



Monitoring getijdenturbines Oosterscheldekering Jaarrapportage 2018

Redactie: Mardik Leopold & Michaela Scholl

Wageningen University &
Research rapport 010/19

Monitoring getijdenturbines Oosterscheldekering

Jaarrapportage 2018



Redactie: Mardik Leopold & Michaela Scholl

Publicatiedatum: 11 maart 2019

Dit project is mede mogelijk gemaakt door een bijdrage uit het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling in het kader van OP-Zuid en het ministerie van Economische Zaken.

Wageningen Marine Research Den Helder, maart 2019

Wageningen Marine Research rapport C010/19



Universiteit Utrecht



Keywords: getijdenturbines, getijdenenergie, Oosterscheldekering, getijamplitude, zeezoogdieren

Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door een bijdrage uit het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling in het kader van OP-Zuid, cofinanciering van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit/Ministerie van Economische Zaken in het kader van Beleidsondersteunend Onderzoek, de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu en het KB-programma (24) – System Earth Management, alsmede door aan te sluiten bij onafhankelijk uitgevoerd promotieonderzoek van de TU Delft dat wordt (mede)gefinancierd door NWO (The New Delta project 869.15.008).

Opdrachtgever: Tocardo Solutions BV
Sluiskolkade 2
1779 GP Den Oever

Project Management uitgevoerd door:
Dutch Marine Energy Centre
Ir. P.C. Scheijgrond
Wegastraat 29, 2516 AN Den Haag

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/470409>

Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research Wageningen UR is ISO 9001:2008 gecertificeerd.

Foto omslag: Tocardo

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigt door Dr. M.C.Th.
Scholten, Algemeen directeur

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

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor
gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de
resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen
Marine Research opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van
aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of
gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden
zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	9
2 Deelstudies	11
2.1 Effecten op de stroming	11
2.1.1 Inleiding	11
2.1.2 Materiaal en methode	11
2.1.3 Resultaten	12
2.1.4 Conclusies	14
2.1.5 Doorkijk	14
2.1.6 Referenties	14
2.2 Verandering van stroombeeld	15
2.2.1 Inleiding	15
2.2.2 Materiaal en methode	15
2.2.3 Resultaten	15
2.2.4 Discussie en conclusies	17
2.2.5 Doorkijk	17
2.2.6 Referenties	18
2.3 Vermindering getijdeamplitude	19
2.3.1 Trendanalyse waterstandsverschillen aan weerszijde van de kering	19
2.3.2 Morfodynamische effecten van getijenergie in de Oosterschelde	21
2.4 Trendanalyse zeehonden	25
2.4.1 Inleiding	25
2.4.2 Materiaal en methode	26
2.4.3 Resultaten	26
2.4.4 Discussie en conclusie	28
2.4.5 Referenties	29
2.5 Trendanalyse bruinvis	31
2.5.1 Inleiding	31
2.5.2 Materiaal en methode	31
2.5.3 Resultaten	32
2.5.4 Discussie en conclusie	33
2.5.5 Referenties	35
2.6 Doodsoorzaak en dieet van gewonde /dode zeezoogdieren	37
2.6.1 Inleiding	37
2.6.2 Methoden	38
2.6.3 Resultaten	39
2.6.4 Discussie en conclusie	49
2.6.5 Referenties	50
2.7 Synthese	53
3 Kwaliteitsborging	55
Verantwoording	57

Bijlage: Position Paper: Effects of the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier and tidal energy turbines on harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) and harbor seal (*Phoca vitulina*) movements

Samenvatting

In 2015 heeft Tocado met een consortium van bedrijven in een van de zuidelijke doorstroomopeningen van de Oosterschelde-stormvloedkering (Roompot 8) een getijdencentrale gerealiseerd, die in december van dat jaar in gebruik is genomen. Het project Oosterschelde Tidal Power (OTP) waarvan hier verslag wordt gedaan, kent meerdere doelstellingen: de doorontwikkeling van de toegepaste technologie en het bereiken van een aanzienlijke kostenreductie. Een belangrijk onderdeel van het project is het monitoren van mogelijke omgevingseffecten op door de vergunningverlener relevant geachte natuurwaarden in de Oosterschelde en de aangrenzende Voordelta (zie Besluit vergunning Nb-wet 1998 van 16 december 2010; ref. DRZZ/2010-403). Het monitoringproject is zo opgezet dat daarmee niet alleen invulling wordt gegeven aan de vereisten vanuit de vergunning ex. de Wet natuurbescherming maar ook aan een breed vorm gegeven stakeholderproces. De aspecten die vanuit de vergunning moeten worden gemonitord zijn: effecten op de stroming en verandering in stroombeeld, vermindering getijdeamplitude en invloed op zandhonger (gevolg: afname intergetijdenareaal), aantalsontwikkeling van zeehonden en bruinvissen in het gebied, en mogelijkerwijs optredende directe effecten op individuele dieren zoals aanvaringen met turbines. In 2017 is additioneel een analyse van zeehonden-trackdata uitgevoerd, en in 2018 door Seamarco een *academic position paper* opgesteld, dat als Engelstalige bijlage aan deze rapportage is toegevoegd.

Met de voorliggende tweede jaarrapportage eindigt de rapportageverplichting in het kader van het OTP-subsidieproject.

Stroombeeld

Met behulp van snelheidsmetingen en numerieke stromingsberekeningen is een voldoende betrouwbare schatting gemaakt van de verandering van de afvoer van doorstroomopening Roompot 8 door de turbines. Gedetailleerde driedimensionale numerieke stromingsberekeningen met een zogenaamd *Computational Fluid Dynamics* (CFD)-model vormen hiervoor de basis. Dit model is vooraf gevalideerd met de stroomsnelheidsmetingen van vóór de plaatsing van getijdenturbines (2011) en erna (2016/2017). Het bleek dat de hoeveelheid water die bij vloed door de doorstroomopening Roompot 8 stroomt nauwelijks verandert door de aanwezigheid van de getijdencentrale. Bij eb is er wel een reductie waargenomen, maar die bleef beperkt tot ongeveer 5%. Het bleek ontoereikend om alleen de stroomsnelheidsmetingen te gebruiken om het effect van de turbines op de afvoer nauwkeurig te schatten, omdat er dan een vertaling moet worden gemaakt van de stroomsnelheid in de turbinehoogte naar de snelheid over de gehele waterdiepte. Door de afvoerinformatie in te voeren in een grover model voor de diepte-gemiddelde stroming dat de hele Oosterschelde bestrijkt, werd het effect van de getijdencentrales in Roompot 8 en 10 op de stroming door de Roompot-geul bepaald. De effecten van de getijdencentrales op het grootschalige stroombeeld waren relatief klein. Overigens zijn hierbij voor de geplande getijdencentrale in Roompot 10 uit voorzorg conservatieve waarden gebruikt voor de verandering van de doorstroming, omdat het ontwerp van deze centrale nog niet vaststaat. Het CFD-model kon tevens inzicht verschaffen in de manier waarop de turbines het lokale driedimensionale stroombeeld beïnvloeden. Dit is relevante informatie voor de belasting op de bodembescherming aan weerszijden van de kering. De effecten op de stroming en de turbulentiegraad bij de bodembescherming bleken gering voor de onderzochte vervallen (waterstandsverschillen tussen -32 en +55 cm) over de kering. De extrapolatie naar effecten voor de veel grotere vervallen van 90 cm vereist extra onderzoek. Om te kunnen bevestigen dat er ook voor vervallen tot 90 cm geen enkel risico voor de kering bestaat, is nog nader onderzoek nodig.

Er wordt ook een generieke computertool opgezet die kan berekenen hoe de stroming nabij en verder weg van turbines, zoals die in de Oosterscheldekering, verandert. Hiervoor worden de snelheidsmetingen van de Oosterschelde met theoretische modellen en laboratoriumexperimenten gecombineerd. De metingen laten zien dat de bijdrage van de vijf turbines in Roompot 8 aan de totale

weerstand van de Oosterscheldekering bij de bemeten waterstandsverschillen tussen -50 cm en +80 cm beperkt is. Dit komt mogelijk doordat stromingsenergie, die zonder turbines verloren zou gaan in de wervelvorming achter de kering, deels beschikbaar komt voor het opwekken van elektriciteit met de turbines. Er zijn daarnaast geen grootschalige fluctuaties met hoge snelheden aangetroffen onder de bemeten waterstandsverschillen. Dit maakt het onwaarschijnlijk dat de bodembescherming in geding komt bij de huidige energieopwekking. Komend jaar wordt er verder gewerkt aan de computer-tool, waarmee kan worden onderzocht hoe men veilig meer turbines kan plaatsen op een locatie zoals de Oosterschelde. De verwachting is dat de plaatsing van meer turbines niet problematisch is bij een goede spreiding van de turbines over de kering en wanneer daarbij gelet wordt op een beperkte toename van de stroomsnelheid in naburige openingen.

Getijde-amplitude

Het effect van de getijdencentrale op de getijde-amplitude in de Oosterschelde is naar verwachting te gering om het in de waterstandsmetingen te kunnen aantonen. De lopende monitoring bestaat uit het vergelijken van de langdurige trends in waterstandsvariatie met één jaar aan waterstandsdata waarin de getijdenturbines operationeel zijn. Van een tweede jaar waren er nog niet voldoende gevalideerde metingen beschikbaar. Data van de stations Roompot-binnen en Roompot-buiten zijn onderling vergeleken en met langjarige waterstandsanalyses voor Rijkswaterstaat. De resultaten laten zien dat de meetperiode na installatie van de getijdencentrale te klein is om te onderscheiden of de getijde-amplitude ten gevolge van de getijdencentrale significant afwijkt van toevallige variaties in combinatie met de langjarige variatie van 18,6 jaar.

Verder lijken de beide vergunde projecten (turbines in Roompot 8 en het nog niet gerealiseerde Roompot 10) op basis van modelberekeningen geen significante effecten te hebben op de door 'zandhonger' veroorzaakte dynamiek van erosie en sedimentatie.

Trendanalyses zeezoogdieren

Aan de hand van teldata, die door Delta Projectmanagement en anderen in het onderzoekgebied werden/worden verzameld, zijn voor de beide soorten zeehonden trendanalyses uitgevoerd voor de periode 1995 tot en met juni 2017. Deze laten een relatief sterke groei in de aantallen in het afgelopen decennium zien. Data van de maanden na de plaatsing van de getijdenturbines laten geen opvallende, niet-verklaarbare afwijkingen van de trendlijnen zien. Echter, gezien het geringe aantal datapunten van na de plaatsing van de turbines had een dergelijk effect ook erg sterk moeten zijn om op te vallen.

Voor de aantalsontwikkeling van de bruinvis is gebruik gemaakt van teldata van levende en dode dieren. Voor de periode 2009-2017, waarin de bruinvissen in de Oosterschelde jaarlijks worden geteld, vertoont het aantal levend getelde dieren als het aantal dood gevonden dieren in de Oosterschelde geen significante trend; de toestand lijkt stabiel. Ook hier geldt dat, gezien het geringe aantal datapunten van na de plaatsing van de turbines, een dergelijk effect erg sterk had moeten zijn om op te vallen.

Postmortaal (dieet)onderzoek zeezoogdieren

Het postmortaal onderzoek aan dood gevonden zeehonden en bruinvissen laat zien dat het aantal dieren dat met stomp trauma is gediagnosticeerd (twee bruinvissen) zeer klein is. De aantallen bruinvissen, gewone en grijze zeehonden zijn de laatste decennia in de Oosterschelde sterk toegenomen. Er is geen trendbreuk geconstateerd in deze (autonome) ontwikkeling nadat de turbines in de Oosterschelde zijn geplaatst. Ook hier geldt weer: gezien het geringe aantal datapunten van na de plaatsing van de turbines, had een dergelijk effect zeer sterk moeten zijn om op te vallen in de trendanalyses.

Wel lijkt de sterfte van bruinvissen in de Oosterschelde hoog. De aantallen dood gevonden dieren in het gebied beslaan ieder jaar een substantieel deel van het aantal getelde levende dieren in het gebied. Dit maakt het aannemelijk dat er netto gezien jaarlijks dieren door de kering naar binnen zwemmen.

Tot de monitoring behoort ook onderzoek naar het dieet van grijze zeehonden en bruinvissen om de betekenis van voedsel als drijvende factor, bijvoorbeeld voor het binnentrekken van en verblijven in de Oosterschelde, beter te begrijpen. De voedselsituatie van de grijze zeehond in de Voordelta lijkt gunstig ook bij een groeiende populatie. Voor bruinvissen geldt dat ondanks de relatief lage visstand in de Oosterschelde er geen bewijs gevonden is van massale verhongering onder de gestrande bruinvissen binnen de Oosterschelde. Het lijkt erop dat de bruinvissen zich door aanpassing aan het lokale voedselaanbod in de Oosterschelde in leven kunnen houden. Het dieetonderzoek laat subtiele verschillen zien in de voedselkeuzen van dieren in de Oosterschelde en dieren net buiten de Oosterschelde, en nog wat verder naar buiten: in de Voordelta. Het werk aan dieet leverde aanwijzingen op dat dieren die in de Oosterschelde sterven, soms door de kering naar buiten spoelen om vervolgens buiten de Oosterschelde aan te spoelen. De totale jaarlijkse sterfte van bruinvissen in de Oosterschelde is daardoor wellicht nog hoger dan dat kon worden vastgesteld aan de hand van de aantallen dood gevonden dieren in de Oosterschelde zelf. Voor de twee soorten zeehonden kon nog slechts worden vastgesteld dat het dieet in de Oosterschelde zeer divers is, met een nadruk op platvis en andere soorten vissen die nabij de zeebodem leven. Een dergelijk dieet maakt de zeehonden kwetsbaar voor verdrinking in vistuigen die op de bodem staan opgesteld: verdrinking, maar ook predatie door grijze zeehonden bleken voor alle drie de onderzochte soorten zeezoogdieren in de Oosterschelde belangrijke doodsoorzaken.

Op basis van de bevindingen van onderzoeksbureau Seamarco mag worden aangenomen dat de kans van het kleine aantal bruinvissen, dat zich niet door de kering laat weerhouden de Oosterschelde binnen te zwemmen, om met de getijdenturbines in aanraking te komen nagenoeg nihil is. In principe is het mogelijk om de turbines tijdens kentering uit het water te liften om zo de kans te vergroten dat bruinvissen de kering passeren. Zij zullen de doorgangen in de kering dan immers als minder smal ervaren.

1 Inleiding¹

In 2015 heeft Tocado met een consortium van bedrijven in de Oosterschelde-stormvloedkering een getijdencentrale gerealiseerd, bestaande uit een rij van vijf turbines, die door de sterke en voorspelbare stroming energie opwekken voor ca. duizend huishoudens in de regio². De getijdenturbines zijn in september 2015 in een van de zuidelijke doorgangen van de Oosterscheldekering (doorstroomopening Roompot 8) geplaatst en eind november 2015 in werking gesteld. De ambitie van Tocado is om tot grootschalige toepassing te komen door de technologie door te ontwikkelen en daarmee ook een aanzienlijke kostenreductie te bereiken. Beide doelstellingen liggen ten grondslag aan het project Oosterschelde Tidal Power (OTP), dat subsidie ontvangt van het Operationeel Programma Zuid-Nederland 2014-2020 (OPZuid). Dit Europese subsidieprogramma, bedoeld voor de provincies Zeeland, Limburg en Noord-Brabant, richt zich op innovatiebevordering en de overgang naar een koolstofarme economie.

Voor de installatie van de getijdencentrale is al in december 2010 door het ministerie van Economische Zaken (EZ) een vergunning ex. Nb-wet (nu: Wet Natuurbescherming) afgegeven³, met daarin opgenomen de verplichting tot het monitoren van mogelijke omgevingseffecten. Deze monitoring is onderdeel van het OTP-project. Een programma van onderzoek moet uitsluitsel geven of er wel of geen significante effecten op natuurwaarden optreden/te verwachten zijn. Specifiek gaat het daarbij om het optreden van zandhonger ten gevolge van veranderde getijslag als gevolg van de plaatsing en het gebruik van de getijdenturbines in de Oosterscheldekering, en effecten op zeezoogdieren. N.B. De monitoring zoals die binnen het OTP-project is vormgegeven, is voor wat betreft de biotische waarden breder opgezet dan op basis van de vergunningvoorschriften is vereist. Naast de lokaal aanwezige zeehonden (populaties) wordt ook onderzoek gedaan aan de bruinvis in het gebied.

Het doel van de voorliggende rapportage is tweeledig. In de eerste plaats wordt hiermee uitvoering gegeven aan de monitoringverplichting van Tocado, opgelegd in het kader van de natuurwet-vergunning. Tegelijkertijd wordt een samenhangend beeld geschetst van de afzonderlijke deelstudies ten behoeve van de verslaglegging aan de subsidiegever en de stakeholders. Voor de laatste doelgroep zullen ook nog publieksvriendelijke presentaties worden verzorgd.

De verplichte monitoring is ondergebracht in werkpakket 1 (Stroom leveren en onderzoek naar omgevingseffecten) van het werkplan en wordt uitgevoerd door een consortium van kennisinstituten die ieder een kennisvraagstuk voor hun rekening hebben genomen. Conform de Stimulus-subsidiebeschikking gaat het om de sub-werkpakketten 1.2 Verruiming operationele vervallen, 1.3 Onderzoek impact op bodembescherming, 1.5 Onderzoek vermindering getijdeamplitude, invloed op zandhonger, afname intergetijdenareaal, 1.6 Trendanalyse aanwezige zeehonden en bruinvissen in Voordelta en Oosterschelde, en 1.7 Onderzoek naar doodsoorzaak gewonde/dode dieren Voordelta en Oosterschelde. (Over werkpakket 1.4 Monitoring deformatiemeting pijlers en faalkansenanalyse wordt afzonderlijk door de industriële partners gerapporteerd.) Wageningen Marine Research (WMR) heeft een coördinerende rol en is als zodanig verantwoordelijk voor het samenstellen van de rapportage over de ecologische monitoring; dit op basis van eigen werk en de bijdragen van de andere partners.

In de volgende hoofdstukken wordt per deelstudie inzicht gegeven in de actuele stand van zaken van het onderzoek (augustus/september 2018). Daarbij wordt de samenhang geschetst tussen de kennisvragen zoals die vanuit de vergunning spelen, en de onderzoeksopzet cq. de gekozen methode(n). Op basis van de verkregen resultaten worden de (voorlopige) conclusies getrokken.

¹ De inleidende teksten zijn grotendeels ontleend aan de eerste jaarrapportage (Leopold & Scholl 2018; zie paragraaf 2.4.5)

² <http://www.tocado.com/Project/oosterschelde/> [het laatst geraadpleegd augustus 2017]

³ <http://vergunningenbank.overheid.nl/wp-content/uploads/vergunningen/natura2000/6011/10-4035%20getijdenenergie%20Oosterscheldekering.pdf> [het laatst geraadpleegd augustus 2017]; deze vergunning geldt ook voor de geplande uitbreiding in Roompot 10

Omdat de onderzoeken met eigen bijdragen of andere financieringsbronnen van de kennisinstituten worden uitgevoerd, zijn ze binnen verschillende structuren opgezet. De onderdelen van TU Delft zijn ondergebracht bij promotieonderzoek en voor de studies van Deltares, WMR en UU is onder andere aangesloten bij langlopend monitoringsonderzoek voor de overheid. Het postmortaal onderzoek van UU aan bruinvissen is sinds 2016 geborgd in de Wettelijke Onderzoekstaak (WOt) 'Monitor bruinvis'. Door deze constructies komen veelal zelfstandige rapportages tot stand, zoals studentenverslagen, publicaties in wetenschappelijke tijdschriften, en in het geval van promotieonderzoek uiteindelijk ook proefschriften. Wanneer een zelfstandige publicatie beschikbaar is, wordt in de voorliggende rapportage volstaan met een verwijzing naar die publicatie en is het betreffende hoofdstuk een beknopte samenvatting daarvan. In de andere gevallen wordt in deze rapportage wel uitgebreid verantwoord welke onderzoeksactiviteiten uitgevoerd zijn en tot welke resultaten en inzichten ze hebben geleid.

2 Deelstudies

In dit hoofdstuk worden de diverse deelonderzoeken in volgorde van de werkpakketten waar deze onder vallen, gepresenteerd⁴.

2.1 Effecten op de stroming

Onderdeel van Werkpakket 1.2: Verruiming operationele vervallen; auteurs: W. Verbruggen, A. de Fockert, A.C. Bijlsma, T. O'Mahoney (Deltares)

2.1.1 Inleiding

Vanuit oogpunt van veiligheid heeft Rijkswaterstaat (RWS) voorgeschreven dat de getijden-centrale operationeel mag zijn tot een maximaal verval (waterstandsverschil) van 0,6 m over de kering bij ebstroming en 0,8 m bij vloedstroming. Het is de wens van Tocardo om het operationeel verval bij ebstroming te verhogen om zo meer energie te kunnen opwekken. Daarvoor is het nodig aan te tonen dat de getijdencentrale veilig in bedrijf kan zijn bij alle voorkomende omstandigheden zonder negatieve impact op de (faalkans van) de kering. De oorspronkelijke gedachte was om op grond van de uitkomsten van de monitoring de operationele grenzen geleidelijk aan te passen. Uiteindelijk is met RWS afgesproken een eenmalige verhoging tot een maximaal verval van 90 cm voor zowel eb als vloed te onderzoeken.

2.1.2 Materiaal en methode

De getijtturbines die in opening Roompot 8 van de Oosterscheldekering hangen, zijn uitgerust met akoestische stroommeters. Om het effect van de turbines op de stroming door de stormvloedkering te onderzoeken worden de metingen van deze instrumenten verwerkt en geanalyseerd. Ze worden onder andere vergeleken met stroommetingen die in 2011 (gemeten door Partrac⁵) zijn uitgevoerd voor de situatie zonder turbines (nulmeting) en met nieuwe metingen waarbij de centrale wel in het water is maar bijna geen energie produceert, waardoor de centrale minder weerstand op de stroming uitoefent (de zogenaamde *stall mode*). De focus ligt op de stroming boven de drempel van Roompot 8 om vast te stellen in hoeverre de hoeveelheid water die door deze opening stroomt, wordt beïnvloed door de getijdencentrale. Een alternatieve methode om het effect van de turbines op de doorstroming van de stormvloedkering te onderzoeken maakt gebruik van het gedetailleerde driedimensionale numerieke stromingsmodel (*Computational Fluid Dynamics* (CFD)-model) dat in ander kader⁶ is ontwikkeld. Na validatie van dit model op basis van de stroommetingen kunnen de effecten van de getijtturbines op de lokale waterbeweging door Roompot 8 in hoge mate van detail worden bepaald.

De invloed van de centrale op het stroombeeld in het grotere gebied van de Roompot-geul van de Oosterschelde is inzichtelijk gemaakt door het operationele numerieke stromingsmodel van RWS voor de Oosterschelde en het aangrenzende kust (ScalOost) in de analyse te betrekken.

⁴ Inleidingen en beschrijvingen van gebruikte methoden zijn veelal aan de eerste jaarrapportage ontleend (Leopold & Scholl 2018; zie paragraaf 2.4.5)

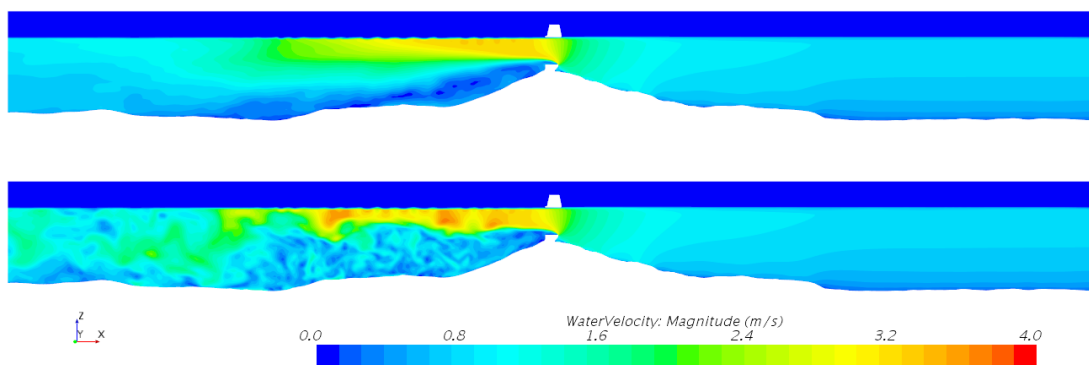
⁵ <http://www.partrac.com>

⁶ DMEC, see <http://dutchmarineenergy-project.com/content/demand-driven-research-development>

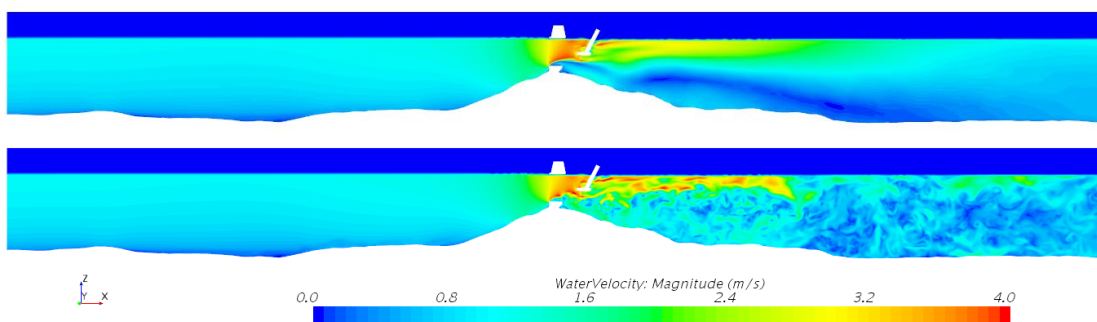
2.1.3 Resultaten

Uit vergelijkende analyses van stroomsnelheidsmetingen van vóór de plaatsing van de getijden-turbines (2011) en erna (2016/2017) bleek dat het effect van de turbines op de hoeveelheid water die door de doorstroomopening Roompot 8, waarin de turbines zijn geplaatst, stroomt onvoldoende nauwkeurig is te schatten (Verbruggen 2018) op basis van deze metingen. Ook de extra metingen uit 2017 met de centrale in 'stall mode' konden dit niet verhelpen. Een alternatieve aanpak voor deze schatting is gebaseerd op gedetailleerde driedimensionale numerieke berekeningen met het (CFD)-model. Dit model is vooraf gevalideerd met de genoemde stroommetingen. Tegen de oorspronkelijke verwachtingen in, bleek dat de hoeveelheid water die bij vloed door de doorstroomopening Roompot 8 stroomt niet verandert door de aanwezigheid van de getijdencentrale. Dit stemt overeen met de stroommetingen boven de drempel bij vloed waarin geen significante effecten werden waargenomen. Bij eb bleek de reductie beperkt tot ongeveer 5%. Figuur 2.1-1 en 2.1-2 laten voorbeelden zien van de berekende stroombeelden zonder en met turbines, respectievelijk (O'Mahoney 2018).

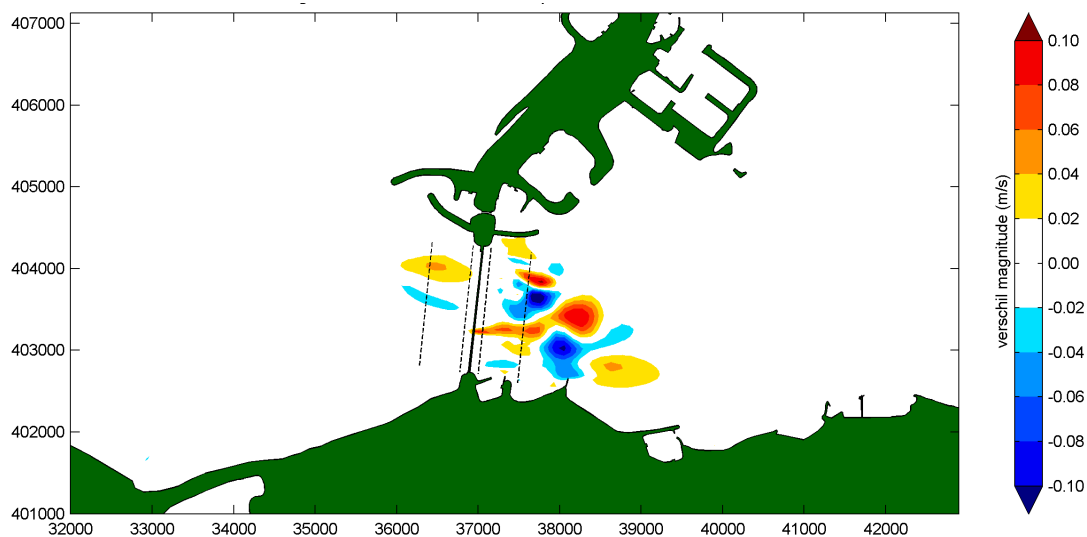
Door deze informatie in te voeren in een grover model voor de diepte-gemiddelde stroming in de gehele Oosterschelde werd een integraal beeld van de stroming door de Roompot verkregen waarmee het effect van getijdencentrales in Roompot 8 en 10 op de stroming beter kan worden bepaald. De effecten van de getijdencentrale op het grootschalige stroombeeld bleken relatief klein te zijn, zie bijvoorbeeld figuur 2.1-3 en 2.1-4. Dit is een belangrijk resultaat omdat het geldt voor vervallen van 90 cm, terwijl voor de geplande getijdencentrale in Roompot 10 uit voorzorg conservatieve waarden gebruikt zijn voor de verandering van de doorstroming (De Fockert en Bijlsma 2018).



