



DEMO: Dynamisch Ecosysteem Model voor de Oosterschelde. Versie 1.0

Technisch rapport INNOPRO project

Auteur: Jeroen Wijsman

Wageningen University &
Research rapport C010/20

DEMO: Dynamisch Ecosysteem Model voor de Oosterschelde. Versie 1.0

Technisch rapport INNOPRO project

Auteur(s): Jeroen Wijsman

Wageningen Marine Research
Yerseke, januari 2020

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C010/20

Keywords: Stikstof, Graasdruk, mosselkweek

Opdrachtgever: Bru 40 B.V.
T.a.v.: Marinus Padmos
Maisstraat 2
4311 CV Bruinisse

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/513561>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigd 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
gevolg schade, 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.

A_4_3_1 V29 (2019)

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	5
1.1 Achtergrond	5
1.2 Doelstelling	5
1.3 Afbakening	5
1.4 Leeswijzer	6
1.5 Dankwoord	6
2 Schematisaties	7
2.1 Schema 1: Oosterschelde	7
2.2 Schema 2: 4 compartimenten	8
2.3 Schema 3: 28 compartimenten	9
3 Uitwisseling	11
3.1 Tracerstudie	11
3.2 Uitwisseling compartimenten	12
3.2.1 Model schema 1: Eén compartiment	12
3.2.2 Model schema 2: Vier compartimenten	14
3.2.3 Model schema 3: 28 compartimenten	15
4 Biologisch model	18
4.1 Opgelost anorganisch materiaal (DIN)	18
4.2 Fytoplankton (PHYTO)	19
4.3 Zoöplankton (ZOO)	19
4.4 Detritus (DET)	19
4.5 Microfytobenthos (MPB)	19
4.6 Detritus in de bodem (BOT_DET)	19
4.7 Schelpdieren (MUSS, OYSS en COC)	19
5 Randvoorwaarden en meetdata	23
5.1 Toevoer naar Oosterschelde	23
5.2 Meetgegevens in de Oosterschelde	24
5.3 Watertemperatuur	24
6 Resultaten	25
7 Aanbevelingen	28
8 Kwaliteitsborging	29
Literatuur	30
Verantwoording	31

Samenvatting

In dit rapport wordt een eerste versie van het Dynamisch EcosysteemModel voor de Oosterschelde (DEMO) gepresenteerd. Het model is een eenvoudig, op stikstof-gebaseerd NPZ model waarbij de hydrodynamica is vereenvoudigd tot uitwisseling coëfficiënten tussen de compartimenten onderling en tussen compartimenten in de Oosterschelde met de Noordzee.

Het model DEMO is beschikbaar voor drie verschillende schematisaties van de Oosterschelde: 1 compartiment, 4 compartimenten en 28 compartimenten. De uitwisseling tussen de compartimenten is gekwantificeerd op basis van tracer berekeningen. Met deze tracerberekeningen is het mogelijk om een ruimtelijk beeld te krijgen van de verversingstijd van het water in de Oosterschelde met het water van de Noordzee. De gemiddelde verblijftijd van het water in de Oosterschelde is 75 dagen en varieert van 25 dagen nabij de Oosterscheldekering tot 123 dagen in de kom.

Het model is redelijk goed in staat de Chl-*a* concentraties te berekenen in de verschillende deelgebieden van de Oosterschelde. Specifieke aandacht is besteed aan het berekenen van de graasdruk door de schelpdieren. De uitvoer van het model kan daarmee goed worden gebruikt als invoer voor het DEB model voor mosselen. Hierdoor kan de gemiddelde groei en kwaliteit van de mosselen op de kweekpercelen worden voorspeld.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De Nederlandse mosselkwekers hebben behoefte aan een verbetering van de rendementen van hun bodempercelen. Het EFMZV project "INNOvatie en rendementsverbetering mossel PROductie" (INNOPRO) heeft tot doel (i) met kleinere hoeveelheid (MZI) zaad een gelijk volume aan productie realiseren, (ii) door gerichte handelingen het kweekrendement (volume en kwaliteit) te verhogen, en (iii) de kweker zelf in staat te stellen simulaties uit te voeren en zo rendementsoptimalisatie te simuleren en toegepast rendementsverbetering te realiseren.

De groei van mosselen is van invloed op het rendement en deze is in belangrijke mate afhankelijk van de watertemperatuur en de hoeveelheid voedsel (algen) in het water. Hoe meer voedsel er beschikbaar is, hoe beter de groei en de vleesgewichten. Echter, de hoeveelheid en de kwaliteit van het voedsel varieert sterk van jaar tot jaar en door het seizoen. Ook zijn er grote verschillen tussen de percelen. Om het rendement van hun mosselzaad te optimaliseren verplaatsen de kwekers hun mosselen gedurende de kweekcyclus tussen de verschillende kweekpercelen die zij beschikbaar hebben. Ze maken daarbij een afweging tussen de verwachte groei en overleving op de betreffende percelen. Op de percelen in de Noordelijke tak van de Oosterschelde is de groei over het algemeen beperkt en deze percelen worden voornamelijk gebruikt voor de opslag van mosselzaad en halfwas mosselen. Van hieruit worden de mosselen verplaatst naar de percelen in het middengebied en het westelijk deel van de Oosterschelde waar de mosselen verder uitgroeien tot consumptiemosselen.

1.2 Doelstelling

In het kader van het project INNOPRO is er een applicatie ontwikkeld om de groei van mosselen op de percelen te berekenen tijdens een kweekcyclus. Deze applicatie maakt gebruik van de resultaten van een waterkwaliteitsmodel waarmee voor iedere dag de hoeveelheid voedsel (in termen van Chl-*a*) voor de verschillende locaties in de Oosterschelde is berekend. Met de applicatie kunnen kwekers de groei en van hun mosselen berekenen op als functie van de gebieden die ze gebruiken voor de opkweek van het zaad, halfwas en consumptiemosselen.

De applicatie maakt gebruik van de resultaten van een dynamisch model waarmee de voedselconcentratie kan worden berekend en een DEB model voor de groei van mosselen (Wijsman, 2019a). In dit technisch document wordt het Dynamisch EcosysteemModel voor de Oosterschelde (DEMO) beschreven dat in het kader van het INNOPRO is ontwikkeld. Het DEB model voor mosselen is beschreven in een ander technisch document (Wijsman, 2019a).

1.3 Afbakening

Hoewel er zowel in de Westelijke Waddenzee als in de Oosterschelde mosselen worden gekweekt in de Oosterschelde, beperkt dit model zich tot de Oosterschelde. De reden hiervoor is dat er recentelijk een hydrodynamisch model is ontwikkeld (Jiang et al., 2019) die kan worden gebruikt om de wateruitwisseling te kwantificeren.

Voor het berekenen van het voedsel is ervoor gekozen om een eenvoudig en begrijpelijk model te ontwikkelen en geen gebruik te maken van bestaande complexe modellen. Het model dient de ruimtelijke en temporele variatie in voedsel voor schelpdieren (Chl-*a*) met voldoende nauwkeurigheid te beschrijven zodat dit gebruikt kan worden in de applicatie voor de kwekers. Verdere ontwikkeling en verbetering van het model zodat het ook voor andere doelen kan worden toegepast zal in het kader van vervolgprijzen worden uitgevoerd.

1.4 Leeswijzer

Er zijn verschillende schematisaties (1, 4 en 28 compartimenten) van het model beschikbaar, waarbij het 1-compartiment model kan worden gebruikt voor snelle berekeningen, bijvoorbeeld tijdens de modelontwikkelingsfase en het 28-compartimenten model voor berekeningen waar meer ruimtelijk detail nodig is. In hoofdstuk 2 worden de verschillende schematisaties besproken. In hoofdstuk 3 zijn de resultaten van de tracer studie weergegeven die is uitgevoerd om de uitwisseling tussen de verschillende compartimenten te kwantificeren. Ook zijn in dit hoofdstuk de verversingstijden berekend. In hoofdstuk 4 wordt het biologisch model gepresenteerd. Hierin worden de toestandsvariabelen en hun onderlinge relaties besproken. Extra aandacht is er besteedt aan de formulering van de schelpdierpopulaties (mosselen op de kweekpercelen, wilde Japanse oesters en kokkels). In hoofdstuk 5 worden de randvoorwaarden van het model besproken en de meetdata die zijn gebruikt om de modeloutput te valideren. In hoofdstuk 6 worden er kort een aantal resultaten van de modelberekeningen gepresenteerd voor een aantal locaties en vergeleken met de meetgegevens. Omdat het niet geen doel van dit onderzoek was om een volledig uitontwikkeld model te worden er tenslotte in hoofdstuk 7 een aantal aanbevelingen gemaakt voor mogelijke verbeteringen van het model.

1.5 Dankwoord

Bijzondere dank gaat uit naar Karline Soetaert en Long Jiang van het NIOZ in Yerseke voor hun bijdrage aan de tracerstudie en de ontwikkeling van de formuleringen van het biologische NPZ model.

2 Schematisaties

Het hydrodynamische model is ontwikkeld in het open source General Estuarine Transport Model (GETM, <https://getm.eu>) in combinatie met het General Ocean Turbulence Model (GOTM, <http://gotm.net>) (Jiang et al., 2019). Het model bestaat uit een 300x300 meter grid van de Oosterschelde en een deel van de Voordelta.

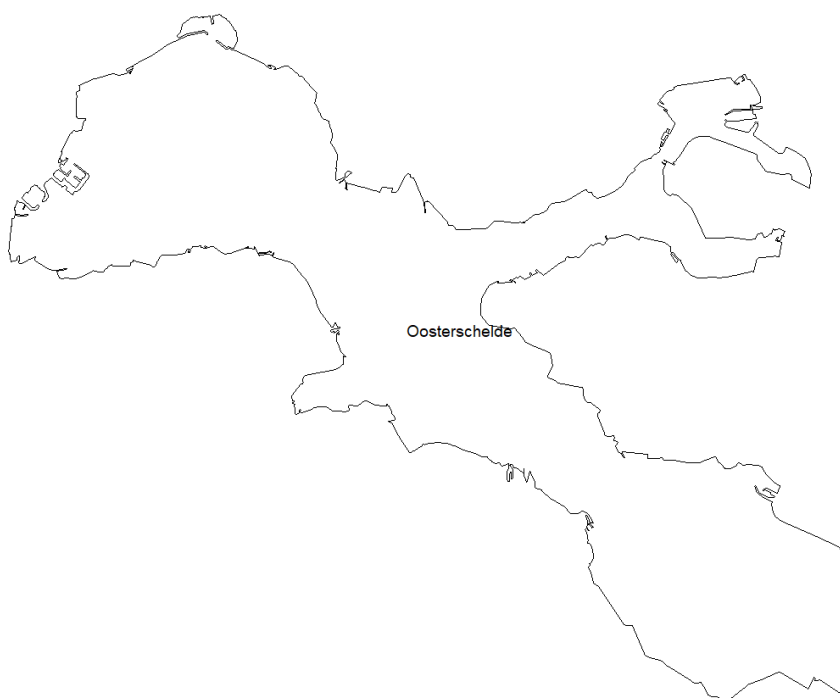
Er zijn drie verschillende schematisaties gemaakt van de Oosterschelde.

1. Schema 1: Oosterschelde
2. Schema 2: 4 compartimenten
3. Schema 3: 28 compartimenten

De reden om met drie schematisaties te werken is een praktische. Het model bestaande uit 1 compartiment rekt aanzienlijk sneller dan het model met 28 compartimenten. Tijdens de ontwikkeling van het model en de model parameterisatie is het eenvoudiger om het model met 1 compartiment te gebruiken. In de toepassing voor kwekers is de ruimtelijke variatie van het model met 28 compartimenten van belang. In het verleden is er ook veel gerekend met een model waarbij de Oosterschelde is onderverdeeld in 4 compartimenten (Klepper et al., 1994). Voor een vergelijk met deze modellen is er ook een schema met 4 compartimenten opgesteld.

