vismigratierivier maakt het voor de vissoorten mogelijk om gedurende het gehele jaar de Haringvlietsluizen te kunnen passeren. Door de geleidelijke overgang van zoet naar zoutwater (brakke biotoop), creëert de vismigratierivier een omgeving waarbij het voor de vissoorten mogelijk is om (binnen eigen tempo) te acclimatiseren. De vissen die gebruik gaan maken van de vismigratierivier zijn leidend voor het ontwerp. Door naar de vissoorten te kijken en deze vissen een zo natuurlijk mogelijke omgeving te bieden kan de vismigratierivier zo effectief mogelijk functioneren.

01.04 De vismigratierivier: oplossingsrichting

Sinds halverwege de vorige eeuw, is Nederland gestart met de aanleg van vispassages (Boiten, Dommerholt & Wit, 2005). ‘De, ook wel genoemde vismigratievoorzieningen (in en rond de Delta), maken het voor trekvisserijen mogelijk om te migreren tussen zout en zoet water en vice versa zodat vispopulaties worden verrijkt en versterkt’ (Programma Waddenzee, 2013). Er zijn verschillende soorten manieren om passages te creëren (Waterschap Rijn en IJssel, 2016). Op initiatief van de Waddenvereniging, Sportvisserij Nederland, It Fryske Gea, Het Blauwe Hart en de Vereniging Vaste Vistuigen Noord is een nieuwe vispassage ontwikkeld die onderdeel moet gaan worden van het programma de Nieuwe Afsluitdijk (Waddenvereniging, sd). Het doel is om, in het klein, een natuurlijk estuarium na te bouwen: een vismigratierivier (Mulder, 2017).

Het sluizencomplex bij Kornwerderzand is één van de twee enige openingen in de Afsluitdijk. Het complex is regelmatig gesloten en bij openstand van de spuisluisen is de stroming, gecreëerd door de afvoer vanuit het IJsselmeer, te sterk voor de vissoorten om het IJsselmeer daadwerkelijk te bereiken (Mulder, 2017).

Figuur 1: situatie Afsluitdijk

Een vismigratierivier is een kunstmatige rivier, waar zowel lange als korte migratie vensters geboden worden en getijwerking tussen zoet- en zoutwater meer de ruimte krijgt (Winter, Griffioen & Keeken, 2014). Dat betekent dat een zoetwaterlokstroom de vissen moet aantrekken, het water niet te snel mag stromen, er voldoende variatie in stroming en diepte is, er schuilgelegenheden zijn en de vissen- door de geleidelijke overgang van zoutwater naar zoetwater- tijd om te acclimatiseren krijgen. ‘Hierdoor ontstaat een dynamisch systeem met gradiënten in zoutgehalte, diepte en stroming (Mulder, 2017).



Figuur 2: de vismigratierivier te Kornwerderzand (Afsluitdijk)

02. Plangebied

De inpassing van de vismigratierivier, binnen de omgeving van het plangebied, is een essentieel onderdeel waar zorgvuldig naar gekeken moet worden. Dit betekent dat voordat het ontwerp van de vismigratierivier gemaakt kan worden, de scope van het plangebied en diens omgeving geanalyseerd moeten worden. In onderstaand hoofdstuk, wordt deze verkenninganalyse bondig toegelicht/uitgewerkt.

02.01 Scope

Het plangebied bevindt zich in de Zuidwestelijke delta aan de Noordzijde van het Haringvliet (Figuur). Om hindering van activiteiten rondom de Stellendam haven te voorkomen, is een locatie aan de zuidzijde van het Haringvliet uitgesloten. Het vaarverkeer op het water van het Haringvliet blijft hierdoor vooral aan de zuidkant, waardoor de vismigratierivier een minimale impact op de scheepvaart van het kanaal zal hebben.



Figuur 3 Plangebied

02.02 Huidige omgeving

De ruimtelijke indeling/opbouw van het plangebied bestaan uit een aantal deelaspecten. De verschillende landschapsfuncties, de bodemopbouw, de hoogteligging en de verschillende obstakels binnen dit gebied zijn hier onderdeel van. Om vanuit technische en ecologische criteria tot een geschikte locatie te komen, zal er eerst vanuit ruimtelijk perspectief gekeken moeten worden.

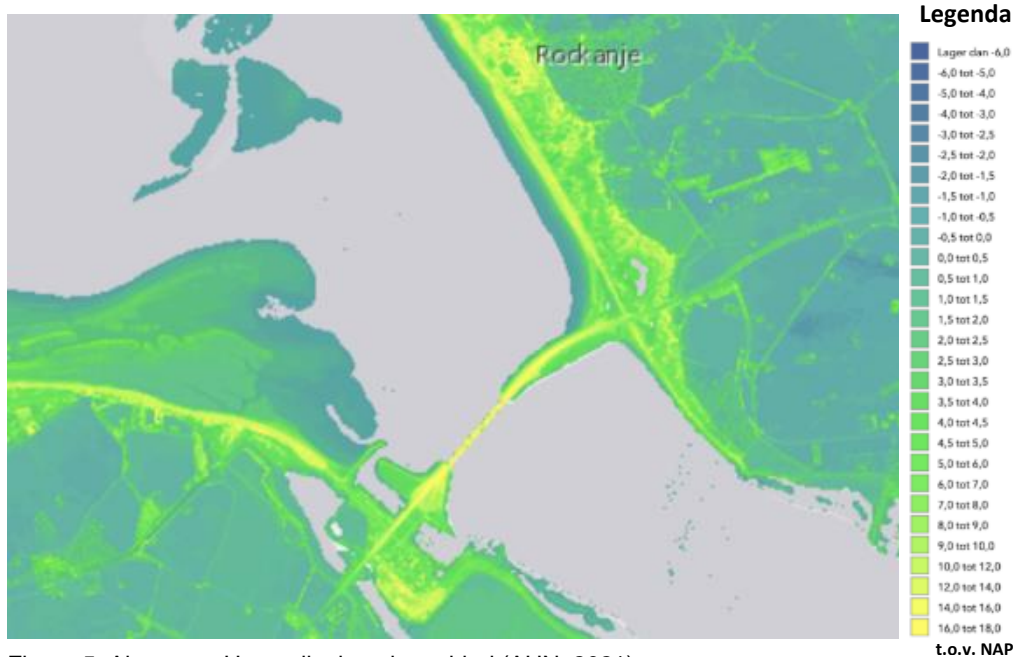
Landschapsfuncties

Het plangebied bestaat voornamelijk uit natuurgebieden en is onderdeel van bestaande provinciale ecologische hoofdstructuren (Provincie Zuid-Holland, 2020). Deze ecologische hoofdstructuren vallen onder de Natura 2000 richtlijnen. Binnen het plangebied bevinden zich de deelgebieden Voordelta, Voornes duin en Haringvliet (Natura 2000, sd).

Binnen het gebied Voornes duin heeft de duinenrij langs Rockanje, bestaande uit kalkhoudende duin vaaggronden, een relatief hoge ligging (2-10 meter Figuur) ten opzichte van de stuifzandvlaktes langs de kust (Dinoloket, sd). In bijlage 1 zijn de boormonsters, weergegeven in Figuur, toegevoegd. De Voordelta werd gekenmerkt door diens dynamisch milieu van kustwateren en de overgangszone tussen de zee en het Haringvliet (estuarium). De waterkwaliteit van de huidige Voordelta wordt beïnvloed door het benedenstroomse rivierwater dat door de Haringvlietsluizen gereguleerd wordt (Natura 2000, sd). Verzilting treedt in het Haringvliet slechts sporadisch op. Bij een storm op zee, gecombineerd met een lage rivierafvoer zou zout zeewater een enkele keer het benedenstroomse gebied binnen kunnen komen (Delta21, 2018).



Figuur 4: Overzicht grondbodem metingen omgeving plangebied (Dinoloket, sd)



Figuur 5: Algemene Hoogteligging plangebied (AHN, 2021)

Obstakels

Een belangrijke scheiding binnen het plangebied (tussen de Voordelta en het Haringvliet) zijn de Haringvlietsluizen. Het 1 kilometer lange sluisencomplex bestaande uit 17 spuiopeningen -elk 56,5 m breed- met 34 schuiven, verbindt Goeree-Overflakkee met Voorne-Putten (Delta21, 2018). Voor de scheepvaart is er een aparte sluis: de Goerese sluis.

De aanleg van de sluisen (tussen 1956 en 1970) zorgde voor een wijziging van de zoutzoetgrens, die ten hoogte van de Haringvlietsluizen kwam te liggen. De grensverlegging zorgde ervoor dat de vismigratie tussen de Voordelta en het Haringvliet, alsmede een groot deel van het aquatisch leven en de brakwaterbiotoop, verdwenen (Natura 2000, sd). Echter is er in 2019 het zogeheten 'kierbesluit' in werking gesteld, waardoor de zoutzoetgrens tot aan het Spui is verlegd (Delta21, 2018).

De N57, aangelegd op de Haringvlietsluizen, is een mogelijk obstakel voor de aanleg van de vismigratierivier. De Haringvlietsluizen gaan over in een grondlichaam aan de noordkant. Voor een mogelijke vismigratierivier dient er een opening te worden gecreëerd in het grondlichaam. Dit grondlichaam functioneert momenteel als een huidige primaire waterkering.

Ook de duinenrij bij Rockanje kan een mogelijk obstakel zijn. Deze behoort tot een Natura 2000 natuurgebied. In het gebied gelden de vogel- en habitatrictlijnen. Deze zijn opgenomen in de wet natuurbescherming (Natura2000, 2021).

Watersysteem

Het watersysteem binnen het plangebied bestaat momenteel uit het zoete water in het Haringvliet en het zoute water in de Voordelta. Het Haringvliet wordt gevoed door rivierwater vanuit de Maas en Rijn. Het zoete rivierwater binnen het plangebied is erg

belangrijk voor de natuur, landbouw en industrie. Om de functie van het rivierwater voor de landbouw en industrie te waarborgen dient het water lage concentraties natrium en chloride te bevatten.

Het getij bepaald de waterstanden in de Voordelta. Aan de Haringvlietzijde zijn de waterstanden afhankelijk van de toestroom van het Rijn- en Maaswater. De gemiddelde waterstand, aan de Haringvlietzijde, ligt op ca. NAP +0,55 m en de totale getijslag is ca. 0,30 m. De HW-grens (respectievelijk NAP + 1,9 m) en de LW-grens (respectievelijk NAP -0,5 m) worden in het Haringvliet eenmaal per 10 jaar overschreden (Delta21, 2018).

De Haringvlietsluizen staan bij rivierafvoeren tot ca. 1100 m³/s dicht (ongeveer 50% van de tijd) en bij hogere afvoeren geleidelijk open, tot bij een rivierafvoer van ca. 9.000 m³/s de deuren volledig geopend zijn (Delta21, 2018). De Haringvlietsluizen zijn gedimensioneerd op een maximale afvoer van ca 25.000 m³/s (Rijkswaterstaat, 2021).






Stakeholders

Binnen het plangebied bevinden zich verschillende actoren die, bij een mogelijke aanleg van de vismigratierivier, verschillende belangen en invloed hebben. De verschillende stakeholders worden in onderstaande tabel (Tabel) weergegeven en kort toegelicht.

Tabel 1: Stakeholders binnen het plangebied

Actoren/Beleid	Belang	Invloed
Rijkswaterstaat <i>Waterbeheerder</i> 	Rijkswaterstaat heeft vanuit verschillende perspectieven (Kaderrichtlijn Water, het Deltaprogramma, Natuurbeschermingswet, etc.) belang bij de instandhouding en/of verbetering van het plangebied.	Rijkswaterstaat is de beheerder van zowel de Haringvlietkering, de 'N57' als van delen van het Haringvliet en de Voordelta (Rijkswaterstaat, 2016).
Provincie Zuid-Holland 	De provincie heeft bevoegdheden op het gebied van regionale ruimtelijke ordening en natuur en milieu (Rijkswaterstaat, 2016) en dus belang bij de instandhouding en/of verbetering van het plangebied.	De provincie heeft bevoegdheden op het gebied van regionale ruimtelijke ordening en natuur en milieu (Rijkswaterstaat, 2016).
Gemeente Westvoorne en Hellevoetsluis	De gemeentes hebben bevoegdheden over onder meer de lokale ruimtelijke ordening	Binnen het plangebied hebben de gemeentes Westvoorne en Hellevoetsluis

	<p>(bestemmingsplannen) en het milieu (Rijkswaterstaat, 2016) en dus belang bij de instandhouding en/of verbetering van het plangebied.</p>	<p>bevoegdheden over onder meer de lokale ruimtelijke ordening (bestemmingsplannen) en het milieu (Rijkswaterstaat, 2016).</p>
<p>Waterschap Hollandse Delta</p> 	<p>De functionaliteit van de innamepunten van waterschap Hollandse Delta moet (ondanks de recentelijke invoering van het kierbesluit) behouden worden (Waterschap Hollandse Delta, sd).</p>	<p>Samen met Rijkswaterstaat, het Ministerie van Infrastructuur en milieu en Evides heeft Waterschap Hollandse Delta gekeken naar 'Compenserende Maatregelen Kierbesluit'. Daarbij is afgesproken dat er zich voorbij de grens 'het Spui' geen zoutwater mag bevinden (Waterschap Hollandse Delta, sd).</p>
<p>Evides Drinkwaterbedrijf</p> 	<p><i>Het Haringvliet, dat grotendeels een zoetwaterbekken vormt, fungeert als innamepunt voor drinkwaterbedrijf Evides. Het innamestation Haringvliet heeft belang bij de gestelde waterkwaliteit die 'zoet' moet blijven (en verzilting moet worden voorkomen) (Evides, 2017).</i></p>	<p><i>Samen met Rijkswaterstaat, het Ministerie van Infrastructuur en milieu en waterschap Hollandse Delta heeft Evides gekeken naar de ambitie om het kierbesluit in werking te stellen zonder de zoetwatervoorziening in gevaar te brengen. Daarbij is afgesproken dat er zich voorbij de grens 'het Spui' geen zoutwater mag bevinden (Evides, 2017).</i></p>
<p>Natura 2000</p> 	<p>De gebieden Voordelta, Voornes duin en Haringvliet vallen onder Natura2000-richtlijnen (status: Habitatrichtlijn en Vogelrichtlijn) en zullen beschermd moeten blijven (Natura2000, 2021).</p>	<p>De Natura-2000 richtlijnen zijn regels ter bescherming van de natuur (Wet natuurbescherming). Gebieden die onder deze wet vallen behoren onder de gestelde richtlijnen te blijven functioneren (Rijksoverheid, 2017).</p>
<p>Staatsbosbeheer</p> 	<p>Heeft belang bij het behoud van natuurgebieden en is medeoprichter van het Droomfondsproject Haringvliet met als doel het herstel van de dynamische delta binnen het Haringvliet (Staatsbosbeheer, 2021).</p>	<p>Beheerder van natuurgebieden binnen het Haringvliet en de Voordelta. Daarnaast lid van het Droomfondsproject in samenwerking met ARK Natuurontwikkeling, Sportvisserij Nederland, Natuurmonumenten,</p>

		Vogelbescherming Nederland en het Wereld Natuur Fonds (Staatsbosbeheer, 2021).
Vereniging Natuurmonumenten 	Heeft belang bij het behoud van natuurgebieden en is medeoprichter van het Droomfondsproject Haringvliet met als doel het herstel van de dynamische delta binnen het Haringvliet (Staatsbosbeheer, 2021).	Beheerder van natuurgebieden binnen het Haringvliet en de Voordelta. Daarnaast lid van het Droomfondsproject (Staatsbosbeheer, 2021).
Landbouw: LTO 	De landbouw heeft belang bij het behoud van zoet water in het Haringvliet. Als het zoute water te ver het Haringvliet optrekt kan dit grote (negatieve) gevolgen hebben (Noord, 2017).	Er bestaan regionale en landelijke afspraken over het tegengaan van verzilting. Deze behoren nagekomen te worden (Noord, 2017).
Industrie: Port of Rotterdam 	Het WNF en Port of Rotterdam werken samen aan een gezonde delta waar een dynamisch ecosysteem en een bloeiende haven samengaan. 'De ambitie richt zich op een innovatief en duurzaam toekomstbeeld, waarin economie en ecologie elkaar versterken' (Port of Rotterdam, sd).	De zoetwatervoorziening voor drinkwater, industrie en landbouw is op duurzame wijze gegarandeerd.
Private ondernemers 	Private ondernemers hebben economisch belang bij dit gebied. Ze zijn financieel afhankelijk van deze plek en hebben dus belang bij een gunstige locatie.	Private ondernemers hebben dusdanige invloed in het gebied door grondbezit en huidige ruimtegebruik. Bestemmingsplannen spelen hierin een rol.
Sportvisserij Nederland 	De sportvisserij Nederland heeft een groot belang bij het huidige kiesbesluit en het herstellen van getijdenatuur in het Haringvliet (Sportvisserij Nederland, 2019).	De sportvisserij heeft redelijke invloed in het gebied. Zo heeft de sportvisserij zich jarenlang ingezet om weer een open verbinding tussen de zee en het Haringvliet te realiseren (Sportvisserij Nederland, 2019).