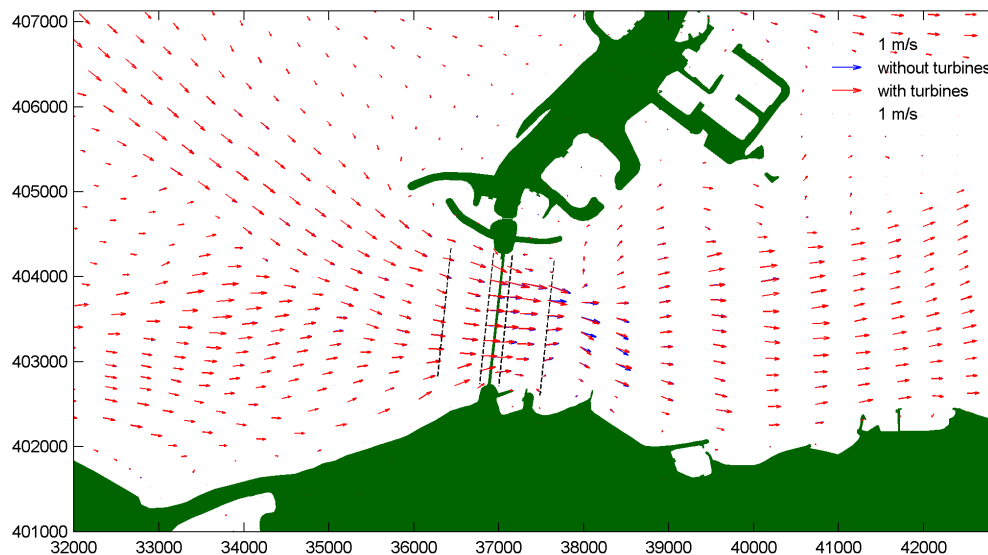
Figuur 2.1-1. *Stroomsnelheden in een verticale langsdoorsnede door Roompot 8 zonder turbines, berekend met het CFD-model voor eb bij een verval van 32 cm. Boven: gemiddeld snelheidsveld, onder: momentaan snelheidsveld. Uit: O'Mahoney (2018).*



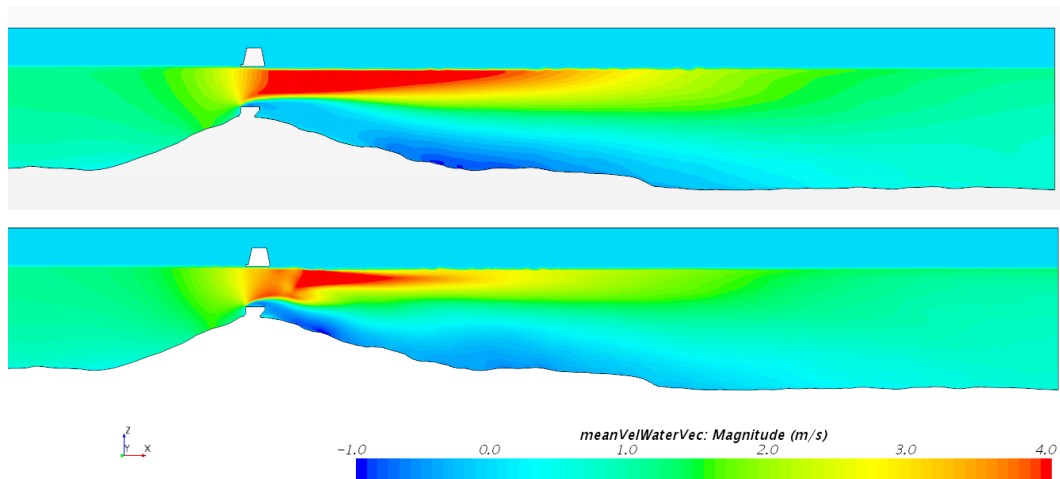
Figuur 2.1-2. *Stroomsnelheden in een verticale langsdoorsnede door Roompot 8 met turbines, berekend met het CFD-model voor vloed bij een verval van 55 cm. Boven: gemiddeld snelheidsveld, onder: momentaan snelheidsveld. Uit: O'Mahoney (2018).*



Figuur 2.1-3. *Vershil in grootte van de stroomsnelheid ten gevolge van getijdencentrales in Roompot 8 en 10 ten opzichte van de situatie zonder getijdencentrales. Stippellijnen geven afstanden van 100 m en 600 m van de kering weer (De Fockert en Bijlsma 2018).*



Figuur 2.1-4. *Stroomrichting bij klein verval tijdens vloed, zonder (blauwe vectoren) en met getijdencentrales in Roompot 8 en 10 (rode vectoren). Stippellijnen geven afstanden van 100 m en 600 m van de kering weer (De Fockert en Bijlsma 2018).*



Figuur 2.1-5. Gemiddelde stroomsnelheid in langsrichting, in een verticale langsdoorsnede door Roompot 8 berekend met het CFD-model voor vloed bij een verval van 55 cm, zonder turbines (boven) en met turbines (onder). Uit: O'Mahoney (2018).

2.1.4 Conclusies

De effecten van de getijnturbines op de diverse aspecten van stroomsnelheden en turbulentie kunnen met de beschikbare technieken goed worden geschat. Voor de centrale in Roompot 8 is het effect van de turbines op de doorstroming van de kering tijdens vloed zeer gering, maar tijdens eb neemt de doorstroming met ca 5% af. Deze effecten zijn kleiner dan waar studies in het verleden van uitgingen. Ook de effecten van getijdencentrales in Roompot 8 en 10 op de grootschalige diepte-gemiddelde stroming in de Roompot zijn betrekkelijk klein. Daarbij is voor de centrale in Roompot 10 rekening gehouden met de oude conservatievere schattingen van de effecten op de doorstroming omdat het ontwerp nog niet vaststaat.

2.1.5 Doorkijk

Het gebruikte CFD-model biedt ook de mogelijkheid om inzicht te verschaffen in de manier waarop de turbines het lokale driedimensionale stroombeeld beïnvloeden. Dit is relevante informatie voor de belasting op de bodembescherming aan weerszijden van de kering, zie bijvoorbeeld figuur 2.1-5 voor een voorbeeld van de snelheidsvelden bij Roompot 8 met en zonder turbines tijdens vloed, met een verval van 55 cm. Uit de beschikbare berekeningen kunnen de effecten van de turbines op de stroming en de turbulentiegraad bij de bodembescherming bepaald worden. Dit geldt dan voor een maximaal verval van 32 cm bij eb en 55 cm bij vloed. De extrapolatie van de resultaten voor die vervallen naar vervallen tot 90 cm is niet mogelijk. Om te kunnen bevestigen dat er ook voor die vervallen geen enkel risico voor de kering bestaat, is nog aanvullend onderzoek nodig.

2.1.6 Referenties

De Fockert, A. en A.C. Bijlsma 2018. Environmental impact of tidal power in the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier. Deltares rapport 11200119-000-HYE-0006 (concept), augustus 2018.

O'Mahoney, T. 2018. CFD simulations of the Eastern Scheldt Barrier with and without tidal turbines – validation study and determination of discharge coefficients. Deltares rapport 11200119-003-HYE-0004, augustus 2018.

2.2 Verandering van stroombeeld⁷

Onderdeel van Werkpakket 1.3: Onderzoek impact op bodembescherming; auteur: ir. M.C. Verbeek (TU Delft, afd. Waterbouwkunde)

2.2.1 Inleiding

Waterbouwkundige constructies die in stromend water staan, zoals bruggen, sluizen en open keringen, zijn mogelijk interessante locaties voor de omzetting van waterstroming in elektriciteit. In dit deelproject wordt getoetst wat de effecten van energiewinning met getjidenturbines zijn op de stroming in de directe omgeving, om toekomstige projecten met turbines veilig te kunnen inrichten. Bij de mogelijke effecten wordt gedacht aan effecten op de stabiliteit van de bodembescherming aan weerszijden van een constructie en de getijslag (het waterhoogteverschil tussen eb en vloed) in het beschouwde watersysteem. De effecten van de turbines op de stroming wordt geëvalueerd aan de hand van een testcase in Roompot 8 in de Oosterschelde, waar vijf vrije-stromingsturbines in de stormvloedkering zijn geplaatst in 2015. De voorlopige bevindingen laten zien dat de effecten op de bodembescherming en het getij in het huidige ontwerp bij de bemeeten waterstandsverschillen over de kering tussen -60 cm tot 80 cm beperkt zijn.

De vergunning voor de getjidenturbines in de Oosterscheldkering vereist het monitoren van de verandering van het stroombeeld, omdat de installatie is gebouwd in de primaire waterkering van Zuidwest-Nederland en in het Natura 2000-gebied Oosterschelde. De effecten van turbines op de stroming moeten onderzocht worden omdat de combinatie van turbines met een kering nieuw is. Vrije stromingsturbines zijn eerder wel toegepast op open zee; en de turbines geven weerstand aan de stroming als ze energie onttrekken. De stroomsnelheid achter de turbines in het zog neemt af, maar tussen of naast de turbines kan de snelheid lokaal toenemen. Er ontstaan snelheidsverschillen in de stroming, waardoor turbulente wervels ontstaan. Als de wervels tot de bodem reiken, zorgt dit voor drukfluctuaties en schuifspanningen op de bodem. Een vuistregel is dat de stenen van een bodembescherming in beweging kunnen komen als passerende wervels groter worden dan de stenen en gelijktijdig voorkomen met zeer hoge snelheden (zie ook Verbeek et al. 2017 en Stevens 2018). Daarnaast kan het getij in een zeearm afnemen als er veel energie wordt onttrokken aan de stroming. Dit laatste wordt met name behandeld in het onderzoek van Deltares; zie sectie 2.1.

2.2.2 Materiaal en methode

Binnen werkpakket 1.3 wordt onderzocht hoe de stroming nabij en verder weg van de turbines in de Oosterscheldkering verandert met behulp van veldmetingen, experimenten en theoretische modellen. Met veldmetingen en experimenten wordt er gekeken welke fysische processen er een rol spelen. Dit leidt tot de ontwikkeling van een theoretisch model waarmee voorspeld kan worden hoeveel weerstand de turbines geven aan de stroming. Dit kan worden toegepast in een numeriek model om de effecten van energiewinning op de omgeving in te schatten.

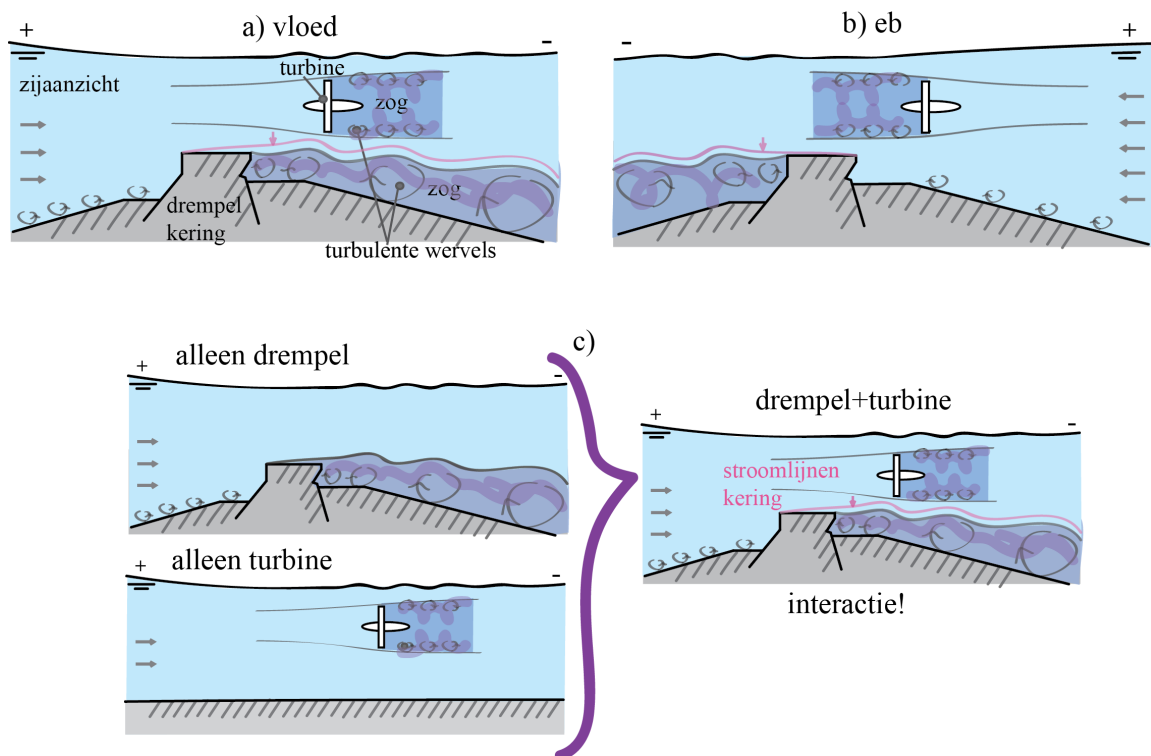
2.2.3 Resultaten

De effecten worden bekeken op de turbine-schaal en op de installatie-schaal. Op de schaal van de turbine speelt de geometrie van de kering een belangrijke rol in de turbineweerstand (Verbeek et al. 2018a). De turbines zijn gemonteerd in een opening van de kering aan de zijde van de Oosterschelde (figuur 2.2.-1). De kering snoert de stroming door de kering in. Tijdens vloed, wanneer de turbines

⁷ Promotieonderzoek (maart 2016 – oktober 2020) TU Delft (afd. Waterbouwkunde), begeleiding: Dr. Ir. R.J. Labeur, Prof. W.S.J. Uijttewaaij; financier: NWO - The New Delta project 869.15.008

aan de benedenstroomse zijde van de kering staan, kan er hierdoor meer energie worden onttrokken dan tijdens eb (figuur 2.2-1).

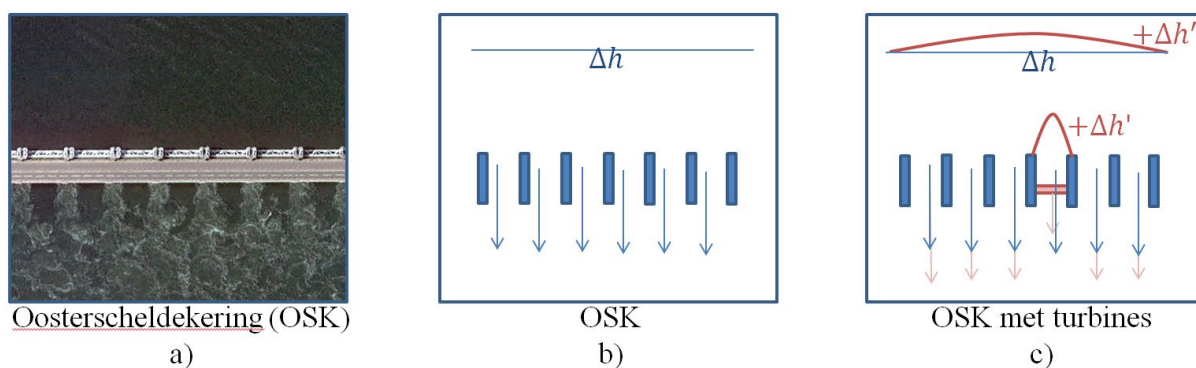
De weerstand van de kering kan niet simpelweg worden opgeteld bij de weerstand van de turbines om zo de weerstand van het geheel te bepalen. Een deel van de energie, die zonder turbines verloren zou gaan in de wervels achter de drempel van de kering, wordt mogelijk door de turbines bij de energie-opwekking gebruikt. De drempel van de kering snoert namelijk de stroming in, waardoor de weerstand die het water ervaart toeneemt en de stroomsnelheid boven de drempel groter wordt. Als je uit die versnelde stroming energie wilt winnen met een turbine, neemt de weerstand verder toe, maar niet zoveel als we op het eerste gezicht zouden verwachten. De insnoering van de stroming wordt mogelijk deels tegengewerkt door de versnellende stroming onder de turbine. Hierdoor worden de wervels, die achter de drempel van de kering ontstaan, onderdrukt als de turbine energie onttrekt (zie roze pijl in figuur 2.2-1). Er blijft dan meer energie over voor de energiewinning door de turbine bij hetzelfde waterhoogteverschil over de kering. Ook neemt deze weerstand, ofwel de kracht van de turbines op het water, evenredig toe met het waterhoogteverschil.



Figuur 2.2-1. Impressie van de stroming door een opening van de Oosterscheldekering met een turbine (in zij aanzicht). De drempel van de kering zorgt voor een insnoering van de stroming en de turbine beperkt de wervelgrootte achter de drempel; a) geeft de situatie tijdens vloed; de turbine is benedenstrooms van de drempel, en b) geeft de situatie tijdens eb; de turbine is bovenstrooms van de drempel. c) De drempel en turbine interacteren met elkaar en daarom kan hun weerstand niet simpelweg worden opgeteld. In alle figuren bevindt de Noordzee zich links in beeld, de Oosterschelde rechts. (uit: Verbeek et al. 2018a).

Op de schaal van de installatie zien we dat de stroomsnelheid tussen de turbines toeneemt wanneer de turbines energie uit het water winnen (Verbeek et al. 2018b en Verbeek et al. 2018c). Dit kan tevens betekenen dat een deel van het water afbuigt naar naburige openingen van de kering (figuur 2.2-2). Dit effect heet de bypass van de stroming.

De bypass kan als volgt worden uitgelegd. De Oosterscheldekering bestaat uit 62 openingen, waarvan de opening met de vijf test-turbines, in Roompot 8, er één is. Een toename van de weerstand in deze opening, afgebeeld als opstuwing (Δh) in figuur 2.2-2c, zorgt voor beperkte extra opstuwing over de gehele rij met openingen ($\Delta h'$). Deze opstuwing zorgt ervoor dat de stroomsnelheid in de andere openingen toeneemt (figuur 2.2-2c). Het proces wordt belangrijker als er turbines in de opening worden geplaatst, die groter zijn dan de huidige turbines. In dat geval worden de snelheidsverschillen tussen naburige openingen met en zonder turbines ook groter.



Figuur 1.2-2: a) Een bovenaanzicht van 7 van de 62 openingen van de Oosterscheldekering, b) een impressie van de stroming door de openingen en de opstuwing (Δh) bovenstrooms en c) verandering van de stroming door de openingen (in rood) en de extra opstuwing ($\Delta h'$) als gevolg van energie-opwekking in een van de openingen.

De snelheidsverschillen kunnen zorgen voor het ontstaan van wervels met hoge snelheden in een nabije opening. Het is onwaarschijnlijk dat de wervels in de huidige situatie de stenen van de bodembescherming in beweging kunnen brengen, omdat de totale weerstand van de turbines beperkt is. Ook zijn er in de metingen geen grootschalige fluctuaties met hoge snelheden aangetroffen.

2.2.4 Discussie en conclusies

De veldmetingen en experimenten laten zien dat de bijdrage van de vijf turbines in Roompot 8 aan de totale weerstand van de Oosterscheldekering bij de bemeeten waterstandsverschillen tussen -50 cm en +80 cm beperkt is. De stromingsenergie die zonder turbines verloren zou gaan in de wervelvorming achter de kering, komt deels beschikbaar voor het opwekken van elektriciteit met de turbines. Er zijn daarnaast geen grootschalige fluctuaties met hoge snelheden aangetroffen onder deze omstandigheden. Dit maakt het onwaarschijnlijk dat stenen van de bodembescherming in beweging kunnen komen door de huidige energieopwekking. Deze uitkomsten van dit onderzoek bemoedigen de toepassing van turbines in waterbouwkundige werken om veilig elektriciteit uit waterstroming op te wekken.

Een brandende vraag blijft of het enerzijds veilig is om meer turbines te plaatsen op deze locatie en om anderzijds de huidige turbines bij grotere waterstandsverschillen in gebruik te nemen. Het is voor de stabiliteit van de bodembescherming waarschijnlijk niet problematisch om meer openingen van de kering te gebruiken voor energieopwekking, mits er rekening wordt gehouden met een beperkte extra opstuwing van het water en een beperkte toename van de stroomsnelheid in andere openingen. De turbines zullen dan gespreid over de kering moeten worden geplaatst, met name aan de zijkanten van de geulen, en ze zullen met een turbine-oppervlak vergelijkbaar met het huidige type moeten worden uitgerust. Bij grotere waterstandsverschillen zal de weerstand van de turbines ook evenredig groter worden, ook dan moet men rekening houden met een toename van snelheden in naburige openingen.

2.2.5 Doorkijk

In dit promotieonderzoek wordt tot oktober 2020 gewerkt aan een model op basis van de gemeten processen om de stromingseffecten in vergelijkbare situaties te kunnen inschatten. Het gevalideerde model moet de weerstand van een kering met turbines kunnen berekenen, zodat het kan worden toegepast in regionale stromingsmodellen. Er kan dan worden onderzocht hoe de invloed van turbines op een watersysteem verminderd kan worden, of hoe de turbineproductie kan worden vergroot door de positie van turbines in een waterbouwkundige constructie aan te passen. Het model is een potentiële verbetering ten opzichte van eerdere benaderingen waarbij een constante weerstand met een onbekende nauwkeurigheid rekenkundig werd toegekend aan de turbines.

2.2.6 Referenties

Stevens, T. 2018. Student theses Delft University of Technology, The prediction of stone stability by a three-dimensional eddy resolving simulation technique. [toegankelijk via: <https://repository.tudelft.nl>].

Verbeek, M.C., R.J. Labeur, W.S.J. Uijttewaai, P. de Haas 2017. Proceedings of 12th European Wave and Tidal Energy Conference (EWTEC), Cork (Ireland), The near-wake of horizontal axis tidal turbines in a storm surge barrier, 1179, p. 1-6.

Verbeek, M.C., R.J. Labeur, W.S.J. Uijttewaai 2018a. The performance of a weir-mounted tidal turbine: field observations and modelling, in voorber.

Verbeek, M.C., R.J. Labeur, W.S.J. Uijttewaai 2018b. NCK, Netherlands Centre for Coastal Research, Measuring two-scale flow response to resistance at tidal turbines in the Eastern Scheldt, p. 63.

Verbeek, M.C., R.J. Labeur, W.S.J. Uijttewaai 2018c. 6th Oxford Tidal Energy Workshop 26-27 March 2018, Oxford, UK. Field observations of rotor thrust and bypass-acceleration at a tidal fence, p. 8-9.

2.3 Vermindering getijdeamplitude

Werkpakket 1.5: Onderzoek vermindering getijdeamplitude, invloed op zandhonger, afname intergetijdenareaal

Binnen dit werkpakket worden twee onderdelen uitgevoerd: trendanalyse waterstandsverschillen aan weerszijde van de kering (2.3.1) en morfodynamische effecten van getijenergie in de Oosterschelde (2.3.2).

2.3.1 Trendanalyse waterstandsverschillen aan weerszijde van de kering

Auteurs: E. Moerman, A. de Fockert, A.C. Bijlsma (Deltares)

2.3.1.1 Inleiding

Op basis van eerdere analyses is de verwachting dat het effect van de huidige getijdencentrale op de getijde-amplitude in de Oosterschelde moeilijk in de waterstandsmetingen is aan te tonen. In hoeverre de verwachte (geringe) reductie van de getijde-amplitude vervolgens bijdraagt aan het in de Oosterschelde optredende verschijnsel zandhonger en de daaruit resulterende afname van het intergetijdenareaal is onderdeel van het onderzoek beschreven in paragraaf 2.3.2.

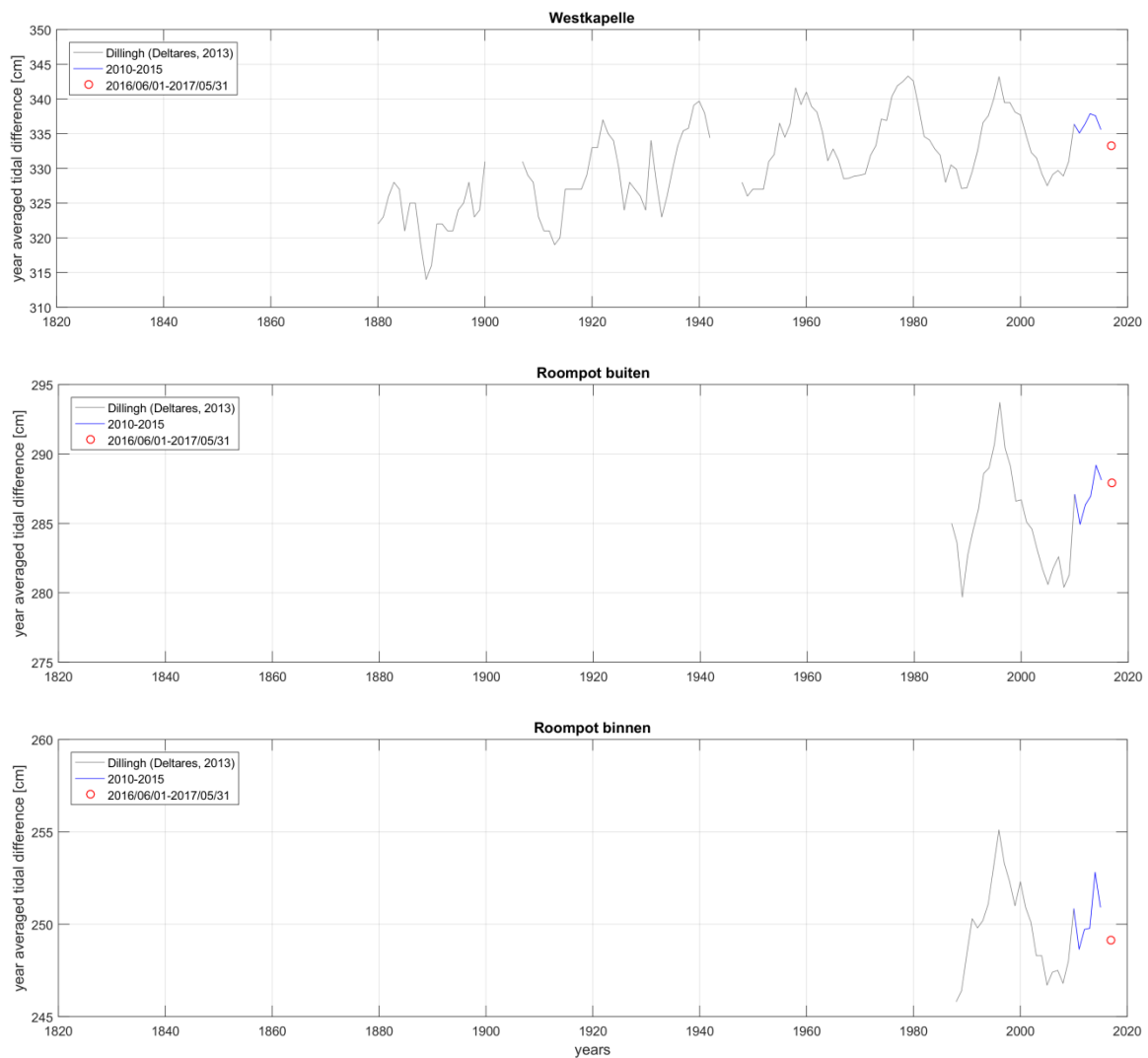
Bij Deltares vond een onderzoek plaats op basis van statistische analyse van de waterstanden aan weerszijde van de Oosterscheldekering (Moerman 2018, De Fockert en Bijlsma 2018). De relatie tussen de getijdenverschillen (hoogteverschil tussen hoogwater en laagwater) binnen en buiten de Oosterschelde is bepaald en geanalyseerd tegen langjarige trends in waterstandsverschillen tussen de waterstandsmetstations Roompot-binnen en Roompot-buiten. De monitoring bestaat uit het vergelijken van de langdurige trends in getijdenverschillen tegen getijdenverschillen uit de periode nadat de getijdenturbines operationeel zijn geworden.

2.3.1.2 Materiaal en methode

Bij deze analyse zijn de waterstanden voor de stations Roompot-binnen en Roompot-buiten met elkaar vergeleken voor periodes dat de getijdencentrale wel en niet operationeel was. Er is één jaar data beschikbaar met een operationele getijdencentrale. Voor een tweede jaar waren helaas nog niet voldoende gevalideerde metingen beschikbaar. De resultaten van deze vergelijkende analyse zijn onder andere vergeleken met de langjarige waterstandsanalyses over de periode tot 2010 die zijn uitgevoerd door Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat (Dillingh 2013).

