

# **Effecten zoetwaterbelasting via de Krammersluizen op de schelpdiercultuur in de Noordelijke tak van de Oosterschelde**

A.C. Smaal & P. Kamermans

Rapport C181/14



# IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving  
T.a.v. H. Haas  
Postbus 17 | 8200 AA Lelystad

Publicatiedatum:

22 december 2014

**IMARES** is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een instituut dat de benodigde kennis levert voor een geïntegreerde duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

P.O. Box 68 1970 AB IJmuiden Phone: +31 (0)317 48 09 00 Fax: +31 (0)317 48 73 26 E-Mail: imares@wur.nl www.imares.wur.nl	P.O. Box 77 4400 AB Yerseke Phone: +31 (0)317 48 09 00 Fax: +31 (0)317 48 73 59 E-Mail: imares@wur.nl www.imares.wur.nl	P.O. Box 57 1780 AB Den Helder Phone: +31 (0)317 48 09 00 Fax: +31 (0)223 63 06 87 E-Mail: imares@wur.nl www.imares.wur.nl	P.O. Box 167 1790 AD Den Burg Texel Phone: +31 (0)317 48 09 00 Fax: +31 (0)317 48 73 62 E-Mail: imares@wur.nl www.imares.wur.nl
--	--	---	--

© 2014 IMARES Wageningen UR

IMARES, onderdeel van Stichting DLO.  
KvK nr. 09098104,  
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16.  
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U  
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A\_4\_3\_1-V13.3

## **Inhoudsopgave**

Samenvatting .....	4
1. Inleiding .....	5
2. Beschrijving van de voorgenomen maatregelen en resulterende veranderingen .....	7
3. Beschrijving van de effecten .....	13
4. Conclusies .....	19
Referenties .....	20
Kwaliteitsborging .....	21
Verantwoording .....	22

## **Samenvatting**

In dit rapport wordt ingegaan op de vraag naar het effect van respectievelijk 30 en 50 m<sup>3</sup>/s zoetwaterafvoer van het Krammer-Volkerak door de Krammersluizen naar de Oosterschelde op de schelpdiercultuur en de visserij in de Noordelijke tak van de Oosterschelde.

Uit modelvoorspellingen kan worden afgeleid dat de voorgenomen zoetwaterspui in het 50 m<sup>3</sup>/s scenario tot een aanzienlijke verlaging kan leiden van het zoutgehalte in de Noordelijke tak van de Oosterschelde, met in het Slaak een afname tot een gemiddelde saliniteit 14 ppt ten opzichte van de huidige situatie. Wel blijkt het model het zoutgehalte lager in te schatten ten opzichte van gemeten waarden, met ca. 4 ppt.

Op basis van literatuurgegevens is ingeschat wat dit zou betekenen voor de schelpdiercultuur en voor enkele andere commercieel belangrijke soorten, met name de kreeft. Daaruit komt naar voren dat met name het Slaak in het 50 m<sup>3</sup>/s scenario minder geschikt wordt voor de mosselcultuur; in het 30 m<sup>3</sup>/s scenario heeft de zoetwaterspui minder effect, behalve in het Slaak, waar de zoutgehalten lager worden dan voor optimale recrutering nodig is. Indien echter voor de onderschatting van het model wordt gecorrigeerd dan blijven er wel effecten te verwachten van het 50 m<sup>3</sup>/s scenario, maar niet van het 30 m<sup>3</sup>/s scenario.

De mogelijk mitigerende werking van het gebruik van de Flakkeese spuisluis op zoutgehalte en verticale menging vereist nadere studie omdat er thans geen kwantitatieve voorspellingen beschikbaar zijn van het te verwachten zoutgehalte en de menging; het is wel waarschijnlijk dat spui van zout water uit het Grevelingenmeer door de Flakkeese spuisluis positief zal uitwerken op het zoutgehalte en de verticale menging in de Noordelijke tak.

## 1. Inleiding

### Probleemstelling

Dit rapport gaat in op mogelijke effecten van een verhoogde zoetwaterbelasting op de Oosterschelde als gevolg van ander spuibeheer van de Krammersluizen. Op basis van de scenario analyses van Deltares kan worden ingeschat welke zoutgehalten zullen optreden bij aangepast spuiregime (Friocourt, 2014). De vraagstelling in dit rapport is specifiek gericht op de effecten van zoutgehalteverlaging en eventuele stratificatie op de schelpdiercultuur in de Noordelijke tak van de Oosterschelde, als gevolg van extra doorspoeling van de Volkerak-Zoommeer via de Krammersluizen. Deze probleemstelling staat geheel los van mogelijke besluiten om het Volkerak-Zoommeer zout te maken.