03. Doelsoorten voor de vismigratierivier

De Voordelta en het Haringvliet vervullen een belangrijke rol als vismigratieroute voor verschillende soorten trekvis. Een aantal trekvissoorten vormen een belangrijke groep doelsoorten voor het actuele rivierbeleid van het Haringvliet, met name Natura 2000 (elft, fint, rivierprik, zalm, zeebek), Kaderrichtlijn Water (naast voornoemde soorten ook aal, bot, driedoornige stekelbaars, houting, spiering) en Droomfondsproject Haringvliet (de steur) (RAVON, 2017). Om voor de vismigratierivier in kaart te brengen welke vissoorten van belang zijn, wordt in onderstaande tekst ingegaan op de zogeheten doelsoorten. Binnen dit hoofdstuk wordt er gekeken naar de verschillende vissoorten die als toekomstige passanten van de vismigratierivier verwacht kunnen worden en tevens naar diens migratiegedrag.

Estuaria

Voor de aanleg van de Deltawerken waren de aanwezige vissoorten instaat zich ongehinderd te verplaatsen tussen de stroomop- en stroomafwaarts gelegen gebieden in de Zuidwestelijke Delta. Het Haringvliet en de Voordelta zijn voormalig estuaria en vormden overgangswateren tussen de zoute Noordzee en het brakke Haringvliet (Natura2000, sd). Estuaria worden van nature gekenmerkt door diens dynamisch milieu door het samenkomen van zee- en rivierwater (RAVON, 2017). Door het verschil in toevoer van beide waterstromen per et maal (eb/vloed) en per seizoen (rivierafvoer), is er binnen estuaria een grote variatie- zowel ruimtelijk als temporeel- ten aanzien van factoren als saliniteit, sedimentatie en erosie (RAVON, 2017). Deze variatie in omstandigheden zijn de ideale condities voor verschillende vissoorten. Estuaria worden beschouwd als belangrijke locaties voor vissen, zowel als kraam- en overwinteringslocaties, als trekroutes en gebieden die van nature grote aantallen vissen ondersteunen (Elliott, 2008).

In (Figuur) is te zien wat voor functie het estuarium voor de verschillende vissoorten heeft. Zo is te zien dat voor de Fint zowel de habitatfunctie als de corridor functie van hoog belang zijn en voor de zeebaars is te zien dat beiden van laag belang zijn. Binnen de ecologische toets worden de kenmerken per vissoort verder beschreven en toegelicht.



Figuur 6 Belang bij estuarium voor verschillende vissoorten

Huidige vismigratieroute

De aanleg van de Haringvlietsluizen (tussen 1956 en 1970) zorgde echter voor een **blokkade** binnen de migratieroute. De Haringvlietsluizen zijn voor de ene helft van het jaar gesloten en voor de andere helft (gedeeltelijk) geopend. Tijdens een situatie waarbij er rivierwater vanuit het Haringvliet afgevoerd wordt en dus de Haringvlietsluizen gedeeltelijk open staan, ontstaan er hoge stroomsnelheden in de spuiopeningen. Slecht een gedeelte van de vismigranten- de sterke zwemmers- kunnen van deze opening gebruik maken. Bij het ontwerp en bouw van de Haringvlietsluizen zijn in zes pijlers een **visriool** aangelegd, die de vismigratie ook voor de zwakke zwemmers moesten waarborgen (Rijkswaterstaat, 2011). Uit onderzoek is gebleken dat de doelsoorten nauwelijks gebruik maken van de passage: 'van alle 1.306 salmoniden voorzien van een transponder trokken er hooguit enkele tientallen via de visriolen naar het zoete water' (Rijkswaterstaat, 2011). Daarom is in 2019 het zogeheten **kierbesluit** in werking gesteld. Door het kierbesluit, waarbij de Haringvlietsluizen bij vloed op een kier worden gezet, kunnen de trekvisen met het getij (zoute water) mee het Haringvliet op zwemmen (Rijkswaterstaat, 2018).

Uit onderzoek van Rijkswaterstaat blijkt dat trekvisen de kieropening in de Haringvlietsluizen massaal weten te vinden. In dit onderzoek werden verschillende vissoorten aangetroffen waaronder de Haring en de Sprot- die het meeste voorkwamen. Ook vissoorten als de aal, driedoornige stekelbaars, zeebaars, spieringen kleine zeenaald zijn aangetroffen tijdens dit onderzoek. De verwachte aantallen vissoorten zijn gebaseerd op vangsten tijdens het onderzoek (Rijkswaterstaat, 2020). In totaal zijn er meer dan 1000 kiermomenten geweest sinds 2019 (waterschap Hollandse Delta, 2020). Een aantal vissoorten zoals de zalm, zeeforel en houting zijn niet aangetroffen tijdens dit onderzoek, terwijl dit wel typische trekvisen zijn. Rijkswaterstaat geeft aan dat het missen van deze typische trekvisen naar alle waarschijnlijkheid komt doordat deze soorten de netten erg goed weten te ontwijken. Of deze visen gebruik maken van het kierbesluit wordt nu op een andere manier onderzocht (Rijkswaterstaat, 2020).

Ondanks de (redelijk positieve) resultaten van het kierbesluit, zorgt deze ingreep niet voor een permanente migratieroute (Delta21, 2018). Tijdens een gesloten situatie is het passeren voor zowel de zwakke als de sterke zwemmers niet mogelijk.

Migratiegedrag

De periode waarin de visen binnen een estuarium voor een bepaalde levensfase (voortplanting, opgroei, doortrek) verblijven of door een estuarium trekken, verschilt per soort (RAVON, 2017) (zie bijlage 2).

- **Diadrome soorten-** waaronder getijdenmigranten, zwakke zwemmers (waaronder semi-getijden migranten) en sterke zwemmers- zijn trekvisen die het estuarium als trekroute tussen opgroei- en paaigebied gebruiken. Sommige van deze soorten maken daarnaast (in bepaalde levensstadia) gebruik van het estuarium als foerageer- en leefgebied;
- De zout-zoet overgang (estuarium) dient niet alleen voor een goede trekroute maar ook als verblijfplaats. **Estuariene soorten** verblijven lange periodes binnen een estuarium en zijn tolerant voor fluctuerende en lagere zoutgehalten. Zo kunnen soorten als de haring, zeebaars, rivierprik en de spiering wel 1 tot 2 jaar in dit gebied blijven voordat ze doortrekken richting zee of rivier (Haringvliet.nu, n.d.);

- **Zoetwatersoorten** bevinden zich in zoetwatergetijden tot aan de zwak brakke zone van het estuarium.

Om de toekomstige passanten van de vismigratierivier te bepalen, wordt naast het onderzoek van Rijkswaterstaat meerdere studies geraadpleegd. In het vervolg van dit hoofdstuk zijn deze studies uitgewerkt, met als resultaat een opgestelde lijst met doelsoorten voor de vismigratierivier (voor lijst van de vissoorten + afmetingen zie bijlage 4)

In de vismigratiekalender in bijlage 2 is te zien wanneer welke vissen gaan migreren, waar ze naartoe migreren en hoelang het verblijf binnen de zout-zoetomgeving (estuarium) is. In bijlage 5 zijn de 16 belangrijkste vissoorten in een tabel gezet en zijn de meest kenmerkende eigenschappen van de desbetreffende soorten weergegeven. Deze 16 vissoorten zijn ook terug te vinden in de vismigratiekalender in bijlage 2. Voor het vervolg van dit onderzoek wordt rekening gehouden met deze 16 doelsoorten. De vissoorten zijn hieronder weergegeven in Tabel , Tabel en Tabel . In bijlage 3 is een overzicht weergegeven van de verschillende trekvisen. Hierbij is te zien of dit gaat om lokale, regionale migratie of zelfs internationale migratie.

Tabel 2 Vissoorten levensfase 1 (Haringvliet.nu, sd)

Doelsoorten	Migratiegedrag	Levensfase	Duur levensfase	Periode migratie of verblijf	Richting van migratie of verblijf
<i>Aal/paling</i>	Diadroom	Glasaal	1 tot 3 jaar	Feb-Juni	Stroomopwaarts
<i>Bot</i>	Diadroom	Juveniel		Feb-Juli	Stroomopwaarts
<i>Driedoornige stekelbaars</i>	Diadroom	Juveniel	0,5 jaar	Juni-September	Stroomafwaarts
<i>Dunlipharder</i>	Marienjuveniel	Juveniel	9 tot 11 jaar	Gehele jaar	Ondiepe zones
<i>Elft</i>	Diadroom	Juveniel	0+ jaar	Juli-December	Stroomafwaarts
<i>Fint</i>	Diadroom	Juveniel	0+ jaar	Juli- November	Stroomafwaarts
<i>Atlantische haring</i>	Marienjuveniel	Larve		November- Juli	Stroomopwaarts
<i>Houting</i>	Diadroom	Juveniel		Mei-Februari	Stroomafwaarts
<i>Rivierprik</i>	Diadroom	Larve	3- 4,5 jaar	Oktober- April	Stroomafwaarts
<i>Spiering</i>	Diadroom	Larve		Mei-Juli	Stroomafwaarts
<i>Sprot</i>	Marienjuveniel	Larve		Mei-Juli	Stroomopwaarts
<i>Europese steur</i>	Diadroom	Juveniel		Maart	Stroomafwaarts
<i>Atlantische zalm</i>	Diadroom	Juveniel	1 tot 3 jaar	Februari-Juni	Stroomafwaarts
<i>Zeebaars</i>	Marienjuveniel	Juveniel	4 tot 5 jaar	Gehele jaar	Verblijf estuarium
<i>Zeeforel</i>	Diadroom	Juveniel	2 tot 3 jaar	Januari-Augustus	Stroomafwaarts

<i>Zeeprik</i>	Diadroom	Juveniel	2 tot 3 jaar	September- April	Stroomafwaarts
----------------	----------	----------	--------------	---------------------	----------------

Tabel 3 Vissoorten levensfase 2 (Haringvliet.nu, sd)

Doelsoorten	Migratie gedrag	Levensfase	Duur levensfase	Periode migratie of verblijf	Richting van migratie of verblijf
<i>Aal/paling</i>	Diadroom	Rode aal	2 tot 17 jaar	Gehele jaar	Verblijf estuarium
<i>Bot</i>	Diadroom	Juveniel	2 tot 4 jaar	Gehele jaar	Verblijf estuarium
<i>Driedoornige stekelbaars</i>	Diadroom	Adult		Februari- Juni	Stroomopwaarts
<i>Dunlipharder</i>	Marien- juveniel	Adult		Maart- Mei	Stroomopwaarts
<i>Elft</i>	Diadroom	Juveniel	0 tot 1 jaar	Gehele jaar	Verblijf kustzone/estuarium
<i>Fint</i>	Diadroom	Juveniel	0 tot 1 jaar	Gehele jaar	Verblijf kustzone/estuarium
<i>Atlantische haring</i>	Marien- juveniel	Juveniel	3 tot 4 jaar	Gehele jaar	Verblijf estuarium
<i>Houting</i>	Diadroom	Juveniel	2 tot 4 jaar	Gehele jaar	Verblijf estuarium
<i>Rivierprik</i>	Diadroom	Juveniel	1,5 jaar	Gehele jaar	Verblijf estuarium
<i>Spiering</i>	Diadroom	Juveniel	2 tot 3 jaar	Gehele jaar	Verblijf estuarium
<i>Sprot</i>	Marien- juveniel	Juveniel	<2 jaar	April- Augustus Augustus- Oktober	Verblijf estuarium Stroomafwaarts
<i>Europese steur</i>	Diadroom	Juveniel	2 tot 4 jaar 8 tot 12 jaar	Gehele jaar Augustus- Januari	Verblijf estuarium Stroomafwaarts
<i>Atlantische zalm</i>	Diadroom	Adult		Gehele jaar met piek Mei- Augustus	Stroomafwaarts
<i>Zeebaars</i>	Marien- juveniel	Adult zomer		Maart- Juli Juli- Oktober Oktober- December	Stroomopwaarts Verblijf estuarium Stroomafwaarts
<i>Zeeforel</i>	Diadroom	Adult		Juni- Januari	Stroomopwaarts
<i>Zeeprik</i>	Diadroom	Adult		Februari- Juli	Stroomopwaarts

Tabel 4 Vissoorten levensfase 3 (Haringvliet.nu, sd)

<i>Doelsoorten</i>	<i>Migratie gedrag</i>	<i>Levensfase</i>	<i>Duur levensfase</i>	<i>Periode migratie of verblijf</i>	<i>Richting van migratie of verblijf</i>
<i>Aal/paling</i>	Diadroom	Adult		Gehele jaar	Stroomafwaarts
<i>Bot</i>	Diadroom	Adult		September-December	Stroomafwaarts
<i>Driedoornige stekelbaars</i>	Diadroom	-		-	-
<i>Dunlipharder</i>	Marien-juvenilel	Adult		Oktober-November	Stroomafwaarts
<i>Elft</i>	Diadroom	Adult		Maart- Juli	Stroomopwaarts
<i>Fint</i>	Diadroom	Adult		April- Juli	Stroomopwaarts
<i>Atlantische haring</i>	Marien-juvenilel	Adult		Gehele jaar	Stroomafwaarts
<i>Houting</i>	Diadroom	Adult		September-Januari Februari- Juni	Stroomopwaarts Stroomafwaarts
<i>Rivierprik</i>	Diadroom	Adult		Oktober- April	Stroomopwaarts
<i>Spiering</i>	Diadroom	Adult		Februari- Juni Juli-September	Stroomopwaarts Stroomafwaarts
<i>Sprot</i>	Marien-juvenilel	Adult		Maart- Mei Oktober-December	Stroomafwaarts Stroomopwaarts
<i>Europese steur</i>	Diadroom	Adult		April- Oktober	Stroomopwaarts
<i>Atlantische zalm</i>	-	-		-	-
<i>Zeebaars</i>	-	-		-	-
<i>Zeeforel</i>	-	-		-	-
<i>Zeeprik</i>	-	-		-	-

04. Toetsing

Om een vismigratierivier te ontwerpen, die aan de voorgelegde aspecten voldoet, zullen er eisen en randvoorwaarden opgesteld moeten worden. De opgestelde criteria zijn afhankelijk van de eisen vanuit de opdrachtgever en vanuit de verschillende hydraulische en ecologische parameters die uit het opgestelde literatuuronderzoek volgen.

04.01 Ecologische toetsing

Ten behoeve van de ecologische toetsing wordt in onderstaande Tabel in beeld gebracht wat de bijkomende aspecten zijn en van welke criteria deze aspecten afhankelijk zijn. De uitkomsten van de ecologische toetsing worden gebruikt om de ecologische randvoorwaarden en eisen voor de vismigratierivier op te stellen.

Tabel 5 Aspecten en criteria ecologische toets

Aspect	Criteria
<i>Lokstroom (vindbaarheid)</i>	Om de vismigratierivier goed te laten functioneren zullen de vissoorten allereerst het intreepunt moeten kunnen vinden. De zoete lokstroom zal als lokmiddel fungeren en daardoor de vindbaarheid van de vismigratierivier vergroten.
<i>Barrières (vindbaarheid)</i>	Geluidsoverlast en hinder door kunstlicht, geluid en aardmagnetische straling kunnen voor de doelsoorten als mogelijke obstakels worden beschouwd.
<i>Stroomsnelheid (passeerbaarheid)</i>	Om de passeerbaarheid van de vismigratierivier voor de doelsoorten zo gunstig mogelijk te laten verlopen, wordt er gekeken naar de 'kritische stroomsnelheid' U_{kr} van de doelsoorten. Oftewel de stroomsnelheid waarbij de desbetreffende soorten de passage voor een langere tijd kunnen volhouden en onder de meest gunstige omstandigheden de reis door kunnen zetten.
<i>Turbulentie (passeerbaarheid)</i>	Binnen het traject krijgen de vissoorten te maken met turbulentie. De mate waarin turbulentie kritisch wordt verschilt per doelsoort.
<i>Saliniteit (acclimatisatie)</i>	Binnen de vismigratierivier kunnen de vissoorten in het brakke water acclimatiseren. Om de overgang van zout naar zoet water zo gunstig mogelijk te laten verlopen is het belang, per doelsoort, van acclimatisatie belangrijk.