2.1 Schema 1: Oosterschelde

In de eerste schematisatie bestaat de gehele Oosterschelde uit 1 compartiment (Figuur 1). Het totale volume bij NAP is 2.8 miljard m³, bij een gemiddelde diepte van bijna 8 meter (Tabel 1). Het totale oppervlakte is bijna 350 miljoen m², waarvan 104 miljoen m² intergetijdengebied. Het totaal oppervlakte aan mossel- en oesterpercelen is respectievelijk 35 en 21 miljoen m². Daarnaast zijn er nog ruim 6 miljoen m² aan wilde oesterbanken in het litoraal.



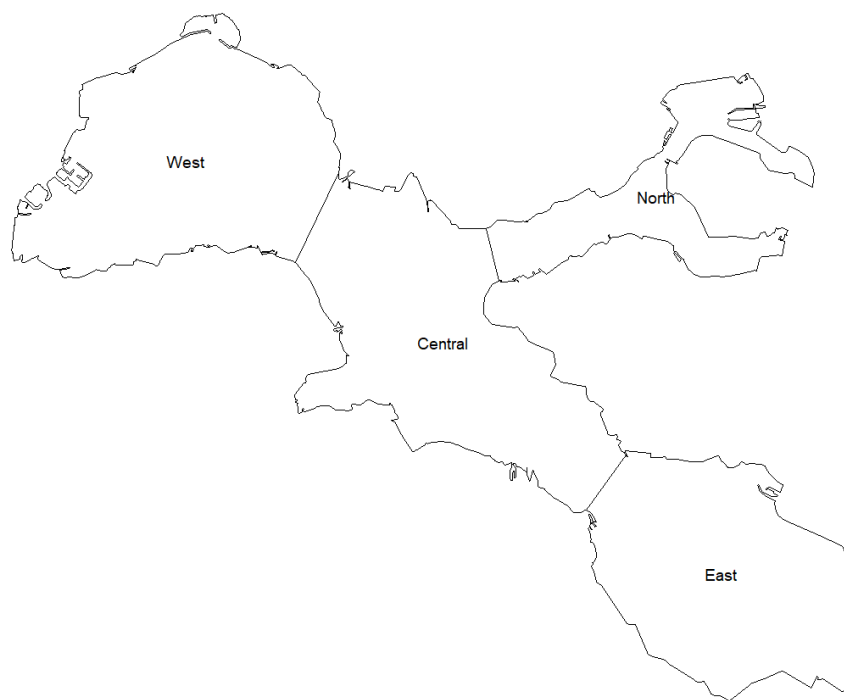
Figuur 1: Overzicht Schema 1: Oosterschelde

Tabel 1: Karakteristieken compartimenten schematisatie 1. In de kolommen staan achtereenvolgens volume bij NAP (10^6 m^3); gemiddelde diepte (m NAP); totaal oppervlakte (10^6 m^2); oppervlakte intergetijdengebied (Litoraal, 10^6 m^2), oppervlakte mosselpercelen (10^6 m^2); oppervlakte oesterpercelen (10^6 m^2) en oppervlakte wilde oesterbanken (10^6 m^2).

Compartiment	Volume	Diepte	Oppervlakte	Litoraal	Mosselperc	Oesterperc.	Oesterbank
Oosterschelde	2 812	8.0	349	104	35.3	21.3	6.2

2.2 Schema 2: 4 compartimenten

In de tweede schematisatie is de Oosterschelde onderverdeeld in 4 compartimenten (Figuur 2). Het gebied West licht grofweg tussen de Oosterscheldekering en de Zeelandbrug. Het gebied East ligt ten westen van de lijn Yerseke-Gorishoek en het deelgebied North ligt ten westen van de lijn Stavenisse – Vierbannen. Het gebied Central ligt ten midden van de genoemde deelgebieden.



Figuur 2: Overzicht Schema 2: 4 Compartimenten

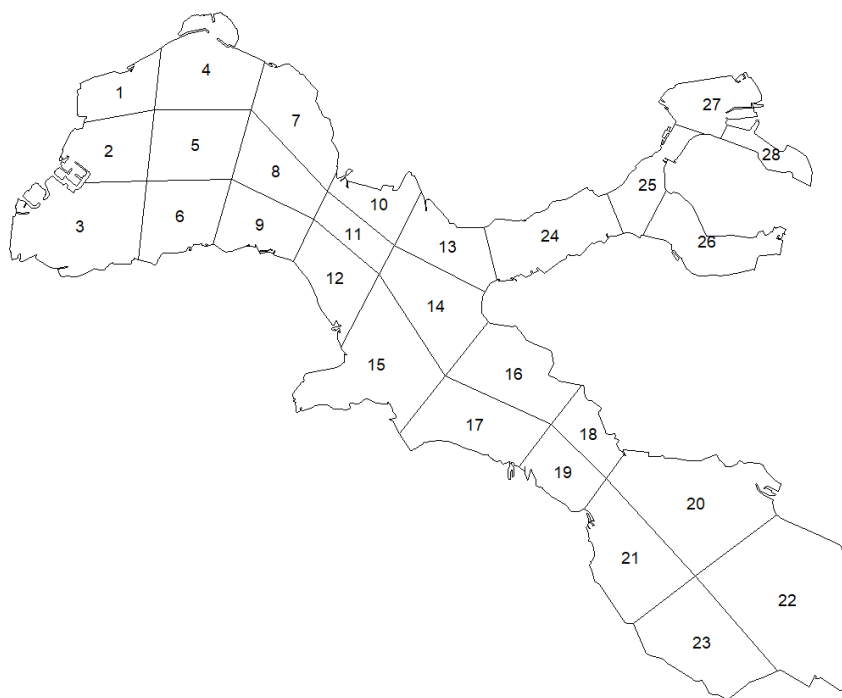
De mosselpercelen bevinden zich voornamelijk in de deelgebieden West en Central (Tabel 3). In het deelgebied East liggen geen mosselkweekpercelen. Wel liggen in dit deelgebied de oesterkweekpercelen en de verwaterpercelen voor de mosselen. De wilde oesterbanken komen over de hele Oosterschelde voor.

Tabel 2: Karakteristieken compartimenten schematisatie 2. In de kolommen staan achtereenvolgens volume bij NAP (10^6 m^3); gemiddelde diepte (m NAP); totaal oppervlakte (10^6 m^2); oppervlakte intergetijdengebied (10^6 m^2), oppervlakte mosselpercelen (10^6 m^2); oppervlakte oesterpercelen (10^6 m^2) en oppervlakte wilde oesterbanken (10^6 m^2).

Compartiment	Volume	Diepte	Oppervlakte	Litoraal	Mosselperc	Oesterperc.	Oesterbank
West	1169	11.0	107	23	12.2	0.0	1.6
Central	1017	9.4	107	31	16.9	0.0	2.0
East	356	3.7	91	32	0.0	21.3	1.0
North	270	5.9	44	19	6.3	0.0	1.6

2.3 Schema 3: 28 compartimenten

In de meest uitgebreide schematisatie is de Oosterschelde opgedeeld in 28 compartimenten (Figuur 3). Deze schematisatie is gebaseerd op schematisatie 2, waarbij het deelgebied West is onderverdeeld in 9 compartimenten (1 tot en met 9). Deelgebied Midden is onderverdeeld in de compartimenten 10 tot en met 19. Deelgebied East in de compartimenten 20 tot en met 23 en deelgebied North in de compartimenten 24 tot en met 28. Er zijn 2 longitudinale lijnen in deze schematisatie. Een loopt van de Neeltje Jansplaat in het westen naar de Tarweplaat in het oosten. De andere loopt van de Roggenplaat in het westen naar Stavenisse in het oosten. Deze lijnen lopen zoveel mogelijk over de slikken en platen en parallel aan de hoofdgeulen zodat de wateruitwisseling over deze lijn relatief beperkt is. De karakteristieken van de compartimenten staan in Tabel 3.



Figuur 3: Overzicht Schema 2: 28 compartimenten

Tabel 3: Karakteristieken compartimenten schematisatie 3. In de kolommen staan achtereenvolgens volume bij NAP (10^6 m^3); gemiddelde diepte (m NAP); totaal oppervlakte (10^6 m^2); oppervlakte intergetijdengebied (10^6 m^2), oppervlakte mosselpercelen (10^6 m^2); oppervlakte oesterpercelen (10^6 m^2) en oppervlakte wilde oesterbanken (10^6 m^2).

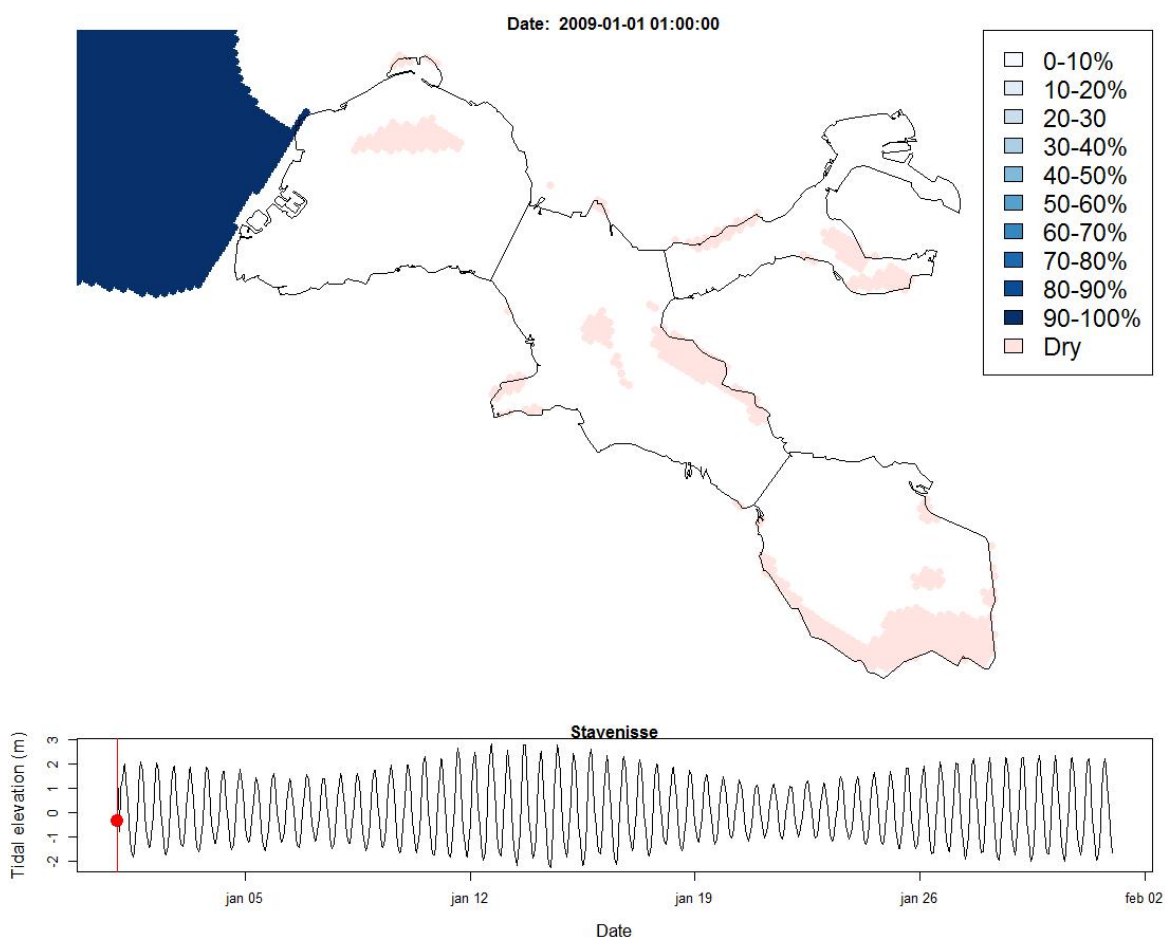
Compartiment	Volume	Diepte	Oppervlakte	Litoraal	Mosselperc	Oesterperc.	Oesterbank
1	83.1	-11.4	7.2	1.4	0.6	0.0	0.0
2	82.7	-8.4	10.4	3.3	1.0	0.0	0.2
3	289.3	-14.5	20.4	3.2	0.1	0.0	0.7
4	73.3	-4.8	15.4	8.9	1.8	0.0	0.6
5	112.6	-9.0	12.4	3.9	2.1	0.0	0.2
6	168.7	-15.0	11.2	0.2	0.7	0.0	0.0
7	109.8	-9.4	11.5	1.5	4.1	0.0	0.0
8	131.6	-13.8	9.5	0.3	1.2	0.0	0.0
9	117.7	-12.5	9.4	0.4	0.4	0.0	0.0
10	109.0	-16.9	6.6	0.5	1.1	0.0	0.0
11	63.3	-12.0	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0
12	127.1	-12.8	9.9	0.8	0.0	0.0	0.2
13	111.2	-11.5	9.6	1.2	1.6	0.0	0.0
14	61.6	-4.4	13.8	6.4	1.6	0.0	0.3