2.3.1.3 Resultaten

De langjarige waterstandsanalyses zijn uitgebreid tot 2015 en de metingen van het eerste jaar dat de getijdencentrale operationeel is. Uit de vergelijking van het getijdenverschil van dat jaar met de getijdenverschillen van de voorafgaande periode, zie figuur 2.3-1, kan geen duidelijk effect van de getijdencentrale worden onderscheiden tegen de achtergrond van toevallige variaties in combinatie met de 18,6-jarige variatie van het getij. De meetperiode is hiervoor te kort.



Figuur 2.3-1: Jaargemiddeld getijdenverschil tot aan de installatie van de getijdencentrale (grijze en blauwe lijn) en erna (rode markering) voor de waterstandsstations van Westkapelle, Roompot-binnen en Roompot-buiten (Moerman 2018).

2.3.1.4 Referenties

De Fockert, A., A.C. Bijlsma 2018. Environmental impact of tidal power in the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier. Deltares report 11200119-000-HYE-0006 (concept), augustus 2018.

Dillingh, D. 2013. Veranderingen in gemiddelde zeenniveaus in de Nederlandse kustwateren. Deltares rapport 1206182-000-ZKS-0003.

Moerman, E. 2018. Eastern Scheldt Tidal Power – impact on tidal range due to tidal turbine installation. Deltares report ref: 11200444-000-HYE-0014, augustus 2018.

2.3.2 Morfodynamische effecten van getijenergie in de Oosterschelde

Auteurs: V.M. Gatto, K. Guijt, B.C. van Prooijen, A.C. Bijlsma, R.J. Labeur (TU Delft)

2.3.2.1 Inleiding

Stabiele intergetijdengebieden kennen een evenwicht tussen de aanzanding van de bodem door getijdestroming enerzijds en erosie van de bodem door golven anderzijds. Sinds de constructie van de Oosterschelde-stormvloedkering is de getijdestroming in het estuarium gereduceerd terwijl het golfklimaat nauwelijks is veranderd. Het gevolg is dat de zandplaten in het intergetijdengebied eroderen. Sediment gaat verloren in de geulen, die dichtslibben vanwege de lagere stroomsnelheden. Dit fenomeen wordt 'zandhonger'⁸ genoemd. De progressieve afname van het intergetijdenareaal, oftewel de Autonome Neerwaartse Trend' (ANT), is een bedreiging voor de ecologie van het Oosterscheldebekken. Aangenomen wordt dat onttrekking van getijenergie door een energiecentrale de getijbeweging in het estuarium verder doet afnemen, waardoor de afname van het intergetijdenareaal mogelijk versnelt. De verwachting is echter dat de effecten van de huidige getijstroominstallatie in één – of zoals gepland bij uitbreiding van de installatie in twee – van de 62 doorstroomopeningen van de kering, verwaarloosbaar zijn in vergelijking tot de al aanwezige dynamische processen.

Het belangrijkste doel van het onderzoek in werkpakket 1.5 is om te beoordelen wat het additionele effect op de erosie van de getijdenplaten is – dus dat bovenop de ANT – van de onttrekking van getijdenenergie in Roompot 8 en 10 bij een nominaal vermogen van ca. 1,2 MW per doorstroomopening (totaal ca. 2,4 MW). Ook worden initiële studies gedaan naar scenario's waarbij bijvoorbeeld één op de drie doorstroomopeningen van de gehele kering met een getijden-installatie is bezet. De bedoeling is om beleidsmakers zo een eerste indicatie te kunnen geven van een 'drempelwaarde' waarboven als gevolg van de energieonttrekking mogelijkerwijs relevante morfodynamische effecten optreden. Of anders uitgedrukt: In hoeveel doorstroomopeningen (en in welke) zouden getijdenturbines kunnen worden geïnstalleerd zonder dat deze effecten zich voordoen?

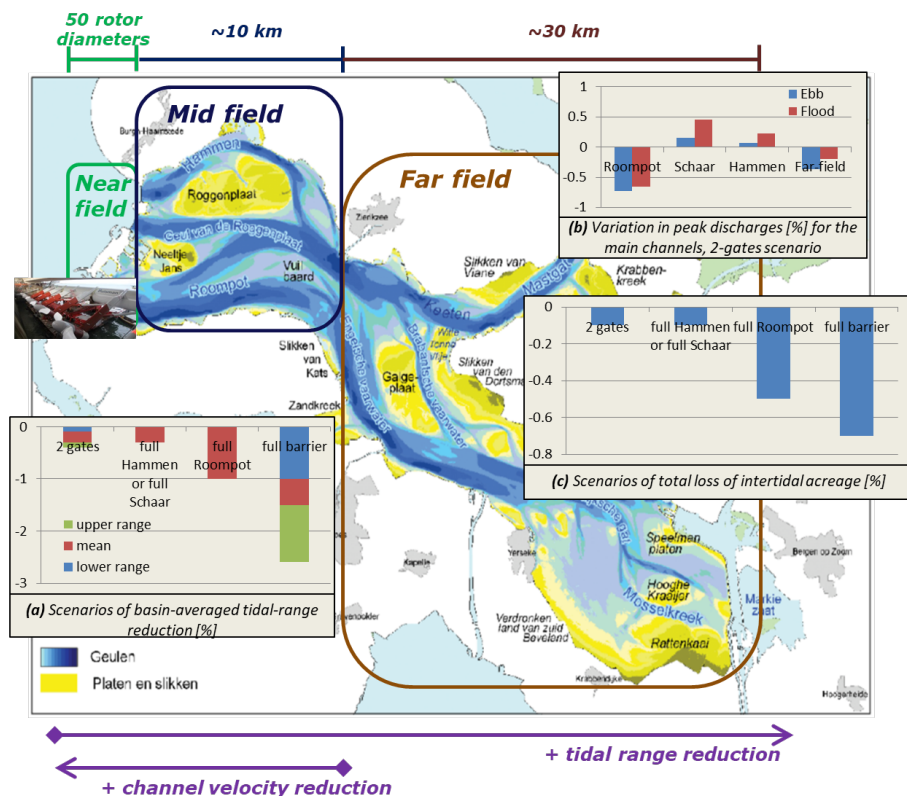
2.3.2.2 Methode

De sedimentdynamica van de Oosterschelde wordt onderzocht met behulp van een doorontwikkelde variant van het numerieke model ScalOost van Rijkswaterstaat. Het stappenplan is gestructureerd in drie hoofdfases met de volgende activiteiten: 1) Onderzocht worden de grootschalige hydrodynamische veranderingen als gevolg van de turbines, die mogelijk het sedimenttransport, de getijslag (verschil tussen hoog- en laagwater) en de stroomsnelheden – en de asymmetrie ervan – beïnvloeden. Daartoe worden verschillende scenario's bestudeerd met een oplopend aantal doorstroomopeningen dat met turbines is bezet. Op basis van de getijslagreductie kan een schatting worden gemaakt van het bulkverlies aan intergetijdengebied dat bovenop de ANT optreedt. Gezien de relevantie voor de vele diersoorten die op de wadplaten rusten, broeden en foerageren, worden ook veranderingen in de droogvalduur van de platen geëvalueerd; 2) Vervolgens wordt bestudeerd hoe de aanwezigheid van de turbines in Roompot 8 en 10 de uitwisseling van sediment tussen de nabij gelegen wadplaten (Roggenplaat, Neeltje Jans) en de omliggende geulen beïnvloedt. De sedimenttransporten worden geanalyseerd met behulp van een door Gatto et al. (2017) ontwikkeld conceptueel model; 3) Op basis van de bevindingen en behoeften zoals die uit fase 1 en 2 naar voren komen, worden de cruciale onderdelen van de studie verder verbeterd.

2.3.2.3 Resultaten (fase 1)

De simulaties die zijn uitgevoerd in fase 1, bevestigen de werkhypothese dat in de Oosterschelde drie regio's kunnen worden onderscheiden (figuur 2.3-1): een 'near-field' (rond de kering; geen onderdeel van dit onderzoek; zie Guijt 2018), een 'mid-field' (vanaf de kering tot de Zeelandbrug) en een 'far-field' (vanaf de Zeelandbrug tot de Oesterdam. In het 'mid-field' beïnvloedt de locatie van de energieonttrekking de stroomsnelheden en piekafvoeren in de geulen, en daarmee de ruimtelijke asymmetrieën van de stroming (die relevant zijn voor sedimenttransport). Dit betekent dat niet alleen het aantal bezette doorstroomopeningen van belang is maar ook de locatie van die openingen. In het 'far-field' is het effect op de afvoeren relatief kleiner (figuur 2.3-1b) maar de reductie in de getijslag is

⁸ Zie bijvoorbeeld: <https://www.np-oosterschelde.nl/over-het-park/natuur/zandhonger.htm>



Figuur 2.3-1: Conceptueel model van de invloed van de turbines op de dynamiek van het intergetijdengebied Oosterschelde. In het nabijgelegen gebied ('near-field'; het gebied dat zich over ca. 300 m aan weerszijden van de kering uitstrekt) is er invloed op de kleinschalige turbulentie (onderzoek daarnaar is geen onderdeel van dit project; zie Guijt 2018 en DMEC⁹). In het middengebied ('mid-field';) veranderen door de energie-onttrekking de asymmetrieën van de getijsnelheidscurve. In het ver afgelegen gebied ('far-field') speelt alleen de reductie van de getijslag een rol. De grafieken (a-c) tonen de resultaten van de simulaties voor verschillende scenario's: voor de nabije toekomst (twee doorstroomopeningen), bij gedeeltelijke uitrol met één op drie bezette doorstroomopeningen in verschillende gedeelten van de kering (volledig Hammen, of volledig Schaar, of volledig Roompot), en voor alle drie keringdelen, d.w.z. de volledige kering. 'Upper range' en 'lower range' in grafiek (a) geven het resultaat weer waarbij rekening is gehouden met een variatie van - 25% tot + 50% van het gekalibreerde energieverlies veroorzaakt door de turbines.

groter. Hier is alleen het totaal aantal bezette doorstroomopeningen van belang. Het numerieke model dat in fase 1 is toegepast, kent enkele beperkingen. In werkelijkheid worden de turbines namelijk uit het water geheven wanneer het verschil in waterniveau aan de binnen- en de buitenzijde van de kering een bepaalde waarde overschrijdt. Bovendien varieert de relatieve weerstand van de turbines met de stroomsnelheid stroomopwaarts. Met beide kenmerken wordt in het model geen rekening gehouden omdat de coëfficiënt die het energieverlies door de turbines vertegenwoordigt, in de tijd constant is.

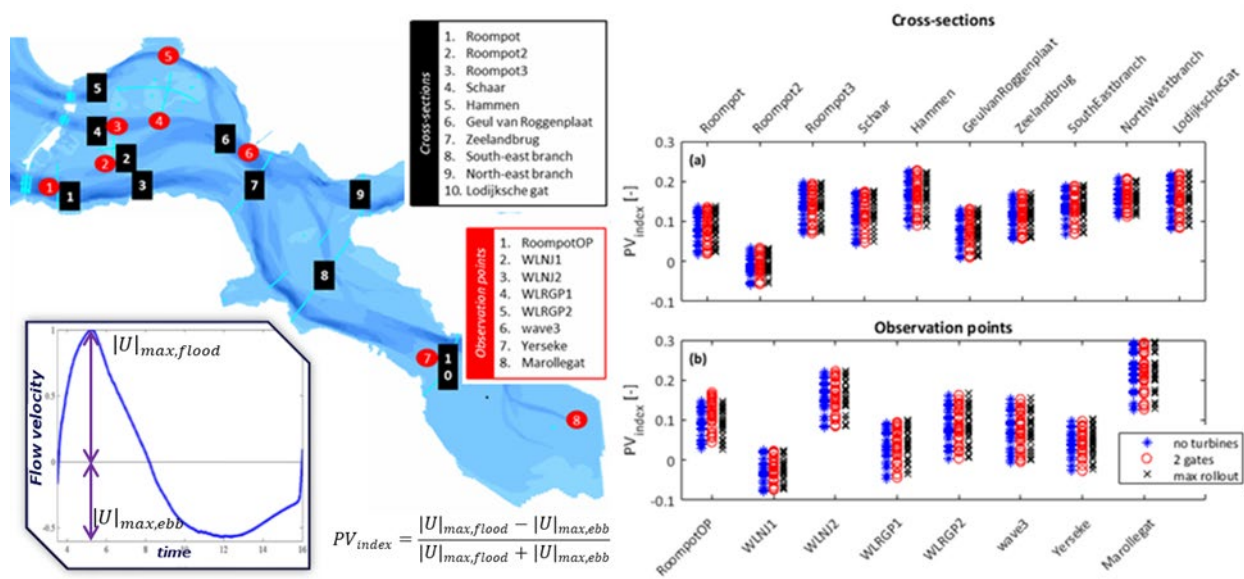
In plaats daarvan wordt voor elk simulatiescenario een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met energieverliescoëfficiënten variërend van tussen de -5% (minder weerstand) en +10% (meer weerstand) van de gekalibreerde waarde. Het gevoeligheidsbereik kan ook de situatie nabootsen waarbij meer (of minder) krachtige turbines worden ingezet. In overeenstemming met eerdere studies fluctueert de voorspelde reductie van de getijslag rond 0,3% voor het nabije-toekomstscenario (figuur 2.3-1a). Dit vertaalt zich in een schatting van een bulkverlies van ca. 0,1% aan intergetijdengebied (figuur 2.3-1c), wat gelijk is aan de erosie veroorzaakt door enkele maanden ANT. Voor scenario's met meerdere bezette doorstroomopeningen is de reductie van de getijslag aanzienlijker. Tegelijk neemt de onzekerheid van het berekende resultaat toe omdat de kalibratie van één doorstroomopening naar meerdere doorstroomopeningen wordt 'gekopieerd' zonder rekening te houden met eventuele verschillen in dwarsdoorsnede en de interactie tussen nabijgelegen doorstroomopeningen. Het verlies

⁹ Zie ook <http://dutchmarineenergy-project.com/content/demand-driven-research-development>.

van intergetijdengebied blijft echter onder de 1%, zelfs voor het scenario waarbij één op de drie doorstroomopeningen van de hele kering met turbines is bezet.

2.3.2.4 Resultaten (fase 2)

Standaard modelleringstechnieken bestaan uit bijvoorbeeld het simuleren van de morfologische evolutie van het intergetijdengebied in de komende decennia en het vergelijken van de resultaten met en zonder het effect van de turbines. Deze methode vereist een grote hoeveelheid tijd, kalibratiegegevens en computerkracht. Een bijkomend, fundamenteel probleem doet zich in ons geval voor: een verwachte kleine impact wordt waarschijnlijk gemaskeerd door de intrinsieke onzekerheden van het sediment-transportmodel zelf (zie 2.3.2.5 Discussie). Het werkelijke effect is kwantitatief mogelijk niet te onderscheiden van numerieke afrondingsfouten. Daarom is een meer kwalitatieve analyse nodig, op basis van theoretische kennis. Sedimenttransport wordt veroorzaakt door fysische mechanismen die voortkomen uit de wisselwerking tussen hydrodynamische eigenschappen (temporele en ruimtelijke asymmetrieën in waterniveaus en stroomsnelheden) en sedimenteigenschappen (grootte, cohesiviteit). Als geen significante veranderingen optreden in de combinatie van deze eigenschappen, mag ook geen enkele verandering worden verwacht in de morfologische evolutie. Een specifieke methodologie wordt ontwikkeld om de mogelijke veranderingen in de sedimentdynamiek in te schatten door de variabelen te analyseren die aan de basis liggen van de sturende mechanismen. Een voorbeeld is weergegeven in figuur 2.3-2. Het dominante mechanisme voor de omstandigheden in de Oosterschelde wordt gegenereerd door het verschil tussen de pieksnelheden tijdens eb en vloed. Dit wordt door de PV-index gekwantificeerd voor verschillende meetstations in het model. De posities van de markers in de drie scenario's overlappen elkaar grotendeels, wat aangeeft dat de verwachte sediment-transportpatronen niet significant verschillen.



Figuur 2.3-2: Vergelijking van de pieksnelheidsindex (PV-index) voor verschillende locaties in het intergetijdengebied en verschillende ophangingsscenario's (blauw: geen turbines; rood: twee doorstroomopeningen (Roompot 8 en 10, vergund); zwart: maximale uitrol).

2.3.2.5 Discussie en conclusie

Op dit moment wordt fase 3 voltooid door de analyse met betrekking tot de wadplaten te verfijnen. De beide vergunde projecten (turbines in Roompot 8 en 10) lijken geen significante effecten te hebben op de door 'zandhonger' veroorzaakte dynamiek van erosie en sedimentatie. De nauwkeurigheid die met een grootschalig model kan worden bereikt, is echter beperkt voor de onderhavige toepassing. Zelfs de meest geavanceerde modelleringsoftware werkt met een aantal vereenvoudigingen van de echte fysica om de wiskundige complexiteit te beperken en de benodigde computertijd aanvaardbaar te houden. De turbines beïnvloeden de getijstroom op de kleinste schaal (dat wil zeggen de schaal van turbulentie), wat in het model beperkt – via parametrisatie – wordt opgelost. Hierbij worden turbines weergegeven door middel van een bronterm in de impulsvergelijkingen, dat wil zeggen door een enkel getal dat de kracht vertegenwoordigt die de turbines op de passerende stroming uitoefenen. De

mechanica van de roterende bladen zelf is echter niet meegenomen in het model omdat dit de rekentijd aanzienlijk zou verhogen zonder de voorspellingen van het sedimenttransport werkelijk te verbeteren. Dit laatste houdt verband met de (semi-)empirische formulering van sedimenttransportmodellen op basis van laboratoriumexperimenten en/of 'eenvoudigere' hydrodynamische omstandigheden (zoals bijvoorbeeld stationaire stroming). Schattingen van het sedimenttransport hebben daarom een relatief grote onzekerheidsmarge ongeacht het onderliggende hydrodynamische model. Kustonderzoekers houden hier rekening mee door 'de sediment-puzzel' vanuit een conceptueel standpunt op te lossen, in plaats van zich alleen te richten op de getalsmatige uitkomsten van modelberekeningen. Een dergelijke iteratieve benadering vereist allereerst een kwalitatieve ontrafeling van de sedimentdynamica voordat tot een meer kwantitatieve analyse kan worden overgegaan.

De huidige resultaten vormen een eerste stap in dit iteratieve proces. De berekende getijslagreductie is daarom geen opzichzelfstaand eindresultaat maar veeleer een voorlopige schatting om een antwoord te kunnen geven op de vraag of het Tocardo-project (Roompot 8 en 10) en uitrolscenario's al dan niet van invloed kunnen zijn op de erosie van wadplaten. Als zodanig is deze studie een eerste poging om het effect van getijdenturbines in een morfologisch model van de Oosterschelde mee te nemen. Turbines die in een waterkering zijn geïntegreerd, vormen een bijzondere casus vergeleken bij de meer gebruikelijke configuraties waarbij turbines worden blootgesteld aan de vrije waterstroom in open water. In dat opzicht biedt het OTP-monitoringonderzoek een unieke bijdrage aan toekomstige modellen van de Oosterschelde en de bestaande internationale literatuur.

2.3.2.6 Referenties

- Dillingh, D. 2013. Veranderingen in gemiddelde zeeniveaus in de Nederlandse kustwateren. Deltares rapport 1206182-000-ZKS-0003.
- Gatto V.M., B.C. van Prooijen, Z.B. Wang 2017. Net sediment transport in tidal basins: quantifying the tidal baro-trophic mechanisms in a unified framework. Ocean Dynamics. DOI10.1007/s10236-017-1099-3.
- Guijt, K. 2018. Impact of Tidal Energy Extraction in the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier on Basin Hydrodynamics and Morphology. Master Thesis. TU Delft/Deltares. [available at <http://repository.tudelft.nl/>]

2.4 Trendanalyse zeehonden

Onderdeel van Werkpakket 1.6: Trendanalyse zeehonden en bruinvis in Voordelta en Oosterschelde
Auteur: Michaela Scholl (WMR)

2.4.1 Inleiding

Door de semi-open verbinding van Oosterschelde-stormvloedkering hebben de gewone zeehond (*Phoca vitulina*) en de grijze zeehond (*Halichoerus grypus*), de mogelijkheid om de Oosterschelde in te zwemmen, er te foerageren, de aanwezige zandbanken als ligplaatsen te gebruiken en weer naar de Noordzee terug te keren. Omdat getijdenturbines in de kering daar mogelijk invloed op kunnen hebben (Smit & Dankers 2010) werd de plaatsing van vijf turbines in de zuidelijke doorstroomopening Roompot 8 dan ook als vergunningplichtig ex. Nb-wet (nu: Wet natuurbescherming) aangemerkt.

Die vergunning is in 2010 verleend. In de motivatie van het besluit wordt overwogen dat:

- voor de gewone zeehonden in het Oosterscheldegebied moet worden aangenomen dat deze de kering regelmatig passeren;
- voor de grijze zeehonden in de Voordelta mag worden aangenomen dat ze de kering regelmatig in kleine aantallen passeren, maar ook: dat kwantitatieve gegevens hierover ontbreken;
- aannemelijk is dat de meeste verplaatsingen van de zeehonden door de noordelijke doorstroomopeningen plaatsvindt, en ergo de mogelijkheden van uitwisseling tussen de Oosterschelde en de Voordelta niet worden beperkt door de getijdenturbines aan de zuidkant van de kering (geen barrièrewerking).

De conclusie van de vergunningverlener luidt dat *"significant negatieve effecten op de instandhoudingsdoelstellingen van de zeezoogdieren en vissoorten waarvoor de Natura 2000-gebieden Voordelta en Oosterschelde zijn aangewezen in de vorm van barrièrewerking als gevolg van de plaatsing van de turbines dan wel kans om te worden geraakt door de turbinebladen kunnen worden uitgesloten"* en *"de resterende (niet-significante) effecten [...] aanvaardbaar"* zijn.¹⁰

Aan de vergunning zijn echter wel beperkingen en voorschriften verbonden om de resterende en eventueel onverwacht optredende effecten vroegtijdig in beeld te hebben. Voor de zeehonden bestaat de verplichte monitoring uit twee onderdelen: één gericht op het aspect aanraking/verwonding van individuele zeehonden door turbinebladen (zie paragraaf 2.6), en één gericht op de ontwikkeling van de aantallen zeehonden op de ligplaatsen in de Voordelta en Oosterschelde zoals die in de biologische monitoring Zoute Rijkswateren voor Rijkswaterstaat (RWS) worden geteld. Door naar trends¹¹ in de aantalsontwikkelingen te kijken, kan worden vastgesteld of daarin bijzondere veranderingen optreden. Wanneer dat het geval is, zal altijd nader onderzoek naar de precieze omstandigheden nodig zijn om de waargenomen veranderingen te kunnen verklaren. Het studiegebied is immers een complex ecosysteem waarin tal van menselijke activiteiten plaatsvinden.

De trendanalyse dient conform de doelstelling van het monitoringplan dus om eventueel optredende veranderingen in de ontwikkeling van de lokaal aanwezige zeehondenpopulaties te kunnen signaleren¹². De volgende vraag is dan of eventueel waargenomen aantalsveranderingen ook statistisch significant zijn. Dat hangt er echter vanaf hoe groot die veranderingen zijn en met welke frequentie en hoe lang gemeten wordt. De meetreeksen, zowel voor als na een verandering, zouden voldoende lang moeten zijn om van een trendbreuk te kunnen spreken. De periode gerekend vanaf de plaatsing van de turbines in december 2015 tot het moment van deze rapportage (zomer 2018, circa tweeënhalf jaar) is relatief kort.

¹⁰ <http://vergunningenbank.overheid.nl/wp-content/uploads/vergunningen/natura2000/6011/10-4035%20Bijlage%201%20overwegingen%20getijdenenergie%20oosterscheldekering.pdf>

¹¹ 'trend' in de definitie van 'het verloop van een bepaalde variabele [hier: aantallen zeehonden] in een bepaalde periode'

¹² Monitoringplan getijdenenergie Oosterscheldekering. Monitoring van effecten op bruinvissen en zeehonden; 2015. AnteaGroup.

2.4.2 Materiaal en methode

In opdracht van de Centrale Informatievoorziening (CIV) van RWS vinden sinds 2004 zeehondentellingen plaats in het hele Deltagebied. Daarvóór werden de tellingen onregelmatiger uitgevoerd, onder andere door de provincie Zeeland en het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ). De huidige tellingen in de Voordelta en Oosterschelde worden georganiseerd, uitgevoerd en verwerkt door medewerkers van Delta ProjectManagement (DPM)¹³. Vanuit een vliegtuig worden het hele jaar door de zeehonden op hun ligplaatsen (zandbanken) in het gebied tijdens laagwater geteld. Zodoende zijn van bijna alle maanden in het jaar telgegevens beschikbaar (Arts et al. 2016). Vanaf 2014/2015 worden geen vliegtuigtellingen meer uitgevoerd in september/oktober, en in november wordt alleen de Voordelta geteld (Arts et al. 2017). Voor de OTP-monitoring zijn de door DPM aangeleverde data van de tellingen vanaf 1995 gebruikt. Voor elke maand in het jaar voor zowel de Oosterschelde als de Voordelta, zijn in het programma R grafieken geproduceerd. De trendlijnen zijn geplotted vanuit een *generalised linear model* (GLM) met een poissonverdeling. De trendanalyse is per maand gedaan omdat het aantal zeehonden op de ligplaatsen niet het hele jaar door constant is, maar afhankelijk van het seizoen en de jaarcyclus van de specifieke zeehondensoort (Reijnders 1995, Thompson 1989). Als betrouwbaarste tellingen gelden die in de maanden waarin de zeehonden verharen en vaker op de ligplaatsen zijn. Voor de gewone zeehond is dat juli/augustus; voor de grijze zeehond maart/april. Ook de (lokale) weersgesteldheid op de dag van een telling kan invloed hebben op de aanwezigheid van zeehonden op een ligplaats.

Wanneer in het databestand van CIV/DPM voor eenzelfde maand twee tellingen staan, is de door DPM in het databestand aangewezen telling in de analyse betrokken. De keuze voor de ene of andere telling kan bijvoorbeeld daarin gelegen zijn dat een telvlucht moest worden afgebroken waardoor die telling onvolledig is.

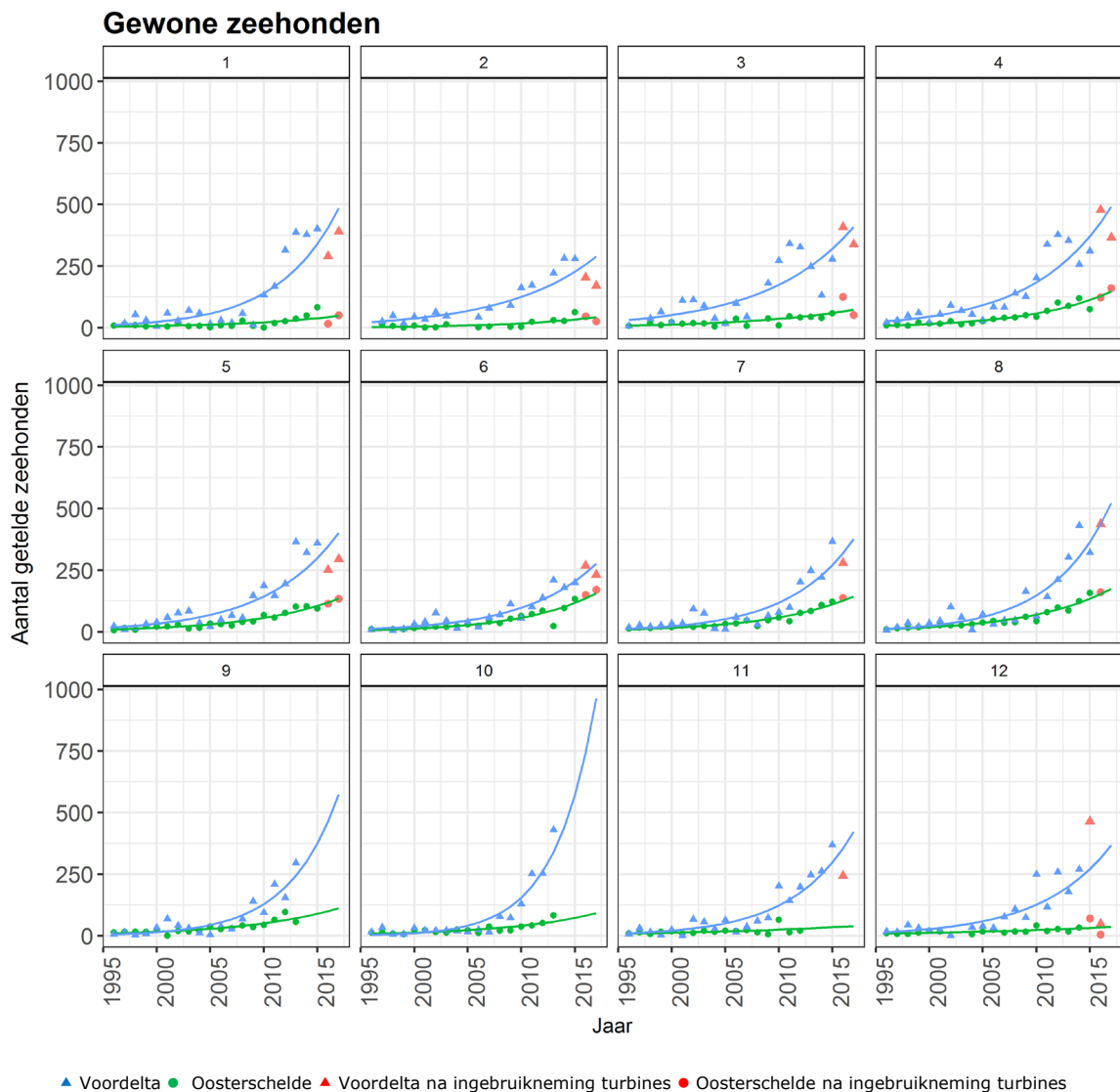
2.4.3 Resultaten

Gewone zeehonden

In de Oosterschelde – met de Roggeplaat, gevolgd door de Galgeplaat, als belangrijkste ligplaats – zijn de aantallen gewone zeehonden sinds 1995 sterk toegenomen van 6-13 (min-max) in het jaar 1995 tot 5-161 (min-max) zeehonden in 2016 (figuur 2.4-1). In 2017, waarvan ten tijde van het schrijven van dit rapport alleen de telgegevens van de eerste zes maanden beschikbaar waren, is het grootste aantal gewone zeehonden in de Oosterschelde (171) in de maand juni waargenomen.