<i>Substraat (acclimatisatie)</i>	Om de acclimatisatie van de vissoorten te bevorderen en selectief getijdentransport te stimuleren zal een bepaald type substraat (dat als estuarium-systeem kan functioneren) belangrijk zijn.
<i>Doorzicht (habitat)</i>	Het doorzicht wordt geëvalueerd doormiddel van de te verwachten slibconcentraties.
<i>Predatie (habitat)</i>	Voldoende schuilgelegenheid tegen roofvogels, roofvissen, etc.
<i>Temperatuurgradiënt (conditie)</i>	Temperatuurverschil is een belangrijke factor voor de leefomstandigheden van verschillende vissoorten.
<i>Zuurstofgehalte (conditie)</i>	De conditie van zuurstofomstandigheden kunnen kritieke problemen worden, wanneer er- tijdens stagnatie van de waterkolom- geen menging meer optreedt.

Lokstroom

De aantrekkingskracht van de vismigratierivier, en daarmee dus de vindbaarheid, is afhankelijk van een stroomimpuls: de lokstroom. Om andere dominante stromen te maskeren en stroomopwaarts migrerende vissen te begeleiden, is er voldoende lokstroom nodig. *‘Over het algemeen kan gesteld worden: hoe hoger het percentage van het totale debiet dat kan worden gebruikt voor de lokstroom, des te effectiever de faciliteit is’* (Arcadis, 2018). De effectiviteit van de zoete lokstroom is dus afhankelijk van de stroomsterkte, duur van de stroom, stroomsnelheid en volumes. Een stelregel die vaak voor vispassages aangehouden wordt, betreft de regel waarbij de lokstroom minimaal 5% van de afvoer uit het naastliggende kunstwerk moet zijn (Arcadis, 2018).

Barrières

Naast het lokken van de doelsoorten, zal ervoor gezorgd moeten worden dat er geen mogelijke obstakels ontstaan die de vissen afschrikken/hinderen.

De vismigratierivier zal onder de N57 doorgaan, waardoor de vissen mogelijk geluidshinder ondervinden. Ook kunstlicht kan als obstakel werken. De aanwezige straatverlichting (omgeving N57) zal hier een rol in spelen. Daarnaast zou een potentiële factor van verstoring van migratie door magnetische velden kunnen ontstaan.

De gevoeligheid voor deze obstakels verschilt per vissoort en is in onderstaande Tabel weergegeven. Er is momenteel nog weinig onderzoek gedaan naar de invloed van licht en geluid op de migratie van vissen. Algemeen wordt aangenomen dat te veel licht en geluid invloeden de werking van de vismigratierivier benadelen. Hier zal in het vervolgonderzoek rekening mee gehouden moeten worden.

Tabel 6 Mogelijke obstakels

Soort	Type mogelijke hinder	Referentie
<i>Aal/paling</i>	Aardmagnetisch veld, licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Bot</i>	Licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Driedoornige stekelbaars</i>	Licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Dunlipharder</i>	Licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Elft</i>	Licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Fint</i>	Licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Atlantische haring</i>	Licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Houting</i>	Aardmagnetisch veld, licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Rivierprik</i>	Licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Spiering</i>	Licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Sprot</i>	Licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Europese steur</i>	Licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Atlantische zalm</i>	Aardmagnetisch veld, licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Zeebaars</i>	Licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Zeeforel</i>	Aardmagnetisch veld, licht en geluid	(Winter, et al., 2020)
<i>Zeeprik</i>	Licht en geluid	(Winter, et al., 2020)

Of er rondom de Haringvlietsluizen daadwerkelijk een verstoring van het magnetisch veld optreedt is voor alsnog niet bekend. Wel is bekend dat andere estuaria oriëntatiefactoren zoals getijde, stroming, saliniteitgradiënt en geurstoffen een grotere rol spelen (Winter, et al., 2020).

De verlichting rondom de Haringvlietsluizen is wellicht beperkt, toch zal de mate van dit kunstmatige licht (en het gedrag van vissen hierop) nader onderzocht kunnen worden.

Geluid van waterkrachtcentrales en gemalen zouden vissen kunnen afschrikken. Dit is voor de Haringvlietsluizen echter minder aannemelijk (Winter, et al., 2020). Wel zouden de grote hoeveelheden gespuid water voor geluid kunnen zorgen waar vissen mogelijk op reageren. Het passerend wegverkeer dat bovenlangs komt zal eventueel ook voor verstoring kunnen zorgen.

Kritische stroomsnelheid

De zwemsnelheden van vissen kunnen gecategoriseerd worden in drie klassen. De kruissnelheid, duursnelheid en de maximumsnelheid/sprintsnelheid. De kruissnelheid is de normale snelheid van een vis. De duursnelheid is een snelheid die de vis langdurig vast kan houden. De duursnelheid kan langer dan 200 minuten vastgehouden worden zonder uitgeput te raken. De sprintsnelheid is de hoogst haalbare snelheid voor 15 seconden. Deze snelheid wordt alleen toegepast wanneer noodzakelijk en de desbetreffende vis heeft na het gebruiken van deze snelheid ook een langere hersteltijd nodig. De sprintsnelheid is niet van belang voor vissen om een vispassage te passeren. Voor de in Tabel 7 de weergegeven stroomsnelheden is uitgegaan van een volwassen stadium van de vis. Veel vissoorten die nog niet volwassen zijn maar al wel migreren, maken gebruik van het getij (selectief getijdentransport). De zwemcapaciteit van een vis is altijd sterk afhankelijk van de conditie van de vis, de lengte van de vis en de watertemperatuur (gemeenschap, 2005).

Tabel 7 Kritische stroomsnelheid

Soort	Kritische stroomsnelheid m/s	Referentie
<i>Aal/paling</i>	0,50 m/s	(waterstaat, 2001)
<i>Bot</i>	0,30 m/s	(gemeenschap, 2005)
<i>Driedoornige stekelbaars</i>	0,30 m/s	(gemeenschap, 2005)
<i>Dunlipharder</i>	0,50 m/s	(gemeenschap, 2005)
<i>Elft</i>	2,0 m/s	(waterstaat, 2001)
<i>Fint</i>	2,0 m/s	(waterstaat, 2001)
<i>Atlantische haring</i>	0,50 m/s	(gemeenschap, 2005)
<i>Houting</i>	0,55 m/s	(waterstaat, 2001)
<i>Rivierprik</i>	<2,0 m/s	(Winter, et al., 2020)
<i>Spiering</i>	2,0 m/s	(waterstaat, 2001)
<i>Sprot</i>	0,30 m/s	(gemeenschap, 2005)
<i>Europese steur</i>	<2,0 m/s	(waterstaat, 2001)
<i>Atlantische zalm</i>	<2,0 m/s	(waterstaat, 2001)
<i>Zeebaars</i>	<2,0 m/s	(gemeenschap, 2005)
<i>Zeeforel</i>	<2,0 m/s	(waterstaat, 2001)
<i>Zeeprik</i>	0,75 m/s	(waterstaat, 2001)

Turbulentie

Alle vissen die gebruik maken van de vismigratierivier zullen turbulentie in de passage ondervinden. Afhankelijk van het formaat vis en diens zwemcapaciteiten wordt er door de vissen- bij een bepaalde waarde- last ondervonden. Over het algemeen geldt: een turbulentie-waarde $K [m^2/s^2]$ hoger dan 0.05 wordt voor vissen als hoog beschouwd (Arcadis, 2018). Over het effect van turbulentie op migratiegedrag van vissen is echter relatief weinig bekend. De algemene regel zal bij het ontwerp van de vismigratierivier in acht genomen worden.

Saliniteit

Een stabiele brak water biotoop is noodzakelijk om de vissoorten gedurende een langere tijd te laten wennen aan de zout/zoet overgang. Om het lichaam en de stofwisseling van migrerende vissen geschikt te maken voor een overgang in zoutgehalte, treden bij migrerende vissoorten fysiologische veranderingen op. Een geleidelijke overgang in zoutgehalte stimuleert deze aanpassing en zorgt ervoor dat deze gunstig verloopt. Dit proces is bij de meeste vissen geleidelijk en kan enige tijd duren (Tabel).

Tabel 8 Acclimatisatie

Soort	Belang acclimatisatie	Referentie
<i>Aal/paling</i>	Acclimatisatie niet van heel groot belang	(Winter, Griffioen & Keeken, 2014)
<i>Bot</i>	Mogelijk stress bij grote saliniteitsverschillen	(Winter, Griffioen & Keeken, 2014)
<i>Driedoornige stekelbaars</i>	Acclimatisatie niet van heel groot belang	(Winter, Griffioen & Keeken, 2014)
<i>Dunlipharder</i>	Onbekend	-
<i>Elft</i>	Acclimatisatie noodzakelijk	(Winter, Griffioen & Keeken, 2014)
<i>Fint</i>	Acclimatisatie noodzakelijk	(Winter, Griffioen & Keeken, 2014)
<i>Atlantische haring</i>	Acclimatisatie van groot belang	(Tangelder, Winter & Ysebaert, 2017)
<i>Houting</i>	Onbekend, waarschijnlijk niet van groot belang	(Winter, Griffioen & Keeken, 2014)
<i>Rivierprik</i>	Onbekend, waarschijnlijk niet van groot belang	(Arcadis, 2018)
<i>Spiering</i>	Mogelijk van belang	(Arcadis, 2018)
<i>Sprot</i>	Onbekend, waarschijnlijk niet van groot belang	Gebaseerd op de vismigratiekalender (Haringvliet.nu, sd)
<i>Europese steur</i>	Onbekend, waarschijnlijk niet van groot belang	(Winter, Griffioen & Keeken, 2014)
<i>Atlantische zalm</i>	Acclimatisatie niet van heel groot belang	(Winter, Griffioen & Keeken, 2014)
<i>Zeebaars</i>	Onbekend	-
<i>Zeeforel</i>	Onbekend, waarschijnlijk niet van groot belang	(Winter, Griffioen & Keeken, 2014)
<i>Zeeprik</i>	Onbekend, waarschijnlijk niet van groot belang	(Winter, Griffioen & Keeken, 2014)

Substraat

De functie van de vismigratierivier is niet alleen het faciliteren van vissoorten met een actief zoekgedrag maar ook vissoorten die van 'selectief getijdentransport' gebruik maken. Selectief getijdentransport zorgt ervoor dat de vissoorten efficiënt gebruik maken van opkomend tij door als het ware mee te liften bij vloed en proberen de positie te behouden bij eb (door ofwel in te graven in de bodem, dicht bij de bodem te blijven of stationair te zwemmen in de stroom). Op deze manier besparen de vissoorten energie en worden ze niet 'teruggespoeld' door het afgaand tij. Het specifieke gedrag rond selectieve getijdentransport wordt binnen het ontwerp van de vismigratierivier ondersteund door voor een 'ademend' systeem te kiezen, waar het mogelijk is om onder invloed van het getij mee stroomopwaarts te liften. De vismigratierivier behoort, om het getijdentransport proces te bevorderen, op zo'n manier ingericht te worden dat de vissoorten tijdens afgaand tij hun positie kunnen behouden. Een 'sand-based' ontwerp- ofwel een zandige ondergrond en voldoende schuilgelegenheden- levert hier een bijdrage aan (Grontmij, 2016).

Naast het bevorderen van het selectief getijdentransport, kan de ondergrond een belangrijke rol spelen in de werking van de vismigratie rivier. Zo kunnen bepaalde grassoorten voor een sterkere geur zorgen die de lokstroom weer bevorderen, kunnen waterplanten zorgen voor voldoende zuurstof in het water en zorgen oesters en mosselen voor het zuiveren van water waarmee het doorzicht verbetert.

In het *GWF final consultancy report* zijn de beste opties voor inrichting van de ondergrond van estuaria aangegeven (Universiteit Wageningen, 2020). Deze opties en de eisen zijn hieronder weergegeven:

- Zeegras, *Zostera Marina L*
- Zeegras, *Zostera Noltii Hornem*

Deze grassen leven onder onderstaande omstandigheden:

- Een waterdiepte tussen de 5 en 15 meter;
- Een zoutgehalte tussen de 18 en 40 ppt/psu;
- Een stroomsnelheid niet hoger dan 1,5 m/s;
- Een voorkeur voor gebieden met zandig modder en zand als ondergrond;
- Een goed doorzicht.

Oesters en mosselen dragen bij aan de gezondheid van de waterplanten. Dit komt doordat de oesters en mosselen het water zuiveren en hierdoor het water helderder wordt. Ook breken de oester- en mosselbanken golven en zorgen ze voor schuilplekken voor kleinere vissen (Universiteit Wageningen, 2020). Een eventuele plaatsing van zowel oesters, mosselen als het zeegras zou een goede combinatie voor de werking van de vismigratierivier zijn. De aangeraden soorten voor schelpdieren zijn:

- De Europese oester
- De Japanse oester
- De blauwe mossel

Doorzicht

Zoals eerder aangegeven, hebben sommige aquatische soorten belang bij een goed doorzicht. Het doorzicht in het water is afhankelijk van de slibconcentratie en de stroomsnelheid in de vismigratierivier.

Predatie

Binnen de vismigratierivier dienen er voldoende schuilgelegenheden te zijn voor de migrerende vissoorten. De schuilplaatsen dragen bij aan een veilige doortocht en verblijf van de vissoorten in de vismigratierivier.

Temperatuurgradiënt

Een sterk temperatuurverschil is voor de leefomstandigheden van de meeste vissoorten niet gunstig. Uit onderzoek is gebleken dat een temperatuurverschil van 2,5 graden geen probleem is voor de visintrek (Grontmij, 2016).

Zuurstofgehalte

Het zuurstofgehalte (O₂) in water is voor verschillend aquatisch leven belangrijk. Voor vissen geldt dat voor een optimale gezondheid een minimale hoeveelheid van 5mg/l nodig is. Waardes tussen de 2 mg/l en 4mg/l kunnen voor vissen grote problemen veroorzaken en bij een zuurstofgehalte onder de 2mg/l kan er zelfs vissterfte ontstaan (Nederland, n.d.).

Zuurstoftekort in water treedt voornamelijk op als het verbruik van zuurstof in het watersysteem groter is dan de productie. Zuurstof wordt geproduceerd door waterplanten, wind en golfslag en directe opname uit de lucht (Nederland, n.d.).

Zuurstoftekort in water kan ook optreden als gevolg van stratificatie. Het is van belang om te zorgen voor een goede menging van het zoute en zoete water om het zuurstofgehalte op peil te houden.

04.02 Hydraulische toets

Ten behoeve van de hydraulische/hydrologische toetsing wordt in onderstaande Tabel in beeld gebracht wat de bijkomende aspecten zijn en van welke criteria deze aspecten afhankelijk zijn. De uitkomsten van de hydraulische toetsing worden gebruikt om de randvoorwaarden en eisen voor de vismigratierivier op te stellen.

Tabel 9 Aspecten en criteria hydraulische toets

Aspect	Criteria
<i>Debiet (stroomgebied)</i>	Voor de vismigratierivier is het van belang om een juist debiet te bepalen/handhaven. Bij een juist gereguleerd debiet kan de overgang van zout naar zoet water onder de meest gunstige omstandigheden verlopen. Zoutindringing kan voorkomen worden en een juist stroomsnelheid kan worden gecreëerd.
<i>Saliniteit (stroomgebied)</i>	Om zowel voor de doelsoorten als de omgeving een gunstige passage en inpassing te realiseren, zal de balans tussen het zoute en zoete water- binnen de overgangs-/brakwaterzone + grenzen- in orde moeten zijn.
<i>Getij (stroomgebied)</i>	Om de passeerbaarheid van de vismigratierivier zo optimaal mogelijk te maken wordt er gekeken naar stromingspatronen en het getij. Aan de hand van deze informatie kunnen de juiste eisen en randvoorwaarden opgesteld worden.
<i>Lokstroom (stroming)</i>	De omvang en situering van de zoete lokstroom hebben invloed op diens effectiviteit. Het is van belang om deze criteria goed af te stellen zodat de lokstroom efficiënt gebruikt kan worden.
<i>Stroomsnelheid (stroming)</i>	Om de passeerbaarheid van de vismigratierivier voor de doelsoorten zo gunstig mogelijk te laten verlopen, wordt er gekeken naar de stroomsnelheden binnen het Haringvliet en de mogelijke stroomsnelheden binnen de vismigratierivier.
<i>Sedimentatie en erosie (transport)</i>	Morfologische veranderingen op basis van toe en afvoer van sediment is een alledaags proces. Om op hoofdlijnen een morfologische structuur in stand te houden zal er goed naar het sedimenttransport gekeken moeten worden.

Debiet

De algemene stromingsgegevens van het Haringvliet zijn van groot belang voor het ontwerp van de vismigratierivier en zullen in onderstaande tekst weergegeven/toegelicht worden.