Compartiment	Volume	Diepte	Oppervlakte	Litoraal	Mosselperc	Oesterperc.	Oesterbank
15	193.4	-9.3	20.5	7.7	4.2	0.0	1.3
16	30.6	-2.0	13.7	8.6	4.6	0.0	0.1
17	188.4	-13.3	14.2	1.8	1.2	0.0	0.1
18	51.1	-8.6	5.8	2.4	1.1	0.0	0.0
19	81.2	-10.7	7.6	1.2	1.5	0.0	0.0
20	211.5	-8.4	24.9	1.6	0.0	3.7	0.0
21	39.8	-2.4	16.3	5.2	0.0	6.9	0.0
22	81.6	-2.2	32.7	14.3	0.0	5.0	1.0
23	22.8	-1.1	17.3	10.5	0.0	5.8	0.0
24	121.2	-8.5	13.9	4.6	3.5	0.0	0.6
25	75.2	-10.2	7.3	1.7	0.9	0.0	0.3
26	10.3	-0.4	10.7	8.5	1.5	0.0	0.2
27	54.1	-6.8	8.2	2.2	0.4	0.0	0.4
28	9.1	-1.8	3.9	1.8	0.0	0.0	0.0

3 Uitwisseling

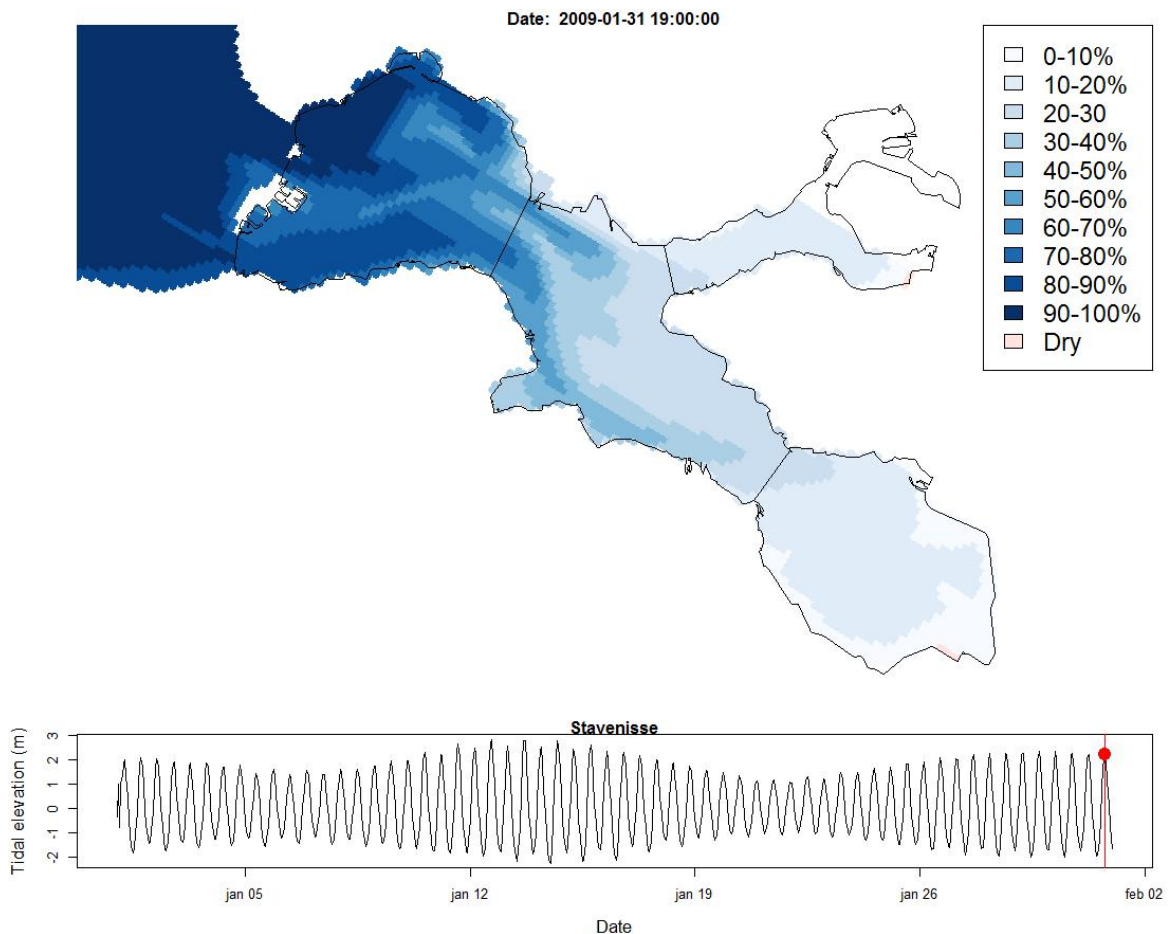
3.1 Tracerstudie

Om de uitwisseling tussen de verschillende compartimenten te berekenen is er een tracer studie uitgevoerd met het GETM/GOTM hydrodynamisch model (Jiang et al., 2019) voor het jaar 2009. In een tracerstudie wordt er gerekend met een denkbeeldige toestandsvariabele (tracer). Deze tracer staat alleen onder invloed van transport door de waterbeweging. Er zijn geen andere processen die de tracer doen toenemen of afnemen en daarmee zijn tracerstudies uitermate geschikt om het transport en uitwisseling van water te analyseren. De resultaten van de tracerstudie van Jiang et al. (2019) is in deze studie gebruikt om de uitwisseling tussen de verschillende compartimenten mee te kalibreren. Aan de start van de simulatie (1 januari 2009) hebben alle cellen in de Voordelta een tracerwaarde van 100 (100 % Noordzeewater). De gridcellen in de Oosterschelde hebben initieel een tracerwaarde van 0 (0% Noordzeewater) (Figuur 4). Gedurende de modelsimulatie wordt op ieder uur de tracerwaarde uitgevoerd voor iedere gridcel. De gridcellen in het model van Jiang et al. (2019) zijn 300x300 meter.



Figuur 4: Boven: Initiële condities voor de tracerberekening. Aan de start van de simulatie hebben alle gridcellen een waarde van 100% (blauw). De gridcellen in de Oosterschelde hebben bij aanvang de waarde 0% (wit). Het de gridcellen in de Oosterschelde die op dat moment droog zijn, zijn met roze aangegeven. Onderaan de figuur is het getij voor de locatie Stavenisse weergegeven.

Na een simulatie periode van een maand heeft het water van de Noordzee de deelgebieden North en East bereikt (tracerconcentratie van 10-20%, Figuur 5).



Figuur 5: Uitvoer van het model voor 31 januari 2009 om 19:00 uur (hoogwater), na een maand simulatie.

3.2 Uitwisseling compartimenten

Om in het DEMO model de uitwisseling tussen de compartimenten onderling en met de Noordzee goed te krijgen zijn er ook tracersommen gedraaid met het DEMO model. De tracer is daarbij weer een denkbeeldige stof in het water die niet toe- of afneemt door processen maar uitsluitend wordt beïnvloed door het watertransport. Aan het begin van de simulatie (1 januari 2009) is de waarde van deze denkbeeldige tracer in de Noordzee 1 (-). In de Oosterschelde is de initiële waarde van de denkbeeldige tracer 0 (-).

De uitwisseling tussen de compartimenten onderling en met de Noordzee zijn gekalibreerd in R met de functie `modFit` uit het package `FME`. De door het DEMO model berekende concentraties van de denkbeeldige tracer zijn daarbij gefit aan de resultaten van de modelsimulatie van Jiang et al. (2019). De resultaten van Jiang et al. (2019) zijn hiertoe over het hele jaar 2009 zijn gegroepeerd per compartiment voor alle drie de schematisaties (Hoofdstuk 2) en gebruikt als "observaties" om de uitwisseling tussen de compartimenten mee te kalibreren.

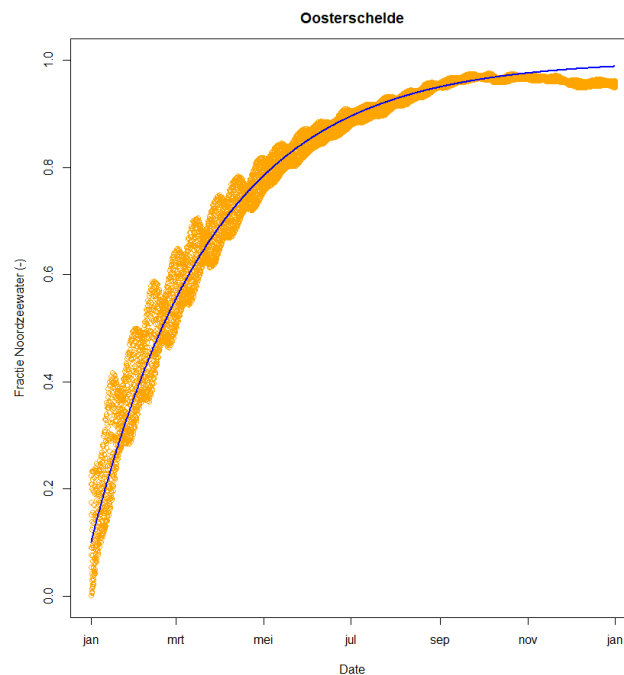
3.2.1 Model schema 1: Eén compartiment

In het OD model van Schema 1 is er alleen een uitwisseling tussen de Oosterschelde en de Noordzee. De verandering in tracerconcentratie in het compartiment Oosterschelde wordt beschreven door de differentiaalvergelijking

$$\frac{df}{dt} = Q_{NS,os} \frac{(f_{NS} - f_t)}{V}$$

Hierbij is f_{NS} de fractie Noordzeewater in de Noordzee (1) en f_t is de fractie Noordzeewater in de Oosterschelde (-) op tijdstip t . V is het volume van de Oosterschelde (m^3) en Q_{NS_OS} is de uitwisseling van water tussen de Oosterschelde en de Noordzee ($m^3 d^{-1}$). Dit is dus de hoeveelheid water die gemiddeld over het jaar per dag tijdens de vloed door de Oosterscheldekering naar binnen stroomt en tijdens eb weer naar buiten stroomt. Omdat het Oosterscheldewater over de tijd geleidelijk wordt vervangen door het Noordzeewater is de fractie Oosterscheldewater op ieder moment $1 - f_t$.