In de Voordelta zijn de aantallen exponentieel toegenomen van 1-11 (min-max) dieren in 1995 tot 49-478 (min-max) getelde zeehonden in 2016. In het eerste halfjaar van 2017 is hier het hoogste aantal (366) in april geteld, net als in 2016 (figuur 2.4-1).

¹³ <https://www.deltamilieu.nl/projecten>

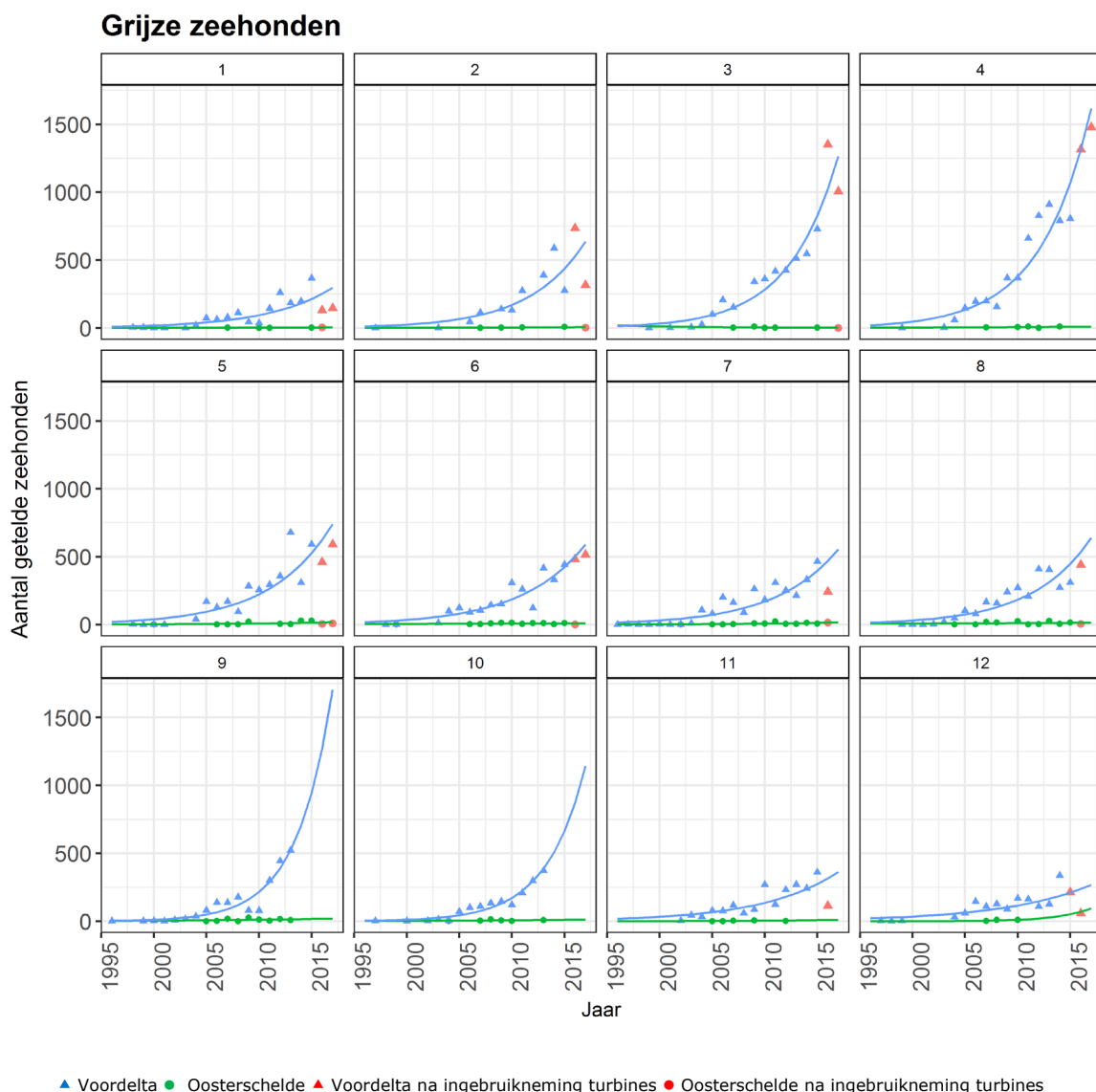


Figuur 2.4-1: Aantallen op de ligplaatsen getelde gewone zeehonden, weergegeven per maand (in cijfers van 1-12) en regio (Oosterschelde en Voordelta), in de periode 1995 tot en met juni 2017. N.B. Vanaf het seizoen 2014 worden in de Voordelta en Oosterschelde in september/oktober geen zeehondentellingen meer uitgevoerd, en in november evenmin in de Oosterschelde.

Grijze zeehonden

De grijze zeehond is in de Oosterschelde aanzienlijk minder talrijk dan de gewone zeehond. De eerste grijze zeehond werd tijdens een telling in 1998 waargenomen. In de periode tot en met juni 2017 werden de meeste dieren hier in 2014 en 2015 geteld; beide keren 29 dieren in mei. In 2016 werden 2-16 (min-max) dieren geteld, en in het eerste halfjaar van 2017 zijn dat er 1-10 (min-max) (figuur 2.4-2).

In de Voordelta komen daarentegen aanzienlijk meer grijze zeehonden voor. De aantallen zijn daar exponentieel toegenomen van nul waargenomen dieren in 1995 tot aan 58-1351 in 2016. Het maximaantal uit 2016 is inmiddels overtroffen: in het eerste halfjaar van 2017 zijn in april, de maand waarin de laatste jaren steeds de hoogste aantallen werden waargenomen, 1478 grijze zeehonden geteld (figuur 2.4-2).



Figuur 2.4-2: Aantallen op de ligplaatsen getelde grijze zeehonden, weergegeven per maand (in cijfers van 1-12) en regio (Oosterschelde en Voordelta), in de periode 1995 tot en met juni 2017. N.B. Vanaf het seizoen 2014 worden in de Voordelta en Oosterschelde in september/oktober geen zeehondentellingen meer uitgevoerd, en in november evenmin in de Oosterschelde.

2.4.4 Discussie en conclusie

In de Voordelta is zowel de gewone als de grijze zeehond in de afgelopen twintig jaar sterk in aantal toegenomen. De grijze zeehond is hier de talrijkste zeehondensoort. In de Oosterschelde is alleen bij de gewone zeehond sprake van een gestage toename. De grijze zeehond is hier, na een toename tot in 2015, weer in aantal afgenomen, maar de absolute aantallen en dito verschillen zijn klein.

Wat opvalt in figuur 2.4-1 en 2.4-2 van de gewone resp. de grijze zeehond, is dat de Voordelta-waarden van beide soorten in december 2016 sterk onder de betreffende trendlijnen uitkomen. Bij deze afwijkingen gaat het om de telling die is uitgevoerd op 21 december 2016. Bekend is dat de lokale weersgesteldheid van invloed kan zijn op het aantal zeehonden dat tijdens laagwater gebruikt maakt van een ligplaats. De historische daggegevens van het KNMI-weerstation Vlissingen geven voor de december-teldag: 5.1° Celsius en 6.9 mm neerslag in 6.7 uur bij windsnelheden van 5-6 Bft. Dat zijn geen aantrekkelijke condities voor een zeehond om op een zandplaat te gaan liggen. Ter vergelijking: op de teldag in december 2015 (18 december) met hoge aantallen gewone zeehonden was het 11.0° Celsius en 0.0 mm neerslag bij windsnelheden van 4-5 Bft. De lokale weersgesteldheid zou dus een verklaring kunnen zijn voor de lage aantallen getelde dieren in december 2016.

In de maanden waarin de zeehonden vanwege het verharen vaker op de zandplaten liggen en er dus een grotere kans is om ze waar te nemen (gewone zeehond: juli/augustus; grijze zeehond: maart/april), is er een goede fit van de waargenomen aantallen met de trendlijnen (zie figuur 2.4-1 en 2.4-2). De conclusie is dan ook dat er over het geheel genomen geen opvallende, niet-verklaarbare veranderingen zijn die zouden kunnen duiden op een trendbreuk in de aantalsontwikkelingen van de beide zeehondensoorten in de Oosterschelde en Voordelta. Hierbij moet worden opgemerkt dat, gezien het geringe aantal datapunten van na de plaatsing van de turbines, een eventueel effect van die turbines op aantallen zeehonden erg sterk had moeten zijn om op te vallen.

2.4.5 Referenties

Arts, F.A., S. Lilipaly, R.C.W. Strucker 2016. Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta 2014/2015. RWS Centrale Informatievoorziening BM 16.

Arts, F.A., M.H.J. Hoekstein, S. Lilipaly, K.D. van Straalen, P. A. Wolf, L. Wijnants 2017. Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta 2015/2016. RWS Centrale Informatievoorziening BM 17.2.

Leopold, M., Scholl, M. (eds.) 2018. Monitoring getjidenturbines Oosterscheldekering. Jaarrapportage 2017. Wageningen Marine Research, Wageningen UR (University & Research centre), Wageningen Marine Research rapport C036/18, 49 p.

Smit, C.J., N.M.J.A. Dankers 2010. Passende Beoordeling van een getjidentcentrale in de Oosterscheldekering. IMARES-Rapport C042/10. 56 p.

2.5 Trendanalyse bruinvis

Onderdeel van Werkpakket 1.6: Trendanalyse zeehonden en bruinvis in Voordelta en Oosterschelde
Auteur: M. Leopold (WMR)

2.5.1 Inleiding

Monitoring van de aantallen bruinvissen in de Oosterschelde behoort niet tot de verplichting vanuit de vergunning ex. Natuurwet omdat de bruinvis in de wetssystematiek geen kwalificerende habitatsoort van de betrokken Natura 2000-gebieden Oosterschelde en Voordelta is. Omdat het OTP-project een brede maatschappelijke betrokkenheid ambieert, zijn de bruinvissen desondanks in de monitoring betrokken. Bruinvissen worden al jarenlang, dus ook al vóór het OTP-project, intensief gevolgd in de Oosterschelde. Hun aantallen in het gebied worden gemonitord en alle doodvondsten worden geregistreerd. Daarbij is er grote publieke belangstelling. Voor de onderhavige monitoring is belangrijk dat de populatieschattingen van de bruinvissen de noodzakelijke basisgegevens leveren, waaraan de aantallen dood gevonden dieren kunnen worden gerelateerd. (Dat geldt analoog voor de zeehonden; zie daarvoor sectie 2.4)

Bruinvissen zijn tegenwoordig een vaste verschijning in de Oosterschelde. Dat was vroeger niet het geval: waarnemingen van bruinvissen in of net buiten de Oosterschelde in de decennia voorafgaand aan, en ten tijde van de aanleg van de Oosterscheldedekering (1979-1986), waren zeer schaars. Dat gold in die jaren voor heel Nederland: begin jaren tachtig van de vorige eeuw waren bruinvissen nog relatief zeldzaam in ons land (Camphuysen & Siemensma 2011). Sindsdien is er een gestage toenemende trend.

2.5.2 Materiaal en methode

Om de aantalsontwikkeling van de bruinvis in de Oosterschelde te kunnen schetsen, is gebruik gemaakt van twee van elkaar onafhankelijke datasets. Sinds 2009 wordt ieder jaar een integrale telling van bruinvissen in de Oosterschelde georganiseerd door Stichting Rugvin¹⁴. De tellingen worden zo veel mogelijk bij goed weer (goed zicht en weinig wind) gedaan, vanaf acht tot negen boten die in linie de hele Oosterschelde 'uitkammen'. Per boot zijn er minimaal drie waarnemers. De tellers proberen alle bruinvissen in de Oosterschelde waar te nemen. Omdat dubbeltellingen mogelijk zijn (dezelfde bruinvis wordt vanaf twee boten waargenomen) hebben de boten onderling contact en worden de data achteraf nog opgeschoond en dubbeltellingen zoveel mogelijk verwijderd. Omdat er altijd toch dieren kunnen worden gemist, is het resultaat van iedere telling het minimum aantal bruinvissen dat in de Oosterschelde verblijft (Stichting Rugvin 2013).

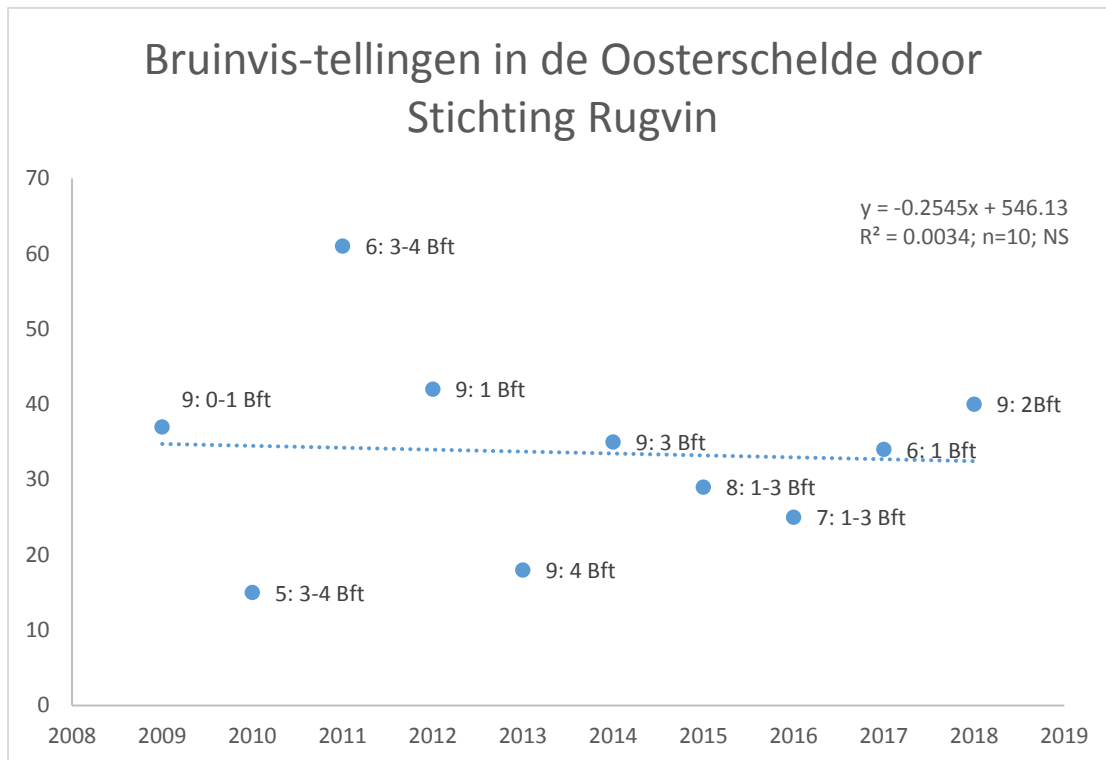
Een tweede dataset betreft het aantal bruinvissen dat dood wordt gevonden langs de oevers van de Oosterschelde. Het aantal doodvondsten, over langere termijn, vormt een afspiegeling van de aantallen levende dieren in de bronpopulatie (Peltier et al. 2013), in dit geval het aantal dieren in de Oosterschelde. Uiteraard is het aantal dode dieren dat per jaar wordt gevonden slechts een indicatie voor het aantal levende dieren dat in het gebied verblijft, maar de jaarlijkse aantallen doodvondsten kunnen wel gebruikt worden voor een trendanalyse.

De twee reeksen data zijn ongelijk van lengte. Getallen voor de aantallen levend waargenomen dieren zijn er voor de jaren 2009-2018 (10 jaren). Deze data zijn beschikbaar op de site van Stichting Rugvin (<https://rugvin.nl/onderzoek/noordzee/>). Vondsten van dode bruinvissen in de Oosterschelde worden bijgehouden door Jaap van der Hiele, vrijwilliger binnen het nationale strandingsnetwerk. Van der Hiele heeft een database bijgehouden van alle strandingen van zeezoogdieren in Zeeland. Deze dataset is vergeleken met data die worden bijgehouden op de sites waarneming.nl en walvis-strandingen.nl, en loopt (voor dit onderzoek) van 1986-2017 (32 jaren).

¹⁴ <http://rugvin.nl/onderzoek/oosterschelde/scans/>

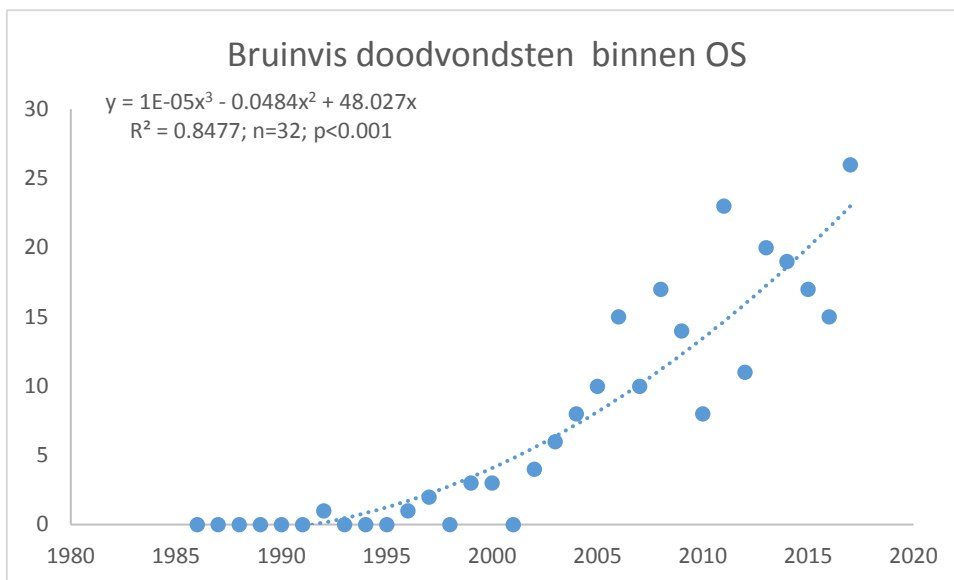
2.5.3 Resultaten

De reeks jaarlijkse tellingen van levende bruinvissen in de Oosterschelde laat geen trend zien (figuur 2.5-1), wel een aanzienlijke range in de aantallen: het laagst getelde aantal was 15 dieren, in 2010; een jaar later, in 2011, werd het hoogste aantal dieren (61) geteld. Deze variatie in aantallen kan meerdere oorzaken hebben. De variatie kan reëel zijn maar er waren ook verschillen in weersomstandigheden tussen de afzonderlijke tellingen waardoor meer of minder dieren zullen zijn gemist, en bovendien konden de tellingen niet op een vast tijdstip in het jaar worden georganiseerd. Er zijn tellingen gedaan in mei (1), juni (2), juli (1), augustus (1) en september (5), dus vóór, tijdens en na het voortplantingsseizoen. De hoogste aantallen bruinvissen worden doorgaans in de winter en het vroege voorjaar aangetroffen. Wat betreft de tellingen is er echter geen duidelijke invloed van de maand waarin geteld werd of van de weersomstandigheden (windkracht in Bft): de grootste afwijkingen, zowel naar boven als naar beneden, van de trendlijn komen voor bij relatief veel wind, en in verschillende maanden van het jaar.

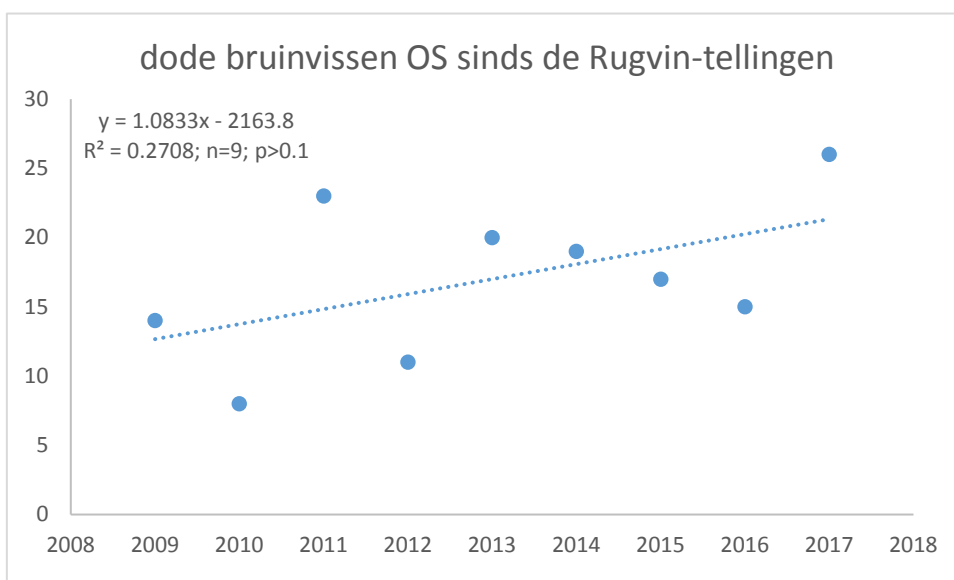


Figuur 2.5-1: Aantallen bruinvissen in de Oosterschelde zoals jaarlijks (2009-2018) geteld door Stichting Rugvin. Bij ieder punt is aangegeven: de maand waarin werd geteld en de windkracht waarbij geteld werd.

De reeks doodvondsten per jaar laat over ruim drie decennia een duidelijke stijging zien (figuur 2.5-2), oplopend tot 27 exemplaren in 2017. Dit beeld komt overeen met het beeld voor Nederland als geheel (Camphuysen & Siemensma 2011). In de eerste tien jaren (1986-1995) werd slechts één dode bruinvis gevonden in het gebied, maar daarna namen de aantallen sterk toe. In de laatste tien jaren van de reeks is er veel variatie in aantallen, al zijn de aantallen altijd hoog in vergelijking met de voorafgaande periode. Als we alleen kijken naar de reeks van jaren waarin ook bruinvissen levend werden geteld door Stichting Rugvin (2009-2017; het lopende jaar 2018 kon voor de doodvondsten nog niet worden meegenomen), dan is er geen trend in de aantallen meer (figuur 2.5-3): de toestand lijkt zich te hebben gestabiliseerd.



Figuur 2.5-2: Aantallen bruinvissen die per jaar dood in de Oosterschelde werden gevonden (1986-2017). Data: Jaap van der Hiele. NB: er is hier een accelererende curve gefit, vertrekkend vanuit 'nul'.



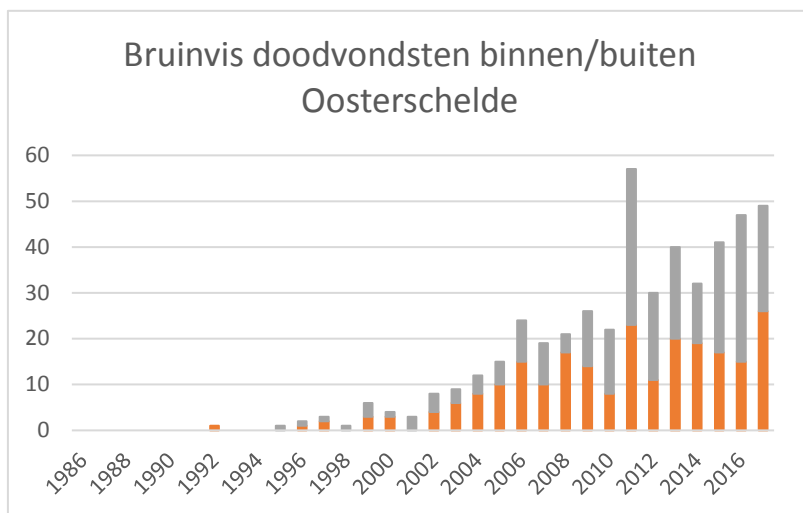
Figuur 2.5-3: Aantallen bruinvissen die per jaar dood in de Oosterschelde werden gevonden ten tijde van de reeks tellingen van levende dieren door Stichting Rugvin (2009-2017).

2.5.4 Discussie en conclusie

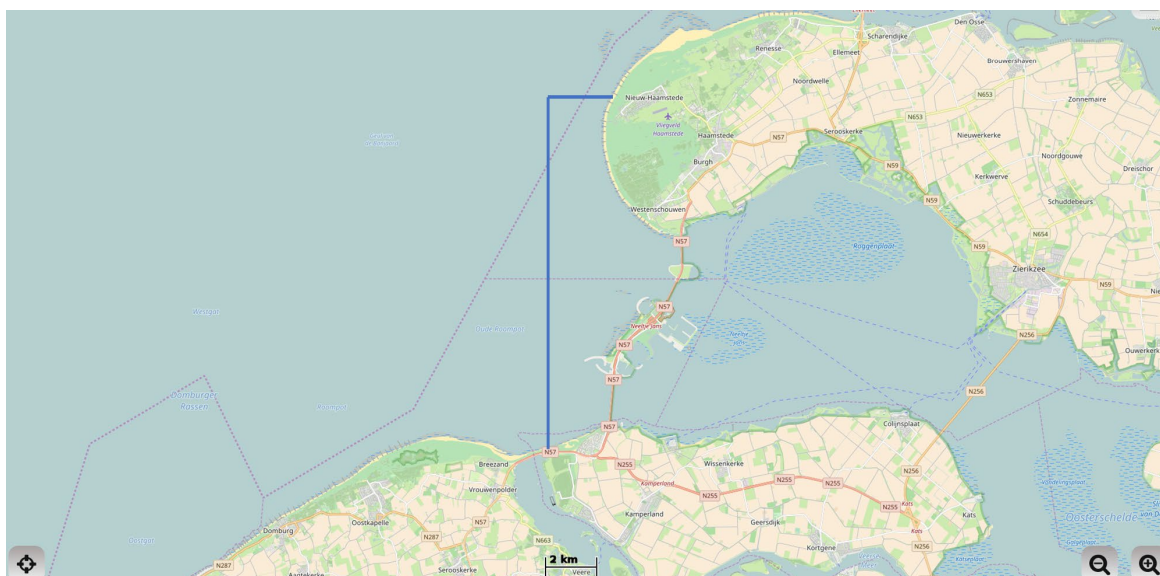
Gemiddeld over de jaren 2009-2017 werden in de Oosterschelde 17 ± 5.7 dode bruinvissen per jaar gevonden. Levend werden er gemiddeld over deze zelfde reeks van jaren 34 ± 13.2 geteld. Dit zou betekenen dat ongeveer de helft van alle bruinvissen die levend worden geteld in de Oosterschelde, jaarlijks ter plaatse sterft. Een dergelijke sterfte is alleen mogelijk bij import van dieren, via de Oosterscheldekering. Bij deze vergelijking tussen de aantallen dood gevonden en levend getelde dieren moeten echter wel een paar kanttekeningen worden gemaakt. Bij de tellingen van levende dieren kunnen dieren zijn gemist of dubbel geteld. De werkelijke aantallen levende dieren kunnen dus hoger of lager zijn. Nemen we het maximale aantal getelde dieren (61) als de beste maat voor de populatieomvang, dan is de relatieve sterfte 28% (17 van 61). Aan de andere kant zullen ook niet alle dieren die in de Oosterschelde dood gaan, worden gevonden. Karkassen kunnen zinken en door aaseters worden opgeruimd, ze kunnen aanspoelen op ontoegankelijke plekken, of ze kunnen via de Oosterscheldekering naar de Noordzee wegdrijven. Voor dit laatste bestaan vermoedens. Enkele

dieren die dood drijvend werden gemeld in de buurt van de kering, zijn niet langs de oevers van de Oosterschelde terug gevonden, terwijl er dan wel kort nadien een dode bruinvis net buiten de kering werd gevonden. Als we de dode dieren meerekenen die net buiten de kering aanspoelen (onder de aanname dat dit allemaal dieren zijn die afkomstig zijn uit de Oosterschelde), dan komen er gemiddeld over 2009-2017 nog 21 ± 7.9 dode dieren bij. Onder deze aanname zouden dan in de recente reeks van jaren jaarlijks gemiddeld 38 Oosterschelde-bruinvisen sterven (figuur 2.5-4), ruim de helft van het maximaal getelde aantal levende dieren.