Haringvliet

De Haringvlietsluizen reguleren zowel de rivierafvoer als -door het vanaf 2018 toegepaste kierbesluit- de instroom van het zoute water. De waterstand aan de zeezijde van de Haringvlietsluizen wordt bepaald door het getij en de waterstand aan de rivierzijde van de Haringvlietsluizen (gemiddeld +0,55 m NAP) wordt bepaald door de rivierafvoer van het Haringvliet (Delta21, 2018). Het debiet in het Haringvliet wisselt, afhankelijk van de rivierafvoer van de Rijn en de Maas, het gehele jaar af.

Normaal stroomt het meeste rivierwater via de Nieuwe-Waterweg naar zee. Bij een Rijn afvoer van 4.000 m³/s voert het Haringvliet ongeveer 2/3 deel van het Rijnwater af naar de zee. Gemiddeld is de afvoer van de Rijn via het Haringvliet 500m³/s in het eerste deel van het jaar en vrijwel niks in het tweede deel van het jaar (Delta21, 2018).

De Haringvlietsluizen staan tot een rivierafvoer van circa 1.100 m³/s dicht. Een rivierafvoer tot 1.100 m³/s komt ongeveer 50% van het jaar voor. Bij een hogere rivierafvoer gaan de Haringvlietsluizen steeds verder open, totdat er een afvoer van 9.000 m³/s wordt bereikt waarna de sluisen volledig zijn geopend (Delta21, 2018).

Tabel 10 Rivierafvoer de Rijn (Waterpeilen, 2016)

Rivierafvoer Rijn	Hoeveelheid m³/s
Hoog	6.570
Gemiddeld	2.300
Laag	<1.400

Tabel 116 Rivierafvoer de Maas (Waterpeilen, 2016)

Rivierafvoer Maas	Hoeveelheid m³/s
Hoog	1.450
Gemiddeld	350
Laag	<60

Tabel 12: Rivierafvoer het Haringvliet

Rivierafvoer Haringvliet	Hoeveelheid m³/s
Hoog	
Gemiddeld	
Laag	

Tabel 12 dient nader ingevuld te worden.

Haringvliet in plan Delta21

Hoewel een mogelijke permanente terugkeer van het zoute water in het Haringvliet in de toekomst niet uitgesloten kan worden, wordt het kierbesluit voor alsnog binnen het Delta21-plan gehanteerd⁶. Met als gevolg dat ook binnen het Delta21 plan, de Haringvlietsluizen- met als grenswaarde 1.100 m³/s- 50% van de tijd open staan en 50% van de tijd dicht.

Bij de terugkeer van het zoute getij en de vismigratie hoort de eis dat de zoetwatraanvoer in het oostelijke gedeelte van het Haringvliet gegarandeerd moet blijven. Zo moet via het Haringvliet altijd 70 m³/s zoet water worden afgevoerd- 30 m³/s voor de zoetwatervoorziening en 40 m³/s voor de migratie van vissen. Voor de vismigratierivier is het van belang dat er voldoende rivierafvoer is: de vismigratierivier heeft immers voldoende aanvoer van zoetwater nodig om het estuarium op de gewenste plek te houden. Daarnaast moet er voorkomen worden dat het zoute water -via de vismigratierivier- het oostelijke gedeelte van het Haringvliet bereikt-het Spui (Delta21, 2018).

⁶ Deze beslissing kan in verloop van tijd gewijzigd worden. Binnen dit rapport wordt uitgegaan van een kierbesluit, maar zullen eventuele kansen op veranderingen globaal meegenomen worden.

Saliniteit

Zoutputten

Bij een mogelijke binnendringing van zoutwater binnen het Haringvliet, is er een grote kans dat deze zoutwatertong wordt opgeslagen in een van de zogeheten zoutputten. Bij een lage rivierafvoer -en dus een slechte doorspoeling- kunnen deze dieper gelegen gedeeltes een gevaar voor de waterkwaliteit vormen (Delta21, 2018).

Haringvliet

Zeewater heeft, gemiddeld, een saliniteit van 35 ‰ (chloridegehalte van 19 gr Cl/L water). Echter, de invloed van zoetwater tot ca. 50 km vanuit de kust is nog goed meetbaar: dicht langs de Nederlandse kusten heeft het zeewater een gemiddelde saliniteit van 28-32‰. De saliniteit van brakwater ligt een stuk dichterbij zoetwater dan bij zoutwater (respectievelijk tussen de 0,3-1 gr/kg).

Het chloridegehalte van het Haringvliet varieert tussen de 0,05 en 0,1 gr Cl/L ($\leq 0,18$ Psu). Verzilting treedt in het Haringvliet slechts sporadisch op. Bij een storm op zee, gecombineerd met een lage rivierafvoer zou zout zeewater een enkele keer het benedenstroomse gebied binnen kunnen komen (Delta21, 2018). Dit gebeurt via indringing vanuit de Nieuwe Waterweg. De verschillen in zoutgehalte kunnen in zones ingedeeld worden (Tabel) (Tangelder, Winter & Ysebaert, 2017).

Tabel 13 Zoutzones estuarium

Klasse	Zone	Zoutgehalte saliniteit] [Psu,
Zoet water	Limnetische zone	<0,5
Licht brak	Oligohaliene zone	0,5 – 5,0
Brak	Mesohaliene zone	5,0 – 18,0
Sterk brak	Polyhaliene zone	18,0 – 30,0
Zeewater	Euhaliene zone	>30,0

Haringvliet in Delta21 plan

Met het kierbesluit als uitgangspunt zal er, ten opzichte van de huidige situatie, niet veel veranderen (eenzelfde snelheid van geleidelijke en gecontroleerde transformatie). De balans tussen de zoutlast/zoutwater indringing aan de ene kant en tegendruk/uitspoeling van zoetwater aan de andere kant is belangrijk voor een geleidelijke overgang. Deze balans kan verstoord raken door de verhoging van zoutlast als gevolg van zeespiegelstijging, aangepast beheer of verandering in de bovenstroomse tegendruk. De verandering in de bovenstroomse tegendruk kan voorkomen tijdens periodes van droogte en lage rivierafvoeren. De balans tussen het zoute en zoete water kan tijdens zo'n verandering verplaatsen in horizontale- en verticale richting (STOWA, 2020).

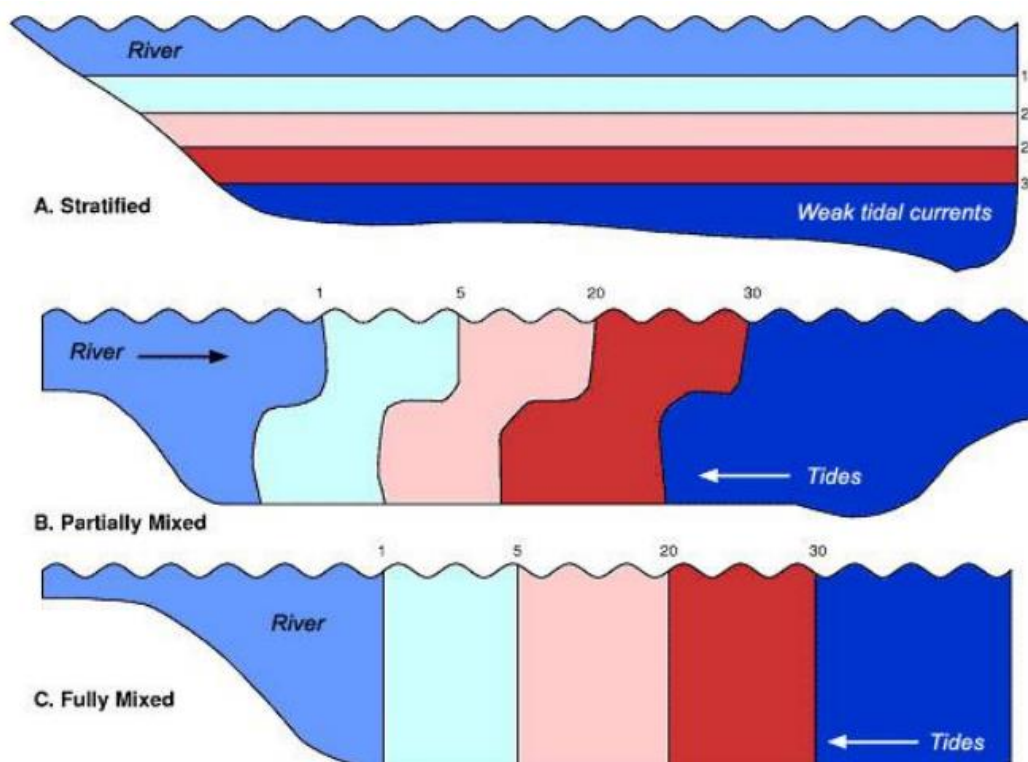
Bij een slechte vermenging (door bijvoorbeeld zwakke getijdenstroming) van de waterlagen zal het zoete water vrij lang aan het oppervlakte blijven. Tegelijkertijd zal er een zeer stabiele zoutwatertong kunnen uitstrekken over de bodem van het Haringvliet. Het transitieproces naar een brakwater biotoop zou hierdoor verzwakt en vertraagd kunnen worden (Delta21, 2018). Deze zogeheten 'estuariene circulatie', beïnvloedt ook het transport van organisch materiaal en opgeloste stoffen (Tangelder, Winter & Ysebaert, 2017).

Binnen de vismigratierivier, die als estuarium zal fungeren, zal zich een mengzone (met een horizontale gradiënt in zoutgehalte van zoet via brak naar zout) bevinden. 'De mengzone kan enorm fluctueren in ruimte en tijd per dag, per getijcyclus, per seizoen, per jaar en in geval van extreme omstandigheden (storm of extreme regenval)' (Tangelder, Winter & Ysebaert, 2017). De ligging en de mate van de menging zijn afhankelijk van de volgende punten:

- Het getij;
- De golfslag en wind;
- De hoeveelheid zoetwateraanvoer;
- Vorm en morfologie van de vismigratierivier.

Bij het ontwerp van de vismigratierivier zal er gestreefd moeten worden naar een ontwerp waarbij de gelaagdheid van het water – het stratificatieproces- zo beperkt mogelijk blijft. Het zoute water [respectievelijk 1025 kg/m^3] zal dus, voor zo ver mogelijk, met het zoete water [respectievelijk 1000 kg/m^3] gemixt moeten blijven worden (Situatie C in

Figuur). Volgens een studie in San Fransisco Bay in de Verenigde Staten (Cloern et al., 2017), treedt de sterkste stratificatie op bij een saliniteit van 10-25 Psu in het middendeel van het estuarium. Deze grenzen hangen af van het bodemprofiel (beïnvloedt de watercirculatie) en hydro-meteorologische omstandigheden (getij, golfslag, neerslagpatronen, etc.) (Tangelder, Winter & Ysebaert, 2017).



Figuur 6: Dwarsdoorsneden estuaria aangegeven met drie regimes voor saliniteit: A. Gestratificeerd; stroming van vrijwel volledig gescheiden stromen zoet en zout water, B. Semi-gemengd; stroming van deels gemengde stromen zoet en zout water, C. Volledig gemengd; geleidelijke overgang van zoet naar zout water (Arcadis, 2018).

Naast de gelaagdheid binnen de brakwaterzone in de vismigratierivier, zal anderzijds een eventuele doorspoeling van de vismigratierivier voorkomen moeten worden. Bepaalde onderdelen van de vismigratierivier, zoals afsluitbaarheid en vorm/morfologie, zullen op deze eis gemoduleerd moeten worden.

Estuariumgetal

Om een goede beschrijving te geven van de overgang tussen het zoete en zoute water in het estuarium kan gebruik gemaakt worden van het estuariumgetal. Binnen dit rapport worden 2 estuariumgetallen gebruikt:

- N (Cadeé)
- N_e (Dyer)

Het estuariumgetal N geeft de verhouding weer tussen zee- en rivierinvloeden binnen het estuarium. De N waarde geeft een goede indicatie van de saliniteitgradiënt en daarmee de ecologische ontwikkelingen in het estuarium weer. Dit wordt gedaan aan de hand van de formule: $N=Q*T/V$. Hierin is N het estuariumgetal, Q het gemiddelde debiet van de rivier in m^3/s , T de gemiddelde getijperiode in seconden en V het gemiddelde getij volume in m^3 . Het eindgetal wordt maal honderd gedaan om het percentage te krijgen. Een $N>1\%$ geeft een grote rivier invloed aan. Een $N>1\%$ geeft een grote zee invloed aan (Rijkswaterstaat, 2001).

Het estuariumgetal N_e wordt berekend aan de hand van de hoeveelheid getijdewater dat tussen hoog en laag water aanwezig is in het estuarium. Dit wordt gedaan aan de hand van de formule: $N_e=P*F_m^2/T*R$. Waarin N_e het estuariumgetal, P het getijdeprisma (het volume water dat tussen hoog en laag water aanwezig is in het estuarium), F_m het getal van Froude, T de tijdsperiode en R de rivierafvoer. Bij $N_e>0,1$ is het water van het estuarium goed gemengd. Bij $N_e<0,1$ is er een horizontale gelaagdheid in het water (Rijkswaterstaat, 2001).

Getij

Haringvliet

De waterstanden aan de zeezijde van de Haringvlietsluizen worden bepaald door het getij. Per maand is ongeveer twee keer springtij en doottij. De overige periode varieert het getij tussen onderstaande waarden (Delta21, 2018). Het getij heeft beperkte invloed op het Haringvliet- door de directe verbinding met de Nieuwe Waterweg: het getijverschil bedraagt slechts 20 cm (Deltares, 2012).

Sommige vissoorten (met name de zwakkere zwemmers) maken gebruik van het getij om te kunnen migreren- selectief getijdentransport. Als de Haringvlietsluizen open staan ontstaat er een situatie waarbij de vissen met het inkomende zeewater mee kunnen liften.

Tabel 14 Waterstanden zeezijde van de Haringvlietsluizen

<i>Haringvlietsluizen buiten</i>	<i>HW</i>	<i>LW</i>
<i>Springtij</i>	LAT +2,6 en NAP +1,5	LAT +0,3 en NAP -0,8
<i>Doodtij</i>	LAT +2,1 en NAP +1,0	LAT +0,4 en NAP -0,7
<i>Gemiddeld tij</i>	LAT +2,35 en NAP +1,25	LAT +0,35 en NAP -0,75

Haringvliet in Delta21-plan

Zoals eerder vermeld zal in het huidige Delta21-plan, het kierbesluit in stand gehouden worden. Het kierbesluit heeft een geringe impact op de Haringvlietzijde. De vismigratierivier zal als nieuwe verbinding tussen het Haringvliet en de zee fungeren. Het getij heeft in zekere mate invloed op deze verbinding. In de periode tussen laagtij en hoogtij kunnen de doelsoorten hiervan profiteren.

Tabel 15 Waterstanden zeezijde Haringvliet in Delta21-plan

<i>Haringvlietsluizen buiten</i>	<i>HW</i>	<i>LW</i>
<i>Springtij</i>	LAT + en NAP +	LAT + en NAP -
<i>Doodtij</i>	LAT + en NAP +	LAT + en NAP -
<i>Gemiddeld tij</i>	LAT + en NAP +	LAT + en NAP -

Tabel 15 dient nader ingevuld te worden.

Lokstroom

De zoete lokstroom zal alleen bij eb -wanneer zoetwater vanuit de vismigratierivier richting de Noordzee stroomt- aanwezig zijn. Bij vloed -wanneer het water vanuit de Noordzee de vismigratierivier instroomt- zal de lokstroom niet aanwezig zijn. De effectiviteit van de lokstroom is onder anderen afhankelijk van de omvang en de situering. 'Indien de lokstroom te weinig omvang heeft, zal deze niet of slechts met veel zoekwerk in de hoofdstroom vindbaar zijn (Grontmij, 2016).' Een stelregel die vaak voor vispassages aangehouden wordt, betreft de regel waarbij de lokstroom minimaal 5% van de afvoer uit het naastliggende kunstwerk moet zijn. De afvoer vanuit de Haringvlietsluizen variëren, dit betekent dat ook de omvang van de lokstroom uit de vismigratierivier – op ieder gewenst moment- varieert. Verschillende vissoorten migreren op verschillende dieptes. Om in het ontwerp rekening te houden met deze migratielimitlijn, kunnen er op verschillende afstanden ingangen gecreëerd worden.

Stroomsnelheid

Stroomsnelheid is een belangrijk gegeven voor het ontwerp van de VMR. Zoals eerder aangegeven in (**Kritische stroomsnelheid**) zijn de kritische stroomsnelheden de uiterste waarden die door bepaalde vissoorten gehanteerd kunnen worden om van A naar B te kunnen komen.

Haringvliet

In de huidige situatie wordt er, doormiddel van het in 2018 geïntroduceerde kierbesluit, een doorgang gecreëerd waar vissen onder bepaalde omstandigheden de Haringvlietsluizen kunnen passeren.