De waarde van Q_{NS_OS} is gefit door het model te fitten aan de "observaties" die zijn gegenereerd door het GETM/GOTM model (Figuur 6). De resultaten laten zien dat de uitvoer van het eenvoudige model (blauwe lijn) goed overeenkomt met de "observaties", de oranje bolletjes. Alleen aan het eind van het jaar overschat het model de tracerconcentratie. Dit wordt veroorzaakt door de toevoer van zoetwater in de Noordelijke tak die wel in het GETM/GOTM model zit maar niet in het vereenvoudigde model. De met het model gefitte waarde voor Q_{NS_OS} is $33.5 \cdot 10^6 m^3 dag^{-1}$.



Figuur 6: Resultaat modelfit tracermodel schema 1 met de fractie Noordzeewater in de Oosterschelde tegen de tijd. Oranje bolletjes geven de "observaties" zoals gegenereerd met het GETM/GOTM model. De blauwe lijn geeft het resultaat van het model van schema 1.

Het eenvoudige tracermodel is gebruikt om de gemiddelde verblijftijd van het water in de Oosterschelde te berekenen. Dit kan op twee manieren worden berekend (Jiang et al., 2019). De turnover time (TT) is gedefinieerd als de tijd in dagen dat het duurt voordat 63.2% ($1 - 1/e$) van het oorspronkelijke (1 jan 2009) Oosterscheldewater is vervangen door Noordzeewater. Aanname hierbij is dat fractie oorspronkelijk Oosterscheldewater ($1 - f_t$) in de Oosterschelde exponentieel afneemt in de tijd. De met het model berekende turnover time is 75.4 dagen.

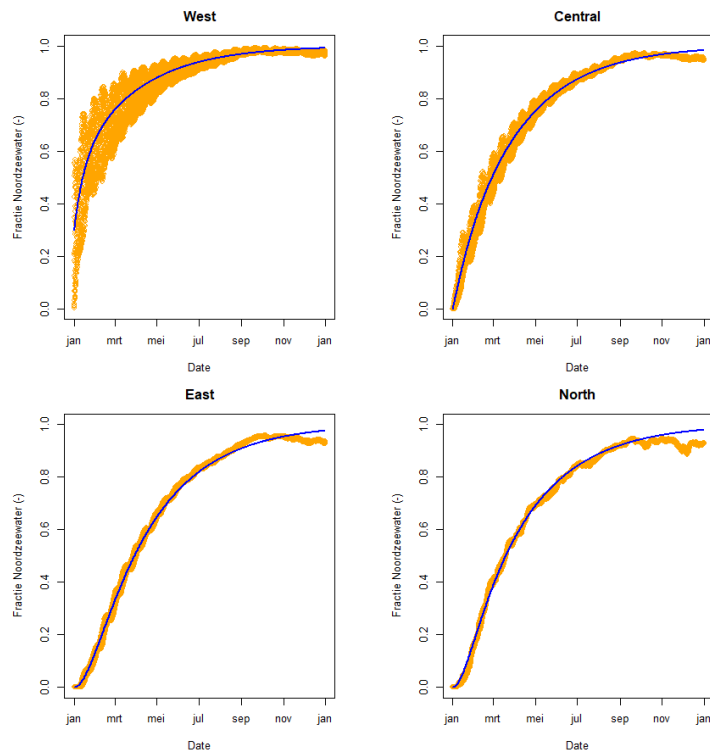
Een tweede, preciezere methode voor het berekenen van de gemiddelde verblijftijd is de Residentie tijd (RT). Dit kan worden berekend door middel van de volgende formule:

$$RT = \int_0^{\infty} \frac{f_{NS} - f_t}{f_{NS}} dt$$

De met het model berekende residentie tijd (RT) is 74.8 dagen en komt overeen met de TT.

3.2.2 Model schema 2: Vier compartimenten

Een zelfde exercitie is uitgevoerd voor model schema 2 met vier compartimenten in de Oosterschelde. In deze analyse zijn er 4 uitwisselingsparameters tussen de compartimenten gefit, namelijk de uitwisseling tussen de Noordzee en deelgebied West ($Q_{NS,W}$), de uitwisseling tussen deelgebied West en deelgebied Central ($Q_{W,C}$), de uitwisseling tussen deelgebied Central en deelgebied North ($Q_{C,N}$) en de uitwisseling tussen deelgebied Central en deelgebied East ($Q_{C,E}$). Ook hier is te zien dat er een overschatting is van het eenvoudige model aan het eind van het jaar (Figuur 7). Dit is voornamelijk het geval in deelgebied North en East waar er invloed is van zoetwateraanvoer.



Figuur 7: Resultaat modelfit tracermodel schema 2 met de fractie Noordzeewater in de Oosterschelde tegen de tijd. Oranje bolletjes geven de "observaties" zoals gegenereerd met het GETM/GOTM model. De blauwe lijn geeft het resultaat van het model van schema 2.

Voor ieder compartiment zijn de gemiddelde verblijftijden berekend als TT en RT (Tabel 4). In de deelgebieden Central, East en North is de RT iets korter dan de TT. In deelgebied West is de TT iets korter dan de RT. Over het algemeen is de RT een exactere schatting van de gemiddelde verversingstijd van het water met water van de Noordzee. Echter de RT kan tot een onderschatting leiden als aan het eind van de simulatietijd (31 december) het Oosterscheldewater nog niet volledig is vervangen door Noordzeewater.

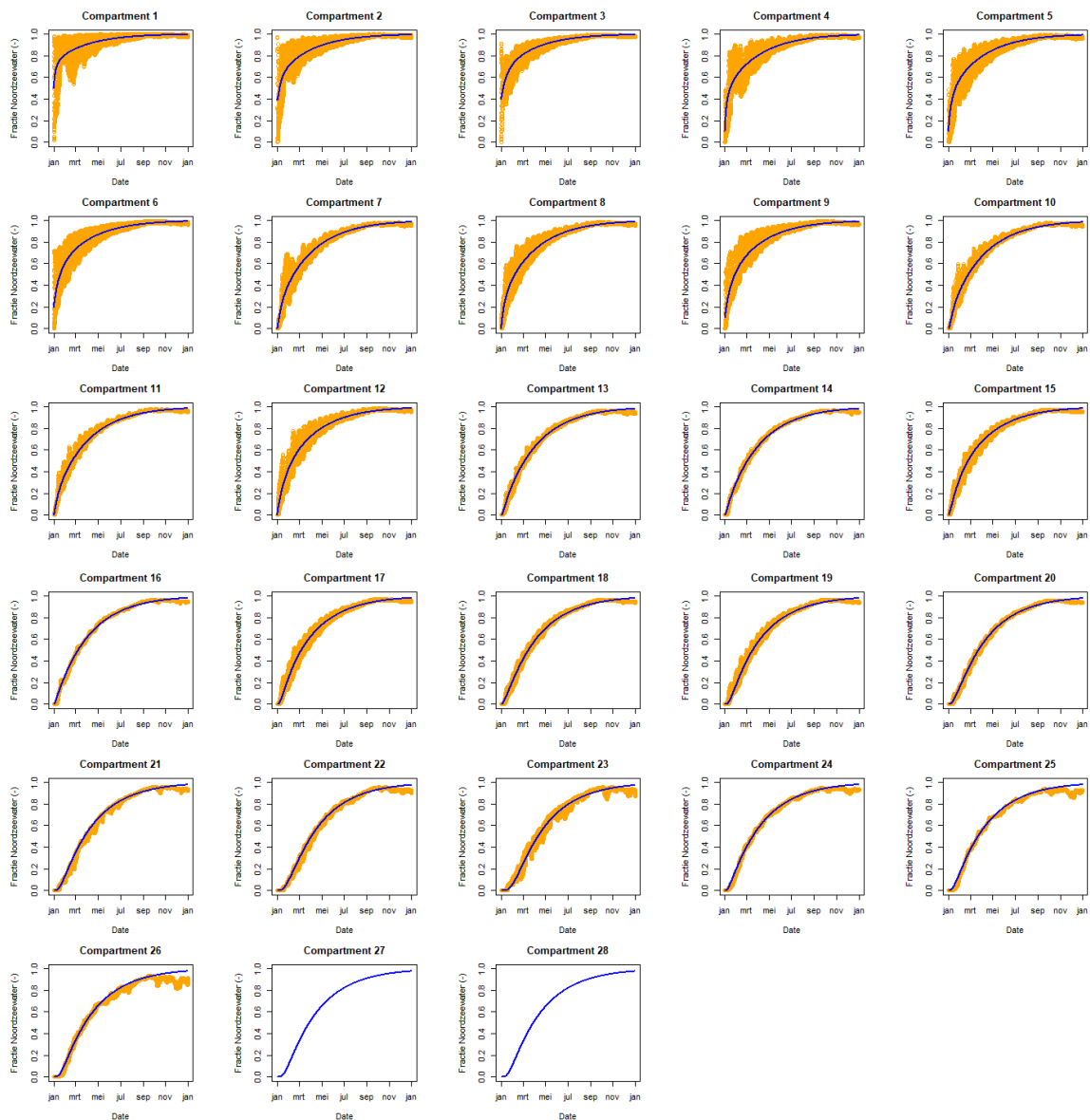
De RT in de Oosterschelde varieert van 50 dagen in het deelgebied West tot 103 en 111 dagen in respectievelijk de deelgebieden North en East.

Tabel 4: Gemiddelde verblijftijden (dagen) van het Oosterscheldewater in de verschillende compartimenten berekend als turnover time (TT) en residentietijd (RT).

Compartiment	Turnover tijd (TT, dag)	Residentietijd (RT, dag)
West	35.3	49.3
Central	87.1	86.7
East	116.2	111.4
North	106.4	103.5

3.2.3 Model schema 3: 28 compartimenten

In het model met 28 compartimenten is het aantal uitwisselingsparameters dat moet worden geschat aanzienlijk toegenomen naar 42.

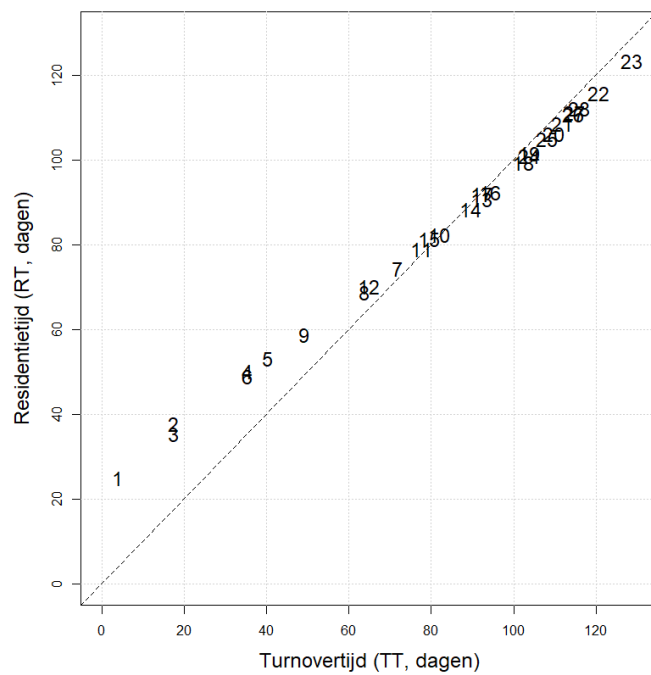


Figuur 8: Resultaat modelfit tracermodel schema 3 met de fractie Noordzeewater in de Oosterschelde tegen de tijd. Oranje bolletjes geven de "observaties" zoals gegenereerd met het GETM/GOTM model. De blauwe lijn geeft het resultaat van het model van schema 3. Voor de compartimenten 27 en 28 zijn geen GETM/GOTM observaties omdat deze gebieden niet binnen het model liggen.