### Achtergrond

Naar aanleiding van de droogte van 2011 is door de toenmalige Waterdienst een evaluatie uitgevoerd met betrekking tot het beheer van het hoofdwatersysteem. In het Waterakkoord Volkerak-Zoommeer (VZM) is vastgelegd dat het doorspoelbeheer ten behoeve van het chloridebeheer in het meer, dat maximaal 450 mg Cl/l mag bedragen tijdens het groeiseizoen (half maart – half september, meetlocatie Bathse Brug). Het advies uit de evaluatie was om de mogelijkheden te onderzoeken om eerder te beginnen met doorspoelen van het VZM (winterdoorspoeling). Dit zou kunnen resulteren in een lager chloridegehalte in het meer aan het begin van het groeiseizoen waardoor minder rivierwater nodig is voor doorspoelen tijdens het groeiseizoen. Met name bij lage afvoeren tijdens de maanden april/mei kan dit mogelijk leiden tot een lager doorspoeldebiet, terwijl over het algemeen in het vroege voorjaar het aanbod van rivierwater ruim voldoende is. Het waterakkoord geeft echter geen verplichting om eerder door te spoelen. Het doorspoelwater wordt normaliter afgevoerd via de Bathse Spuisluis naar de Westerschelde, maar bestrijding van de zoutlast voor het VZM kan effectiever gebeuren via de Krammersluizen (mond. med. H Haas). Dat heeft dan wel gevolgen voor de zoutgehalten in de Oosterschelde. Eén van de vragen betreft de effecten zijn van zoutgehalteverlaging en eventuele stratificatie op de schelpdiercultuur in de Noordelijke tak van de Oosterschelde. Verder is de vraag in hoeverre afvoer naar de Oosterschelde positieve effecten zou kunnen hebben op productiviteit van de Oosterschelde. Dit onderwerp is al deels onderzocht in de Green Deal Oosterschelde (Wijsman et al., 2013) maar zou in dit kader wellicht tot nieuwe inzichten kunnen leiden. Tevens is aan de orde dat het zoet-zout scheidingsysteem van de Krammersluizen moet worden herzien in verband met noodzakelijk groot onderhoud. Aangepast beheer betekent hogere zoetwatertoevoer naar de Oosterschelde. De huidige zoetwatertoevoer bedraagt per dag gemiddeld 9 m<sup>3</sup>/s, dit is het ingestelde debiet van het huidige zoet-zout scheidingsysteem. Het geplande innovatieve zoet-zout scheidingsysteem (IZZS) heeft een flexibel spuidebiet met in normale omstandigheden 20-40 m<sup>3</sup>/s en kan in de praktijk gestuurd worden op basis van waterbeschikbaarheid (voldoende rivierafvoer) en omgevingseffecten (zoetlast Oosterschelde). Uitgaande van een gemiddeld debiet van 30 m<sup>3</sup>/s is een spuidebiet van 50 m<sup>3</sup>/s te zien als een maximale zoetwatertoevoer en tevens worstcase wat betreft te verwachten effecten. In de berekeningen is uitgegaan van de winterperiode van 15 september tot 15 maart, maar in de praktijk worden de hoogste afvoeren verwacht in de periode 15 januari – 15 maart.

## **Kennisvraag**

Wat is het effect van 30 en 50 m<sup>3</sup>/s continu zoetwaterafvoer via de Krammersluizen richting de Oosterschelde op de schelpdiercultuur in de Noordelijke Tak van de Oosterschelde?

## **Aanpak**

De werkzaamheden bestaan uit:

1. Inhoudelijke workshop waarin de resultaten van de Deltares studie worden gepresenteerd/bediscussieerd en waarin de vraagstelling en verwachtingen t.a.v. eindproduct worden gespecificeerd.
2. Op basis van de resultaten van de workshop zal een nadere analyse worden uitgevoerd naar de effecten voor schelpdierkweek en visserij op basis van literatuur en expert judgement. De resultaten worden gerapporteerd in een concept rapport. Dit concept wordt voorgelegd aan de deelnemers van de workshop voor commentaar en aanvullingen.
3. Opstellen van het definitieve rapport.

## **Dankwoord**

De auteurs bedanken de volgende personen voor hun constructieve commentaar op conceptversies: Ies de Vries en Yann Friocourt van Deltares, en Herman Haas, Kees-Jan Meeuwse en Kees van Westenbrugge van Rijkswaterstaat.

## 2. Beschrijving van de voorgenomen maatregelen en resulterende veranderingen

### Effecten sluisbeheer voor het zoutgehalte

De scenario's die door Deltares zijn doorgerekend, en waarvan hier is uitgegaan, staan genoemd in tabel 2.1. De verhoogde toevoer via de Krammersluizen is structureel slechts mogelijk met een geïnnoveerd zoet-zout scheidingssysteem (IZZS), dat vooral bedoeld is om zout water te weren uit het VZM. De zoetwatertoevoer naar de Krammer bedraagt dus 50 m<sup>3</sup>/s in het winterhalfjaar en 30 m<sup>3</sup>/s in het zomerhalfjaar, ten opzichte van 10 m<sup>3</sup>/s in de uitgangssituatie. Voor onderhavige impact studie zijn de effecten van een zoetwatertoevoer van respectievelijk 30 en 50 m<sup>3</sup>/s nagegaan, los van het seizoen. De modeluitkomsten van de referentie zijn vergeleken met gemeten waarden, en daaruit blijkt dat het model voor dit gebied een onderschatting van het zoutgehalte oplevert van ca. 2 g Cl/l: fig. 2.2. Daarom wordt in de interpretatie van de scenario's een marge naar boven gehanteerd van 2 g Cl/l (≈ 4 ppt) (Friocourt, mondelinge mededeling).