Bij een hoge rivierafvoer, vanaf ca. 9.000 m³/s, zijn de Haringvlietsluizen volledig geopend. Tijdens deze situatie ontstaan er bij de sluisen afvoersnelheden van rond

de 1,5 m/s (als rekening wordt gehouden met een doorsnede van 6.000 m²) (Delta21, 2018). Aangezien deze snelheden voor sommige vissoorten te hoog zijn, zijn 6 pijlers van de Haringvlietdam (in totaal 18 pijlers) voorzien van- volledig onderwater staande-visriolen die als een soort schutsluis fungeren. Ondanks dat deze ingreep onvoldoende is om de vismigratie op peil te houden (zoals eerder vermeldt zijn de resultaten voor alsnog ongunstig), kunnen verschillende vissoorten zo wel passeren. De gecreëerde lokstroom, door het gedeeltelijk sluiten van een van de visriooldeuren, van ca. 0,2 m/s trekt de vissen aan en leidt ze de weg (Delta21, 2018).

Haringvliet in Delta21 plan

Doordat de vismigratierivier invloed van het getij ondervindt komen er in verschillende richtingen waterstromen voor. De kritische stroomsnelheid bij eb is in de vismigratierivier de maximale stroomsnelheid waarop gedimensioneerd wordt. Bij deze snelheid kunnen alle vissoorten gebruik maken van de vismigratierivier en hebben de vissen de capaciteit om tegen de stroom in te zwemmen. Tijdens eb kunnen de vissen zich altijd terug naar zee laten meevoeren door gebruik van de (rivier)stroming te maken.

Tijdens vloed mag de stroomsnelheid hoger zijn, aangezien de vissen dan mee kunnen liften met het getij en niet tegen de stroom in hoeven zwemmen voor migratie naar het Haringvliet. Tijdens vloed kunnen vissen ook migreren naar zee (sterkere zwemmers). De vissen die dit niet kunnen moeten weer op laagtij wachten (Grontmij, 2016).

Sedimentatie en erosie

Haringvliet

Door de aanleg van de deltawerken (die de uitwisseling tussen zoet- en zoutwater niet meer mogelijk maakt) is een groot deel van de sedimenthuishouding onmogelijk geworden. De uitwisseling van sediment is bepalend voor de morfologische ontwikkeling in het gebied.

Sedimentatie heeft een nauwe relatie tot de ecologie van een watersysteem. Sedimentatie bepaalt belangrijke abiotische en fysieke randvoorwaarden. Daarnaast beïnvloeden ecologische processen op hun manier ook weer de morfologie (Deltares, 2012).

Fysisch gezien hebben de gebieden in de Zuidwestelijke delta een systeemverandering ondergaan door het wegvallen van het estuariene karakter (Deltares, 2012). Dit ging samen met het stilvallen van de opbouw van platen en voorlanden door de sedimentatie, met als gevolg het volledig omslaan van het ecologisch systeem.

Door de aanleg van de Haringvlietsluizen is het Haringvliet en het Hollandschdiep afgesneden van het sedimentaanbod vanuit zee. Hierdoor beperkt het sedimentaanbod zich tot enkel het aanbod vanuit de rivier. Dit heeft geleid tot het zogeheten sedimenthonger-proces waardoor er erosie aan de slikken en oevers plaatsvindt.

Door de aanleg van de kering is het Haringvliet erg snel verzoet geraakt en zijn de oevers en platen drooggevallen. De vegetatie voor de aanleg van de Haringvlietsluizen bestond voornamelijk uit wilgenvloedbossen, brakke riet, biezengorzen en slikken. Deze vegetatie heeft plaatsgemaakt voor graslanden, grasgorzen, rietruigten en wilgenstruwelen (Deltares, 2012).

Sedimenttransport heeft (op jaarlijkse schaal) grote effecten op de morfologie van een bepaalde waterloop. In deze verandering is een bepaald patroon vast te stellen, die enigszins beïnvloedbaar is. Om op den duur een morfologische structuur in stand te houden zullen de –optredende- sedimentatie en erosieprocessen vastgelegd moeten worden en kunnen enigszins gereguleerd worden om aan de opgestelde criteria te gaan voldoen. Dit kan enigszins gereguleerd worden aan de hand van sedimentbeheer. Sedimentbeheer heeft als doel om gewenst behoud of veranderingen te stimuleren. Sedimentbeheer richt zich op het beheersen van de voorraad en de verdeling in tijd en ruimte van het sediment (Deltares, 2012).

Haringvliet in Delta21 plan

In de vismigratierivier vindt sedimentatie plaats in het estuarium. De vismigratierivier dient morfologisch stabiel te zijn zodat het systeem in evenwicht blijft. In de vismigratierivier mag zich in en rond het kunstwerk geen sedimentatie plaats vinden aangezien dit de werking van het kunstwerk kan beïnvloeden (Arcadis, 2018).

05. Eisen en randvoorwaarden vismigratierivier

Binnen dit hoofdstuk wordt duidelijk aan welke eisen en randvoorwaarden de vismigratierivier moet voldoen om de passage optimaal/effectief te laten werken. Aan de hand van de hieronder opgestelde eisen en randvoorwaarden kan in hoofdstuk 6 een aantal varianten gemaakt worden. Alle eisen en randvoorwaarden in dit hoofdstuk zijn gebaseerd op de eisen vanuit de opdrachtgever (Delta21) en de Ecologische en Hydraulische toetsingen (04. Toetsing).

05.01 Eisen Delta21

- De vismigratierivier behoort **het gehele jaar** zoveel mogelijk (met uitzondering tijdens extreme situaties⁷) toegankelijk/passeerbaar te zijn voor de beoogde doelsoorten;
- De vismigratierivier moet bijdragen aan natuurherstel binnen het plangebied;
- Het water in de vismigratierivier moet te reguleren zijn;
- De vismigratierivier moet afsluitbaar kunnen zijn (tijdens extreme situaties²).
- Zoutwaterindringing in het Haringvliet- via de vismigratierivier- mag zich onder geen enkele omstandigheden voordoen;
- De wateraanvoer via het Haringvliet moet altijd 70 m³/s zijn;
 - Wateraanvoer van zo mogelijk minimaal 30 m³/s moet altijd aanwezig zijn voor de zoetwatervoorziening naar Bernisse en het Brielse meer;
 - Wateraanvoer van zo mogelijk minimaal 40 m³/s voor de passage van de vissen en vismigratie;

05.02 Functie-eisen

Ecologische eisen- Doelsoorten

De kenmerken en eisen van de doelsoorten zijn herleidbaar naar de onderstaande opgestelde eisen voor de vismigratierivier. De desbetreffende doelsoorten zijn in drie hoofdgroepen te onderscheiden:

4. Diadrome soorten, waaronder:
 - a. Getijdenmigranten
 - b. Zwakke zwemmers (waaronder semi-getijdenmigranten)
 - c. Sterke zwemmers
5. Estuariene soorten (residente soorten)
6. Zoetwatersoorten

De volgende eisen gelden hieruit volgend voor de vismigratierivier:

- De vismigratierivier dient nagenoeg het gehele jaar (dag en nacht) migratiemogelijkheid aan alle doelsoorten te bieden;
- De invloed van licht en geluid zal rond de vismigratierivier **bepert** moeten blijven;
- Om de leefomstandigheden voor de beoogde doelsoorten geschikt te maken, behoort het water binnen de vismigratierivier een minimaal zuurstofgehalte van **5mg/l** te hebben;
- **Voldoende** schuil- en zwemmogelijkheden in zowel diep als ondiep water in en rond de vismigratierivier om predatie te voorkomen;

⁷ Tijdens een periode met een extreem lage rivierafvoer en een storm vanaf zee.

- Binnen de vismigratierivier moet **invloed vanuit het getij** mogelijk zijn. Een deel van de vismigratierivier wordt ingericht als estuariumzone met **substraat** naar aanbeveling vanuit de Universiteit Wageningen;
- Zeegras als substraat heeft een bevorderende werking op de vismigratierivier. De eisen voor optimale leefomstandigheden, die bij dit zeegras horen, zijn:
 - Een waterdiepte tussen de **5 en 15 meter**;
 - Een zoutgehalte tussen de **18 en 40 ppt/psu**;
 - Een stroomsnelheid **≤1,5 m/s**;
 - Een ondergrond van zand of zandig modder;
 - Een goed doorzicht.

Eisen vismigratierivier- Scheiding zout- en zoetwater

- Zoutwaterindringing binnen het Haringvliet- via de vismigratierivier- mag zich onder geen enkele omstandigheden voordoen;
- Volledige doorspoeling van de vismigratierivier mag zich onder geen enkele omstandigheden voordoen;
- Voor de acclimatisatie van de vissoorten is het van belang dat de doelsoorten zich geleidelijk door de verschillende zoutzones verplaatsen. Van het zoute zeewater met een zoutgehalte van **≥28 psu** naar het zoete rivierwater met een zoutgehalte van **<0,5 psu** (*Tabel 13 Zoutzones estuarium*). De lengte van de vismigratierivier moet voldoende zijn om de geleidelijke overgang te waarborgen;
- Om een brakwaterzone te ontwerpen die geleidelijk van zout naar zoetwaterzones overgaat, zal het stratificatieproces (gelaagdheid in het water) enigszins beperkt moeten blijven. Door genoeg doorspoeling van zoetwater te creëren, mengt het zoute water met het zoete water waardoor een gewenste situatie ontstaat.

Hydraulische eisen- Vismigratierivier

- Lokstroom: *Over het algemeen kan gesteld worden: hoe hoger het percentage van het totale debiet dat kan worden gebruikt voor de lokstroom, des te effectiever de faciliteit is'* (Arcadis, Hydraulische en ecologische toetsing van het ontwerp, 2018). Voor vispassages wordt vaak als stelregel hiervoor aangehouden dat de lokstroom uit de vispassage minimaal **3-5%** moet zijn van de afvoer uit het naastliggende kunstwerk.
- Om de vismigratierivier effectief te laten werken, mag de mate van turbulentie niet te hoog zijn (een K-waarde [m^2/s^2] van hoger dan **0.05** wordt voor vissen als hoog beschouwd);
- Om de vismigratierivier effectief te laten werken, zal de maximale stroomsnelheid in de vismigratierivier **0,30 m/s** bedragen. Deze waarde is gebaseerd op een eb situatie. Alle doelsoorten moeten immers tegen de stroming in kunnen zwemmen tijdens eb. Bij een vloed situatie mag de stroomsnelheid groter zijn dan **0,30 m/s**. Vissen kunnen tijdens vloed gebruik maken van selectief **getijdetransport** om de vismigratierivier in te komen.
- Het ontwerp dient- vanwege de opbouw van sommige delen binnen de vismigratierivier- **morfologisch stabiel** te zijn.
- Er mag **geen** sedimentatie rondom het kunstwerk plaatsvinden.

06. Ontwerp

In dit hoofdstuk wordt globaal gekeken naar een mogelijk ontwerp - en locatie- van de vismigratierivier in het plangebied. De verschillende eerste ontwerpen/varianten voldoen allemaal aan de in hoofdstuk 5 gestelde eisen en randvoorwaarden. Verderop in dit hoofdstuk worden de verschillende varianten tegen elkaar afgewogen in een Multicriteria-analyse.

Varianten

In totaal zijn er vier varianten opgesteld, die betreft de ligging ten opzichte van elkaar verschillen. In onderstaande tekst worden de varianten verder toegelicht/geschetst. Een belangrijk gegeven is dat de voorgestelde varianten enkel gebaseerd zijn op het verschil in locatie en indeling en de afmetingen slechts een indicatie geven, maar niet vastgelegd zijn.

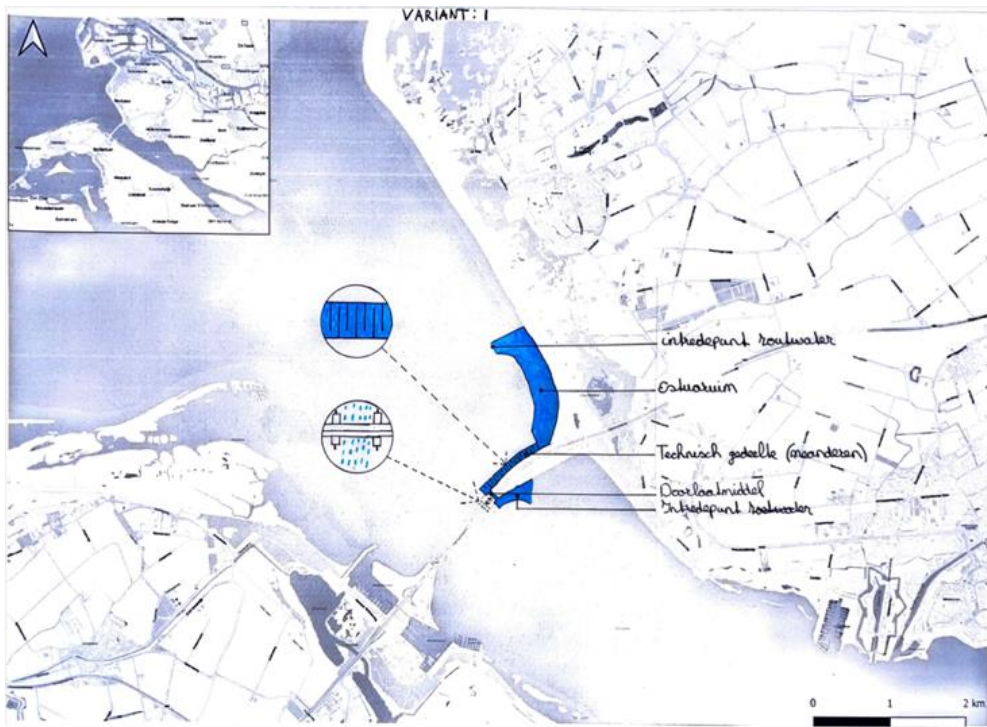
Variant 1

Zoetwaterinlaat: De inlaat van het zoete water bevindt zich direct achter de Haringvlietsluizen -ten zuiden van de Haringvlietsluizen (Figuur). Doordat de Haringvlietsluizen 50% van het jaar dicht staan kan er gedurende deze periode zoetwater gegarandeerd worden op deze locatie. Tijdens de andere 50% van het jaar -waarbij de Haringvlietsluizen (gedeeltelijk) openstaan- vindt er nauwelijks zoutindringing via de sluisen plaats. Het kierbesluit heeft wel invloed op de zoutwaterindringing via het Haringvliet. Het zoete water bij de locatie van de inlaat zou hier weliswaar beïnvloed door kunnen worden, was het niet dat het zoute water -dat het Haringvliet binnen stroomt- de diepere gedeeltes (zoutwaterputten) inzakt. Het zou dus kunnen dat de onderste waterlaag bij het intredepunt zoutwater bevat. In deze variant wordt de indringing van zoutwater voorkomen door goed te monitoren en het kunstwerk hierop aan te passen. Bijvoorbeeld door, tijdens een situatie met zoutwater in de onderste waterlaag, het kunstwerk verder te sluiten zodat alleen de bovenste zoetwaterlaag de vismigratierivier kan binnenstromen.

Doorlaatmiddel: Het doorlaatmiddel bevindt zich in variant 1 op het smalste gedeelte van het grondlichaam. Hier hoeft de minst grote opening gecreëerd te worden om ervoor te zorgen dat de vismigratierivier de barrière kan passeren. Als meekoppelkans wordt er gekeken of het doorlaatmiddel gecombineerd kan worden met de meest noordelijke schuif van de Haringvlietsluizen. Het doorlaatmiddel in variant 1 ligt aan het begin -grens tussen het noorden en zuiden van de Haringvlietsluizen- van de vismigratierivier. Dit heeft als voordeel dat het kunstwerk een positieve invloed kan hebben op de regulatie van het water binnen de vismigratierivier.

Technisch gedeelte: Het technische gedeelte bestaat uit meanders. Het meanderende gedeelte creëert de gevraagde lengte in de vismigratierivier, die nodig is voor de geleidelijke overgang van zoet- naar zoutwater, zonder erg veel ruimte in beslag te nemen.

Estuarium: Het estuarium is het laatste gedeelte van de vismigratierivier in variant 1 (aan de noordkant van de Haringvlietssluisen). Het technische gedeelte mondt uit in het estuarium en zorgt voor zoetwatertoevoer. Door het zoete water met het juiste debiet en snelheid in het estuarium te laten stromen kan het water in het estuarium goed mengen. Dit zorgt voor een brak watersysteem waar de vissen kunnen acclimatiseren. Hoe dichterbij de voordelta, hoe zouter het water in het estuarium wordt en hoe dichterbij het technische gedeelte, hoe zoeter het water in het estuarium wordt.