Tabel 5: Gemiddelde verblijftijden (dagen) van het Oosterscheldewater in de verschillende compartimenten berekend als turnover time (TT) en residentietijd (RT).

Compartiment	Turnover tijd (TT, dag)	Residentietijd (RT, dag)
1	4.0	24.9
2	17.5	37.7
3	17.5	35.3
4	35.3	50.2
5	40.4	53.2
6	35.3	49.0
7	71.8	74.5
8	63.8	68.8
9	49.2	58.8
10	82.0	82.4
11	77.6	79.0
12	64.9	70.3
13	92.2	90.8
14	89.6	88.5
15	79.4	81.5
16	94.4	92.5
17	92.2	92.1
18	102.4	99.4
19	103.8	101.6
20	109.7	106.2
21	111.9	108.7
22	120.6	115.9
23	128.6	123.4
24	103.8	101.1
25	108.2	105.1
26	114.4	110.8
27	114.8	111.3
28	115.9	112.2

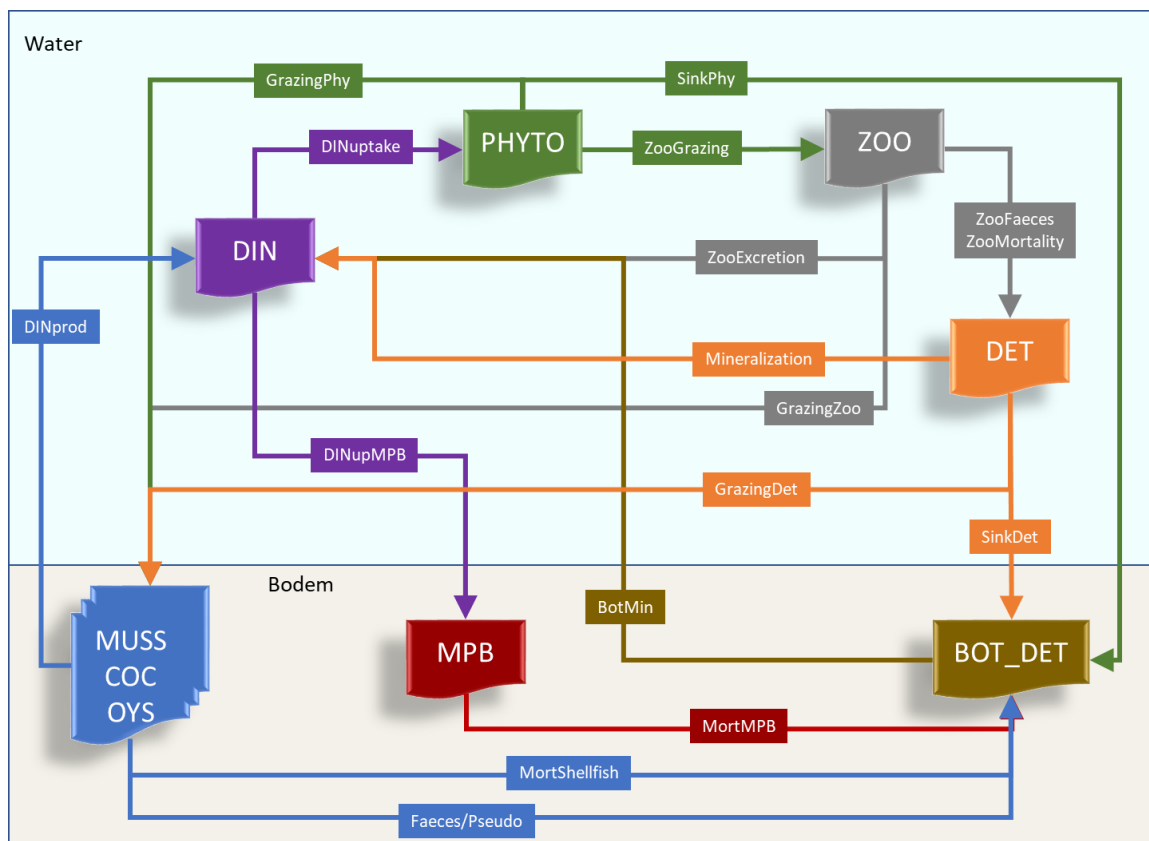
Met dit model zijn voor ieder compartiment de turnover time en residentietijd berekend (zie Tabel 5). De RT varieert van 25 dagen in compartiment 1 tot 123 dagen in compartiment 23 in het deelgebied East. Uit Figuur 9 blijkt dat de vooral in de compartimenten in het deelgebied West, de RT hoger is dan de TT. Omdat in het deelgebied West aan het eind van het jaar het Oosterscheldewater vrijwel volledig is vervangen door het Noordzeewater is de RT een betere schatting voor de gemiddelde verblijftijd van het water.



Figuur 9: Door het model berekende Residentietijd (RT) tegen de turnovertijd (TT) voor de 28 compartimenten van schema. De getallen geven het nummer van het compartiment. De gestippelde lijn geeft aan waar de RT gelijk is aan de TT.

4 Biologisch model

Het model is gebaseerd op een standaard NPZ (Nutrients, Phytoplankton, Zooplankton) model dat is ontwikkeld door Carrasco de la Cruz (2018). Het model heeft 9 toestandsvariabelen, vier in het water (DIN, PHYTO, ZOO, DET) en 5 in de bodem (MUSS, COC, OYS, MPB en BOT_DET). Het model is gebaseerd op stikstof (N). De toestandsvariabelen in de waterkolom hebben een eenheid van mmolN m^{-3} . De toestandsvariabelen in de bodem hebben een eenheid van mmolN m^{-2} . De toestandsvariabelen in de waterkolom worden met de waterbeweging getransporteerd tussen de verschillende compartimenten en dus ook tussen de Oosterschelde en de Noordzee. Ook kunnen ze worden aangevoerd naar de Oosterschelde via de Krammersluizen. De toestandsvariabelen in de bodem worden niet getransporteerd en blijven binnen het compartiment. De parameters in het biologisch model zijn grotendeels afkomstig uit de studie van Carrasco de la Cruz (2018). Er is geen verdere kalibratie uitgevoerd. De soort-specifieke parameters voor de schelpdieren zijn afkomstig uit de literatuur.



Figuur 10: Schematisch overzicht van het DEMO model. Toestandsvariabelen (grote labels) zijn DIN (opgelost anorganisch stikstof), PHYTO (fytoplankton), ZOO (zoöplankton), DET (detritus), MUSS (mosselen), COC (kokkels), OYS (oesters), MPB (microfytobenthos) en BOT_DET (detritus in de bodem). De processen zijn weergegeven door middel van gelabelde pijlen. De kleur van de pijl is telkens dezelfde als de kleur van de toestandsvariabele waar het vandaan komt.

4.1 Opgelost anorganisch materiaal (DIN)

Opgelost anorganisch materiaal (DIN) bestaat uit de som van NO_2 , NO_3 en NH_4 . De eenheid van DIN is mmolN m^{-3} . DIN wordt gebruikt voor de productie van fytoplankton (DINuptake) en microfytobenthos (DINupMFB). DIN komt weer vrij door mineralisatie van detritus in de waterkolom (Mineralisation) en in de bodem (BotMin) en de respiratie van zoöplankton (ZooExcretion) en schelpdieren (DINprod).

4.2 Fytoplankton (PHYTO)

Fytoplankton neemt toe door bruto primaire productie (DINuptake). De eenheid van PHYTO is mmolN m^{-3} . De algen worden gegeten door zoöplankton (ZooGrazing) en schelpdieren (GrazingPhy). Ook kunnen algen uit het systeem verdwijnen doordat ze naar de bodem zinken (SinkPhy).

4.3 Zoöplankton (ZOO)

Zoöplankton eet fytoplankton (ZooGrazing). Een fractie van de opgenomen stikstof gaat verloren in de vorm van feces (ZooFaeces) de rest komt ten goede van de groei. Zooplankton kan worden gegeten door schelpdieren (GrazingZoo). Als het zoöplankton afsterft (ZooMortality) wordt het detritus. Ten slotte produceert zoöplankton anorganische nutriënten door respiratie (ZooExcretion).

4.4 Detritus (DET)

De hoeveelheid detritus (DET, mmolN m^{-3}) in de water kolom neemt toe door het afsterven van zoöplankton (ZooMortality) en de productie van feces door zoöplankton (ZooFaeces). Schelpdieren kunnen detritus uit het water filteren (GrazingDet). Ten slotte kan detritus uit de waterkolom zakken en in de bodem terecht komen als BOT_DET (SinkDet).

4.5 Microfytobenthos (MPB)

Microfytobenthos zijn de benthische algen in de bodem (MPB, mmolN m^{-2}). Deze komen uitsluitend voor op de droogvallende intergetijdengebieden. Het microfytobenthos neemt toe door bruto primaire productie (DINuptMPB). Als het microfytobenthos afsterft komt het als detritus in de bodem vrij (MortMPB).

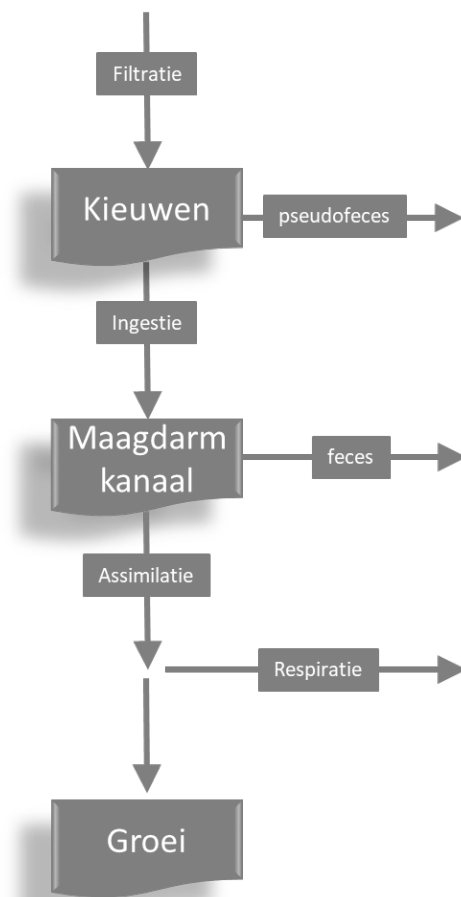
4.6 Detritus in de bodem (BOT_DET)

Detritus in de bodem (BOT_DET) neemt toe door het uitzakken van detritus (SinkDet) en fytoplankton (SinkPhy). De eenheid van BOT_DET is mmolN m^{-2} . Als de schelpdieren afsterven komt de stikstof ook in de bodem detritus terecht (MortShellfish). De feces en pseudofeces die de schelpdieren produceren wordt ook bodem detritus (Faeces/Pseudo). Het stikstof uit de detritus in de bodem komt weer vrij door mineralisatie (BotMin).