Over de hele reeks van jaren sinds het gereed komen van de Oosterscheldekering (1986-2017) laten zowel de aantallen doodvondsten binnen als buiten de kering een toename zien (figuur 2.5-4 en 2.5-5). Hierbij lijkt het aandeel dieren dat net buiten de kering wordt gevonden, het afgelopen decennium relatief hoog. Sinds 2009, het jaar dat de dieren jaarlijks in de Oosterschelde worden geteld, lijkt de toestand stabiel: zowel het aantal levend getelde dieren (Figuur 2.5-1) als het aantal dood gevonden dieren in de Oosterschelde (Figuur 2.5-3) vertoont geen significante trend. De beschikbare data laten daarom geen effect zien dat zou kunnen duiden op een effect van de turbines in de kering op de aantallen bruinvisen in de Oosterschelde, dood of levend. Hierbij moet worden opgemerkt dat, gezien het geringe aantal datapunten van na de plaatsing van de turbines, een eventueel effect van die turbines erg sterk had moeten zijn om op te vallen.



Figuur 2.5-4: Aantallen bruinvisen die per jaar dood in de Oosterschelde werden gevonden (oranje) en net buiten de Oosterschelde kering (grijs). In dit overzicht is het nog lopende jaar (2018) niet opgenomen. Zie figuur 2.5-5 voor de begrenzing van het zoekgebied buiten de kering.



Figuur 2.5-5: De begrenzing van het zoekgebied voor dode bruinvisen buiten de Oosterscheldekering.

2.5.5 Referenties

Camphuysen C.J., M.L. Siemensma 2011. Conservation plan for the harbour porpoise *Phocoena phocoena* in The Netherlands: towards a favourable conservation status. NIOZ Rapport 2011-07, Texel.

Peltier H., H.J. Baagøe, C.J. Camphuysen, R. Czeck, W. Dabin, P. Daniel, R. Deaville, J. Haelters, T. Jauniaux, L.F. Jensen, P.D. Jepson, G.O. Keijl, U. Siebert, O. van Canneyt, V. Ridoux 2013. The stranding anomaly as population indicator: the case of harbour porpoise *Phocoena phocoena* in North-Western Europe. PLoS ONE 8(4): e62180. doi:10.1371/journal.pone.0062180.

Stichting Rugvin 2013. Opzet bruinvisscan Oosterschelde.
<https://rugvin.nl/wp-content/uploads/2011/04/Opzet-bruinvisscan-Oosterschelde-def..pdf>

2.6 Doodsoorzaak en dieet van gewonde /dode zeezoogdieren

Onderdeel van Werkpakket 1.6 en 1.7: Trendanalyse en Onderzoek naar doodsoorzaak gewonde/dode zeehonden en bruinvissen in Voordelta en Oosterschelde; auteurs: L. IJsseldijk (UU, Faculteit Diergeneeskunde, Departement Pathobiologie) en M. Leopold (WMR)

2.6.1 Inleiding

De mogelijke (negatieve) effecten van de getijdenturbines op de instandhoudingsdoelen van het beschermde Natura 2000-gebied Oosterschelde zijn getoetst in een Passende Beoordeling (PB) (Smit & Dankers 2010). Daarin staat: *"Zeehonden en Bruinvissen (de laatste soort generiek beschermd) passeren zeker de Oosterscheldekering, maar hierover zijn geen kwantitatieve gegevens bekend. [...] Wel bestaat het risico dat zij tijdens de passage door een schoep van een turbine worden geraakt, maar gelet op de snelheid van de turbinebladen (tipsnelheid 10 m/s) lijkt het waarschijnlijk dat ze deze kunnen ontwijken. [...] Dit aspect dient echter wel te worden meegenomen in een monitoring-programma."* In de verleende vergunning ex. de Wet natuurbescherming is deze aanbeveling alleen overgenomen voor de zeehonden. De vergunningverlener merkt de kans als zeer gering aan dat een zeehond door een turbineblad wordt geraakt en als gevolg daarvan een verwonding oploopt of wordt gedood. Toch acht hij het van belang om deze verwachting in de praktijk te valideren. Ondanks de beperking van de monitoringverplichting tot de zeehonden, wordt binnen het OTP-monitoring-programma het postmortaal onderzoek ook aan bruinvissen uit de Oosterschelde en de Voordelta uitgevoerd. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van alle gestrande en onderzochte zeehonden en bruinvissen die in het kader van het OPT-monitoringprogramma zijn verzameld.

Het hoofddoel van het onderzoek is het vaststellen van de doodsoorzaken van de onderzochte bruinvissen en zeehonden, waarbij in het bijzonder getracht is om te achterhalen of er onder de dood gevonden dieren gevallen waren waarbij de dood veroorzaakt zou kunnen zijn door contact met een turbine. Hier rapporteren we ook de biologische gegevens van de onderzochte dieren (geslacht en leeftijdsklasse) en hun fysieke condities. Daarnaast werd van de onderzochte dieren de maag verzameld voor dieetonderzoek.

In de eerste tussenrapportage (Leopold & Scholl 2018) is al geconstateerd, onder verwijzing naar een uitgebreide dieetstudie van Van Dam et al. (2017), dat het dieet van bruinvissen in de Oosterschelde niet sterk afwijkt van het dieet van bruinvissen in de Voordelta. In deze rapportage gaan we dieper in op het dieet van bruinvissen in de Oosterschelde in vergelijking met het dieet in de Voordelta en in een kleine stroom langs de buitenzijde van de Oosterscheldekering (figuur 2.5-5). In dit 'overgangsgebied' spoelen, naast dieren die zijn doodgegaan in de Voordelta (en die daar hun laatste maaltijd hebben genoten), wellicht ook dode dieren aan die afkomstig zijn uit de Oosterschelde en die met de ebstroom naar buiten zijn gevoerd. Ook maken we hier een vergelijking in de tijd.

Onderzoek naar dieet van bruinvissen in de (Voor-)delta vindt al plaats sinds 2006; dit in opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). Voor het huidige OTP-project is een extra inspanning gedaan om dode bruinvissen uit de Oosterschelde te bergen voor onderzoek, en ook uit het overgangsgebied langs de buitenzijde van de kering. Het onderzoek voor LNV liep intussen door, waardoor er informatie beschikbaar is uit de (hele) Voordelta. Daardoor kan ook een vergelijking gemaakt worden met voorgaande jaren. Tabel 2.6-1 geeft een overzicht van de aantallen onderzochte magen en van het aandeel magen waarin zich nog voedselresten bevonden ("volle magen"), per jaar, sinds 2006. Voor de hier gepresenteerde analyse zijn de gegevens gegroepeerd in drie geografische gebieden: Oosterschelde, overgangsgebied en Voordelta, en in drie perioden: de jaren met getijdenturbines in de kering (2016-2018) en twee voorgaande perioden die elk vijf jaren beslaan.

Tabel 2.6-1: Het aantal uitgezochte bruinvismagen dat per jaar (2006-2018) beschikbaar was voor analyse, voor drie deelgebieden in Zuidwest-Nederland.

Jaar	Oosterschelde		Overgangsgebied		Voordelta		Totaal		% "vol"
	magen	"volle" magen	magen	"volle" magen	magen	"volle" magen			
2006	9	7	2	2	19	16			
2007	1	1	10	9	25	19			
2008	4	2	1	0	29	24			
2009	4	2	10	6	16	14			
2010	3	1	3	2	24	17			
2011	12	8	35	24	80	55			
2012	5	4	24	17	97	77			
2013	3	3	9	5	42	38			
2014	10	9	5	2	10	8			
2015	1	1	3	3	10	7			
2016	5	4	4	4	24	18			
2017	14	9	24	18	14	7			
2018	6	4	3	2	6	4			
Totaal	77	55	133	94	396	304	606	453	75

Van de zeehonden die zijn onderzocht is eveneens de maag uitgenomen en de maaginhoud onderzocht. Voor dit onderzoek is voor het eerst onderzoek gedaan in Zeeland naar pathologie en dieet van zeehonden; er is dus geen vergelijkingsmateriaal voorhanden met eerdere jaren. Het aantal zeehonden dat kon worden onderzocht was beperkt. Daarom volstaan we hier met een globaal overzicht van doodsoorzaken en dieet.

2.6.2 Methoden

2.6.2.1 Pathologie

Bij een melding van een dode bruinvis of zeehond in het onderzoeksgebied zocht een medewerker van het vrijwillige strandingsnetwerk contact met de Universiteit Utrecht. Transport van het karkas werd in overleg gerealiseerd, waar nodig met tussentijdse vriesopslag. De autopsies werden uitgevoerd volgens eerder beschreven protocollen en methoden (Kuiken & García-Hartmann 1993, Begeman et al. 2014) en bestonden uit een uitwendig en een inwendig onderzoek, met het uiteindelijke doel om de doodsoorzaak te bepalen.

In het kort: De dieren werden gewogen en gemeten en het geslacht werd bepaald. Ze werden ingedeeld in drie leeftijdsklassen (neonaat, juveniel of adult) op basis van hun totale lengte en na inspectie van de geslachtsorganen. Strandingsgegevens, bestaande uit de GPS-locatie en datum, werden genoteerd. Ieder dier werd volledig gefotografeerd. Daarbij werd voor ieder dier gecontroleerd of er uitwendige tekenen waren van ziekte of andere verwondingen. Dit werd beschreven en fotografisch vastgelegd, en waar nodig bemonsterd.

Van ieder dier werd de staat van ontbinding bepaald. De staat van ontbinding is in vijf categorieën onderverdeeld (Decomposition Condition Code, DCC) met 1 (heel vers) tot en met 5 (in verregaande staat van ontbinding). Ook werd de voedingstoestand bepaald. Deze is af te leiden aan de blubberdikte en spiermassa, gezamenlijk met de aanwezigheid van inwendig vet. Naar aanleiding van deze metingen en observaties is er een Nutritive Condition Code (NCC) per dier genoteerd, met 1 (zeer goed) tot en met 6 (zeer slecht).

Tijdens het inwendige onderzoek werden alle aanwezige organen bekeken, beoordeeld en beschreven (zie: Begeman et al. 2014). Hierbij was men extra alert op aanwezigheid van stomp trauma, zoals bijvoorbeeld breuken, of onderhuidse bloedingen als gevolg van een harde klap. Van dieren met DCC 1-2 werden organen bemonsterd en in formaline gefixeerd. Het gefixeerde materiaal werd volgens standaardprocedure in paraffine ingebed en gesneden, waarna de coupes werden gekleurd met hematoxyline en eosine (H&E). Een veterinaire patholoog beoordeelde de coupes om eventuele afwijkingen op cellulair niveau vast te stellen.

De combinatie van alle uitwendige en inwendige bevindingen gepaard met de resultaten van het histopathologisch onderzoek (indien uitgevoerd) resulteerde per casus in een conclusie ten aanzien van een waarschijnlijke doodsoorzaakcategorie. Ten behoeve van het uitvoeren van de opdracht zoals hierboven beschreven werd getracht alle casussen onder te verdelen in de volgende drie categorieën: gezonde dieren die acuut gestorven waren, zieke en verzwakte dieren, en sterfte van zeer jonge dieren. Dieren met tekenen van 'stomp trauma' worden verder uitgelicht.

2.6.2.2 Dieetonderzoek

Van alle bruinvissen waarop in Utrecht sectie werd verricht, werd de maag uitgenomen en ingevroren bewaard voor dieetonderzoek. In Den Helder werden de magen weer ontdooid en met water uitgespoeld; uit de maaginhoud werden vervolgens alle harde prooiresten verzameld en gedetermineerd. Alle prooiresten werden opgemeten en teruggerekend naar prooigrootte (lengte en massa). Voor de verdere analyse werden de prooien gegroepeerd in een aantal functionele groepen: grondels, kabeljauwachtigen, zandspieringen, haringachtigen, estuariene rondvis, overige demersale rondvis, pelagische rondvis, overige rondvis, platvis, (pijl)inktvis en overige ongewervelden (cf. Leopold 2015). Voor iedere prooigroep werd het totaal aantal teruggevonden individuen bepaald (voor alle bruinvissen samen, per periode, per deelgebied) en de gezamenlijke prooimassa.

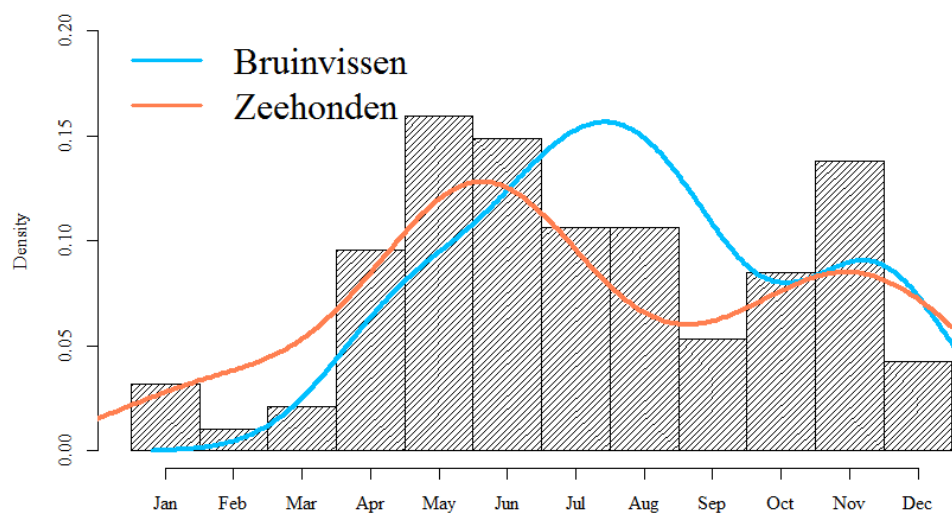
Voor iedere zeehond die voor deze studie is onderzocht geven we in deze rapportage de doodsoorzaak (voor zover bekend) en het dieet (indien een niet-lege maag aanwezig was). Het dieetonderzoek bij de zeehonden gebeurde op dezelfde wijze als bij de bruinvissen, op basis van prooiresten in de magen van de dood gevonden en verzamelde dieren.

2.6.3 Resultaten

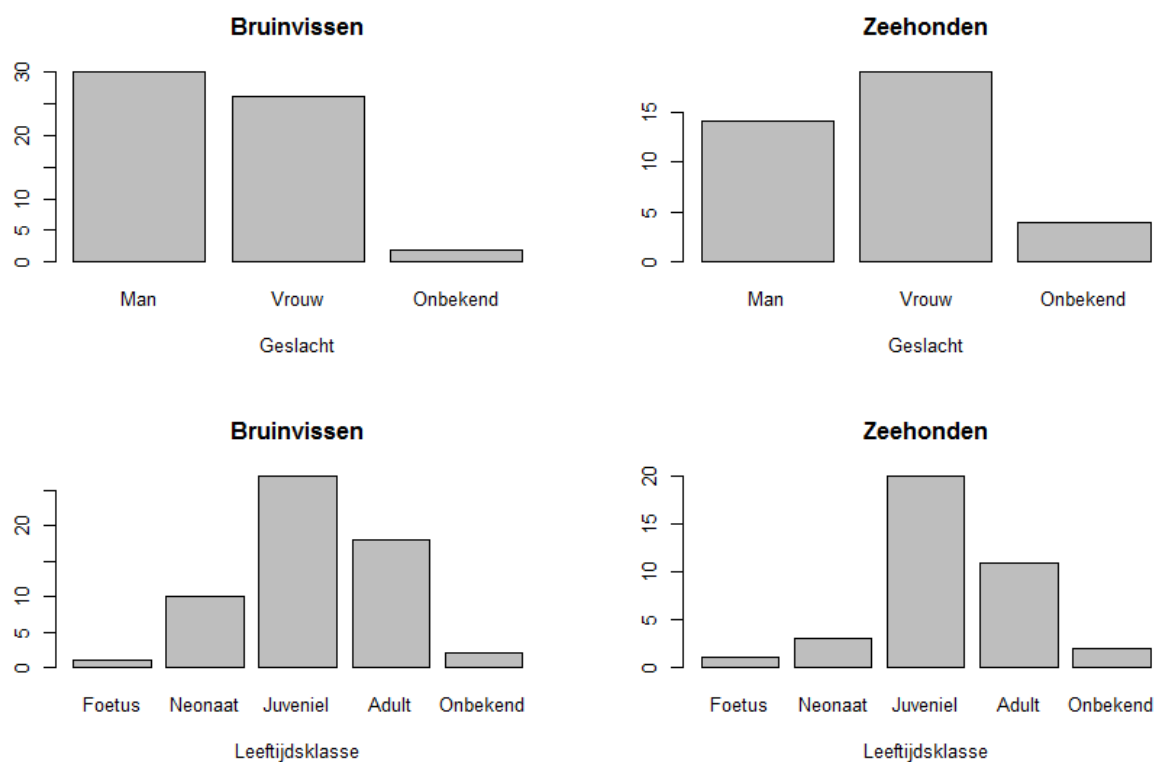
2.6.3.1 Pathologie

Strandingen

Tussen 22 maart 2016 en 30 juli 2018 zijn in totaal 95 dieren onderzocht: 58 bruinvissen en 37 zeehonden, waaronder zeven grijze zeehonden en dertig gewone zeehonden. De gestrande dieren werden in alle maanden van het jaar gevonden, met lage aantallen in de maanden december tot april, en gestaag oplopende aantallen in april/mei. Zeehondenaantallen piekten in mei/juni; bruinvisstrandingen in juli/augustus. Oktober/ november waren de maanden met weer oplopende strandingen van beide diersoorten; in december daalden de aantallen weer (figuur 2.6-1).



Figuur 2.6-1: Seizoensvariatie in strandingen van bruinvissen (blauw) en zeehonden (oranje) in het onderzoeksgebied over de onderzoeksperiode 22 maart 2016 en 30 juli 2018. Grijze kolommen zijn alle strandingen bij elkaar opgesteld.



Figuur 2.6-2: Geslacht- en leeftijdsklassedistributies. Let op verschillende schalen van de y-as van de afzonderlijke figuren.

Biologische gegevens

De leeftijdsklasse en geslachtsdistributie van de onderzochte dieren varieerde, maar bij beide diersoorten werden vooral juveniele dieren gevonden. Onder de bruinvissen waren dat er 27, met nog 18 adulte dieren, en tien neonaten. Van twee bruinvissen bleef de leeftijdsklasse onbekend. Er werd tevens één foetus gevonden. De geslachtsdistributie was redelijk evenwichtig: 30 mannelijke dieren

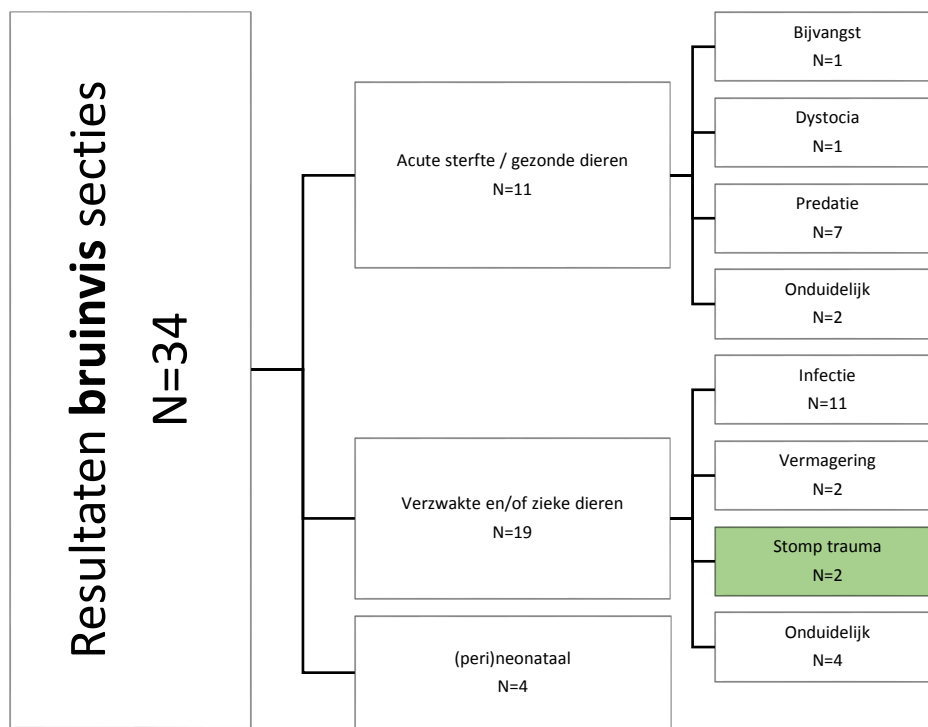
versus 26 vrouwelijke. Het geslacht van twee bruinvissen bleef onbekend. Onder de zeehonden vielen 20 juveniele dieren, 11 adulte en drie neonaten. Van twee zeehonden bleef de leeftijdsklasse onbekend. Er werd tevens één foetus gevonden. Er werden iets meer vrouwelijke dan mannelijke dieren gevonden: 19 versus 14. Het geslacht van vier zeehonden bleef onbekend (figuur 2.6-2).

Doodsoorzaken

Bruinvissen: Bij 34 casussen konden gegevens worden verzameld waarmee de vermoedelijke gezondheidstoestand van de bruinvissen kon worden bepaald. Elf casussen werden aan de hand van de sectieresultaten ingedeeld in de categorie 'acute sterfte/gezonde dieren'. Dit waren dieren waarbij er indicaties waren dat ze acuut waren gestorven, dat wil zeggen dat ze vermoedelijk in goede gezondheids- en voedingstoestand verkeerden ten tijde van overlijden en waarschijnlijk een snelle dood gestorven waren. Binnen deze groep viel één casus waarbij er aanwijzingen waren die wezen op sterfte door bijvangst; één casus waarbij er aanwijzingen waren die wezen op sterfte door *dystocia* (sterfte tijdens de bevalling); en zeven casussen waarbij sterfte door predatie door grijze zeehonden het meest waarschijnlijk was. Twee additionele casussen toonden aanwijzingen voor acute sterfte, maar het was hier onduidelijk wat de precieze oorzaak was. In geen van de elf casussen binnen de categorie 'gezonde dieren' werd aanwijzingen voor stomp trauma gevonden.

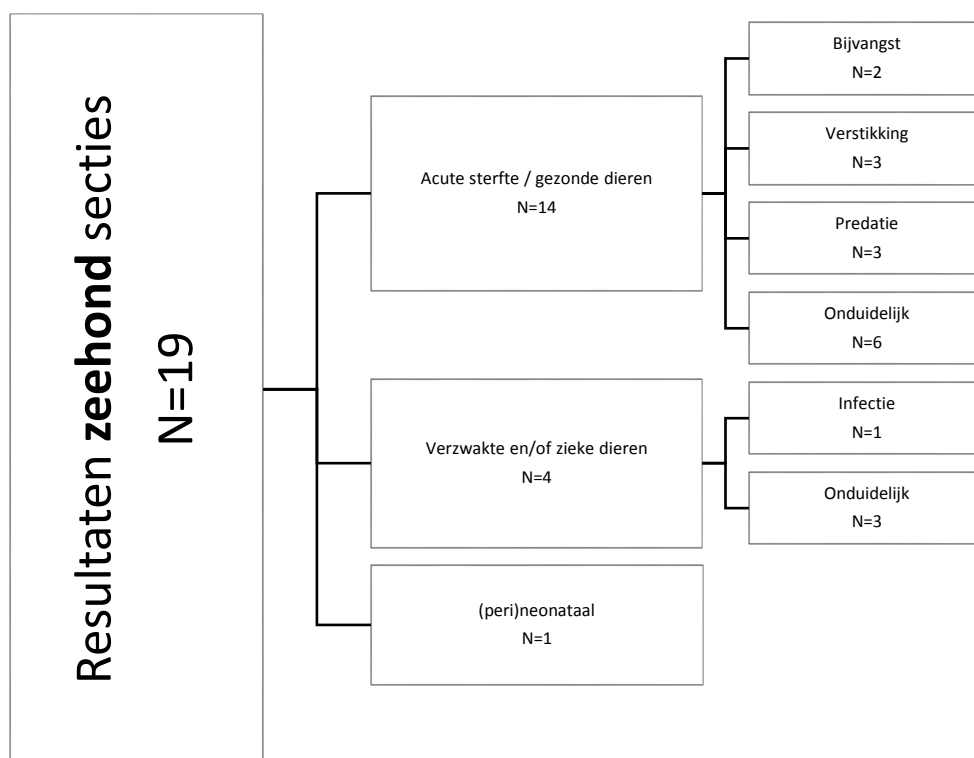
19 Casussen werden aan de hand van de sectieresultaten ingedeeld in de categorie 'verzwakte en/of zieke dieren'. Dit waren elf dieren waarbij indicaties waren voor infecties; twee dieren die ernstig vermagerd waren en waarbij geen onderliggende reden die de vermagering kon verklaren; en twee casussen met 'stomp trauma'. Deze bruinvissen waren beide ernstig vermagerd en de secties leverden een sterke verdenking op dat zij als gevolg van het geconstateerde stomp trauma zijn overleden. Het ene dier had een gebroken kaak met in het omliggende weefsel een ernstige bloeduitstorting, daarnaast een bloeding in de hersenen, waarschijnlijk ook als gevolg van het trauma, en een parasitaire longontsteking. Het andere dier had een bloeding op de schedel van ongeveer 10 x 5 cm groot, en ook bij dit dier werd een ernstige parasitaire belasting in verschillende organen gediagnosticeerd. Vier additionele casussen toonden aanwijzingen voor een verslechterde conditie, maar het was hier onduidelijk wat de precieze oorzaak was. Deze vier casussen toonden, voor zover nog te beoordelen was, geen tekenen die wezen op trauma.

Vier dieren vielen in de categorie 'neonatale sterfte'. Dit waren jonge dieren zonder zichtbare afwijkingen (figuur 2.6-3). In geen van deze vier casussen werden aanwijzingen voor stomp trauma gevonden.



Figuur 2.6-3: Overzicht van sectie resultaten bruinvissen (N=34) met meest waarschijnlijke doodsoorzaken, waarbij vooral onderscheid wordt gemaakt tussen acute sterfte (vermoedelijk gezonde dieren) en chronisch verzwakte en/of zieke dieren. Rechts in groen gemarkeerd de twee casussen van stomp trauma.

Zeehonden: Bij 19 casussen konden gegevens worden verzameld waarmee de vermoedelijke gezondheidstoestand van de zeehonden (hier: grijze- en gewone zeehonden samen genomen) kon worden bepaald. 14 casussen werden aan de hand van de sectieresultaten ingedeeld in de categorie 'acute sterfte/gezonde dieren'. Dit waren dieren waarbij er indicaties waren dat ze acuut waren gestorven, dat wil zeggen dat ze vermoedelijk in goede gezondheids- en voedingstoestand verkeerden ten tijde van overlijden en waarschijnlijk een snelle dood gestorven waren. Binnen deze groep vielen twee casussen waarbij er aanwijzingen waren die wezen op sterfte door bijvangst; drie casussen waarbij er aanwijzingen waren die wezen op sterfte door verstikking door prooi (een forse tong) die klem zat in de luchtpijp; en drie casussen waarbij sterfte door predatie door grijze zeehonden het meest waarschijnlijk was. Zes additionele casussen toonden aanwijzingen voor acute sterfte, maar het was hier onduidelijk wat de precieze oorzaak was. In geen van de 14 casussen binnen de categorie 'gezonde dieren' werd aanwijzingen voor stomp trauma gevonden.



Figuur 2.6-4: Overzicht van sectie resultaten zeehonden (N=19) met meest waarschijnlijke doodsoorzaken, waarbij vooral onderscheid wordt gemaakt tussen acute sterfte (vermoedelijk gezonde dieren) en chronisch verzwakte en/of zieke dieren.

Vier casussen werden aan de hand van de sectieresultaten ingedeeld in de categorie 'zieke of verzwakte dieren'. Daarbij ging het om één dier waarbij indicaties waren voor infecties, en drie additionele casussen die aanwijzingen vertoonden voor een verslechterde conditie, waarbij de precieze oorzaak echter onduidelijk was. Deze drie casussen toonden, voor zover dit nog te beoordelen was, geen tekenen die wezen op trauma. Daarnaast viel één zeehond binnen de categorie 'neonatale sterfte'. Dit was een jong dier zonder zichtbare afwijkingen (figuur 2.6-4).