Figuur 7 Variant 1

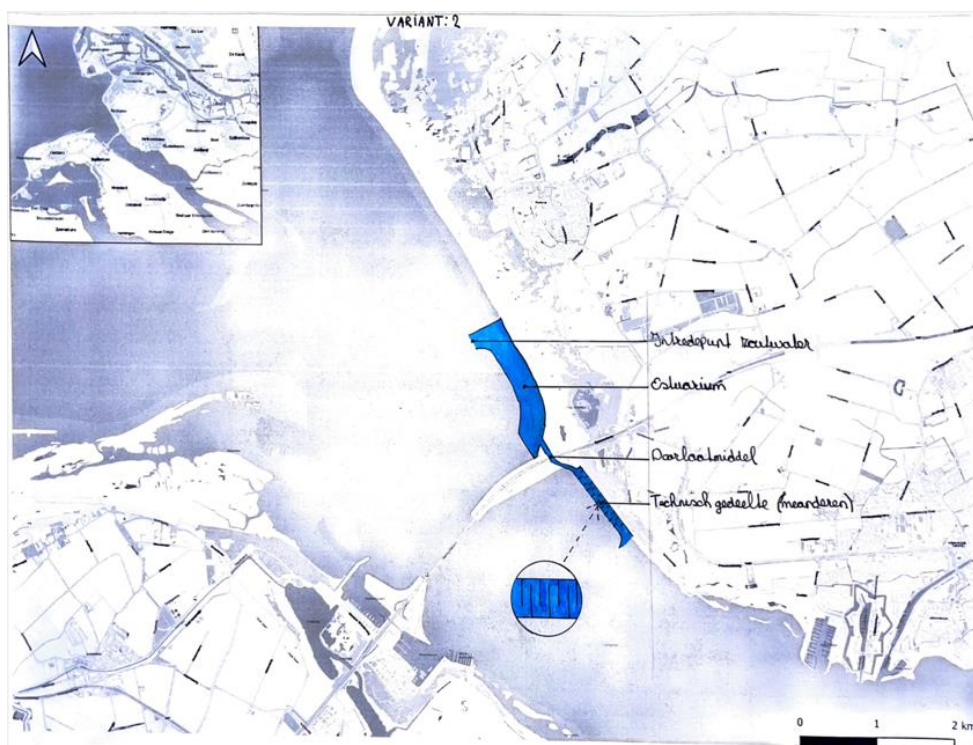
Variante 2

Zoetwaterinlaat: De inlaat van het zoete water bevindt zich in variante 2 verder op het Haringvliet (ten zuiden van de Haringvlietssluisen), ongeveer 1,5 kilometer van het grondlichaam (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). De verlenging van het intrede punt zorgt ervoor dat een groter gedeelte van de vismigratierivier aan de kant van het Haringvliet komt te liggen.

Doorlaatmiddel: Het doorlaatmiddel, in het midden van de vismigratierivier, komt in het grondlichaam te liggen en wordt door het breedste gedeelte van het grondlichaam aangelegd.

Technisch gedeelte: Het technische gedeelte ligt in variante 2 direct achter de zoetwaterinlaat. Hierdoor wordt er net als bij variante 1 lengte van de rivier gecreëerd. Het handhaven van de stroomsnelheid en het debiet wordt gedaan doormiddel van een kunstwerk. Om de waterstand binnen de vismigratierivier goed te kunnen reguleren kan er overwogen worden het kunstwerk niet in het doorlaatmiddel te realiseren, maar bij de zoetwaterinlaat aan het begin van de vismigratierivier. Het technische gedeelte van variante 2 ligt voor de helft op land. Dit houdt in dat een gedeelte van het huidige badstrand wordt benut voor de vismigratierivier.

Estuarium: Direct na het doorlaatmiddel loopt de vismigratierivier over in het estuarium. Het estuarium ligt op dezelfde plek als bij variante 1, alleen is er binnen deze variante voor gekozen om het estuarium gedeeltelijk op het badstrand te leggen (net als bij het technische gedeelte).



Figuur 8 Variante 2

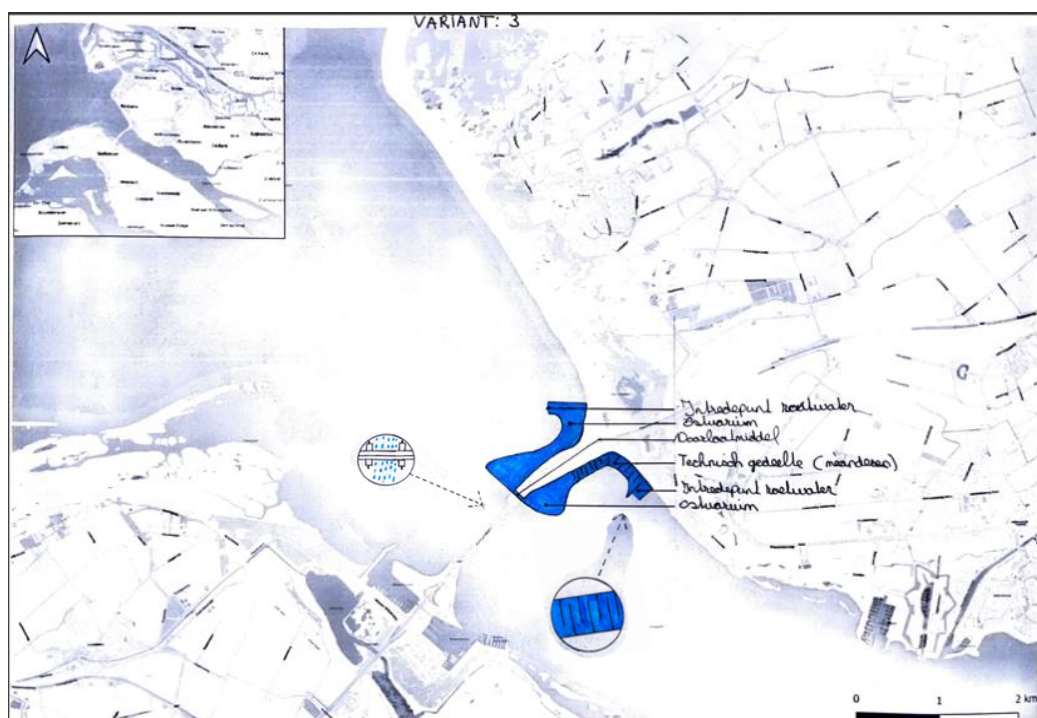
Variant 3

Zoetwaterinlaat: De zoetwater inlaat van variant 3 bevindt zich aan de kant van het Haringvliet.

Doorlaatmiddel: Het doorlaatmiddel van variant 3 ligt op het smalste gedeelte van het grondlichaam (Figuur). Ook bij deze variant is de optie toegevoegd om bij het doorlaatmiddel mogelijk gebruik te maken van de meest noordelijke schuif van de Haringvlietsluizen. Het doorlaatmiddel bevindt zich in het midden van de vismigratierivier. Om de waterstand binnen de vismigratierivier goed te kunnen reguleren kan er overwogen worden het kunstwerk niet in het doorlaatmiddel te realiseren, maar bij de zoetwaterinlaat aan het begin van de vismigratierivier.

Technisch gedeelte: Het technische gedeelte ligt direct na de zoetwaterinlaat. Ook hier wordt lengte van de vismigratierivier, in een relatief beperkt gebied, gecreëerd door meanders.

Estuarium: Het estuarium bevindt zich in variant 3 aan beide zijden van de Haringvlietsluizen. Het estuarium in deze variant kan onderverdeeld worden in “estuarium Voordelta” en “estuarium Haringvliet”. Deze 2 delen van het estuarium worden met elkaar verbonden doormiddel van het doorlaatmiddel.



Figuur 9 Variant 3

Variante 4

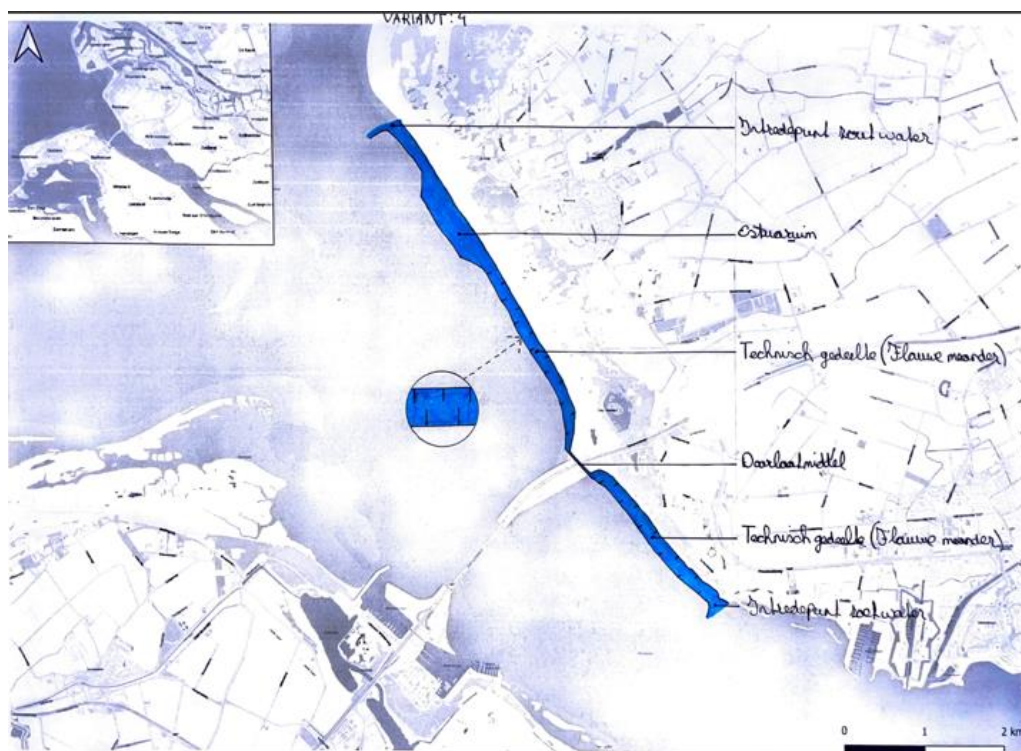
Variante 4 van de vismigratierivier bevindt zich geheel op land (Figuur). Dit houdt in dat over de gehele lengte ruimte op land voor de vismigratierivier gecreëerd zal worden.

Zoetwaterinlaat: De zoetwaterinlaat van variante 4 ligt ongeveer 2 kilometer vanaf de Haringvlietsluizen. Hierdoor bevindt zich een groot gedeelte van de vismigratierivier aan de kant van het Haringvliet.

Doorlaatmiddel: Het doorlaatmiddel van variante 4 ligt in een rechte lijn met de vismigratierivier. Dit houdt in dat het doorlaatmiddel door het breedste gedeelte van het grondlichaam zal worden aangelegd.

Technisch gedeelte: Het technische gedeelte bestaat uit flauwe meanders. Dit is anders ten opzichte van variante 1,2, en 3. Het technische gedeelte met flauwe meanders bevindt zich zowel aan de kant van het Haringvliet als aan de kant van de Voordelta.

Estuarium: Het estuarium bevindt zich aan de kant van de Voordelta. Het technische gedeelte stroomt over in het estuarium en het estuarium stroomt weer over in het getijdemeer van het Delta21-plan.



Figuur 10 Variante 4

Multicriteria-analyse

In hoofdstuk 5 'Eisen en randvoorwaarden vismigratierivier' zijn de Functie-eisen, Aspect-eisen en randvoorwaarden vanuit Delta21 beschreven, waaraan de opgestelde varianten aan dienen te voldoen. In principe voldoet ieder van de opgestelde varianten aan deze eisen en randvoorwaarden, echter variëren de mate waarin en de manier waarop. In deze Multicriteria-analyse wordt voornamelijk gekeken naar de verschillende onderdelen van de vismigratierivier en de plek, werking en efficiëntie hiervan. Naast de opgestelde eisen en randvoorwaarden kunnen de varianten aan de hand van andere criteria getoetst worden:

- Ecologie – Geschiktheid voor doelsoorten
- Kunstwerk – Bedieningsgemak/implementeerbaarheid
- Ruimtelijke gebiedsindeling
- Maatschappelijke gebruiksfuncties
- Bereikbaarheid – kunstwerk
- Bereikbaarheid – vismigratierivier
- Aanleg – Faseringsplan
- Aanleg – Waterveiligheid

Bovenstaande criteria worden binnen een Multicriteria-analyse gehanteerd. Binnen deze toetsing zijn de varianten -ten opzichte van elkaar- gescoord, variërend per criteria met een score van 1,2 of 3. Elke criteria heeft eenzelfde gewicht toegekend gekregen. De totstandkoming van de scores worden onderbouwd in onderstaande tekst.

Ecologie – Geschiktheid voor doelsoorten

Het criterium ecologie – geschiktheid voor doelsoorten is van belang om te kijken of de desbetreffende variant geschikt is voor de doelsoorten en dus daadwerkelijk de mogelijkheid biedt om te migreren.

Voorbeeld: alle varianten worden beoordeeld met een score van 3. Dit betekent dat alle varianten geschikt zijn voor de doelsoorten.

Kunstwerk – Bedieningsgemak/implementeerbaarheid

Het criterium kunstwerk – bedieningsgemak/implementeerbaarheid is van belang om te kijken waar in de variant het kunstwerk komt te liggen en hoe makkelijk het kunstwerk en constructie zijn in te passen. Hier wordt gekeken naar de mogelijkheid van combinatie tussen constructie en kunstwerk, de grootte van de doorgang door het grondlichaam en de mogelijkheid op alternatieven voor het kunstwerk (d.m.v. meest noordelijke sluis van de Haringvlietluizen). Het criterium heeft een geweg van 1,0.

Voorbeeld: Variant 1 scoort voor dit criterium 3 punten. De score is gebaseerd op het feit dat variant 1 de constructie kan combineren met het regulatiekunstwerk, door het smalste gedeelte van het grondlichaam gaat en ook een mogelijkheid heeft om het doorlaatmiddel te combineren met de meest noordelijke sluis van de Haringvlietluizen. Het criterium heeft een geweg van 1,5.

Ruimtelijke gebiedsindeling

Het criterium ruimtelijke gebiedsindeling is gericht op de plek waar de vismigratierivier komt te liggen. In dit criterium wordt gekeken naar de mogelijke consequenties van de vismigratierivier en wat de beste optie is op het gebied van gebiedsindeling.

Voorbeeld: Variant 1 scoort voor dit criterium 2 punten, aangezien deze variant (aan beide kanten) in het water komt te liggen waardoor er geen badstrand opgeofferd hoeft te worden. Een nadeel van variant 1 is dat een gedeelte van het strand bij Rockanje (misschien, dit wordt nog nader bepaald) direct gaat grenzen aan de rand van de vismigratierivier. Hierdoor wordt alsnog een deel van het badstrand belemmert. De overige varianten scoren op dit criterium 1 punt. Dit komt doordat deze varianten grotere gedeeltes van het strand of kade in beslag nemen en hiermee meer bestaande functies van de omgeving aantasten/veranderen. Het criterium heeft een weging van 1,0.

Maatschappelijke gebruiksfuncties

Het criterium maatschappelijke gebruiksfuncties is gekozen omdat de vismigratierivier bij kan dragen aan bewustwording en een educatieve omgeving. Gekeken naar het voorbeeld van de vismigratierivier in het IJsselmeer kan in elke variant een maatschappelijke gebruiksfunctie toegevoegd worden. Oftewel, binnen dit criterium worden de varianten beoordeeld op de mogelijkheid om een maatschappelijke meerwaarde te creëren.

Voorbeeld: Alle varianten scoren op dit criterium 2 punten. Het criterium heeft een weging van 1,0.

Bereikbaarheid – Kunstwerk

Het criterium bereikbaarheid – kunstwerk is gekozen om alvast een indicatie te krijgen van de mogelijkheden voor beheer en onderhoud betreft de aan te leggen kunstwerken. Als het kunstwerk goed bereikbaar is kan er gemakkelijk beheer en onderhoudt gepleegd worden in tegenstelling tot een kunstwerk dat niet goed bereikbaar is.

Variant 1 en variant 4 scoren voor dit criterium 3 punten. Dit komt omdat bij variant 1 het kunstwerk in de constructie in het grondlichaam komt te liggen, waar direct toegang mogelijk is. Variant 4 wordt aangelegd op land, waardoor de bereikbaarheid van het kunstwerk vergroot wordt. Variant 2 en 3 scoren hier 2 punten. De reden hiervoor is dat deze kunstwerken in het water liggen en daardoor minder goed bereikbaar zijn. Dit criterium heeft een weging van 1,0.

Bereikbaarheid – Vismigratierivier

Het criterium bereikbaarheid – Vismigratierivier is gekozen om alvast te kijken naar de mogelijkheden van beheer en onderhoud betreft de rivier zelf. Als de vismigratierivier goed bereikbaar is kan er gemakkelijk beheer en onderhoud gepleegd worden in tegenstelling tot een vismigratierivier die niet goed bereikbaar is.