4.7 Schelpdieren (MUSS, OYSS en COC)

Er zijn drie verschillende soorten schelpdieren in het model: mosselen (MUSS), oesters (OYSS) en kokkels (COC). De eenheid van de schelpdieren in het model is mmolN m^{-2} . De mosselen komen in het model alleen voor op de mosselpercelen, de oesters binnen de contouren van de wilde oesterbanken en de kokkels op de droogvallende slikken en platen. De processen zijn voor de schelpdieren hetzelfde alleen de parameters zijn soort-specifiek. De soort-specifieke parameters zijn opgenomen in Tabel 6.

De schelpdieren kunnen zowel fytoplankton als zoöplankton en detritus uit het water filteren (respectievelijk GrazingPhy, GrazingZoo en GrazingDet). Door respiratie leveren ze het anorganisch stikstof terug in het water (DINprod). De productie van feces en pseudofeces en sterfte brengt stikstof in het bodem detritus.



Figuur 11: Scope for growth model schelpdieren.

De groei van schelpdieren wordt met een scope for growth type relatie beschreven in Figuur 11. De schelpdieren pompen het water met hun kieuwen en filteren daar de partikels uit (fytoplankton, zoöplankton en detritus). De filtratiesnelheid (mmolN d^{-1}) van een individueel schelpdier is afhankelijk van de grootte van het schelpdier en de voedselconcentratie in het water en wordt beschreven door:

$$Filt_{i,j} = a_i \cdot W_i^{b_i} \cdot \left(\frac{24}{1000}\right) \cdot X_j$$

Waarbij $Filt_{i,j}$ de filtratiesnelheid is (mmolN d^{-1}) van een individueel schelpdier i op voedselbron j . W_i is het gemiddelde gewicht (g AFDW) van schelpdiersoort i en X_j is de voedselconcentratie van voedselbron j (mmolN m^{-3}). a_i en b_i zijn soort-specifieke parameters.

De totale snelheid waarmee voedsel wordt gefilterd door een individu van soort i in mgC d^{-1} (F_i) wordt berekend door

$$F_i = \sum_{j=1}^3 (Filt_{i,j} \cdot CN_j) \cdot M_c$$

Met CN_j als de C/N ratio van voedselbron j en M_c is het molaire massa van koolstof (12 mg mmol^{-1}).

Het gefilterde voedsel wordt over de kieuwen naar de mond getransporteerd. Door de palpen wordt het voedsel geselecteerd in een deel dat wordt opgenomen in het maag-darm kanaal (ingestie) en een deel dat wordt uitgescheiden in de vorm van pseudofeces. De ingestie snelheid is berekend volgens Dowd (1997) en Grant et al. (2007) middels

$$I_i = Tfac \cdot \left(\frac{Food}{X_{k,i} + Food} \right) \cdot I_{m,i} \cdot Wc_i \cdot Wc_i^c$$

Hierbij is *Food* de som van de concentraties fytoplankton, zoöplankton en detritus (in mgC m⁻³), *X_{k,i}* is de Monod parameter voor voedselopname door schelpdiersoort *i*. *I_{m,i}* is relatieve voedsel opname snelheid (d⁻¹) van soort *i*, de waarde constante *Wc_i* is het gemiddeld gewicht van schelpdiersoort *i* in mgC en *c_i* is een soort specifieke parameter.

Het verschil tussen *F_i* en *I_i* is de pseudofeces productie (mgC d⁻¹).

Assimilatie efficiëntie (*ε_i*) van schelpdiersoort *i* is berekend uit de concentraties fytoplankton, zoöplankton en detritus (in mgC m⁻³), de assimilatie efficiëntie van de betreffende soort voor fytoplankton en zoöplankton (*ε_{FZ,i}*), de assimilatie efficiëntie voor detritus (*ε_{D,i}*) en de voedselpreferentie voor detritus ten opzichte van fytoplankton en zoöplankton (*μ_{D,i}*):

$$\varepsilon_i = \frac{\varepsilon_{FZ,i} \cdot (PHYTO_c + ZOO_c) + \varepsilon_{D,i} \cdot \mu_{D,i} \cdot DET_c}{PHYTO_c + ZOO_c + \mu_D \cdot DET_c}$$

De assimilatie snelheid (mgC d⁻¹) kan worden berekend uit de assimilatie efficiëntie (*ε_i*) en de ingestie (*I_i*)

$$A_i = \varepsilon_i \cdot I_i$$

En de productie van feces (mgC d⁻¹) is $(1 - \varepsilon_i) \cdot I_i$

Respiratie (*Resp_i*, mgC d⁻¹) bestaat uit basis respiratie (*Resp_{B,i}*) en de kosten voor groei (*Resp_{G,i}*).

$$Resp_i = Resp_{B,i} + Resp_{G,i}$$

De basis respiratie kan worden berekend met

$$Resp_{B,i} = Tfac \cdot Wc_i^{d_i} \cdot R_{0,i} \cdot Wc_i$$

Waarin *d_i* een soort specifieke parameter is voor respiratie en *R_{0,i}* is de standaard respiratie van soort *i*.

De kosten voor groei wordt berekend als een soort specifieke fractie (*σ_{M,i}*) van de assimilatie.

$$Resp_{G,i} = \sigma_{M,i} \cdot A_i$$

Alle snelheden zijn omgerekend per m² door te vermenigvuldigen met het aantal schelpdieren per m². Vervolgens zijn ze gedeeld door de molaire massa van koolstof en de C/N ratio om te komen tot snelheden met een eenheid van mmolN m⁻² d⁻¹.

De schelpdierbestanden nemen in biomassa toe door groei en nemen af door sterfte. Per soort heeft is de relatieve sterfte een vaste waarde (0.003, 0.003 en 0.0025 d⁻¹ voor respectievelijk mossel oester en kokkel). Als het bestand boven de carrying capacity voor de betreffende soort komt neemt de mortaliteit toe.

Tabel 6: Soort-specifieke parameterwaarden voor schelpdieren

Par	Omschrijving	Eenheid	Mossel	Oester	Kokkel	Referenties
<i>a</i>	Coëfficiënt filtratie	-	1.66	3.92	1.44	(Cranford et al., 2011)
<i>b</i>	Coëfficiënt filtratie	-	0.57	0.5	0.69	(Cranford et al., 2011)
<i>c</i>	Coëfficiënt voedselopname	-	-0.4	-0.4	-0.4	(Bayne en Newell, 1983)
<i>d</i>	Coëfficiënt respiratie	-	-0.33	-0.33	-0.33	(Bayne en Newell, 1983)
I_m	Relatieve voedselopname	d^{-1}	0.1	0.1	0.1	(Bayne et al., 1989)
X_k	Monod parameter voedselopname	$mg\ C\ m^{-3}$	80	80	80	(Filgueira et al., 2011)
ε_{FZ}	Assimilatie efficiëntie fytoplankton	-	0.9	0.9	0.9	(Bayne et al., 1976)
ε_D	Assimilatie efficiëntie detritus	-	0.2	0.2	0.2	(Kjørboe et al., 1980)
μ_D	Voedselpreferentie detritus	-	0.8	0.8	0.8	(Newell, 1989)
$\psi_{AFDW,C}$	AFDW naar gC	-	0.4	0.4	0.4	Data WMR
R_0	Standaard respiratie	d^{-1}	0.01	0.01	0.01	(Bayne en Widdows, 1978)
σ_M	Relatieve kosten voor groei	-	0.1	0.1	0.1	(Bayne en Newell, 1983)
<i>W</i>	Gemiddeld gewicht	$g\ AFDW$	1.5	2.0	1.0	Data WMR

5 Randvoorwaarden en meetdata

5.1 Toevoer naar Oosterschelde

Om de toevoer van algen, DIN en DET naar de Oosterschelde vanuit de Noordzee en het Krammer-Volkerak te berekenen maakt het model gebruik van waterkwaliteitsmetingen van respectievelijk de meetlocaties WALCRN2 en STEENBGN (Figuur 12). Hiermee worden de randvoorwaarden opgelegd aan respectievelijk de Oosterscheldekering en de Krammersluizen. De locatie OESTDM kan worden gebruikt voor het bepalen van de randvoorwaarden aan de Bergse diepsluis, maar dat is op dit moment nog niet geïmplementeerd omdat de zoetwatertoevoer naar de Oosterschelde via de Bergse diepsluis beperkt is. Alle drie locaties zijn bemonsterd in het kader van het MWTL programma van Rijkswaterstaat.

Omdat het model is gebaseerd op stikstof zijn de volgende variabelen afgeleid uit de meetgegevens:

- PHYTO: Concentratie Phytoplankton (mmolN m^{-3}). Dit is berekend door de gemeten Chl-*a* concentratie te delen door de Chl-*a* concentratie delen door de Chl-*a*/N ratio.
- DET: concentratie detritus N (mmolN m^{-3}). Dit is het dood organisch materiaal, en wordt berekend uit de POC (particulair organisch carbon) middels de Redfield ratio of de Kjedal N (locaties STEENBGN en OESTDM).
- DIN: concentratie anorganisch N (mmolN m^{-3}). Dit is de opgeloste anorganische stikstof fractie en is de som van NO_2 , NO_3 en NH_4 .

De aanvoer van PHYTO, DET en DIN van de Noordzee is op ieder moment beschreven door de volgende functie:

$$Flux_{i,j} = Q_{NS,OSj} \frac{(C_{i,NS} - C_{i,j})}{V_j}$$

Waarbij $Flux_{i,j}$ is de toevoer ($\text{mmolN m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) van variabele i van de Noordzee naar compartiment j in de Oosterschelde. Een positieve waarde is transport naar de Oosterschelde en negatieve waarde is transport naar de Noordzee. $Q_{NS,OSj}$ is de uitwisseling van water tussen Noordzee en compartiment j in de Oosterschelde ($\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$), $C_{i,NS}$ is de concentratie (mmolN m^{-3}) van variabele i in de Noordzee (locatie WALCHRN2) en $C_{i,j}$ is de concentratie (mmolN m^{-3}) van variabele i in compartiment j in de Oosterschelde. V_j is het volume (m^3) van compartiment j in de Oosterschelde.

Dezelfde functie is gebruikt voor de aanvoer van PHYTO, DET en DIN vanuit het Krammer-Volkerak naar de Oosterschelde. Echter dit transport is in één richting, van het Krammer-Volkerak naar de Oosterschelde en niet terug. Er is aangenomen dat er een continue aanvoer van zoetwater door de krammersluizen (Q_{KR}) is van $9.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (De Haan, 2017). Dit komt overeen met $777\,600 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. De Flux van variabele i naar compartiment j in de Oosterschelde is beschreven door:

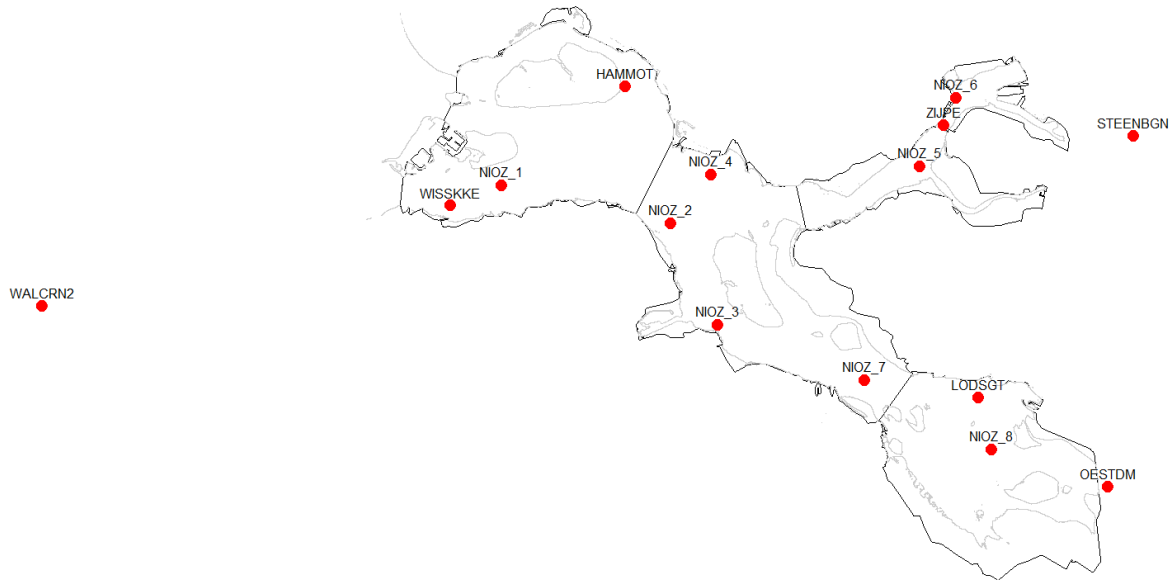
$$Flux_{i,j} = Q_{KR} \frac{C_{i,KR}}{V_j}$$

Waarbij $C_{i,KR}$ de concentratie van variabele $C_{i,KR}$ in het Krammer-Volkerak (locatie STEENBGN).