2.6.3.2 Dieet

Bruinvissen

In totaal zijn voor deze rapportage de maaginhouden bekeken van 606 bruinvissen (2006-2018; alle deelgebieden). Driekwart van de magen bevatte bruikbare voedselresten (tabel 2.6-1). Van dit totaal zijn er 100 afkomstig van bruinvissen uit de jaren 2016-2018 (ten tijde van de getijdencentrale in de Oosterschelde). Van deze 100 magen bevatten er 70 voedselresten (verder aangeduid als "volle" magen). Van de 100 magen uit de jaren 2016-2018 waren er 25 (17 "volle") afkomstig uit bruinvissen die dood werden gevonden in de Oosterschelde; 31 (24 "volle") uit het overgangsgebied en 44 (29 "volle") uit de Voordelta. In de twee vijfjaarlijkse perioden voorafgaand aan dit project waren de aantallen geborgen bruinvissen in de Oosterschelde vergelijkbaar met die uit 2016-2018, maar waren de aantallen afkomstig uit het overgangsgebied en uit de Voordelta aanzienlijk hoger (Tabel 2.6-1). Vooral in de jaren 2011-2013 waren de aantallen bruinvissen die in de Voordelta dood aanspoelden, relatief hoog; mogelijk zijn er in die jaren, en wellicht in alle jaren van onderzoek, ook bruinvissen die verder op de Noordzee (bijvoorbeeld in Belgische en/of Franse wateren) stierven, in Zuidwest-Nederland aangespoeld.

In alle perioden en in alle deelgebieden domineren grondels het dieet van de onderzochte bruinvissen, in termen van aantallen gegeten prooien (tabel 2.6-3). Omdat grondels echter maar kleine visjes zijn, van ongeveer een gram per stuk, overheersen andere prooien vaak als we kijken naar de relatieve prooimassa's. In de Oosterschelde nam het belang van grondels als prooi af, en werden kabeljauw-achtigen en zandspieringen belangrijker, terwijl hier in de laatste jaren ook inktvissen relatief

belangrijk werden. Kabeljauwachtigen waren steeds de belangrijkste prooien in het overgangsgebied (in prooimassa). Daarmee onderscheidt dit gebied zich van zowel de Oosterschelde als de Voordelta. In de Voordelta was het dieet meer gevarieerd door een relatief groot belang van haringachtigen (haring en sprot). Zowel in de Oosterschelde als in de Voordelta waren estuariene rondvissen (vooral spiering) van een gering additioneel belang.

De verwachting ten aanzien van het dieet van bruinvissen gevonden in het overgangsgebied was, dat dit in zekere zin intermediair zou zijn tussen dat van de Voordelta en dat van de Oosterschelde. Dit leek in eerste instantie echter niet het geval te zien. Door de dominantie van kabeljauwachtigen en een relatief zeer gering belang van estuariene rondvis in het overgangsgebied, ten opzichte van zowel de Oosterschelde als de Voordelta, kent het overgangsgebied juist een dieet dat niet duidelijk intermediair is tussen dat van Oosterschelde enerzijds en Voordelta anderzijds. In dit opzicht levert het dieetonderzoek dus geen aanwijzing op dat er (veel) bruinvissen vanuit de Oosterschelde uitspoelen naar het overgangsgebied, nadat ze in de Oosterschelde zijn gestorven. Alleen het relatieve belang van zandspieringen lijkt enigszins intermediair te zijn in het overgangsgebied, maar in de eerste periode lijkt dit meer op dat van de Voordelta en in de tweede en derde periode meer op dat van de Oosterschelde.

Van alle gevonden prooi-soorten is er slechts één die kan worden beschouwd als een kensoort voor de Oosterschelde: de zwarte grondel. In het overzicht in tabel 2.6-3 is deze samen met andere, veel talrijker grondels in een groep samengenomen, waardoor het relatieve belang van deze kensoort niet kan worden beoordeeld. In tabel 2.6-2 zijn de gesommeerde aantallen zwarte grondels per jaar en per deelgebied opgenomen (wanneer ze werden aangetroffen in de magen). Uit dit overzicht blijkt, dat zwarte grondels inderdaad vaker werden aangetroffen in bruinvissen uit de Oosterschelde dan in bruinvissen uit de Voordelta. In enkele jaren werden zwarte grondels ook in relatief grote aantallen gevonden in magen van bruinvissen die waren aangespoeld in het overgangsgebied: dit maakt het zeer waarschijnlijk dat er toch af en toe een dode bruinvis door de kering naar buiten spoelt en in het overgangsgebied aanspoelt. Steeds ging het, wanneer zwarte grondels werden gevonden, om slechts enkele bruinvissen. Dit waren ofwel specialisten (of dieren die al dan niet toevallig op een concentratie zwarte grondels waren gestuit); deze hadden resten van tientallen tot circa 100 zwarte grondels in hun maag. Dit beeld geldt voor zowel de Oosterschelde als het overgangsgebied. In de Voordelta lijken zwarte grondels eerder 'bijvangst' van bruinvissen die gewoonlijk grondels eten. Onder de circa 62000 grondels waarvan resten in magen van Voordelta-bruinvissen werden gevonden (tabel 2.6-2), werden de resten van 8 zwarte grondels herkend. Een dergelijk laag aandeel mag verwacht worden op grond van het zeldzame voorkomen van zwarte grondels in de Voordelta (Heessen et al. 2015).

Tabel 2.6-2: Het voorkomen van de kensoort (voor de Oosterschelde) zwarte grondel (*Gobius niger*) in de magen van de onderzochte bruinvissen. NB: het aantal gevonden zwarte grondels was gering in vergelijking met de aantallen andere grondels (Tabel 2.6-3).

Jaar	Deelgebied	n-vissen	som massa	aantal bruinvissen
2006	Oosterschelde	27	56.4	1
2011	Oosterschelde	17	167.7	2
2014	Oosterschelde	71	575.3	5
2017	Oosterschelde	2	7.3	1
2018	Oosterschelde	5	43.6	1
2010	Overgangsgebied	59	92.5	1
2011	Overgangsgebied	2	6.3	1
2017	Overgangsgebied	101	406.4	1
2007	Voordelta	3	20.5	1
2011	Voordelta	2	4.3	1
2012	Voordelta	2	13.2	2
2013	Voordelta	1	4.2	1

In totaal konden de magen van 21 gewone zeehonden worden onderzocht (tabel 2.6-4a en b), maar hiervan waren er negen leeg, bevatte één maag alleen nog een enkel werveltje van een klein scholletje, en was één van de volle magen afkomstig van een dier dat aan de buitenzijde van de kering was gevonden. Van zeven gewone zeehonden waarop sectie werd verricht in Utrecht was geen maag beschikbaar voor dieetonderzoek: deze was ofwel niet aanwezig in het karkas, ofwel niet van belang voor dieetonderzoek (magen van neonaten die nog geen vast voedsel eten).

Het aantal magen van grijze zeehonden dat kon worden onderzocht was aanzienlijk lager. Er waren slechts drie magen beschikbaar van in de Oosterschelde gevonden grijze zeehonden, en van die drie magen was er één leeg. Van dieren die aan de buitenzijde van de kering zijn gevonden waren 5 magen waarin prooiresten werden gevonden beschikbaar.

De gewone zeehonden uit de Oosterschelde hadden vooral bodemvis gegeten. Hun dieet bestond voor het grootste deel uit platvis, met tong als belangrijkste prooi, maar ook schollen, botten, scharren, tarbotten en een enkele schurftvis werden terug gevonden in de magen. Drie dieren hadden (ook) kabeljauwachtigen gegeten; een maag bevatte resten van meerdere pitvissen en in enkele magen werden resten van kleine bodemvissen gevonden, die wellicht prooien zijn geweest van grotere vissen die weer door de zeehonden zijn gegeten (grondels, zandspieringen). In deze laatste categorie vallen ook de resten van garnalen en van enkele mariene wormen, en wellicht ook resten van krabben. Eén zeehond had een opmerkelijk dieet, bestaand uit: zwarte grondels (kensoort voor de Oosterschelde), een tong, zeven zeedonderpaden, een kabeljauw, een steenbolk, 30 vorskwabben, een pijlinktvis en wat resten van krabben. Vooral die 30 (!) vorskwabben (*Raniceps raninus*) zijn opmerkelijke prooien. Vorskwabben zijn kabeljauwachtige, rotsbodem bewonende vissen, die in Nederland zeldzaam zijn en die verstopt tussen stenen leven en daarbij niet of nauwelijks bewegen. Deze zeehond, gevonden bij St Maartensdijk (diep in de Oosterschelde) moet een specialist zijn geweest. Resten van pijlinktvis werden nog in twee andere gewone zeehondmagen aangetroffen en resten van een gewone zeekat (een inktvis) in een andere gewone zeehond. Eén zeehond had niet aan de bodem gefoerageerd maar hoger in de water kolom, getuige zijn dieet van makreel, geep, haring en sprout: de laatste twee vissoorten zouden weer secundaire prooien geweest kunnen zijn (de prooien van de door de zeehond gegeten makrelen en gepen).

Voedselresten in de magen van de twee onderzochte grijze zeehonden uit de Oosterschelde waren niet wezenlijk anders dan wat bij de gewone zeehonden werd gevonden. Het dieet bestond vooral uit platvis en demersale (aan de bodem levende) rondvissen.

Tabel 2.6-3: Het dieet, aangetroffen in de uitgezochte bruinvismagen (2006-2018), voor drie deelgebieden in Zuidwest-Nederland.

		som massa (g)				som massa (g)				som massa (g)	
		aantal				aantal				aantal	
2006-10		1648	5938	2006-10		1428	14474	2006-10		24180	73644
Oosterschelde	Grondels	96.42	69.89	Overgangsgebied	grondels	71.36	11.96	Voordelta	grondels	90.81	24.16
Oosterschelde	kabeljauwachtigen	1.09	20.89	Overgangsgebied	kabeljauwachtigen	11.13	73.29	Voordelta	kabeljauwachtigen	1.44	39.76
Oosterschelde	zandspieringen	0.42	0.68	Overgangsgebied	zandspieringen	11.69	9.39	Voordelta	zandspieringen	4.34	12.97
Oosterschelde	haringachtigen	0.42	3.98	Overgangsgebied	haringachtigen	0.14	1.24	Voordelta	haringachtigen	1.34	11.50
Oosterschelde	estuariene rondvis	0.24	3.71	Overgangsgebied	estuariene rondvis	0.07	0.00	Voordelta	estuariene rondvis	0.22	2.23
Oosterschelde	demersale rondvis	0.06	0.09	Overgangsgebied	demersale rondvis	0.00	0.00	Voordelta	demersale rondvis	0.10	0.67
Oosterschelde	overige rondvis	0.00	0.00	Overgangsgebied	overige rondvis	0.00	0.00	Voordelta	overige rondvis	0.02	0.00
Oosterschelde	pelagische rondvis	0.06	0.18	Overgangsgebied	pelagische rondvis	0.00	0.00	Voordelta	pelagische rondvis	0.16	6.94
Oosterschelde	Platvis	0.00	0.00	Overgangsgebied	platvis	0.42	0.11	Voordelta	platvis	0.17	0.43
Oosterschelde	Inktvissen	0.55	0.28	Overgangsgebied	inktvissen	4.06	3.93	Voordelta	inktvissen	1.09	1.25
Oosterschelde	ongewervelden	0.73	0.30	Overgangsgebied	ongewervelden	1.12	0.07	Voordelta	ongewervelden	0.32	0.10

		som massa (g)				som massa (g)				som massa (g)	
		aantal				aantal				aantal	
2011-15		7203	18164	2011-15		13648	31152	2011-15		22545	87840
Oosterschelde	Grondels	91.61	54.35	Overgangsgebied	grondels	95.27	43.61	Voordelta	grondels	85.21	19.15
Oosterschelde	kabeljauwachtigen	0.49	9.24	Overgangsgebied	kabeljauwachtigen	0.97	43.84	Voordelta	kabeljauwachtigen	1.69	28.01
Oosterschelde	zandspieringen	0.85	5.31	Overgangsgebied	zandspieringen	2.08	6.28	Voordelta	zandspieringen	5.58	14.67
Oosterschelde	haringachtigen	0.28	2.66	Overgangsgebied	haringachtigen	0.49	2.64	Voordelta	haringachtigen	2.92	11.27
Oosterschelde	estuariene rondvis	2.93	4.90	Overgangsgebied	estuariene rondvis	0.18	2.49	Voordelta	estuariene rondvis	2.15	11.91
Oosterschelde	demersale rondvis	0.00	0.00	Overgangsgebied	demersale rondvis	0.01	0.01	Voordelta	demersale rondvis	0.05	0.26
Oosterschelde	overige rondvis	0.00	0.00	Overgangsgebied	overige rondvis	0.00	0.00	Voordelta	overige rondvis	0.23	0.03
Oosterschelde	pelagische rondvis	0.33	0.44	Overgangsgebied	pelagische rondvis	0.02	0.10	Voordelta	pelagische rondvis	0.43	5.14
Oosterschelde	Platvis	0.04	0.05	Overgangsgebied	platvis	0.01	0.26	Voordelta	platvis	0.02	0.09
Oosterschelde	Inktvissen	3.37	23.02	Overgangsgebied	inktvissen	0.53	0.60	Voordelta	inktvissen	0.95	8.23
Oosterschelde	ongewervelden	0.10	0.03	Overgangsgebied	ongewervelden	0.44	0.19	Voordelta	ongewervelden	0.77	1.23

		som massa (g)				som massa (g)				som massa (g)	
		aantal				aantal				aantal	
EFRO: 2016-18		794	7639	EFRO: 2016-18		1133	31965	EFRO: 2016-18		21715	57054
Oosterschelde	Grondels	47.86	7.48	Overgangsgebied	grondels	60.72	3.46	Voordelta	grondels	95.98	22.79
Oosterschelde	kabeljauwachtigen	5.16	56.71	Overgangsgebied	kabeljauwachtigen	19.95	88.98	Voordelta	kabeljauwachtigen	1.63	59.91
Oosterschelde	zandspieringen	35.26	27.07	Overgangsgebied	zandspieringen	15.09	3.21	Voordelta	zandspieringen	0.45	0.88
Oosterschelde	haringachtigen	4.16	2.54	Overgangsgebied	haringachtigen	0.79	2.20	Voordelta	haringachtigen	1.41	11.64
Oosterschelde	estuariene rondvis	0.50	2.96	Overgangsgebied	estuariene rondvis	0.26	0.08	Voordelta	estuariene rondvis	0.17	2.04
Oosterschelde	demersale rondvis	0.00	0.00	Overgangsgebied	demersale rondvis	0.00	0.00	Voordelta	demersale rondvis	0.02	0.03
Oosterschelde	overige rondvis	0.00	0.00	Overgangsgebied	overige rondvis	0.00	0.00	Voordelta	overige rondvis	0.00	0.00
Oosterschelde	pelagische rondvis	0.25	0.13	Overgangsgebied	pelagische rondvis	0.09	0.90	Voordelta	pelagische rondvis	0.06	0.33
Oosterschelde	Platvis	0.00	0.00	Overgangsgebied	platvis	0.00	0.00	Voordelta	platvis	0.00	0.00
Oosterschelde	Inktvissen	5.54	2.93	Overgangsgebied	inktvissen	1.15	0.37	Voordelta	inktvissen	0.06	0.05
Oosterschelde	ongewervelden	1.26	0.19	Overgangsgebied	ongewervelden	1.94	0.80	Voordelta	ongewervelden	0.23	2.32

Tabel 2.6-4a: Gegevens van de dood gevonden **gewone** zeehonden die zijn onderzocht ten behoeve van de dieetstudie.

ID-UU	Datum	Stranding location	binnen/buiten	Leeftijd	Sexe	DCC	NCC	Doodsoorzaak	Dieet
3170329035	21-Nov-16	Burghsluis	binnen		Onbekend	5		Predatie (grijze zeehond)	geen maag
3170329036	20-Nov-16	Wissenkerke	binnen	Juveniel	Vrouw	4		Onbekend	Inktvis (1 zeekat); garnalen
3170501004	26-Apr-17	Oesterdam	binnen	Subadult	Man	3	2	Mogelijk bijvangst	makreel, geep, haring, sprot (volle maag)
3170515019	12-May-17	St Maartensdijk	binnen	Adult	Vrouw	3	1	Gestikt in grote platvis	tong, bot, schar (volle maag)
3170516009	14-May-17	St Maartensdijk	binnen	Subadult	Vrouw	4		Onbekend	5 zwarte grondels, tong, 7 zeedonderpad, kabeljauw, steenbolk, 30 Vorskwabben , pijlkinktvis, krabben
3170522030	22-May-17	Banjaardstrand	buiten	Subadult	Man	1	6	Bacteriële sepsis	lege maag
3170529010	23-May-17	St Maartensdijk	binnen	Juveniel	Onbekend	5		Onbekend	geen maag
3170607041	7-Jan-17	Kerkwerf	binnen	Juveniel	Onbekend	5		Onbekend	geen maag
3170810029	26-Jun-17	Kerkwerf	binnen	Juveniel	Vrouw	4		Onbekend	lege maag
3170929001	27-Sep-17	Colijnsplaat	binnen	Adult	Vrouw	4		Onbekend	lege maag
3171003024	26-Jun-17	Kerkwerf	binnen	Juveniel	Man	4		Onbekend	1 wervel van een schol
3171016023	13-Oct-17	Ouwkerk	binnen	Adult	Man	4	4	Onbekend	lege maag
3171016033	16-Oct-17	Oosterscheldekering	binnen	Adult	Man	4	4	Onbekend	Inktvis (1 zeekat)
3180322002	28-Dec-17	Westenschouwen	buiten	Subadult	Man	3	4	Onbekend	lege maag
3180322003	31-Aug-17	Colijnsplaat	binnen	Juveniel	Vrouw	3	3	Onbekend	tong, tarbot, schol, schar, bot, grondel (volle maag)
3180503002	2-May-18	Burgh-Sluis	binnen	Subadult	Vrouw	2	1	Gestikt in grote tong	grondels, zandspiering, tong
3180515040	19-Feb-18	Neeltje Jans	binnen	Juveniel	Man	5		Onbekend	1 zwemkrab
3180515041	14-May-18	Kamperland	binnen	Adult	Vrouw	4		Onbekend	Gewone pijlinktvis, noordhoren (operculum)
3180515042	24-Apr-18	Zierikzee	binnen	Subadult	Vrouw	4	1	Onbekend	kabeljauw, tarbot, schol, bot, grondel (volle maag)
3180712039	11-Jun-18	Colijnsplaat	binnen	Juveniel	Man	5		Onbekend	geen maag
3180625035	4-Nov-17	Wissenkerke	binnen	Juveniel	Man	5		Onbekend	lege maag
3180625036	10-Sep-17	Westenschouwen	buiten	Neonaat	Onbekend	5		dood geboren?	maag niet onderzocht
3180709035	8-May-18	Colijnsplaat	binnen	Unknown	Man	5		Onbekend	lege maag
3180709036	18-May-18	Neeltje Jans	buiten	Juveniel	Man	4	1	Predatie (grijze zeehond)	pitvis, wijting, zandspiering, tong, schol, bot, schar, grondel (volle maag)
3180708037	18-May-18	Neeltje Jans	buiten	Juveniel	Vrouw	5		Onbekend	lege maag
3180709038	18-May-18	Kamperland	binnen	Neonaat	Vrouw	4		Onbekend	maag niet onderzocht
3180709039	17-Jun-18	Westenschouwen	buiten	Neonaat	Man	5		Onbekend	maag niet onderzocht
3180801035	29-Jul-18	Oesterdam	binnen	Juveniel	Man	4	1	Bijvangst	lege maag

Tabel 2.6-4b: Gegevens van de dood gevonden **grijze** zeehonden die zijn onderzocht ten behoeve van de dieetstudie.

ID-UU	Datum	Stranding location	binnen/buiten	Leeftijd	Sexe	DCC	NCC	Doodsoorzaak	Dieet
3161115034	14-Nov-16	Kamperland	binnen	Adult	Vrouw	3	1	Predatie (grijze zeehond)	wijting, tong, schol, haring, zandspiering, garnaal (volle maag)
3161115035	14-Nov-16	Kamperland	binnen	Foetus	Vrouw	3		Foetus	maag niet onderzocht
3161215038	14-Dec-16	Neeltje Jans	buiten	Adult	Vrouw	4	1	Onbekend	wijting, tong
3170102020	1-Jan-17	Neeltje Jans, vluchthaven	buiten	Adult	Vrouw	3	1	Onbekend	tong, haring, garnaal
3170130039	26-Jan-17	Neeltje Jans	binnen	Juveniel	Vrouw	5		Predatie (grijze zeehond)	geen maag
3170407034	6-Apr-17	Kamperland	buiten	Adult	Man	4	1	Onbekend	Inktvis (1 zeekat)
3171010026	9-Oct-17	Neeltje Jans, Noordzeestrand	buiten	Adult	Man	4	2	Mogelijk bijvangst	wijting, tong, schol, bot, schar, makreel, grondel, zandspiering (volle maag)
3171031032	29-Oct-17	Kamperland	binnen	Adult	Vrouw	4		Onbekend	lege maag (wier en schelpen)
3180503001	2-May-18	Westenschouwen	buiten	Juveniel	Vrouw	2	1	Gestikt in een grote tong	tong, schol, schar, schurftvis, spiering (volle maag)
3180604011	2-Jun-18	Weversinlaag	binnen	Juveniel	Vrouw	4		Onbekend	tong, schol, schar, rode poon, zandspiering (volle maag)

2.6.4 Discussie en conclusie

Het aantal dieren dat in het kader van dit project kon worden onderzocht is beperkt. Daarnaast heeft versheid van kadavers een grote invloed op de mogelijkheid om casussen volledig te kunnen onderzoeken en vermindert de zekerheid waarmee diagnoses (ten aanzien van de doodsoorzaak) kunnen worden gesteld naarmate een karkas rotter is. Voor het dieetonderzoek maakt het niet veel uit hoe rot een karkas is omdat de harde prooiesten die hierbij worden gebruikt niet snel worden aangetast. Conclusies met betrekking tot doodsoorzaak en dus ook ten aanzien van de kans dat een dier met de diagnose stomp trauma door een turbine geraakt is, moeten daarom met de nodige voorzichtigheid worden getrokken. Twee van de 34 onderzochte bruinvissen zijn vermoedelijk gestorven als gevolg van een stomp trauma, onmiddellijk ofwel later. Deze dieren zijn met 'iets' in aanraking gekomen, en wel zodanig dat zij er een verwonding aan over gehouden hebben, maar indicaties wat dit 'iets' zou kunnen zijn, zijn niet toe te wijzen aan een specifieke oorzaak. Tijdens het reguliere post-mortaal monitoringonderzoek (in opdracht van het ministerie van LNV) van bruinvissen zijn soortgelijke verwondingen ook wel gevonden, nog voordat de getijdencentrale in werking was. Als mogelijke verklaringen werden destijds (inter-)specifieke interacties of botsingen met voorwerpen (schepen of obstakels in de omgeving) gegeven. Hoewel botsing(en) met een turbine als mogelijke verklaring voor de dood van de twee gevonden bruinvissen met gebroken kaken niet uitgesloten kan worden, is dit dus zeker niet de enige mogelijke oorzaak.

Een minderheid van de bruinvissen, maar een meerderheid van de zeehonden, is een acute dood gestorven: vermoedelijk door predatie (door grijze zeehonden) en verdrinking in netten, of, zoals aangetoond voor drie zeehonden, doordat ze in hun laatste maaltijd zijn gestikt. Die laatste maaltijd is in alle onderzochte gevallen een forse platvis geweest. Hoewel zeehonden over zulke sterke klauwen, tanden en kiezen beschikken dat ze grote prooien daarmee aan stukken kunnen scheuren voordat ze deze inslikken, gaat de voedselinname blijkbaar toch regelmatig mis. Dit fenomeen is ook elders beschreven voor zeehonden (Haelters et al. 2017), bruinvissen (Siebert & Frese 1993, Benke et al. 1998, Ryan & Bolin 2014, Roller et al. 2017) en grotere walvisachtigen (IJsseldijk et al. 2015). Tongen blijken hierbij vaak de boosdoeners. Verstikking in vissen is vaker beschreven voor walvisachtigen dan voor zeehonden. Twee grote pathologische studies aan gewone zeehonden in het Noordzeegebied, van Siebert et al. (2007) over 355 dieren uit Schleswig-Holstein en van Tegenbosch (2014) over 132 in Nederland dood gevonden gewone zeehonden, leverden geen enkel geval van verstikking in prooi op. Sindsdien is één geval van een zeehond die in een platvis was gestikt, bij de Universiteit van Utrecht aangebracht (<https://www.zeezoogdieren.org/wordpress/2017/04/29/terschellingse-london-zoo-zeehond-gestikt-in-platvis/>). In de hier gerapporteerde OTP-studie werd verstikking gevonden bij drie van de 38 onderzochte gewone en grijze zeehonden (8%), een hoge incidentie die echter is gebaseerd op een kleine steekproef. In Nederland eten bruinvissen nauwelijks platvis (Leopold 2015), waardoor dit type verstikking hier bij bruinvissen nog niet is waargenomen.

Predatie door grijze zeehonden is een ander opmerkelijk fenomeen. Dit was al bekend van bruinvissen (als prooi; Leopold et al. 2015), ook specifiek in de Oosterschelde (Podt & IJsseldijk 2017), maar ook gewone zeehonden en zelfs exemplaren van de eigen soort kunnen ten prooi vallen aan grijze zeehonden (kannibalisme; Brownlow et al. 2016). Verdrinking, vermoedelijk in visnetten en/of fuiken is een andere belangrijke doodsoorzaak, die ook eerder al is benoemd voor de Oosterschelde (Brasseur 2018). Verdrinking in vistuig is bij zeehonden, vanwege hun dikke harige vacht waarin afdrukken van netwerk niet lang zichtbaar blijven, moeilijk postmortaal vast te stellen. Een aantal magen van dode zeehonden zat helemaal vol met pas gevangen vis, en alle dieren met een dergelijke maagvulling zijn in feite kandidaten voor de doodsoorzaak 'bijvangst'. Eén zeehond (nr 3180801035; Tabel 2.4-6b) werd verdrongen gevonden in een fuik (figuur 2.6-5).



Figuur 2.6-5: Gewone zeehond nr. 3180801035, aangetroffen in een fuik in de Oosterschelde. Foto: Jaap van der Hiele, <https://waarneming.nl/waarneming/view/160660790>

Het onderzoek aan het dieet van de bruinviss heeft aanvullende informatie opgeleverd over het mogelijk uitspoelen van dode bruinvissen vanuit de Oosterschelde naar de Voordelta. Dit houdt in, dat het aantal dood gevonden bruinvissen in de Oosterschelde vermoedelijk een onderschatting is van de werkelijke lokale sterfte. Hoewel het pathologisch onderzoek geen bijzonder hoge aantallen verhongerde dieren heeft opgeleverd, lijken bruinvissen het in de Oosterschelde toch niet makkelijk te hebben. De visstand is er relatief laag (Van Dam et al. 2017). Bovendien loeren er gevaren in de vorm van grijze zeehonden en visnetten. Of de turbines van de getijdencentrale een bijdrage hebben geleverd aan het sterftcijfer van bruinvissen dat verbonden is met 'stomp trauma' (2 dieren), is moeilijk te zeggen. Het onderzoek aan het dieet van de zeehonden liet een divers dieet zien, met een hoog aandeel aan bodemvis. Foerageren aan de bodem maakt deze viseters, net als bruinvissen, kwetsbaar voor verdrinking in op de bodem staande vistuigen. Aanwijzingen voor sterfte door aanraking met de turbines van de getijdencentrale zijn er niet; er werden geen zeehonden met stomp trauma gevonden. Het aantal dieren dat kon worden onderzocht, was echter gering.

Het is niet mogelijk om op basis van het onderzoek naar dode dieren in de relatief korte onderzoeksperiode van dit project (2016-2018) uitspraken te doen met betrekking tot eventueel optredende langetermijneffecten en/of cumulatieve effecten van de aanwezigheid van de getijdencentrale. Trendanalyses van strandingsaantallen (zoals die uit hoofdstuk 2.5) over een langere periode, voortgezette monitoring van de gezondheidsstatus van de lokale populaties en vooral meer inzicht in het type verwondingen dat bruinvissen en zeehonden zouden kunnen oplopen wanneer ze bij het passeren van de getijdencentrale in aanraking komen met de turbines, zijn nodig om de eventuele risico's van de getijdencentrale op de zeezoogdierpopulaties beter te kunnen beoordelen.

2.6.5 Referenties

Begeman L., L.L. IJsseldijk, A. Gröne 2014. Postmortaal onderzoek van bruinvissen uit Nederlandse wateren 2009 – 2013. Intern rapport Utrecht Universiteit.

Benke H., Siebert U., Lick R., Bandomir B. & Weiss R. 1998. The current status of Harbour Porpoises (*Phocoena phocoena*) in German waters. *Archive of Fishery and Marine Research* 46: 97-123.