Varianten 1, 2 en 3 scoren hier 2 punten, aangezien deze varianten worden aangelegd binnen een gebied dat (deels) omringt wordt door water. Hierdoor neemt de bereikbaarheid over land af. Variant 4 scoort hier 3 punten doordat deze variant op land ligt en daardoor over de gehele rivier beter bereikbaar is. Dit criterium heeft een weging van 1,0.

Aanleg – Faseringsplan

Het criterium aanleg – faseringsplan is gekozen om alvast te kijken naar de complexiteit van de aanleg van de varianten. Hier is voornamelijk gekeken naar de complexiteit van de constructie door het grondlichaam.

Variant 1 en 3 scoren hier 3 punten omdat deze varianten door het smalste gedeelte van het grondlichaam stromen. Variant 2 en 4 scoren hier 2 punten omdat deze varianten door het breedste gedeelte van het grondlichaam stromen. Dit criterium heeft een weging van 1,0.

Aanleg – Waterveiligheid

Het criterium aanleg – waterveiligheid is gekozen om alvast te kijken naar de mogelijke complexe situaties die komen kijken bij het creëren van een doorgang door de huidige primaire waterkering.

Elke variant scoort hier 2 punten omdat ze allemaal door deze huidige primaire waterkering heen gaan. De waterveiligheid moet altijd gewaarborgd blijven, en dit heeft voor elke variant dezelfde consequenties. Dit criterium heeft een weging van 1,0.

Voorkeursvariant

Variante 1 heeft in de Multi criteria-analyse de meeste punten gescoord. Dit houdt in dat variant 1 aanbevolen wordt. Variante 1 heeft de meest gunstige ligging voor zowel de rivier als het doorlaatmiddel ten opzichte van de andere varianten. Voor de rivier wordt zo min mogelijk van de huidige gebruiksfuncties van de omgeving aangetast, en voor het doorlaatmiddel kan gebruik gemaakt worden van het smalste gedeelte van het grondlichaam of zelfs van de meest noordelijke schuif van de Haringvlietsluizen. Variante 1 bevindt zich, op het zoetwaterintredepunt na, bijna in zijn geheel in de Voordelta. Het voordeel hiervan is dat het kunstwerk direct bij de inlaat van het zoete water komt te liggen en daardoor nauwkeurig de hoeveelheid zoetwater- dat het systeem nodig heeft- bepaald kan worden.

Verdere specifieke uitwerkingen worden in het vervolgonderzoek behandeld.



Figuur 11: Voorkeursvariant

07. Conclusie

Uit dit vooronderzoek zijn aan de hand van de kenmerken van het plangebied en de doelsoorten verschillende eisen en randvoorwaarden naar voren gekomen. De opgestelde eisen en randvoorwaarden zijn leidend geweest voor de verschillende uitgewerkte varianten. De varianten zijn getoetst door middel van een Multi criteria-analyse, met als uitkomst een voorkeursvariant. Uit deze toetsing is naar voren gekomen dat variant 1 het meest geschikt is. Dit heeft voornamelijk te maken met een verschil in ligging van de rivier, de ligging van het doorlaatmiddel en de mogelijkheid om het zoete water goed te kunnen reguleren, ten opzichte van de andere varianten.

08. Aanbevelingen

Uit het vooronderzoek is gebleken dat de verscheidenheid aan eisen en randvoorwaarden van groot belang zijn voor de aanleg van een vismigratierivier binnen het Delta21 plan. Ondanks de in dit vooronderzoek behandelde eisen en randvoorwaarden, is specifiek onderzoek noodzakelijk. De onderzoeken die verricht moeten worden betreffen:

- De inrichting van de vismigratierivier;
- Het functioneren van de vismigratierivier (scenario's);
- Het ontwerp van het doorlaatmiddel;
- Het ontwerp van het regelkunstwerk;
- Het functioneren van het regelkunstwerk (scenario's).

Naast deze te verrichten onderzoeken, is ons opgevallen dat er voor de ontwikkeling van een vismigratierivier binnen het Haringvliet nog een aantal verdere studies van belang zijn. Deze studies zullen niet binnen onze afstudeerperiode uitgevoerd worden, maar kunnen in het verloop van tijd verder onderzocht worden.

- Ecologie;
 - Verdieping Predatie: inrichting schuilmogelijkheden [*wordt uitgevoerd vanuit de Universiteit Wageningen*];
 - Voedselmogelijkheden: aanwezigheid voedingsstoffen binnen de vismigratierivier;
- Inpassing binnen de omgeving;
 - Verdiepende Stakeholder analyse;
 - Recreatiemogelijkheden;

Bibliografie

- AHN. (2021). Opgehaald van <https://www.ahn.nl>
- AHN. (2021). Opgehaald van <https://www.ahn.nl>
- Provincie Zuid-Holland. (2020). Ruimtelijk Plan Regio Rotterdam., (p. 124). Opgeroepen op Februari 08, 2021, van <file:///C:/Users/jeroe/Downloads/4-5streekplanrr202011700.pdf>
- Natura 2000. (sd). *Zuid-Holland*. Opgehaald van www.natura2000.nl: <https://www.natura2000.nl/gebieden/zuid-holland>
- Natura2000. (2021). Opgehaald van <https://www.natura2000.nl/gebieden/zuid-holland/voornes-duin/voornes-duin-kaart>
- Dinoloket. (sd). *Bodem- en grondonderzoek*. Opgehaald van www.dinoloket.nl: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- Rijkswaterstaat. (2020). Opgehaald van <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2020/10/trekvisser-weten-kieropening-bij-haringvlietsluizen-massaal-te-vinden.aspx>
- Haringvliet.nu. (sd). Opgehaald van https://haringvliet.nu/sites/haringvliet.nu/files/2016-05/Vismigratie_flyer_lowres.pdf
- Haringvliet.nu. (sd). Opgehaald van https://haringvliet.nu/sites/haringvliet.nu/files/2016-05/Vismigratie_flyer_lowres.pdf
- university, W. (2020). Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/525964>
- university, W. (2020). Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/525964>
- STOWA. (2020). Opgehaald van <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/verzilting/zoutindringing>
- gemeenschap, M. v. (2005). Opgehaald van https://www.visadvies.nl/sites/default/files/bestanden/HANDBOEK%20VISMIGRATIE_2005.pdf
- waterstaat, R. v. (2001). Opgehaald van <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:cdfa4f42-9775-41fe-b572-376d335fc027/datastream/OBJ>
- Winter, Griffioen, & Keeken, v. (2014). *De Vismigratierivier: Bronnenonderzoek naar gedrag van vis rond zoet-zout overgangen*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/300166>
- Rijnlanden, H. S. (2013). Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/303428>
- Arcadis. (2018). *Hydraulische en ecologische toetsing van het ontwerp*. Opgehaald van https://deafsluitdijk.nl/wp-content/uploads/2014/01/Hydraulische-en-ecologische-toetsing-ontwerp-Vismigratierivier-Afsluitdijk.pdf?utm_source=website&utm_medium=document&utm_campaign=hydraulisch_ecologische_toetsing_VMR
- Tangelder, M., Winter, E., & Ysebaert, T. (2017). *Ecologie van zoet-zout overgangen in Deltagebieden*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/436428>

- Nederland, S. (sd). Opgehaald van https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjnJas--PuAhUHxIUkHbeNBvMQFjABegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.sportvisserij nederland.nl%2Ffiles%2Fib-820-zomerzuurstofsterfte_8602.pdf&usg=AOvVaw2KwJEHo7rljNWP91Lj1Lha
- Delta21. (2018).
- Delta21. (2018). Opgehaald van <https://delta21.nl/wp-content/uploads/2018/10/Natuurherstel-27-9-18.pdf>
- Delta21. (2018). Opgehaald van <https://delta21.nl/wp-content/uploads/2018/10/Natuurherstel-27-9-18.pdf>
- Waterpeilen. (2016). Opgehaald van <https://www.waterpeilen.nl/extremen/jaaroverzicht-rijn-en-maas-2016>
- Delta21. (2018). Opgehaald van <https://delta21.nl/wp-content/uploads/2018/10/Natuurherstel-27-9-18.pdf>
- Delta21. (2018). Opgehaald van <https://delta21.nl/wp-content/uploads/2018/10/Natuurherstel-27-9-18.pdf>
- Rijkswaterstaat. (2001). Opgehaald van <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjH9K34zO7uAhWLG-wKHMgDC8QFjADegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.vliz.be%2Fimisdoks%2Fpublication%2F127584.pdf&usg=AOvVaw2RoLJ6JtykkK5ALJsTg41c>
- Winter, H., Mulder, I., Griffioen, A., Rijssel, v. J., Leeuw, d. J., & Tulp, I. (2020). *Herstel van vismigratie in het Haringvliet*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/525964>
- Universiteit Wageningen. (2020). *Opening the Haringvliet, a stream of possibilities*. Wageningen: Wageningen universiteit.
- Deltares. (2012). *Sedimentstrategie*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/255344>
- Grontmij. (2016). *Ontwerpnota vismigratierivier*. Opgehaald van https://www.planviewer.nl/imro/files/NL.IMRO.9921.Vismigratierivier-VA01/b_NL.IMRO.9921.Vismigratierivier-VA01_tb5.pdf
- Rijkswaterstaat. (2021). Opgehaald van <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/deltawerken/haringvlietssluisen/index.aspx>
- Boiten, W., Dommerholt, A., & Wit, W. d. (2005). *Uniform ontwerp van de aangepaste De Wit vispassage*. Opgehaald van Wageningen University and Research: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/355344>
- Programma Waddenzee. (2013, januari 10). *Vismigratierivier Afsluitdijk*. Opgehaald van Planviewer: https://www.planviewer.nl/imro/files/NL.IMRO.9921.Vismigratierivier-VA01/b_NL.IMRO.9921.Vismigratierivier-VA01_tb4.pdf

- Waterschap Rijn en IJssel. (2016, maart 17). *Vispassages*. Opgehaald van Waterschap Rijn en IJssel: <https://www.wrij.nl/thema/kennis-informatie/waterthema%27-0/natuur-0/vismigratie/vismigratie/vispassages/>
- Waddenvereniging. (sd). *Vismigratierivier Afsluitdijk*. Opgehaald van de Waddenvereniging: https://www.waddenvereniging.nl/onswerk/vismigratie/afsluitdijk?gclid=Cj0KCQjwi7yCBhDJARIsAMWFScNgYRjZlwbcxJ1Fw9020yZwHJfzgAlgK4gP3UO49ZOR_yQMjyWptsArsXEALw_wcB
- Mulder, R. (2017, mei). *Vakblad Natuur Bos Landschap*. Opgehaald van www.edepot.wur.nl: <https://edepot.wur.nl/420565>
- Winter, H., Griffioen, A., & Keeken, O. v. (2014, maart 11). *De Vismigratierivier: Bronnenonderzoek naar gedrag van vis rond zoet - zout overgangen*. Opgehaald van Wageningen University & Research: <https://www.wur.nl/nl/Publicatie-details.htm?publicationId=publication-way-343533303735>
- Evides. (2017, juni 20). *Haringvliet blijft bron voor drinkwater*. Opgehaald van Evides Drinkwaterbedrijf: <https://www.evides.nl/over-evides/nieuws/2017/haringvliet-blijft-bron-voor-drinkwater>
- Rijksoverheid. (2017, februari 2021). *Wet natuurbescherming*. Opgehaald van wetten.overheid.nl: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0037552/2021-02-17>
- Staatsbosbeheer. (2021). *Droomfondsproject Haringvliet*. Opgehaald van Staatsbosbeheer.nl: <https://www.staatsbosbeheer.nl/over-staatsbosbeheer/projecten/haringvliet-droomfonds>
- Waterschap Hollandse Delta. (sd). *Compenserende Maatregelen Kierbesluit*. Opgehaald van Waterschap Hollandse Delta: <https://www.wshd.nl/compenserende-maatregelen-kierbesluit>
- Rijkswaterstaat. (2016). *Beheerplan Natura 2000 Voordelta*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Opgehaald van www.rwsnatura2000.nl: https://www.rwsnatura2000.nl/gebieden/voordelta/vd_documenten/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=593295
- Noord, L. (2017). Opgehaald van <https://www.ltonoord.nl/afdeling/hoeksche-waard/nieuws/2017/02/14/lto-wijst-gemeente-op-afspraken-kierbesluit?overview=aHR0cHM6Ly93d3cubHRvbm9vcMqubmwvem9la3Jlc3VsdGF0ZW4/cT1raWVvYmVzbHVpdA==>
- Port of Rotterdam. (sd). *Een open haven in een natuurlijke delta*. Opgehaald van Port of Rotterdam: <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/open-haven-in-natuurlijke-delta.pdf>
- Nederland, S. (2019). Opgehaald van <https://www.sportvisserijnederland.nl/actueel/nieuws/20661/haringvlietsluizen-voor-het-eerst-op-een-kier-video.html>
- waterschap Hollandse Delta. (2020, december 18). *Haringvlietsluizen voor 1000ste keer open*. Opgehaald van waterschap Hollandse Delta: <https://www.wshd.nl/haringvlietsluizen-voor-1000ste-keer-open>
- RAVON. (2017). *Passend Monitoren*. Visionair. Opgeroepen op maart 9, 2021, van <https://edepot.wur.nl/446040>

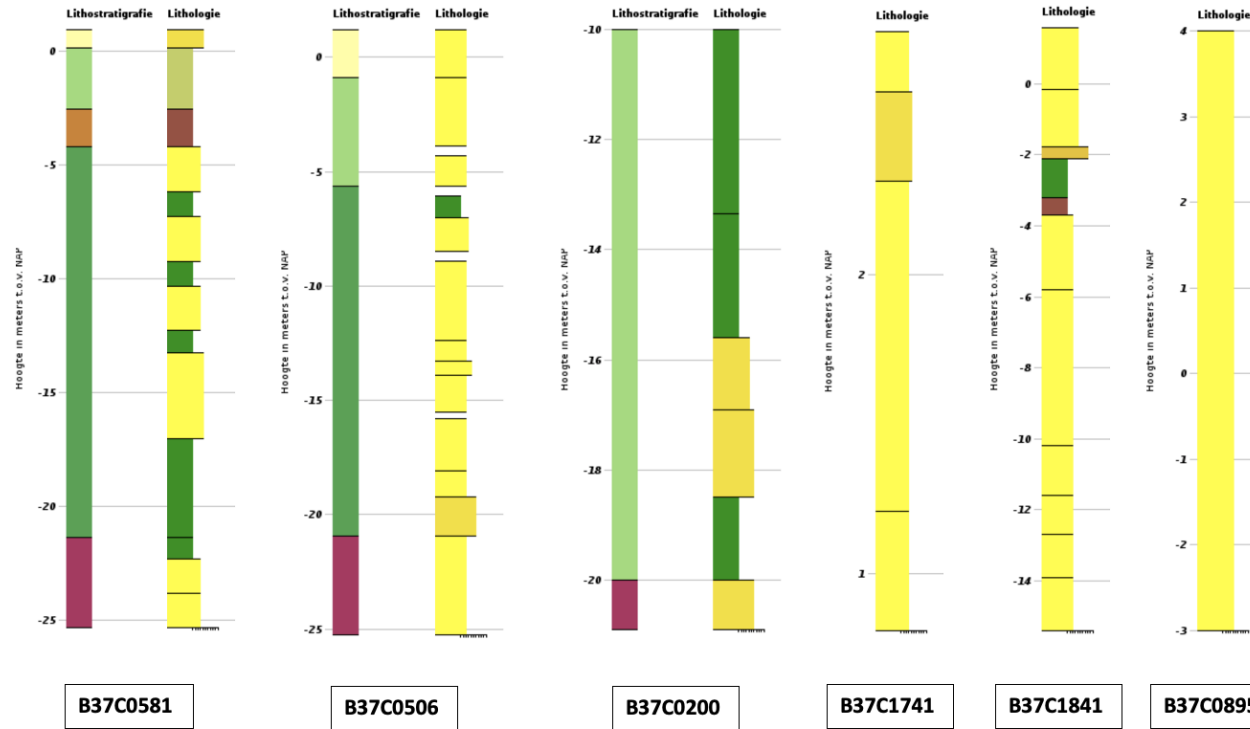
Rijkswaterstaat. (2011, mei). *Vismigratie in de Rijn-Maasdelta*. Opgehaald van www.edepot.wur.nl:
<https://edepot.wur.nl/172548>

Rijkswaterstaat. (2018). *Haringvliet: Haringvlietsluizen op een kier*. Opgehaald van
www.rijkswaterstaat.nl:
<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/haringvliet-haringvlietsluizen-op-een-kier/index.aspx>

Elliott, M. (2008). *Fishes in Estuaries*.