Omdat de algen die vanuit het Krammer-Volkerak worden aangevoerd zoetwateralgen zijn is aangenomen dat deze in de Oosterschelde zullen sterven en worden daarom direct opgenomen in de detritus pool.

5.2 Meetgegevens in de Oosterschelde

Om de resultaten van het DEMO model te kunnen toetsen is er ook gebruik gemaakt van meetgegevens die zijn verzameld op 12 meetlocaties in de Oosterschelde (Figuur 12). De locaties WISSKKE, HAMMOT, LODSGT en ZIJPE zijn bemonsterd in het kader van het MWTL programma van Rijkswaterstaat. De locaties NIOZ_1 tot en met NIOZ_8 zijn bemonsterd door het NIOZ.



Figuur 12: Meetlocaties waterkwaliteit in en rond de Oosterschelde gebruikt in het model.

5.3 Watertemperatuur

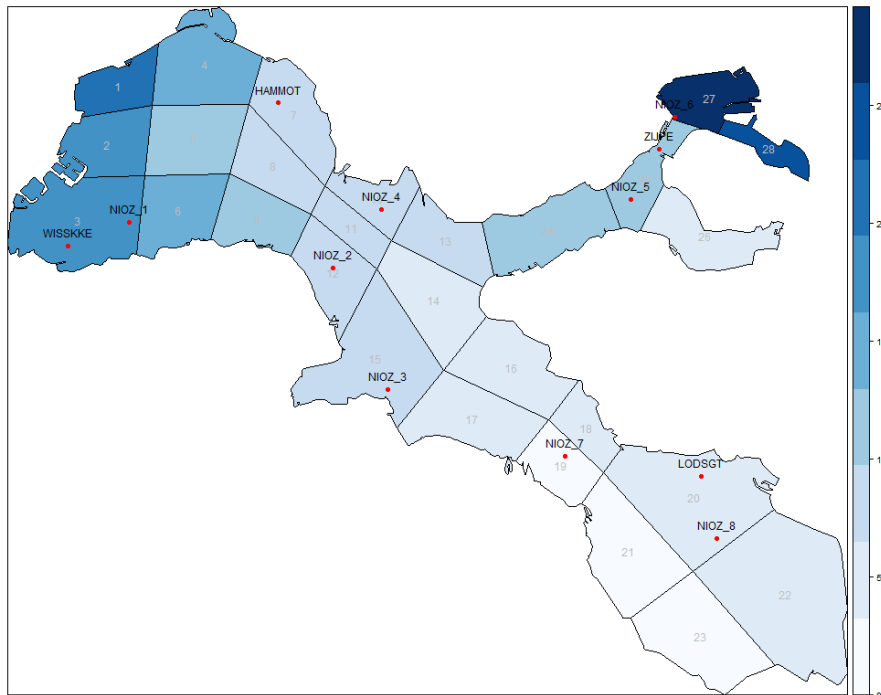
Veel van de biologische processen zijn afhankelijk van de watertemperatuur. Temperatuur wordt door Rijkswaterstaat gemeten op de locatie Marollegat (deze locatie ligt tussen de locaties NIOZ_8 en OESTDM in Figuur 12). De snelheid van de processen nemen toe met de watertemperatuur volgens onderstaande functie. Bij een watertemperatuur van 10°C is de waarde van $Tfac$ 1.

$$Tfac = Q_{10}^{\left(\frac{T-10}{10}\right)}$$

In het model is voor alle processen een Q_{10} waarde van 2.0 genomen. Dit betekent een verdubbeling van de snelheden bij iedere 10°C toename in temperatuur.

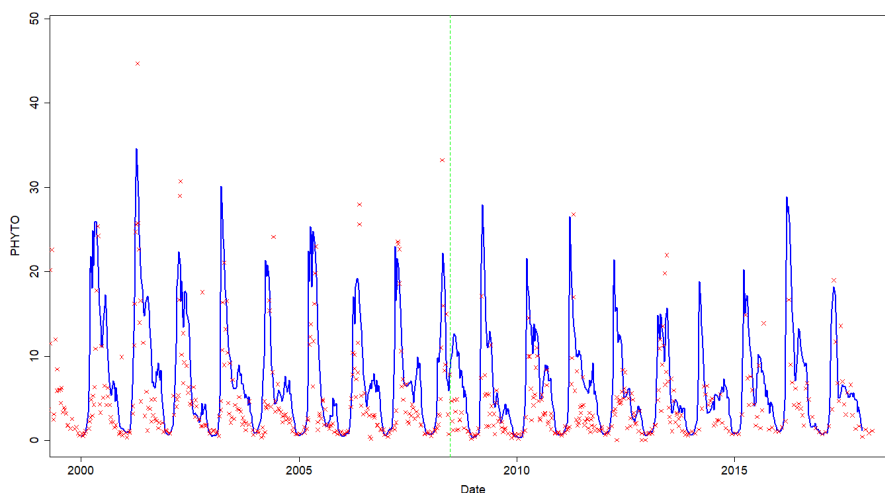
6 Resultaten

Ter demonstratie is het model gedraaid voor de periode 1 januari 2000 tot 31 december 2017. In Figuur 13 is een ruimtelijk plaatje gepresenteerd van de Chl-*a* concentratie (mg m^{-3}) op 19 juni 2008. De hoogste concentraties zijn te vinden in de Noordelijke tak (compartiment 27, waar de nutriënten vanuit het Krammer-Volkerak worden geloosd). Ook zijn er relatief hoge concentraties in de westelijke compartimenten (1, 2, 3, 4 en 6), nabij de Oosterscheldekering, waar het voedselrijke water van de Noordzee binnen. De Chl-*a* concentraties in de kom van de Oosterschelde zijn veel lager.

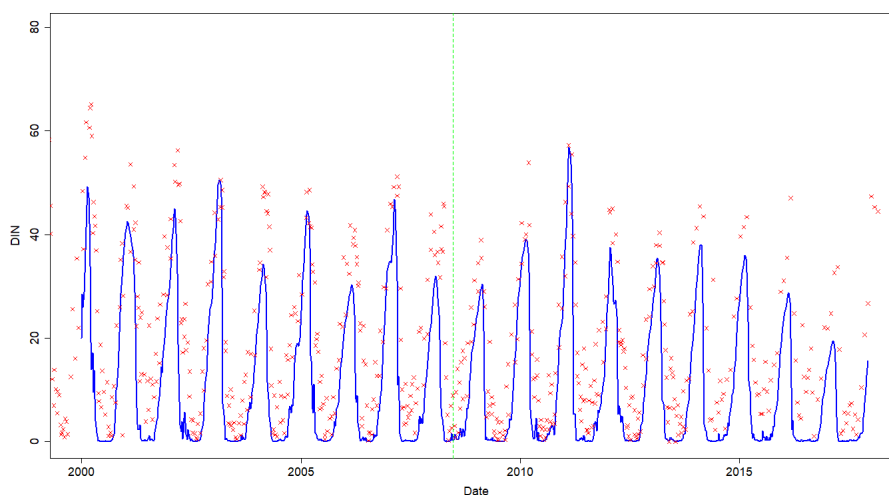


Figuur 13: Door het model berekende Chl-*a* concentratie (mg m^{-3}) op 19 juni 2008. In de figuur zijn tevens de monitoringslocaties en de nummers van de compartimenten aangegeven.

In Figuur 14 is de tijdserie gegeven van de Chl-*a* concentratie over de gehele simulatieperiode van 1 januari 2000 tot en met 31 december 2017. Over het algemeen genomen komt de modelberekening overeen met de meetgegevens voor WISSKKE en NIOZ_1. De Chl-*a* concentratie piekt ieder jaar in het voorjaar en neemt dan af. In het najaar is er nog een tweede, kleinere piek van Chl-*a*. In de meetdata is deze tweede piek niet altijd even duidelijk aanwezig. In de zomerperiode lijkt de Chl-*a* concentratie overschat te worden door het model. In Figuur 15 zijn de door het model berekende DIN concentraties uitgezet met de metingen in compartiment 3. Duidelijk is dat de DIN concentratie al vroeg in het voorjaar is verdwenen en dat de DIN concentratie in de zomerperiode wordt onderschat door het model.



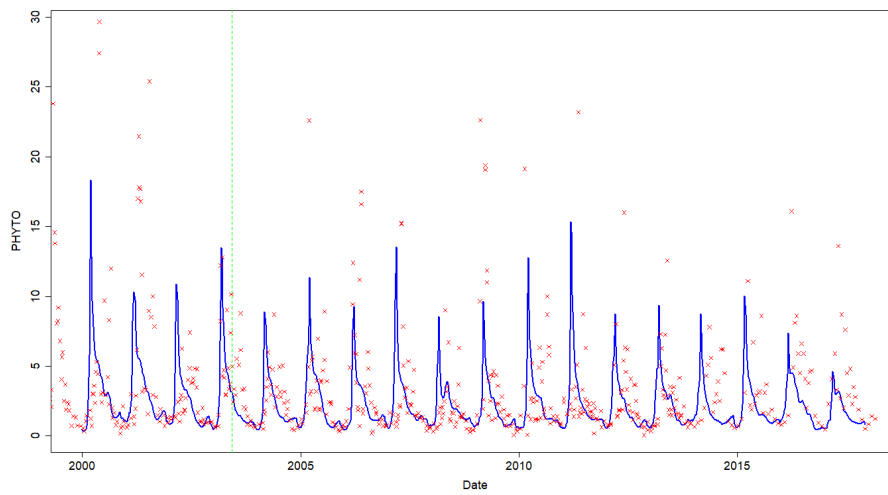
Figuur 14: Door het model berekende fytoplankton concentratie (mg m^{-3}) in compartiment 3. Blauwe lijn is de modelberekening en de rode kruisjes zijn de meetgegevens.