-
- Brasseur S. 2018. Stranding and rehabilitation in numbers: Population development and stranding data on the Dutch coasts 1990-2016. Analysis of new data from a public database. Wageningen Marine Research report C108/17.
- Brownlow A., Onoufriou J., Bishop A., Davison N., & Thompson D. 2016) Corkscrew seals: grey seal (*Halichoerus grypus*) infanticide and cannibalism may indicate the cause of spiral lacerations in seals. PLoS one, 11(6), e0156464.
- Dam S. van, L. Solé, L.L. IJsseldijk, L. Begeman, M.F. Leopold 2017. The semi-enclosed tidal bay Eastern Scheldt in the Netherlands: porpoise heaven or porpoise prison? Lutra 60: 5-18.
- Haelters J., Dabin W., Doom M., Kerckhof F., Steyaert A. & Jauniaux T. 2017. Grey seals choking on common soles. Succumbing to the sin of gluttony. Poster (intern), RBINS, Oostende, België.
- Heessen H.J.L., Daan N. & Hislop J.R. 2015. Fish atlas of the Celtic Sea, North Sea, and Baltic Sea. KNNV Publishing, Wageningen Academic Publishers, 572p.
- Dam S. van, L. Solé, L.L. IJsseldijk, L. Begeman, M.F. Leopold 2017. The semi-enclosed tidal bay Eastern Scheldt in the Netherlands: porpoise heaven or porpoise prison? Lutra 60: 5-18.
- Heessen H.J.L., N. Daan, J.R. Hislop 2015. Fish atlas of the Celtic Sea, North Sea, and Baltic Sea. KNNV Publishing, Wageningen Academic Publishers, 572p.
- Kuiken T., M. Garcia-Hartmann 1993. Proceedings of the first ECS workshop on cetacean pathology: dissection techniques and tissue sampling, Leiden, The Netherlands. ECS Newsletter 17: 1-39.
- Leopold M.F. 2015. Eat or be eaten: porpoise diet studies. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen.
- Leopold M., M. Scholl (eds.) 2018. Monitoring getijdenturbines Oosterscheldekering. Jaarrapportage 2017. Wageningen Marine Research, Wageningen UR (University & Research centre), Wageningen Marine Research rapport C036/18, 49 p.
- Leopold M.F., Begeman L., van Bleijswijk J.D. L., IJsseldijk L.L., Witte H.J. & Gröne A. 2015. Exposing the grey seal as a major predator of harbour porpoises. Proc. Royal Soc. B. 282: 20142429.
- Podt, A., & IJsseldijk, L. L. 2017. Grey seal attacks on harbour porpoises in the Eastern Scheldt: cases of survival and mortality. Lutra, 60: 105-116.
- Roller M., Gross S., Reckendorf A., Andreasen H., Wohlsein P. & Siebert U. 2017. Fatal asphyxiation with laryngeal displacement caused by flatfish in harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). Poster, 31st Ann. Conf. ECS, Middelfart, Denemarken.
- Ryan C., V. Bolin 2014. Stranded harbour porpoise (*Phocoena phocoena* (Grey)) with throat obstructed by a scad (*Trachurus trachurus* (L.)). Irish Naturalists' Journal 33: 155-156.
- Siebert U. & Frese K. 1993. Endbericht über das Teilprojekt "Pathologisch-anatomische und histopathologische Untersuchungen an Kleinwalen". in: H. Bohlken, H. Benke & J. Wulf (eds). Untersuchungen über Bestand, Gesundheitszustand und Wanderungen der Kleinwalpopulationen (Cetacea) in deutschen Gewässern. Unpubl. Report Institut für Haustierkunde, Kiel.
- Siebert U., P. Wohlsein, K. Lehnert en W. Baumgärtner 2007. Pathological findings in jarbour seals (*Phoca vitulina*): 1996-2005. J. Comp. Path. 137: 47-58.
- Smit C.J. en N.M.J.A. Dankers 2010. Passende Beoordeling van een getijdencentrale in de Oosterscheldekering. IMARES Rapport C042/10, 56 p.

Tegenbosch S. 2014. Pathological findings in 132 Dutch harbour seals (*Phoca vitulina*).
Ongepubliceerd studentenrapport, Universiteit Utrecht, Faculteit Diergeneeskunde, Departement Pathobiologie.

IJsseldijk L.L., Leopold M.F., Bravo Rebolledo E.L., Deaville R., Haelters J., IJzer J., Jepson P.D. & Gröne A. 2015. Fatal asphyxiation in two long-finned pilot whales (*Globicephala melas*) caused by common soles (*Solea solea*)

2.7 Synthese

Het OTP-monitoringprogramma is erop gericht kennis te genereren op basis waarvan een betere beoordeling kan plaatsvinden van risico's van mogelijkerwijs optredende effecten van de getijdencentrale op de beschermde natuurwaarden en kenmerken van de Oosterschelde en Voordelta. Significant negatieve effecten op de relevante instandhoudingsdoelstellingen worden door de vergunningverlener uitgesloten; de voorgeschreven monitoring dient derhalve om resterende risico's beter te kunnen beoordelen. Daarvoor is inzicht nodig in de effecten die de turbines mogelijk hebben op de waterverplaatsing door de Oosterscheldekering en daaruit voortvloeiende veranderingen in getijdenamplitude en zandhonger van de Oosterschelde, alsmede, vanuit oogpunt van veiligheid, effecten op de kering zelf en de bodem(bescherming) voor en achter de kering. Ook is inzicht nodig in de (on)mogelijkheden voor zeezoogdieren, te weten bruinvissen en zeehonden, om heen en weer te zwemmen tussen Noordzee en Oosterschelde en in de risico's voor botsingen met de turbines. In de OTP-monitoring wordt de huidige situatie, met turbines in de opening Roompot 8 van de Oosterscheldekering, vergeleken met die zonder turbines, de zogenaamde nulsituatie. Wanneer in de huidige situatie relevante veranderingen worden vastgesteld die niet kunnen worden toegeschreven aan de autonome ontwikkeling van het gebied en daarin aanwezige diersoorten, vraagt dat om een verklaring.

De monitoringverplichting houdt verband met twee mogelijke directe effecten van de getijdencentrale: versterken van het verschijnsel zandhonger en daarmee het eroderen van het intergetijdengebied, en de kans dat zeezoogdieren in aanraking komen met een roterend turbineblad (verwonding of dood) of door de turbines ervan worden weerhouden de Oosterschelde binnen te zwemmen (barrièrewerking/habitatverlies). Een indirect effect op zeehonden kan optreden wanneer de fysische veranderingen door zandhonger zo groot worden dat er sprake is van een substantieel areaalverlies bij zeehondenligplaatsen. Op basis van de resultaten van het onderzoek naar veranderingen in het stroombeeld (paragraaf 2.2 en hieronder) is duidelijk geworden dat er geen additioneel effect van de getijdencentrale op de zandplaten in de Oosterschelde te verwachten is. Onafhankelijk van de getijdencentrale blijft de autonome ontwikkeling bestaan, dat het areaal aan geschikte ligplaatsen voor zeehonden op de langere termijn zou kunnen afnemen als gevolg van zandhonger. Het vergunde project (turbines in Roompot 8) en het nog niet gerealiseerde project (Roompot 10) lijken op basis van modelberekeningen echter geen significante effecten te hebben op de door 'zandhonger' veroorzaakte dynamiek van erosie en sedimentatie, en beheersmaatregelen, die de belangrijkste platen voor vogels en zeehonden in stand moeten houden, worden al vanuit andere natuurbeleidsdoelstellingen genomen.

Voor de OTP-monitoring van de mogelijke effecten op zeezoogdieren is vooral gebruik gemaakt van data uit eerdere onderzoekprojecten en reguliere meetprogramma's. De gegenereerde resultaten leveren 'puzzelstukjes' aan kennis op die naarmate er meer beschikbaar komen, uiteindelijk het gevraagde totaalbeeld kunnen opleveren. Kennis van het gedrag van dieren tijdens het passeren van de kering onder de (veranderde) stromingsomstandigheden ter plaatse is hier cruciaal. Maar die kennis laat zich niet makkelijk vergaren. Hoewel niet één op één te vertalen naar de situatie in het wild, kan voor een verbeterde inschatting van aanvaringsrisico's wel gebruik worden gemaakt van relevante resultaten uit experimenteel onderzoek aan zeezoogdieren in gevangenschap. In 2018 is daarom in het kader van de OTP-monitoring een bureaustudie in opdracht gegeven aan het onderzoeksinstituut Seamarco, die heeft geleid tot een *position paper* (zie bijlage).

De fysische monitoring, aan stroomsnelheden, getijdenamplitude en zandhonger vindt plaats door directe metingen te doen aan de stroming door opening Roompot 8, door het vergelijken van de langdurige trends in waterstandsvariatie tegen de één jaar aan waterstandsdata waarin de getijdeturbines zijn geïnstalleerd, en door modellering. (Voor een tweede jaar waren helaas nog niet voldoende gevalideerde metingen beschikbaar.) Het effect van de turbines op de doorstroming van de kering en de grootschalige diepte-gemiddelde stroming in de Roompot zijn betrekkelijk klein. Ook de bodembescherming is bij het huidige gebruik niet in het geding. Verder lijken de beide vergunde projecten (turbines in Roompot 8 en het nog niet gerealiseerde Roompot 10) op basis van modelberekeningen geen significante effecten te hebben op de door 'zandhonger' veroorzaakte dynamiek van erosie en sedimentatie. De marges waarin eventuele hydraulische en morfologische

effecten van de turbines zich kunnen afspelen zijn zo klein dat het niet aannemelijk is dat het habitat van de zeezoogdieren daardoor beïnvloed wordt. Hiervan te onderscheiden is hoe zeezoogdieren reageren op de aanwezigheid van de turbines. Op basis van de bevindingen uit het *position paper* van Seamarco mag worden aangenomen dat het kleine aantal bruinvissen dat zich niet door de kering laat weerhouden de Oosterschelde binnen te zwemmen, dat waarschijnlijk alleen doet rond hoogwaterkentering. Dat is bij de Oosterscheldkering het tijdstip één uur na hoogwater. Het water staat dan bijna stil waardoor de turbines zeer langzaam draaien – voor zover ze niet al uit het water zijn getild. Dat maakt de kans dat bruinvissen met de turbines in aanraking nagenoeg nihil. Op grond van waarnemingen van gewone zeehonden die de stormvloedkering passeren zelfs wanneer de stroming sterk en turbulent is, wordt aangenomen dat de kering voor hen geen barrière vormt. Het wordt onwaarschijnlijk geacht dat de bereidheid van de meeste gewone zeehonden om de kering te kruisen, door de turbines afneemt. Het is ook niet te verwachten dat gewone zeehonden met de turbines in aanraking komen omdat ze verschillende sensorische systemen kunnen gebruiken om de bewegende turbinebladen te detecteren en ze voldoende ruimte hebben om onder de turbines door te zwemmen.

Het aantal dood gevonden dieren in de Oosterschelde is hoog in vergelijking met de geschatte populatiegrootte binnen de Oosterschelde. Dit kan een indicatie van een netto-instroom van dieren via de Oosterscheldkering. Zeehonden en bruinvissen die dood zijn gevonden in de Oosterschelde of net daarbuiten zijn onderworpen aan pathologisch onderzoek. Hierbij zijn enkele dieren gevonden die zijn gestorven na een harde klap met een onbekend voorwerp ('stomp trauma'). Dergelijk trauma is eerder echter ook wel aangetroffen bij dieren die elders in Nederland dood werden gevonden, in jaren voor de ingebruikname van de turbines in de Oosterscheldkering.

3 Kwaliteitsborging

Werkpakket 1.8 Proces-en kwaliteitsbewaking onderzoek naar omgevingseffecten

Binnen het OTP-project is afgesproken dat elke partner voor zijn scope gebruik zal maken van zijn in-huis-procedures met betrekking tot kwaliteitsborging. De betrokken kennisinstituten maken wel deel uit van het consortium maar hebben hierbinnen nadrukkelijk een onafhankelijke (wetenschappelijke) positie. Ter verduidelijking: WMR voert de coördinatie uit over het onderzoek naar omgevingseffecten maar is niet inhoudelijk verantwoordelijk voor de resultaten van de afzonderlijke hierbij betrokken kennisinstellingen. Als onderdeel van werkpakket 1.8 bewaakt WMR het proces rond alle natuur- en milieuonderzoek binnen het project en ziet toe op de borging van de kwaliteit van de rapportages.

Wageningen Marine Research zelf beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 187378-2015-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2021. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V.

De onderdelen van de voorliggende jaarrapportage die door WMR zijn opgesteld, zijn op basis van de eigen ISO-procedures afzonderlijk aan een review onderworpen, uitgevoerd door een niet bij het OTP-project betrokken deskundige bij WMR (zie onder Verantwoording).

Verantwoording

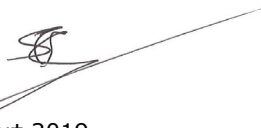
Rapport C010/19

Projectnummer: 431 21000 29

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen overeenkomstig hetgeen vermeld staat in hoofdstuk 3. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research/director.

Akkoord: Ir. Steve Geelhoed, zeezoogdierdeskundige
[paragrafen 2.4-2.7]

Handtekening:



Datum: 12 maart 2019

Akkoord: Dr. Mardik F. Leopold, marien ecooloog

Handtekening:



Datum: 12 maart 2019

Akkoord: Dr. ir. Tammo P. Bult, director

Handtekening:



Datum: 12 maart 2019

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 09 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Visitors address

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 5, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden



Wageningen Marine Research is the Netherlands research institute established to provide the scientific support that is essential for developing policies and innovation in respect of the marine environment, fishery activities, aquaculture and the maritime sector.

Wageningen University & Research is specialised in the domain of healthy food and living environment.

The Wageningen Marine Research vision:

‘To explore the potential of marine nature to improve the quality of life.’

The Wageningen Marine Research mission

- To conduct research with the aim of acquiring knowledge and offering advice on the sustainable management and use of marine and coastal areas.
- Wageningen Marine Research is an independent, leading scientific research institute.

Wageningen Marine Research is part of the international knowledge organisation Wageningen UR (University & Research centre). Within Wageningen UR, nine specialised research institutes of Stichting Wageningen Research (a Foundation) have joined forces with Wageningen University to help answer the most important questions in the domain of healthy food and living environment.

Position paper:
Effects of the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier and tidal energy turbines on harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) and harbor seal (*Phoca vitulina*) movements

SEAMARCO report 2019-01
February 2019



Position paper:

Effects of the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier and tidal energy turbines on harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) and harbor seal (*Phoca vitulina*) movements

SEAMARCO report 2019-01

February 2019

Authors:

Dr. ir. Ron Kastelein (SEAMARCO)

Dr Nancy Jennings (Dotmoth)

Commissioner to SEAMARCO:

Wageningen Marine Research

Contacts:

Michaela Scholl

Dr. Mardik Leopold

Funding agency:

The European Fund for Regional Development in relation to “OP-Zuid”

Contractor:

Dr. ir. R. A. Kastelein

Director & owner

SEAMARCO (Sea Mammal Research Company)

Applied research for marine conservation

Julianalaan 46

3843 CC Harderwijk

The Netherlands

Tel (Office): +31-(0)341-456252

Tel (Mobile): +31- (0)6-46-11-38-72

Fax: +31-(0)341-456732

E-mail: researchteam@zonnet.nl

Photos front page: SEAMARCO ©

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced and/or published by print, photoprint, microfilm or any other means, without the previous written consent of SEAMARCO. In case this report was drafted on instructions, the rights and obligations of contracting parties are subject to the relevant agreement concluded between the contracting parties. © 2019 SEAMARCO

Table of Contents

Abstract	4
1 Introduction	5
<i>The Eastern Scheldt and the storm surge barrier.....</i>	5
<i>Existing and proposed tidal energy turbines in the barrier.....</i>	7
<i>Current research and questions</i>	9
2 Effects of the barrier and turbines on harbor porpoises	10
<i>Numbers of harbor porpoises in the Eastern Scheldt.....</i>	10
<i>Why harbor porpoises enter the Eastern Scheldt</i>	10
<i>Effect of the barrier on movements of harbor porpoises.....</i>	10
<i>Effect of existing turbines on harbor porpoises.....</i>	12
<i>Effect of extra turbines on harbor porpoises</i>	13
<i>Likelihood of harbor porpoises colliding with turbines</i>	13
<i>Mitigation for harbor porpoises</i>	15
3 Effects of the barrier and turbines on harbor seals	15
<i>Numbers of harbor seals in the Eastern Scheldt.....</i>	15
<i>Why harbor seals enter the Eastern Scheldt.....</i>	15
<i>Effect of the barrier on movements of harbor seals</i>	15
<i>Effect of existing turbines on harbor seals</i>	16
<i>Effect of extra turbines on harbor seals.....</i>	16
<i>Likelihood of harbor seals colliding with turbines</i>	16
<i>Mitigation for harbor seals</i>	17
4 Suggestions for research	18
5 Acknowledgements	18
6 References	19

Abstract

The Eastern Scheldt Storm Surge Barrier, completed in 1986, was built to protect the Netherlands from flooding. The barrier has resulted in changes in the environment: specific fauna and flora are found around the concrete structures of the barrier; currents and tides have changed; sand and stone deposits have formed around the pillars; and changes in sand movements have resulted in the lowering of tidal flats.

The aim of this paper is to describe how the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier and the existing and proposed tidal energy turbines within it affect harbor porpoises and harbor seals. Both species show individual differences in behavior and in responses to structures and sounds, and the conclusions drawn in this paper may not be valid for all animals in the population. In addition, sick animals may behave differently, or may be transported through the barrier by the currents. No consideration is given to effects on fish, the prey of porpoises and seals; any effect on fish may in turn affect their predators. Some of the information in this paper is applicable to nearby areas for which tidal energy turbines are being considered (Grevelingendam and Brouwersdam), but some is uniquely applicable to the biology and physics of the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier.

The storm surge barrier restricts the movements of harbor porpoises, as they prefer not to enter narrow spaces such as the open gates. In addition, the strong turbulence caused by currents during the flood and ebb tides reduce the echolocation ability of porpoises to orient themselves and forage close to the barrier. The few harbor porpoises that cross the barrier probably do so at slack tides (most likely at high slack tide in the deeper central gates of the 3 sections of the barrier). At high slack tide, the turbines are turning very slowly or not at all, so healthy harbor porpoise are not expected to collide with the blades.

In the scenario of large-scale roll-out of turbines in multiple gates of the barrier, the turbines are expected to add to the barrier function, as they may partially block the gates. However, this added barrier function will affect a maximum of 30% of the total no. of gates of the barrier, if one array turbines is placed in every third gate (in 17 of the 62 gates). Lifting the turbines out of the water at slack tide will increase the likelihood of harbor porpoises crossing the barrier.

The storm surge barrier does not restrict the movements of harbor seals; they have been observed to cross the barrier even when the current is strong and turbulent. Turbines are unlikely to reduce the willingness of most harbor seals to cross the barrier. Harbor seals are not expected to collide with the blades, as they can use several sensory systems to detect the moving turbine blades, and have sufficient space below the turbines to cross the barrier.

Suggestions for research include tracking individual animals (either with tags, or via detectors in the gates), to see if, and under which conditions, the species cross the barrier. Underwater sound recordings of the active turbines will improve the prediction of their effect on the behavior of the seals and porpoises.

1 Introduction

The Eastern Scheldt and the storm surge barrier

The Eastern Scheldt Storm Surge Barrier is the largest of the Delta Works, a series of dams and barriers with gates that can be closed designed to protect the south-western part of the Netherlands from flooding. Instead of separating the Eastern Scheldt from the North Sea with a dam, a storm surge barrier was built that is only closed under extreme tide and storm surge conditions, so that the marine environment in the Eastern Scheldt is protected. The Eastern Scheldt, a former estuary, has always been a dynamic area with frequent changes in the shape and depth of waterbodies (**Fig. 1**). In and around the Eastern Scheldt there are ~140 species of water plants and algae, ~70 species of fish, ~350 species of other aquatic animals (<https://www.clo.nl/indicatoren/nl1598-fauna-oosterschelde>). The Eastern Scheldt is an important area for feeding, breeding, and overwintering birds; since 2002, it has been designated as a National Park, an EU Natura 2000, and a Ramsar Wetland site. The nearby Voordelta in the North Sea is also an EU Natura 2000 site and a Ramsar Wetland site. If the Eastern Scheldt had been closed with a dam, this rich saltwater environment would have been lost, together with the mussel and oyster culture, which would have had severe economic consequences for the regional fishing industry. The barrier was completed in 1986.



Fig. 1. The Rhine and Scheldt delta area in the south-west of the Netherlands. The Scheldt flows through Antwerp, Belgium, in the south; the Rhine delta from the north-east of this map. The Eastern Scheldt storm surge barrier (indicated by the red arrow) separates the Eastern Scheldt from the North Sea (Source: Google Earth).

The Eastern Scheldt Storm Surge Barrier has three sections with gates, from north to south: the ‘Hammen’ (675 m), the ‘Schaar’ (720 m) and the ‘Roompot’ (1440 m; **Fig. 2**), separated by two artificial islands. The barrier consists of 65 concrete pillars, between which 62 sliding steel doors are installed. Each gate is 39.5 wide, but they vary in height with the water depth: shallow at the sides and deeper towards the middle of each channel (varying from -4.5 to -10.5 m NAP). Open gates are held completely above the water level, and the passage height is normally determined by the water surface. Only in a combination of extreme high tide and set-up caused by strong winds, the water level reaches the concrete upper boundary of the gates (which is at + 1 m NAP). When all 62 gates are open, which is normally the case, three-quarters of the original tidal range is maintained.



2a



2b

Fig. 2. (a) Topview of the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier, showing the two artificial islands and the three sections (Hammen, Schaar and Roompot), during flood tide (Source: Google Earth). (b) A diagonal view of the Roompot section of the surge barrier from the North Sea side during extreme high tide, showing the concrete pillars and the metal tube protections of the gates. The metal vertically sliding gates are down (Source: Rijkswaterstaat Beeldbank).

As the water passes through the open gates in the barrier, the flow first accelerates and then decelerates, producing strong turbulence either on the North Sea side of the barrier (during ebb tide) or on the Eastern Scheldt side of the barrier (during flood tide). In the tidal cycle, four periods per 12h 25 min can be distinguished:

1. Low slack tide (no current; **Fig. 3a**);
2. Flood tide (increasing, then decreasing current; turbulence on the Eastern Scheldt side (**Figs. 3b and c**);
3. High slack tide (no current);
4. Ebb tide (increasing, then decreasing current; turbulence on the North Sea side; **Figs. 3d and e**).

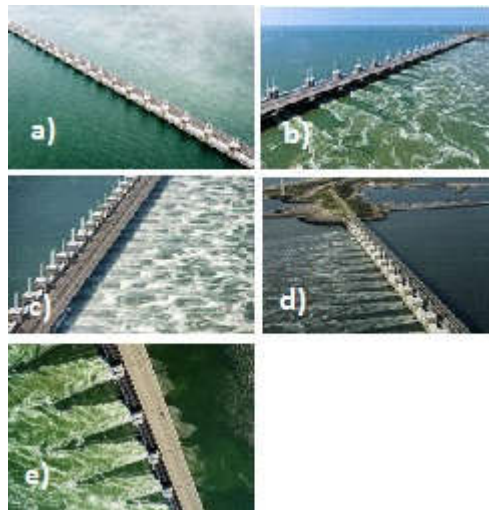


Fig 3. The Eastern Scheldt Storm Surge Barrier, showing water currents during the tidal cycle. The North Sea is to the left in all photos. (a) Slack tide (no current, no turbulence); (b) flood tide (weak current and turbulence on the Eastern Scheldt side); (c) flood tide (strong current and turbulence on the Eastern Scheldt side); (d) Ebb tide (weak current and turbulence on the North Sea side); and (e) ebb tide (strong current and turbulence on the North Sea side) (Source: Rijkswaterstaat Beeldbank).

Existing and proposed tidal energy turbines in the barrier

In 2008, Tocado Tidal Power B.V., a global tidal energy company, started developing a tidal energy project and installed tidal energy turbines into the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier in 2015. A 50 meter long structure with an array of five turbines attached to it was placed in gate Roompot 8, between two of the barrier's pillars.

The turbines are mounted on the Eastern Scheldt side of the surge barrier. Each turbine has two rotor blades, facing towards the North Sea. The underwater concrete threshold of the gate (sill beam) is at -9.5 NAP, the turbine axis at -4.8 m NAP, and the rotor diameter is 5.5 m. The distance between the blade plane and the protective stones on the bottom is ~5.5 m (**Fig. 4**). The

distance between the concrete pillars and the rotor plane of the lateral turbines of the turbine array is 3.6 m, and the distance between the rotor planes of neighboring turbines is 1.2 m (de Fockert and Bijlsma, 2018).

The rotational speed of the rotor blades reaches a maximum of 44.5 revolutions per min (one revolution per 1.4 seconds, blade tip speed 12.5 m/s) at a water flow velocity of 4 m/s. At 4 m/s there is a cut-off: the turbine enters stall mode and decreases speed rapidly.

The daily turbine energy production depends on the water flow velocity. The tidal range is ~3.6 m. Under the current agreement, the turbines are lifted out of the water as a precaution above 60 cm head difference during ebb tide and 80 cm during flood tide. This requirement is expected to become less stringent, so that the turbines can operate up to 90/90 cm (de Fockert and Bijlsma, 2018).

It is difficult to conduct meaningful measurements of the underwater sound generated by the tidal energy turbines, because the storm surge barrier and the flowing water also generate sound. An attempt to standardize methods for such measurements is being made (Lawrence, 2018). However, at the moment no sound recordings are available for the turbines at the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier.

The Dutch government has granted Tocardo permission to install one more array of turbines, in gate Roompot 10. This installation will be evaluated by the management of the storm surge barrier (with consideration for structural safety), the Dutch government (with a focus on environmental effects), and Tocardo (in terms of costs and energy production). Tocardo presently has the ambition to install turbines in up to 17 gates in the future.

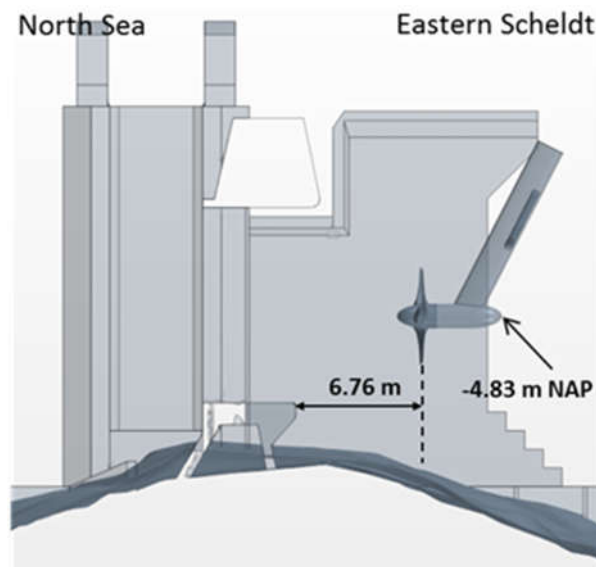


Fig. 4. Side view of the Tocardo turbine configuration at gate 8 of the Roompot section (Source: de Fockert and Bijlsma, 2018 © Deltares).

Current research and questions

Before the environmental permit for the installation of more turbines as intended by Tocardo, can be issued, an assessment of the effects of more turbines on the structure and safety of the storm surge barrier, currents, tidal range, natural sand movements, and marine mammals is required. However, the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier is unique (size and shape), the turbines are unique (size, number of blades, revolutions per minute), and the location and tidal regime are unique, so information from other tidal energy turbines is of limited use for estimating the impacts of the proposed development. The studies that were commissioned to assess the effects of the existing five turbines in Roompot 8, meanwhile provide useful location-specific knowledge on the strength and pattern of the currents and the tidal regime within the gates and in the surrounding area, and the consequences for natural movements of sand (de Fockert and Bijlsma, 2018), but only for this limited scenario. The same applies to the research on movements of harbor seals (*Phoca vitulina*) and harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) between the North Sea and the Eastern Scheldt (crossing the barrier), and local population dynamics of harbor porpoises and harbor seals (Leopold and Scholl, 2018; Leopold and Scholl, 2019).

This position paper was commissioned to predict the impact of the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier on harbor porpoises and harbor seals when scaling-up and installing extra tidal energy turbines in more gates, based on the best available scientific knowledge and expert judgment. Suggestions for future research to improve the predictions are provided. No consideration is given to effects on fish species which porpoises and seals eat, but we note that any effect on fish may in turn affect their predators. Also no consideration is given to the effect of the barrier and turbines on the predators of harbor seals and harbor porpoises, such as grey seals.

In order to assess the effects of the barrier and the existing and proposed turbines on harbor porpoises and harbor seals, we answer the following specific questions:

- 1) Does the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier itself prevent or reduce movements of harbor porpoises and harbor seals between the Eastern Scheldt and the North Sea?
- 2) What, if any, is the additional effect on porpoise and seal movements of the existing and proposed tidal energy turbines within the barrier?
- 3) What is the likelihood of porpoises and seals that do cross the barrier colliding with the turbine blades, and what are the potential effects of such collisions for the animals?