Bijlagen

Bijlage 1 Bodemprofielen



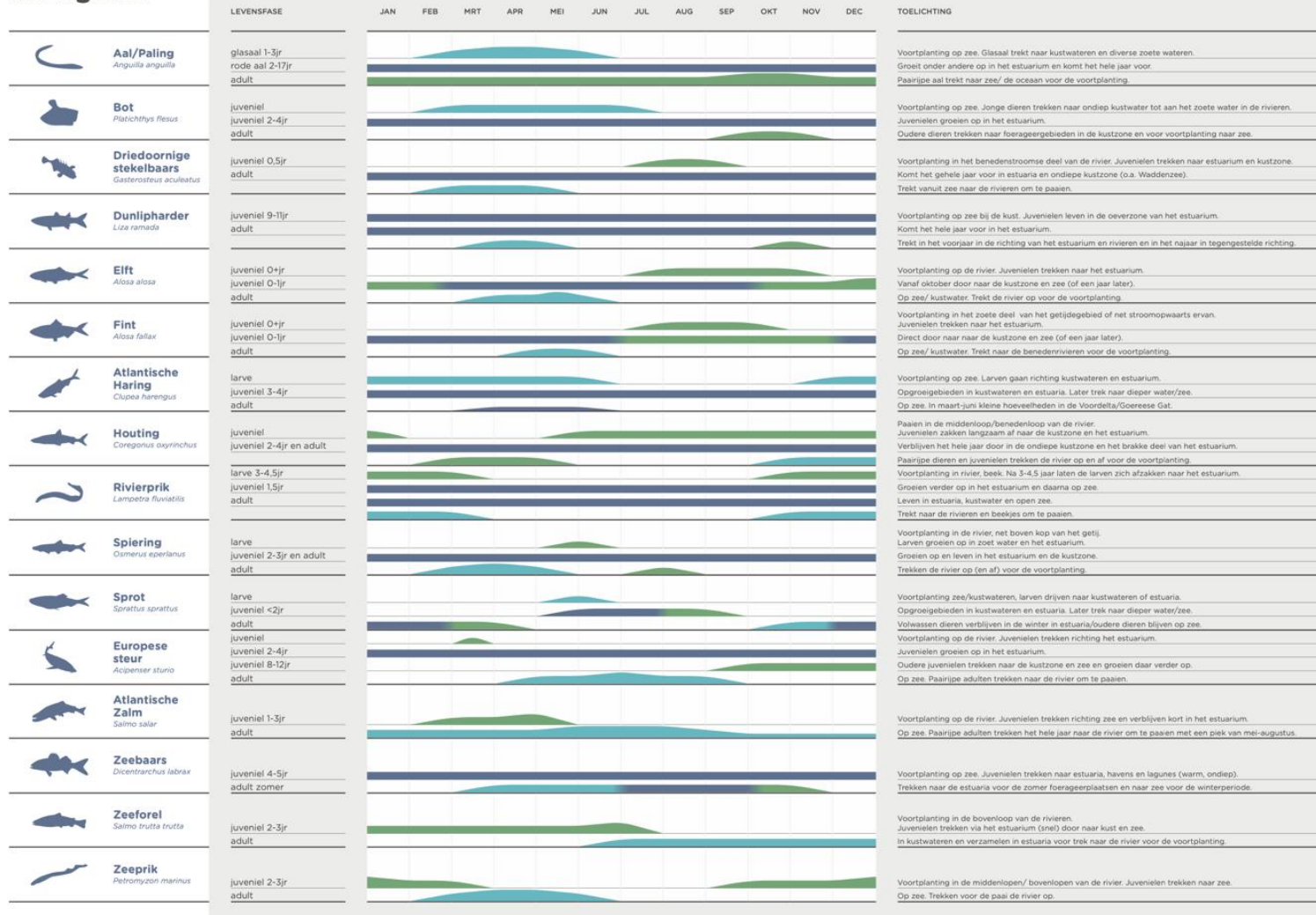
Lithostratigrafie

- NASC
- NAWA
- NIHO
- NAWO
- KR

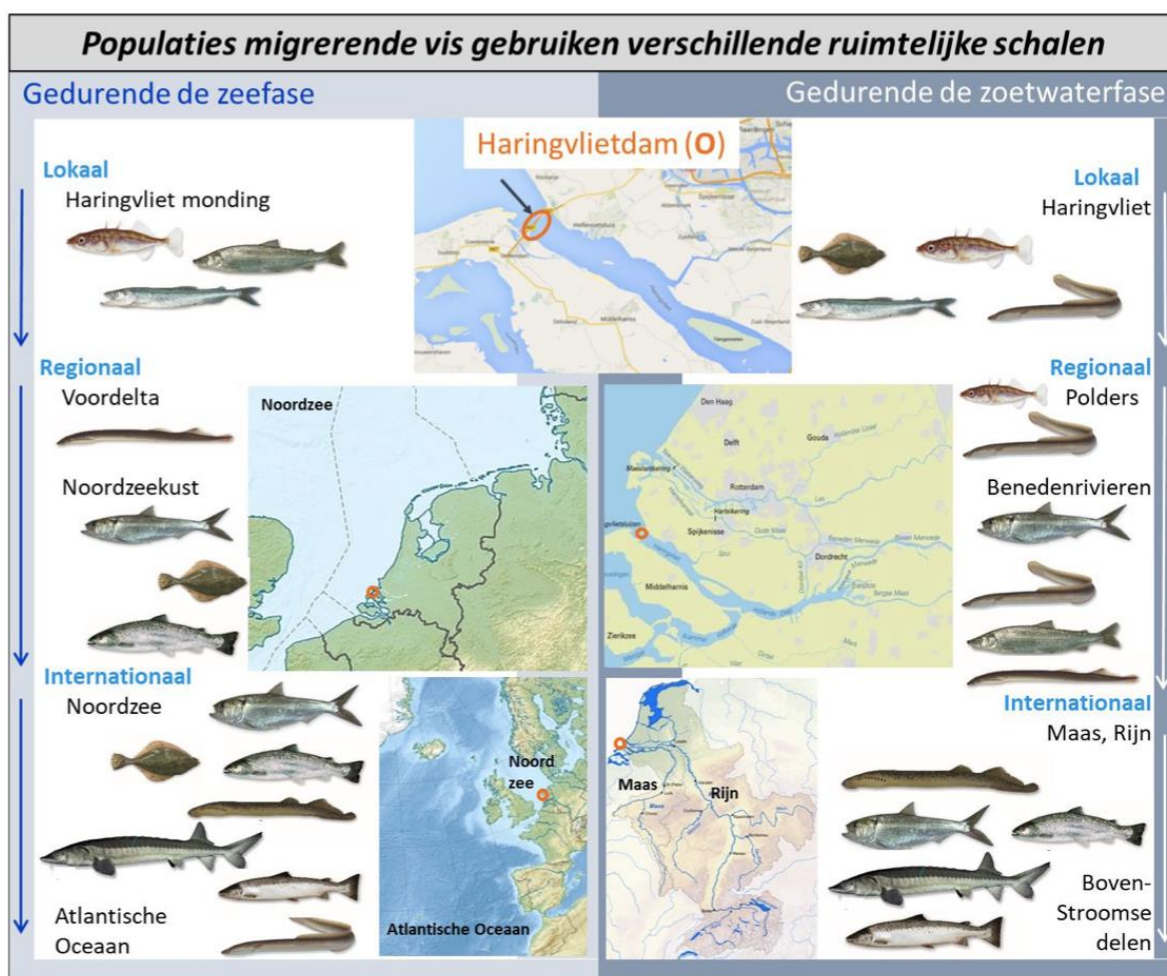
- Klei
- Zand fijne categorie
- Zand midden categorie
- Veen

Bijlage 2 Vismigratiekalender

Vismigratiekalender Haringvliet



Bijlage 3 Ruimtelijke schalen migratie



Bijlage 4 Vissoorten en lengte

<i>Doelsoorten</i>	<i>Gemiddelde grootte volwassen vissen (cm)</i>
<i>Aal/paling</i>	50
<i>Bot</i>	30
<i>Driedoornige stekelbaars</i>	10
<i>Dunlipharder</i>	50
<i>Elft</i>	40
<i>Fint</i>	40
<i>Atlantische haring</i>	45
<i>Houting</i>	40
<i>Rivierprik</i>	40
<i>Spiering</i>	25
<i>Sprot</i>	10
<i>Europese steur</i>	150
<i>Atlantische zalm</i>	100
<i>Zeebaars</i>	40
<i>Zeeforel</i>	50
<i>Zeeprik</i>	100

Bijlage 5 Schema type migrant

Dia = Dia droom

MJ = Marien Juveniel

MS = Marien seizoen gast

Criterium	Aal (glasaal)	Bot (larve)	3d steikelbaars	Spieling	Eft	Fint	Houting	Europese steur	Atlantische zalm	(Zee)Forel	Rivierprik	Zeeprik	Atlantische haring	Sprot	Diklipharder	Zeebaars
Gilde	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	MJ	MS	MS	MS
Stadium uittrek	ad	alle	alle	alle	alle	alle	alle	alle	juv	alle	juv	juv	juv	alle	alle	alle
Stadium intrek	juv	larf	ad	ad	ad	ad	alle	ad	ad	ad	ad	ad	juv	juv	alle	alle
Periode intrek (maand nrs)	2-6	2-6	2-5	2-5	3-6	4-6	10-12	4-9	1-12	6-12	10-3	2-6	11-6	5-6	3-5	3-6
Zwemcap. intrek	-	-	-	-	++	++	+/-	++	++	++	-	+	-	-	+/-	+/-
Talrijkheid gedurende intrek	++	++	+	+	--	-	+	--	+/-	+/-	+	-	++	++	+	+
Vangbaarheid in lopende monitoring	+	--	+	+	--	-	+	--	+	+	-	+/-	-	-	+	+
Belang voor Natuurbeleid: EU-richtlijnen, N2000, rode lijst	++	-	-	-	++	++	++	++	++	+/-	++	++	-	-	-	-
Gerichte studies in Nederlandse en Belgische zoet-zout overgangen	++	-	+	-	-	+	-	--	--	+/-	+/-	--	+	-	-	+
Kennisstatus (lokaal via projecten)	+	+/-	-	+	--	-	+	+/-	++	++	+/-	+/-	+/-	+/-	-	-
Kennisstatus (internationaal)	++	+	++	+/-	+	+	++	+/-	++	++	+/-	+/-	++	+/-	-	++
Kwetsbaarheid bij vangst intrek ++ = sterk; -- = zeer kwetsbaar	++	--	++	-	-	-	+	++	+	+	++	++	-	-	++	++
Geschikt voor merk-terugvangst exp. (gr=groepsmerk; ind=individueel merk)	gr	--	gr.ind	--	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	--	--	ind	ind
Geschikt voor zenderstudies	-	-	-	-	-	+	++	++	++	++	+/-	++	-	-	++	++
Belang connectiviteit HV voor populatie?	+/-	+/-	++*	++*	+	+	+	+	+	+/-	+	+	-	-	-	-
Afhankelijk van estuarium als leefgebied?	-	++	+	+	++	++	+	+	--	+/-	-	--	+/-	-	-	-

Bijlage 6 Multicriteria-analyse

Beoordelingsaspecten				Variant 1		Variant 2		Variant 3		Variant 4	
Nummer	Beschrijving	Opmerkin	Weging	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score
1	Ecologie – Geschiktheid voor doelsoorten		2,0	Geschikt voor zowel passieve- als actieve zwemmers	3	Geschikt voor zowel passieve- als actieve zwemmers	3	Geschikt voor zowel passieve als actieve zwemmers	3	Geschikt voor zowel passieve- als actieve	3
2	Kunstwerk – Bedieningsgemak/ implementeerbaarheid		1,5	Erg goed implementeerbaar door zowel smalste gedeelte van het grondlichaam als de mogelijkheid om gebruik van de Haringvlietsluizen (noordelijkste schuif) te maken. Het kunstwerk kan in het doorlaatmiddel	3	Redelijk implementeerbaar, het doorlaatmiddel wordt gerealiseerd door het breedste gedeelte van het grondlichaam. Het kunstwerk kan in het doorlaatmiddel komen of aan het begin van de rivier. Hier	2	Redelijk implementeerbaar, het doorlaatmiddel wordt gerealiseerd door het smalste gedeelte van het grondlichaam. Het kunstwerk kan in het doorlaatmiddel komen of aan het begin van de rivier. Hier	2	Redelijk implementeerbaar, het doorlaatmiddel wordt gerealiseerd door het breedste gedeelte van het grondlichaam. Het kunstwerk kan in het doorlaatmiddel komen of aan het begin van de rivier.	2
3	Ruimtelijke gebiedsindeling		1,0	De vismigratierivier bevindt zich in een gebied wat in de huidige situatie uit water bestaat. In hoeverre de rivier aan het badstrand van Rockanje grenst is nog niet bekend.	2	De vismigratierivier stroomt over de gehele lengte langs de kant van zowel het Haringvliet als de Voordelta. Dit resulteert in het innemen van ruimte van het badstrand met de daarbij behorende functies (aan beide kanten van de	1	De rivier stroomt zowel langs het Haringvliet als langs de Voordelta, voor een deel grensend aan de Haringvlietkering en aan het badstrand.	1	De rivier stroomt over de gehele lengte op land. Dit resulteert in het innemen van ruimte met de daarbij behorende functies (aan beide kanten van de Haringvlietsluizen).	1

Beoordelingsaspecten				Variant 1		Variant 2		Variant 3		Variant 4	
Nummer	Beschrijving	Opmerkin	Weging	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score
4	Maatschappelijke gebruiksfuncties		1,0	De vismigratierivier kan een maatschappelijke gebruiksfunctie krijgen dat bijdraagt aan de bewustwording van vismigratie (bij zowel toeristen als omwonenden) en waardoor een educatieve en recreatieve omgeving gestimuleerd	2	De vismigratierivier kan een maatschappelijke gebruiksfunctie krijgen dat bijdraagt aan de bewustwording van vismigratie (bij zowel toeristen als omwonenden) en waardoor een educatieve en recreatieve omgeving	2	De vismigratierivier kan een maatschappelijke gebruiksfunctie krijgen dat bijdraagt aan de bewustwording van vismigratie (bij zowel toeristen als omwonenden) en waardoor een educatieve en recreatieve omgeving	2	De vismigratierivier kan een maatschappelijke gebruiksfunctie krijgen dat bijdraagt aan de bewustwording van vismigratie (bij zowel toeristen als omwonenden) en waardoor een educatieve en	2
5	Bereikbaarheid Kunstwerk		1,0	Het kunstwerk komt in het grondlichaam of in een bestaande opening van de Haringvlietsluizen (optioneel) te liggen. Hierdoor is het kunstwerk gemakkelijk bereikbaar.	3	Het kunstwerk komt aan het begin van de vismigratierivier te liggen, dat zich aan de kant van het Haringvliet bevindt. Het kunstwerk is hierdoor iets lastiger bereikbaar.	2	Het kunstwerk komt aan het begin van de vismigratierivier te liggen, dat zich aan de kant van het Haringvliet bevindt. Het kunstwerk is hierdoor iets lastiger bereikbaar.	2	Het kunstwerk komt aan het begin van de vismigratierivier te liggen, dat zich aan de kant van het Haringvliet bevindt. Door de centrale ligging op land, is het kunstwerk	3

Beoordelingsaspecten				Variant 1		Variant 2		Variant 3		Variant 4	
Nummer	Beschrijving	Opmerkin	Weging	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score	Opmerkingen	Score
7	Aanleg - Faseringsplan		1,0	Doorlaatmiddel en kunstwerk goed te combineren in de aanleg. Kan aangelegd worden vanaf het grondlichaam	3	Doorlaatmiddel en kunstwerk niet goed te combineren, dit moet afzonderlijk aangelegd worden.	2	Doorlaatmiddel en kunstwerk goed te combineren in de aanleg. Kan aangelegd worden vanaf het grondlichaam	3	Doorlaatmiddel en kunstwerk niet goed te combineren, dit moet afzonderlijk aangelegd worden	2
8	Aanleg - Waterveiligheid		1,0	Voor de waterveiligheid geldt dat het grondlichaam op dit moment een primaire waterkering is. Voor de aanleg moet deze functie permanent (Delta21) of tijdelijk overgenomen	2	Voor de waterveiligheid geldt dat het grondlichaam op dit moment een primaire waterkering is. Voor de aanleg moet deze functie permanent (Delta21) of tijdelijk overgenomen	2	Voor de waterveiligheid geldt dat het grondlichaam op dit moment een primaire waterkering is. Voor de aanleg moet deze functie permanent (Delta21) of tijdelijk overgenomen	2	Voor de waterveiligheid geldt dat het grondlichaam op dit moment een primaire waterkering is. Voor de aanleg moet deze functie permanent (Delta21) of tijdelijk overgenomen	2
Totale score (incl. weging)				24,5		20		21		22	

Beoordeling	1	Minder
	2	Neutraal
	3	Beter