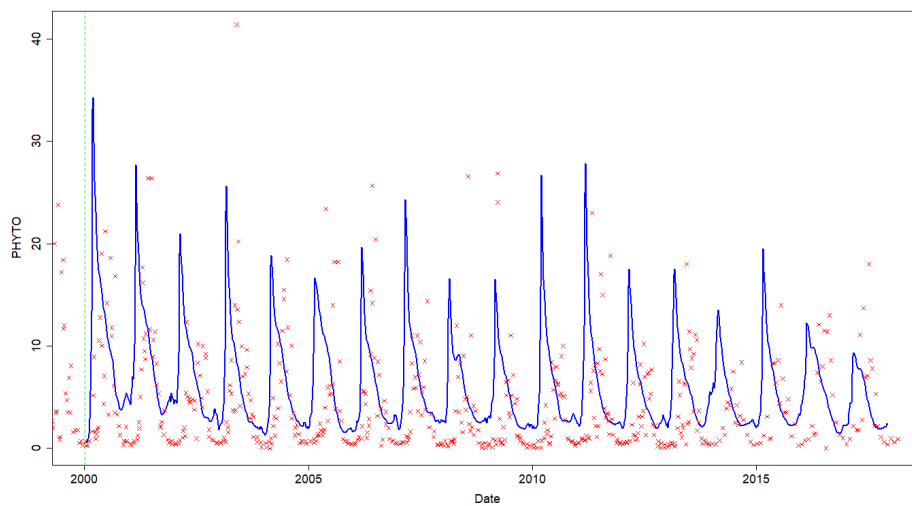
Figuur 15: Door het model berekende DIN concentratie (mmolN m^{-3}) in compartiment 3. Blauwe lijn is de modelberekening en de rode kruisjes zijn de meetgegevens.

In Figuur 16 zijn de modelresultaten (Chl-*a*) met de meetgegevens (NIOZ_8 en LODSGT) voor compartiment 20 in de kom van de Oosterschelde uitgezet. Ook hier lijken de modelresultaten redelijk overeen te komen met de meetgegevens. In de zomerperiode wordt de Chl-*a* concentratie wel onderschat door het model. Opvallend is dat de najaarspiek in Chl-*a*, minder uitgesproken is dan in het westelijk deel van de Oosterschelde.

In Figuur 17 tenslotte zijn de modelresultaten voor de locatie 25 gepresenteerd samen met de meetgegevens van de locatie NIOZ_5. Hier is te zien dat de timing van de Chl-*a* piek in het voorjaar over het algemeen iets te vroeg is. Ook worden de Chl-*a* concentraties in de zomerperiode overschat.



Figuur 16: Door het model berekende fytoplankton concentratie (mg m^{-3}) in compartiment 20. Blauwe lijn is de modelberekening en de rode kruisjes zijn de meetgegevens.



Figuur 17: Door het model berekende fytoplankton concentratie (mg m^{-3}) in compartiment 25. Blauwe lijn is de modelberekening en de rode kruisjes zijn de meetgegevens.

7 Aanbevelingen

Het gepresenteerde model is een eerste, eenvoudige aanzet voor een ruimtelijk gedifferentieerd NPZ model voor de Oosterschelde. De insteek is om het model eenvoudig te houden zodat het eenvoudig te gebruiken is. Om deze reden is ervoor gekozen om het model te baseren op stikstof. Aanname hierbij is dat andere nutriënten (P en Si) niet limiterend zijn voor de primaire productie. De onderschatting van DIN in de zomerperiode kan een aanwijzing zijn dat mogelijk ook P limiterend kan zijn voor de primaire productie. Inbouwen van P in het model leidt tot een aanzienlijke toename van het aantal toestandsvariabelen en daarmee de complexiteit van het model. Voorstel is dan ook om eerst te onderzoeken of andere verbeteringen (randvoorwaarden, onderwaterlichtklimaat, parameterwaarden) kunnen leiden tot een verbetering van het model.

Naast nutriënten (DIN) en Chl-a concentratie is de primaire productie afhankelijk van het onderwaterlichtklimaat. In het huidige model is er gebruik gemaakt van een vaste waarde voor de extinctie coëfficiënt in het water (K_d). Het is bekend dat de extinctie coëfficiënt van licht in het water door het seizoen kan variëren als gevolg van de hoeveelheid zwevend stof (algen, detritus en slib) in het water. Op basis van metingen en/of berekeningen van de extinctie coëfficiënt kan een betere inschatting worden gemaakt van de variatie door het jaar, en eventueel de ruimte.

Primaire productie is een belangrijk proces in het DEMO model. Om een betere indruk te krijgen van de correctheid van het model zou de berekende primaire productie kunnen worden vergeleken met gemeten waarden. Voor de Oosterschelde zijn er metingen beschikbaar van primaire productie beschikbaar voor een vijftal locaties in de Oosterschelde tussen 1991 en 2010 (Malkin et al., 2011; Wijsman, 2019b).

Met het model is het mogelijk om een ruimtelijk-gedifferentieerd beeld te krijgen van draagkracht indicatoren zoals de grazing ratio en clearance ratio (Smaal, 2017; Smaal en Van Duren, 2019). De componenten hiervoor (primaire productie, verversingstijd en graasdruk) worden reeds berekend door het model.

De schelpdieren worden op dit moment gemodelleerd middels een scope for growth formulering. De ontwikkeling van de mosselen (grootte, gewicht, vleesgewicht) dient achteraf te worden berekend door middel van een DEB model (Wijsman, 2019a). Het is efficiënter als de DEB formulering voor de groei van de schelpdieren kan worden ingebouwd in het DEMO model.

Er is nog niet veel aandacht besteedt aan een goede inschatting van de parameters in het model. Deels komen deze uit de studie van Carrasco de la Cruz (2018) en deels komen ze uit beschikbare literatuur. In een vervolgonderzoek zou er een aantal van deze parameters kunnen worden gekalibreerd met behulp van de beschikbare data.

8 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. Dit certificaat is geldig tot 15 december 2021. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV GL.

Het chemisch laboratorium te IJmuiden beschikt over een EN-ISO/IEC 17025:2017 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2021 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie. Het chemisch laboratorium heeft hierdoor aangetoond in staat te zijn op technisch bekwaame wijze valide resultaten te leveren en te werken volgens de ISO17025 norm. De scope (L097) met de geaccrediteerde analysemethoden is te vinden op de website van de Raad voor Accreditatie (www.rva.nl).

Op grond van deze accreditatie is het kwaliteitskenmerk Q toegekend aan de resultaten van die componenten die op de scope staan vermeld, mits aan alle kwaliteitseisen is voldaan. Het kwaliteitskenmerk Q staat vermeld in de tabellen met de onderzoeksresultaten. Indien het kwaliteitskenmerk Q niet staat vermeld is de reden hiervan vermeld.

De kwaliteit van de analysemethoden wordt op verschillende manieren gewaarborgd. De juistheid van de analysemethoden wordt regelmatig getoetst door deelname aan ringonderzoeken waaronder die georganiseerd door QUASIMEME. Indien geen ringonderzoek voorhanden is, wordt een tweede lijnscontrole uitgevoerd. Tevens wordt bij iedere meetserie een eerstelijnscontrole uitgevoerd. Naast de lijnscontroles wordende volgende algemene kwaliteitscontroles uitgevoerd:

- Blanco onderzoek.
- Terugvinding (recovery).
- Interne standaard voor borging opwerkmethode.
- Injectie standard.
- Gevoeligheid.

Bovenstaande controles staan beschreven in Wageningen Marine Research werkvoorschrift *ISW 2.10.2.105*.

Indien gewenst kunnen gegevens met betrekking tot de prestatiekenmerken van de analysemethoden bij het chemisch laboratorium worden opgevraagd.

Indien sprake is van onbeheerste kwaliteit worden passende maatregelen genomen.

Literatuur

- Bayne, B. L., R. J. Thompson en J. Widdows (1976) Physiology: I, Pages 121-159 in B. L. Bayne, ed. Marine mussels their ecology and physiology. Cambridge, Cambridge University Press.
- Bayne, B. L. en J. Widdows (1978) The physiological ecology of two populations of *Mytilus edulis* L. *Oecologia* 37: 137-162.
- Bayne, B. L. en R. C. Newell (1983) Physiological energetics of marine molluscs, Pages 407-515 in A. S. M. Saleudin, ed. The mollusca. New York, Academic Press.
- Bayne, B. L., A. J. S. Hawkins, E. Navarro en I. P. Iglesias (1989) Effects of seston concentration on feeding, digestion and growth in the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Ecology Progress Series* 55: 47-54.
- Carrasco de la Cruz, P. M. (2018) An ecosystem model of the Oosterschelde estuary (EMOES), Ghent University.
- Cranford, P. J., J. E. Ward en S. E. Shumway (2011) Bivalve filter feeding: variability and limits of the aquaculture biofilter, Pages 81-124 in S. E. Shumway, ed. *Shellfish Aquaculture and the Environment*, Wiley-Blackwell.
- De Haan, M. (2017) Passende beoordeling in het kader van de wet natuurbescherming. IZZS Krammersluizen. Royal Haskoning DHV, Rapport, 92 pagina's.
- Dowd, M. (1997) On predicting the growth of cultured bivalves. *Ecological Modelling* 104: 113-131.
- Filgueira, R., R. Rosland en J. Grant (2011) A comparison of scope for growth (SFG) and dynamic energy budget (DEB) models applied to the blue mussel (*Mytilus edulis*). *Journal of Sea Research* 66: 403-410.
- Grant, J., K. J. Curran, T. L. Guyondet, G. Tita, C. Bacher, V. Koutitonsky en M. Dowd (2007) A box model of carrying capacity for suspended mussel aquaculture in Lagune de la Grande-Entrée, Isles-de-la-Madelaine, Québec. *Ecological Modelling* 200: 1993-1206.
- Jiang, L., T. Gerkema, J. W. M. Wijsman en K. Soetaert (2019) Comparing physical and biological impacts on seston renewal in a tidal bay with extensive shellfish culture. *Journal of Marine Systems* 194: 102-110.
- Kjørboe, T., F. Møhlenberg en O. Nøhr (1980) Feeding, particle selection and carbon absorption in *Mytilus edulis* in different mixtures of algae and resuspended bottom material. *Ophelia* 19: 193-205.
- Klepper, O., M. W. M. Van Der Tol, H. Scholten en P. M. J. Herman (1994) SMOES: a simulation model for the Oosterschelde ecosystem. Part I: Description and uncertainty analysis. *Hydrobiologia* 282: 437-451.
- Malkin, S. Y., J. C. Kromkamp en P. M. J. Herman (2011) Primary production in the Oosterschelde: an analysis of historical data, size distribution and effect of grazing pressure. NIOO-CEME, Rapport, 24 pagina's.
- Newell, R. I. E. (1989) Species profiles: Life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (North and Mid-Atlantic): Blue mussel, Rapport nummer: US Fish and Wildlife Service Biological Report 82(11.102) TR EL-82-4, 34 pagina's.
- Smaal, A. C. (2017) Draagkracht voor schelpdieren: definities, indices en case studies. Wageningen Marine Research, Rapport nummer: C023/17, 26 pagina's.
- Smaal, A. C. en L. A. Van Duren (2019) Bivalve aquaculture carrying capacity: concepts and assessment tools, Pages 451-483 in A. C. Smaal, J. G. Ferreira, J. Grant, J. K. Petersen, en Ø. Strand, eds. *Goods and services of marine bivalves*, Springer.
- Wijsman, J. W. M. (2019a) Dynamic Energy Budget (DEB) model Blue mussels (*Mytilus edulis*) Technical report INNOPRO project. Wageningen Marine Research, Rapport nummer: C009/19, 39 pagina's.
- Wijsman, J. W. M. (2019b) Meten van primaire productie in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer. Overzicht van methodieken en plan van aanpak voor monitoring. Wageningen Marine Research, Rapport nummer: C022/19, 56 pagina's.

Verantwoording

Rapport C010/20

Projectnummer: 4311400011

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

Akkoord: Dr. Tobias van Kooten
Onderzoeker Wageningen Marine Research

Handtekening:



Datum: 30-01-2020

Akkoord: Dr. Tammo Bult
Director Wageningen Marine Research

Handtekening:



Datum: 30-01-2020

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

Bezoekers adres:

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

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



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