2 Effects of the barrier and turbines on harbor porpoises

Numbers of harbor porpoises in the Eastern Scheldt

The harbor porpoises in the Eastern Scheldt have been counted annually since 2009; the annual count varied between 15 and 61 animals; Rugvin Foundation; <https://rugvin.nl/onderzoek/noordzee/>). The numbers of animals counted per survey may have been influenced by many factors such as the weather conditions (especially in 2010), diving behavior of the porpoises, and training of observers. The numbers observed before and after turbine installation are similar (Leopold and Scholl, 2018). Both the number of live porpoises seen and the number of dead porpoises stranded in the Eastern Scheldt seem to be stable during the monitoring period (Leopold and Scholl, 2018). Photo identification studies show that some individual porpoises have been observed often, which suggests that once they are in the Eastern Scheldt, they tend not to leave (Leopold and Scholl, 2018), this was also concluded from prey analysis (Jansen et al., 2013). However, it is not known whether or not harbor porpoises swim in and out of the Eastern Scheldt by crossing the barrier more than once. Harbor porpoises occur all year round in the Eastern Scheldt also in the years that porpoises in the North sea tended to migrate Northward and left the coastal waters of the Netherlands. Approximately 16 dead porpoises are found annually in the Eastern Scheldt (Leopold and Scholl, 2018); most of them are young animals, like those found on beaches elsewhere in the Netherlands. It is not known if any of the dead porpoises found in the Eastern Scheldt were sick or dead animals moved there by the currents from the adjacent North Sea. So far none of the animals that have been photo-identified in the Eastern Scheldt, has been found dead in the Eastern Scheldt, suggesting that most animals found dead in the Eastern Scheldt have entered from the nearby North Sea, being already dead or still alive.

Why harbor porpoises enter the Eastern Scheldt

It is not clear whether or not harbor porpoises enter the Eastern Scheldt deliberately. The Eastern Scheldt does not appear to be particularly more or less suitable than the North Sea for harbor porpoises to forage, rest, find mates, reproduce and suckle their calves, though the background noise level in the Eastern Scheldt is probably lower than in much of the North Sea, due to the lower shipping density. Evidently, sufficient food is available in the Eastern Scheldt for a number of porpoises to survive, as evidenced by photo identification studies (Annemieke Podt and her photo identification team). Although a birth has never been observed, small recently-born calves have been observed every year since 2009 between April and August, suggesting that calves are born in the in the Eastern Scheldt (Rugvin Foundation; <https://rugvin.nl/onderzoek/noordzee/>).

Effect of the barrier on movements of harbor porpoises

Harbor porpoises are found in the Eastern Scheldt. The Storm Surge Barrier was completed in 1986, and harbor porpoise live on average 8-13 years, so they must be able to cross the barrier, at least in the direction of the Eastern Scheldt. However, so far no harbor porpoises have been observed crossing the storm surge barrier in either direction, and no radio telemetry studies have been conducted showing that individual harbor porpoises do cross the barrier.

The storm surge barrier is likely to restrict the movement of harbor porpoises, because eddies and turbulence within and around each gate form an acoustic barrier during flood and ebb tides, and because each open gate forms a relatively narrow physical passage.

Harbor porpoises use echolocation for orientation and foraging (Au, 1993). The dominant frequency of harbor porpoise echolocation clicks is around 125 kHz (Møhl and Andersen, 1973). Such high-frequency sound reflects easily from air bubbles, as likely encountered in eddies during ebb and flood tides in and near the gates of the storm surge barrier. The air bubbles (which occur mainly in the turbulence close to the barrier, as they rise and disappear) in the eddies are likely to be interpreted by the porpoises as a barrier, and could be termed an acoustic barrier. Toothed whales can be herded (and captured) with tubes on the bottom releasing air bubbles, causing a bubble curtain. A bubble wrap screen reduces propagation of high frequency sound above 250 Hz, and thus also harbor porpoise echolocation signals (Kastelein et al., in prep). Harbor porpoises may forage near eddies, as strong currents with eddies confuse fish and act as a barrier for them, which may increase the local fish density (Benjamins et al., 2015). However, harbor porpoises have not been seen foraging near the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier.

Harbor porpoises, like other odontocetes, prefer not to enter passages that they perceive as narrow, even passages that seem large enough to allow several individuals to pass through. Kastelein et al. (1997) observed that a porpoise in a large floating pen preferred not to swim through a net with a stretched mesh size of 10 m (though a mesh size of 50 cm would be large enough to allow free passage). Beached, recently rehabilitated captive porpoises prefer not to swim through 2 x 2 m gates, and intensive training is required before they will do so (Kastelein personal observation of at least 20 stranded harbor porpoises which had to learn to swim through gates during their rehabilitation process). The porpoises probably detect the boundaries of a passage with their echolocation system and seem to perceive it as a plane and thus as a physical boundary.

Under normal conditions, each open gate forms a passage through the storm surge barrier that is bordered by the vertical pillars, the concrete threshold at the bottom (which vary in depth depending on the location of the gate), and the water surface. Therefore the tide determines the size of the passage through which an animal can swim, and harbor porpoises are expected to cross the barrier more readily at high slack tide than at low slack tide (~ 3.6 m difference). Apart from the tide, the position of each gate within the section of the barrier determines its surface area; in each section, central gates are deeper than lateral gates. Harbor porpoises are therefore more likely to cross the barrier through a central larger gates than through the lateral smaller gates. So, the most likely combination of tidal phase and location for healthy porpoises to cross the barrier is at high slack tide through a central gate. Porpoises are less likely to cross the barrier at low slack tide through a lateral gate.

Taking both the acoustic barrier function and the passage size into account, it seems most likely that harbor porpoises cross the barrier during high slack tides. Porpoise density is low on both sides of the barrier, and slack high tide periods are brief, so crossings are likely to be occasional events. Harbor porpoises can swim at speeds of ~7 km/h for at least 30 min (Kastelein et al., 2018), so they could, if desired, reach the barrier during high slack tide at short notice and cross the barrier deliberately. Alternatively, a porpoise may be chasing fish at high slack tide, the fish may move through the gates, and the porpoise may follow. This method is used to lure naïve

captive harbor porpoises through a gate, by throwing a thawed fish just behind the gate opening. The urge to feed and the focus on the fish often makes the porpoise forget about the perceived boundary, and swim through the gate opening. Also a porpoise that is being chased by a predator (in this area that would be a grey seal; *Halichoerus grypus*) may also go through the gate. Four individual harbor porpoises, known from the photo-ID studies of Stichting Rugvin, in the Eastern Scheldt have healed bilateral tailstock lesions and additional body scarring likely induced by grey seals. These animals evidently (just) escaped this predator, either in the North Sea, or in the Eastern Scheldt, or (shortly) before passage through the barrier. (Podt & IJsseldijk 2017).

It seems unlikely that healthy harbor porpoises are carried into the Eastern Scheldt passively by the water current. The current near the gates is very strong at certain times of day, but it gradually increases when a porpoise approaches the gate. If the current starts to become uncomfortable, the porpoise can decide to swim to calmer waters. Starting from slack tide, the current and the turbulence slowly increase as the tide changes, allowing porpoises to get used to the change, or decide at some level to not cross the barrier and leave the area. Similarly, an animal approaching the barrier could choose to swim away from the increasing current and noise it is exposed to.

Harbor porpoises show individual variation in their behavior and responses to objects and sounds (Kastelein et al., 2000, 2001, 2005, 2008, 2018), depending on factors such as the individual's character, history, age and sex, and on the context, such as the location, tidal cycle (current, eddies/turbulence, water depth), whether the porpoise is alone or in a group, the weather conditions, season, etc. Thus it is possible that only very bold harbor porpoises are willing to cross the barrier, only in certain special conditions, while other conspecifics will never do so.

We believe that crossing the storm surge barrier from the North Sea to the Eastern Scheldt or from the Eastern Scheldt to the North Sea would be similar for a harbor porpoise. It could be that once they are in the Eastern Scheldt, some porpoises that adapt well to the local conditions and know where to find food at different periods of the day and tide, feel no urge to leave (photo identification has shown that some individual porpoises were in the Eastern Scheldt for more than 7 years; (Rugvin Foundation; <https://rugvin.nl/onderzoek/noordzee/>). The difference in porpoise density on each side of the barrier and migrating pattern in the North Sea (including the absolute number of harbor porpoises in North Sea) may determine whether there is a net inflow or outflow. As these conditions vary over the years, the net inflow and outflow will also vary.

Effect of existing turbines on harbor porpoises

The existing array of five turbines in gate Roompot 8 makes the passage through the open gate smaller, though ~5.5 m of water remains between the blade planes and the stony bottom protection below. When coming to an underwater barrier, harbor porpoises have a tendency to swim below it (Kastelein et al., 1995), so they would probably cross the storm surge barrier close to the concrete threshold, keeping away from the blades. However, due to the presence of the turbines, porpoises are expected to be less likely to cross the barrier through gate Roompot 8.

At the moment, only Roompot 8 gate of the 62 gates has an array of five tidal energy turbines, so that the effect of these existing turbines applies to only 1.6% (1/62) of the storm surge barrier (% based on the number of gates, disregarding the different gate sizes). A porpoise contemplating to cross the barrier can choose any of the other 61 gates. The increase in

turbulence in and near the gate that is caused by the turbines (due to strong tidal streams which occur because the flow is constrained; de Fockert and Bijlsma, 2018) is unlikely to increase the barrier effect for porpoises, as most crossings are expected to occur at and around slack tides, when the currents are greatly reduced.

No underwater acoustic measurements have been carried out near the existing turbines in the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier. Depending on their spectrum and source level, and on local propagation conditions, the sounds produced by the turning turbines may or may not have an effect on harbor porpoise behavior. However, porpoises are expected to cross the barrier only at and around slack tides, when the turbines are not moving and are thus not producing sound. If sound produced by the turning turbines is audible to the porpoises in the vicinity, it will either add an extra barrier effect, or help the porpoises to locate the turbines and thus avoid colliding with them.

Effect of extra turbines on harbor porpoises

If, as intended, more turbines are added to the barrier, this will be done in at least two stages: in the near future an array of turbines in gate Roompot 10, and later possibly one array of turbines in every third gate along the entire storm surge barrier. In both scenarios, the porpoises could still cross the barrier through gates with turbines at slack tides, but may prefer to avoid them.

Adding one extra array of turbines would increase the barrier function in 2 of the 62 (3.2%) gates of the storm surge barrier, leaving 60 gates (~97%) unaltered (note that the gates differ in size and the 97% signifies only the % of the total number of gates and not the available passage surface area). Adding an array of turbines in every third gate would increase the barrier function in 17 of the 62 gates (~27%) in the storm surge barrier, leaving 45 of the 62 gates (73%) unaltered. The number of crossings by harbor porpoises in both directions is probably very small (even without any turbines in the barrier), so the additional effect of the proposed turbines, even in 17 of the gates, is probably limited.

Likelihood of harbor porpoises colliding with turbines

It is unlikely that a healthy harbor porpoise crossing the storm surge barrier would collide with a turbine blade, as crossing is likely to occur during slack tides, when the blades are not moving. Even when the blades are moving, they turn relatively slowly (one revolution of each of the 2 blades per 1.4 seconds), so that they can easily be avoided by a healthy harbor porpoise. Apart from using echolocation to detect the blades, harbor porpoises can use vision. They have a *tapetum lucidum* and can thus see much better than humans during low light conditions in deep and or turbid water and in the shadow zone of objects and at night (Kastelein et al., 1990).

Since the installation of the array of five tidal energy turbines in the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier in 2015, 34 dead porpoises found in the Eastern Scheldt were investigated, only two of which had blunt trauma consistent with collision (IJsseldijk, in Leopold and Scholl, 2018). However, collisions may have occurred in the North Sea, and the dead bodies may have entered the Eastern Scheldt with the currents, or the collisions may have been with boats, rather than with the tidal energy turbines. The number of speedboats in the Eastern Scheldt has increased during the last decade, and foraging porpoises have been observed almost colliding

with the fast-moving boats (Ron Kastelein, six personal observations near Wemeldinge between 2015 and 2018).

Mitigation for harbor porpoises

Harbor porpoises are likely to cross the storm surge barrier only at slack tide, when the tidal energy turbines are not producing energy. Therefore, lifting the turbines out of the water at slack tide will increase the likelihood of harbor porpoises crossing the barrier (by making the gates less narrow in the perception of a porpoise).

The central gates in each section of the storm surge barrier are in deep water, and are therefore bigger than the lateral gates. The space under each array of turbines, where porpoises crossing the barrier through gates with turbines would swim, is therefore bigger in central gates than in lateral gates, assuming an identical positioning of the turbines in the storm surge barrier as the ones currently deployed in Roompot 8. For this reason, instead of placing the proposed turbines in every third gate, it seems advantageous (in regards to porpoise crossings) to place more turbines in lateral gates and fewer in central gates. On the other hand, if porpoises are not more likely to cross central larger gates than the lateral smaller gates, the addition of turbines reduces the remaining available space to cross relatively less in the larger gates than the smaller gates.

3 Effects of the barrier and turbines on harbor seals

Numbers of harbor seals in the Eastern Scheldt

Harbor seals occur in the Eastern Scheldt and the nearby North Sea (Voordelta). The number of harbor seals counted on the tidal flats of the Eastern Scheldt increased from a maximum of 13 animals in 1995 to 160 animals in 2016 (Leopold and Scholl, 2018). Similar numbers (around 150) of harbor seals were observed in the Eastern Scheldt before and after the array of Tocardo turbines was installed (Leopold and Scholl, 2019). In the North Sea (Voordelta) the number of harbor seals counted on the tidal flats increased from a maximum of 11 animals in 1995 to 478 animals in 2016.

Why harbor seals enter the Eastern Scheldt

Harbor seals visit the Eastern Scheldt both to forage for fish and (unlike harbor porpoises) to rest on tidal flats, where they are safe from most marine predators (worldwide those are sharks, killer whales, not occurring in the Eastern Scheldt, but harbor seals are possibly prey for male grey seals which do occur in the Eastern Scheldt) and terrestrial predators (humans, dogs, foxes) and speed boats and other shipping. It is possible that harbor seals mate in the Eastern Scheldt. In the Eastern Scheldt they give birth to their pups on tidal flats, and suckle the pups in the water for a period of 3-4 weeks until they wean. Diet varies individually, and with location, season and availability of the prey.

Effect of the barrier on movements of harbor seals

Radio telemetry on 32 harbor seals has shown that some individuals (4) crossed the storm surge barrier readily and frequently (due to the sample rate of the location determination, it is not clear during which periods of the tidal cycle the seals crossed the barrier), and probably forage on both sides of the barrier. Seals have been observed to cross all three channels of the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier, and at times individuals have preferences for particular channels (Leopold and Scholl, 2018). The barrier does not seem to restrict the movement of some individuals at all, and large numbers of seals are present on both sides of the barrier. Harbor seals have even been observed several times, from the footpath of the storm surge barrier, swimming and maintaining their position in the eddies in strong currents on the North Sea side of gates in the Schaar and Hammen sections (Jaap van de Hiele personal observation). This suggests that harbor seals can swim fast enough to overcome the currents near the barrier during most or all tides. Unlike harbor porpoises, seals do not use echolocation, and are not afraid to swim through narrow areas in captivity (Ron Kastelein, personal observation 1983-2018). The eddies may confuse, and possibly damage fish and make them easier for harbor seals to capture, and the funnel action of the gates may concentrate fish. Gulls and terns have also been observed foraging for fish in the eddies (Ron Kastelein, personal observation, 1995-2018 & Mardik Leopold, personal observation). The area around the storm surge barrier is therefore likely to be attractive to harbor seals.

Harbor seals use three sensory modalities for foraging and orientation: vision, hearing and touch. Their underwater vision is better than that of humans due to their *tapetum lucidum* (Braekevelt, 1986). They can detect fish by listening to the low-frequency underwater sounds

they produce (Kastelein et al., 2009), and by using their whiskers to feel water movements caused by the swimming fish (Dehnhardt et al., 2001). Harbor seals are coastal animals that have evolved in areas with surf, in which currents, noise and turbulences exist, and where the water is often relatively murky. When hauling out, seals may cross surf. Therefore, the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier is unlikely to restrict the movements of harbor seals.

Effect of existing turbines on harbor seals

Under the existing array of five turbines in gate Roompot 8, ~5.5 m of water remains between the turbine blade planes and the stone bottom protection below. In contrast to harbor porpoises, harbor seals readily enter small spaces. At the SEAMARCO Research Institute, harbor seals often go behind a vertical board through a hole that is 50 cm in diameter, and rest in the space behind the board and the pool wall (this underwater space is 60 cm x 200 cm x 180 cm deep). A similar space in the porpoise pool has never been entered by any of the six porpoises that have lived there during 12 years. The reduction of the passage through gate Roompot 8 due to the existing turbines is not expected to restrict the movements of harbor seals in any way. Though telemetry data and experience with captive seals show that individual seals can behave very differently and react differently to stimuli (Kastelein et al., 2006 a,b; 2015; 2017; Leopold and Scholl, 2018), most seals are likely to cross the storm surge barrier with ease, regardless of the existing Tocado turbines.

Joy et al. (2018) showed that harbor seals avoided the vicinity of a tidal SeaGen turbine on a monopile at sea, to a radius of ~ 200 m, thus reducing the likelihood of collision. The SeaGen turbine had two 8 m x 60 cm double-bladed rotors, connected to a monopile foundation by a wing-shaped crossbeam; each rotor produced up to 600 kW of power 18 to 20 h a day (<https://en.wikipedia.org/wiki/SeaGen>). It is unclear why the seals avoid that turbine, and which sensory modality was involved (hearing, vision and/or touch). Tidal energy turbines vary in terms of their location, size, sounds, type of blades, fixation, location relative to food sources, etc., and geographically seals vary in their level of familiarity with anthropogenic objects, and the seal density can play a role, so results cannot be extrapolated easily.

Effect of extra turbines on harbor seals

Increasing the numbers of tidal energy turbines within the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier is expected to affect crossings of healthy harbor seals in such a small way, that it will be difficult, or impossible, to measure.

Likelihood of harbor seals colliding with turbines

No harbor seals have been found in the Eastern Scheldt with blunt trauma injuries since the array of five turbines was installed (IJsseldijk in Leopold and Scholl, 2019). Harbor seals are unlikely to collide with turbine blades, because seals can see, hear and/or feel (with their whiskers) the movements of the slow-turning blades, and can easily avoid them. Only a seal that is sick or distracted because it is actively foraging or fleeing from a predator is likely to come into contact with the blades. High level of predation does not occur in this area, but male grey seals do occasionally prey on young harbor seals, and the number carcasses with suspected grey seal attack markings seems to increase.

Mitigation for harbor seals

Mitigation measures are not discussed, as turbines are likely to have minimal effects on harbor seals.

4 Suggestions for research

This paper was commissioned because there are insufficient data to predict with certainty the effects of the existing and intended tidal energy turbines in the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier on harbor porpoise and harbor seal crossings of the barrier, or to quantify the likelihood of healthy harbor porpoises and harbor seals colliding with the turbines. The following research could usefully be conducted in order to test our current predictions (we do not advocate this research, nor do we discuss the feasibility of the research ideas, as they depend on the need to conduct them, the technology developments, the available funding and the availability of sufficient animals for tagging):

1. Monitor the movements of harbor porpoises, to evaluate when they cross the barrier (only at slack tides?) and where they cross it (generally through the higher gates in the middle of each section?), by using radio-telemetry. However, radio-telemetry has rarely been conducted on harbor porpoises in the Netherlands. The method has limitations for this species, because the harbor porpoise is one of the smallest odontocetes in the world, and tags increase drag, thus increasing energy demands.
2. Monitor seal and porpoise movements through storm surge barrier gates with and without turbines. This could be done above water with cameras and below water with cameras and active sonar in the gates. The number of crossings is likely to be low (especially by porpoises), so sensors should be placed in as many gates as possible. Sensors in the gates may also be used to answer questions about harbor porpoise barrier crossings without the use of radio-telemetry.
3. Increase the photo ID effort by collecting photo's more times per year and close to the barrier, and during different tidal phases, to get a better insight in the changes in the distribution of the porpoises within the Eastern Scheldt.
4. Monitor the effect of the turbines on fish crossings, aggregation, and behavior (confusion), etc., as the movements of the fish might explain the presence and movements of their predators (the seal and porpoises) in this area.
5. Professional sound recordings should be made near the tidal energy turbines in gate Roompot 8 and near a similar gate without turbines for comparison. The measurements should be made over at least 24 h (encompassing the entire tidal cycle), under various wind conditions, and at various distances from the barrier. The spectrum of the sound and the sound pressure level distribution in the area around a gate could help explain the movements of the porpoises near the gates and help to predict whether the turbines reduce porpoise crossings or not.

5 Acknowledgements

We thank Peter Scheijgrond (Dutch Marine Energy Centre) for providing information on the Tocardo turbines, Arnout Bijlsma (Deltares), Mardik Leopold (Wageningen Marine Research), Michaela Scholl (Wageningen Marine Research) and Frank Zanderink (Stichting Rugvin; Rugvin foundation) for their constructive comments on this paper. The project was commissioned to SEAMARCO B.V. by Wageningen Marine Research (PO number WUR1188208, contacts: Michaela Scholl and Mardik Leopold).

6 References

- Au, W.W.L. (1993). *The Sonar of Dolphins* (Springer-Verlag, New York).
- Benjamins, S., Dale, A., Hastie, G., Waggitt, J.J., Lea, M., Scott, B. and Wilson, B. (2015) Confusion Reigns? A Review of Marine Megafauna Interactions with Tidal- Stream Environments. *Oceanography and marine biology*. August 2015. DOI: 10.1201/b18733-2.
- Braekevelt, C.R. (1986) Fine structure of the tapetum cellulosum of the grey seal (*Halichoerus grypus*). *Acta Anat* (Basel). 127, 81-87.
- Dehnhardt, G., Mauck, B., Hanke, W., Bleckmann, H. (2001) Hydrodynamic Trail-Following in Harbor Seals (*Phoca vitulina*) *Science* 293, 102-104
- de Fockert A. and Bijlsma, A.C. (2018) Environmental impact of tidal power in the Eastern Scheldt Storm Surge Barrier. Deltares Project 11200119-000-HYE-0006, 37 pp & appendices.
- Jansen, O. E., Michel, L., Lepoint, G., Das, K., Couperus, A.S., & Reijnders P. J. H. (2013). Diet of harbor porpoises along the Dutch coast: A combined stable isotope and stomach contents approach. *Marine Mammal Science* 29, 295–311. DOI: 10.1111/j.1748-7692.2012.0062.
- Jones, A.R., Hosegood, P., Wynna, R.B., De Boer, M.N., Butler-Cowdry, S., Embling, C.B. (2014) Fine-scale hydrodynamics influence the spatio-temporal distribution of harbour porpoises at a coastal hotspot. *Progress in Oceanography* 128 (2014) 30–48
- Joya, R., Wood J. D., Sparling, C. E. Tollita, D. J. Copping, A. E., and McConnell, B J. (2018) Empirical measures of harbor seal behavior and avoidance of an operational tidal turbine. *Marine Pollution Bulletin* 136, 92–106.
- Kastelein, R.A., Haan, D. de and Staal, C. (1995) Behaviour of Harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in response to ropes. In: *Harbour porpoises, laboratory studies to reduce bycatch* (Eds Nachtigall, P.E., Lien, J., Au, W.W.L. and Read, A.J.). De Spil Publishers, Woerden, The Netherlands, 69-90.
- Kastelein, R.A., Zweypfenning, R.C.V.J. and Spekreijse, H. (1990). Anatomical and histological characteristics of the eyes of a month-old and adult Harbor porpoise (*Phocoena phocoena*), In: *Sensory abilities of cetaceans/Laboratory and field evidence* (Eds. J.A. Thomas and R.A. Kastelein) Plenum Press, New York, 463-480.
- Kastelein, R.A., Haan, D. de, Staal, C., Nieuwstraten, S.H. and Verboom, W.C. (1995) Entanglement of Harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in fishing nets. In: *Harbour porpoises, laboratory studies to reduce bycatch* (Eds Nachtigall, P.E., Lien, J., Au, W.W.L. and Read, A.J.). De Spil Publishers, Woerden, The Netherlands, 91-156.

Kastelein, R.A., Haan, D. de, Staal, C. and Goodson, A.D. (1997). The response of a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) to nets of various mesh sizes, with and without deterring sound, In: The biology of the harbour porpoise (Eds. Read, A.J., Wiepkema, P.R. and Nachtigall, P.E.). De Spil Publishers, Woerden, The Netherlands, 385-409.

Kastelein, R.A. Rippe, T., Vaughan, N., Schooneman, N.M., Verboom, W.C. and Haan, D. de (2000). The effects of acoustic alarms on the behavior of the harbor porpoises (*phocoena phocoena*) in a floating pen, Marine Mammal Science 16, 46-64. DOI: 10.1111/j.1748-7692.2000.tb00903.x

Kastelein, R.A., de Haan, D., Vaughan, N., Staal, C. and Schooneman, N.M. (2001). The influence of three acoustic alarms on the behaviour of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in a floating pen, Marine Environmental Research 52, 351-371. DOI: 10.1016/S0141-1136(01)00090-3.

Kastelein, R.A., Verboom, W.C., Muijsers, M., Jennings, N.V., and van der Heul, S. (2005). The influence of acoustic emissions for underwater data transmission on the behaviour of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in a floating pen, Marine Environmental Research 59, 287-307. doi:10.1016/j.marenvres.2004.05.005.

Kastelein, R. A., van der Heul, S., Verboom, W. C., Triesscheijn, R.J.V., and Vaughan- Jennings, N. (2006a). The influence of underwater data transmission sounds on the displacement of captive harbour seals (*Phoca vitulina*), Marine Environmental Research 61, 19-39.

Kastelein, R.A., van der Heul, S. Terhune, J. M., Verboom W.C. and Triesscheijn, R.J.V. (2006b). Deterring effects of 8-45 kHz tone pulses on harbor seals (*Phoca vitulina*) in a large pool,” Marine Environmental Research 62, 356-373.

Kastelein, R. A., Verboom, W. C., Jennings, N., de Haan, D., van der Heul, S., (2008). The influence of 70 and 120 kHz tonal signals on the behavior of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) in a floating pen, Marine Environmental Research 66, 319-326. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2008.05.005>

Kastelein, R. A., Wensveen, P. J., Hoek, L., Verboom, W. C., and Terhune J. M. (2009). Underwater detection of tonal signals between 0.125 and 100 kHz by harbor seals (*Phoca vitulina*), J. Acoust. Soc. Am. 125, 1222-1229. DOI: 10.1121/1.3050283.

Kastelein, R. A. Helder-Hoek, L., Gransier, R., Terhune, J. M., Jennings, N. and de Jong, C. A. F. (2015).Hearing thresholds of harbor seals (*Phoca vitulina*) for playbacks of seal scarer signals, and effects of the signals on behavior, Hydrobiologia 756, 75-88. DOI: 10.1007/s10750-014-2152-6

Kastelein, R.A., Horvers, M, Helder-Hoek, L., Van de Voorde, S., ter Hofstede, R., and van der Meij, H. (2017). Behavioral Responses of Harbor Seals (*Phoca vitulina*) to FaunaGuard Seal Module Sounds at Two Background Noise Levels. Aquatic Mammals 43, 347-363, DOI

10.1578/AM.43.4.2017.347

Kastelein, R.A., Van de Voorde, S, Nancy Jennings (2018). Swimming speed of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) during playbacks of pile driving sounds. Aquatic Mammals, 44, 92-99, DOI 10.1578/AM.44.1.2018.92

Kastelein, R.A., Helder-Hoek, L., Van de Voorde, S., de Winter, S., Janssen, S., and Michael Ainslie (2018) Behavioral responses of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) to sonar playback sequences of sweeps and tones (3.5-4.1 kHz). Aquatic Mammals 44(4), 402-417. DOI 10.1578/AM.44.4.2018.389.

Lawrence, J. (2018) Development of International Standards and Certification schemes for Marine Energy Technologies Deliverable:1.5.1 Recommendation for Procedure adaption IEC Draft 114/255/CD feedback Feedback on draft IEC TS 62600-40 Acoustic

Leopold, M, ands Scholl, M. (eds.) (2018). Monitoring getijdenturbines Oosterscheldekering. Jaarrapportage 2017. Wageningen Marine Research, Wageningen UR (University & Research centre), Wageningen Marine Research rapport C036/18, 49 blz.

Leopold, M, Scholl, M. (eds.) (2019). Monitoring getijdenturbines Oosterscheldekering. Jaarrapportage 2018. Wageningen Marine Research, Wageningen UR (University & Research centre), Wageningen Marine Research rapport C0xx/yy, zz blz.

Møhl, B. and Andersen, S. (1973). Echolocation: high-frequency component in the click of the Harbour Porpoise (*Phocoena ph. L.*), J. of Acoust. Soc. Am. 53, 1368-1372.

Offringa, G. (1987). De stormvloedkering in de Oosterschelde, Voor veiligheid en milieu. DOSBOUW. Voorlichting Verkeer en Waterstaat. 32 pages.

Podt A.E. & IJsseldijk L.L. 2017. Grey seal attacks on harbour porpoises in the Eastern Scheldt: cases of survival and mortality. Lutra 60: 105-116.