In de scenario's is ook het gebruik van de Flakkeese spuisluis als optie meegenomen. Met deze hevel kan er zout water uit de Grevelingen naar de Oosterschelde worden gespuid, hetgeen de menging kan bevorderen teneinde gelaagdheid tegen te gaan (Fig. 2.1).

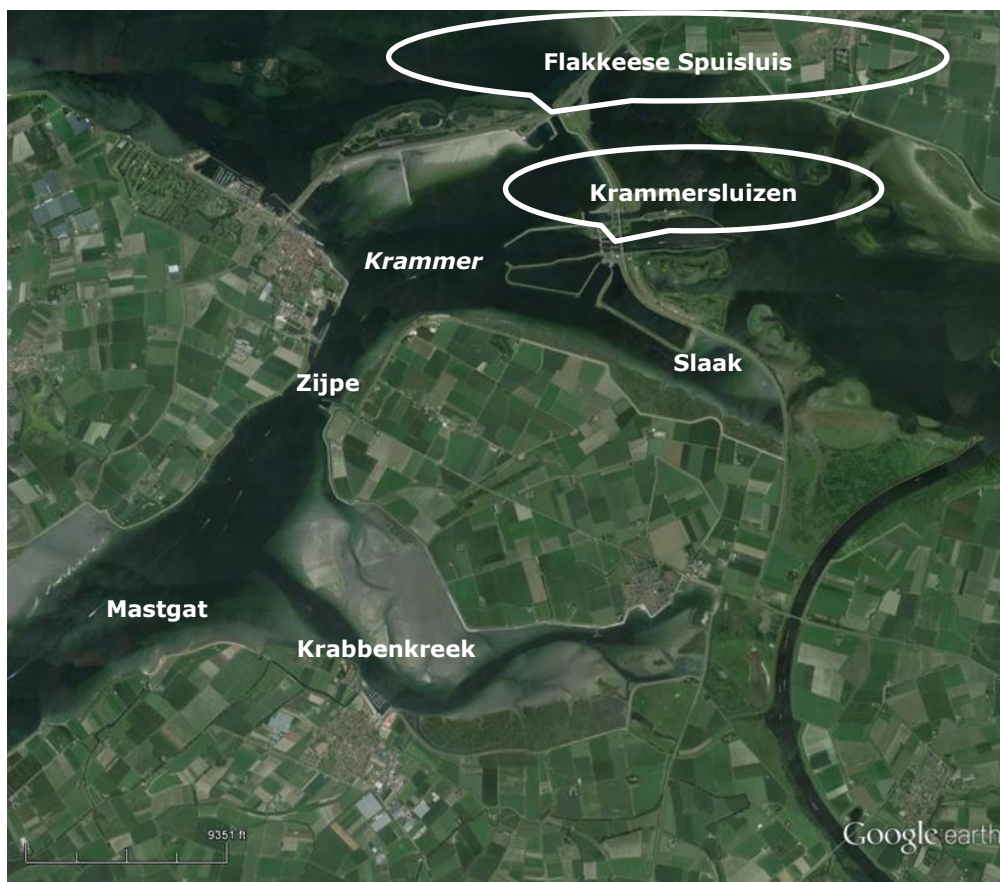


Fig. 2.1 Het gebied Krammer, Zijpe, Mastgat met Krammersluizen en Flakkeese spuisluis

Tabel 2.1. Definities van de model scenario's met Delft-3D (Friocourt, 2014)

	Scenario-naam	Aanvoer via Krammersluizen (zoet, S = 0 ppt)		Aanvoer via Flakkeese Spuisluis (zout, S = 30 ppt)	
		Debiet	Periode	Debiet	Periode
Ref.	Referentie	10 m <sup>3</sup> /s (schutsverlies)	1/1 t/m 31/12		
1	Innovatieve zoet-zout scheiding (IZZS)	10 m <sup>3</sup> /s (schutsverlies)	1/1 t/m 31/12	-	n.v.t.
		40 m <sup>3</sup> /s	15/9 tot 15/3		
		20 m <sup>3</sup> /s	15/3 tot 15/9		
2	Flakkeese Spuisluis	10 m <sup>3</sup> /s (schutsverlies)	1/1 t/m 31/12	65 m <sup>3</sup> /s	1/1 t/m 31/12
		40 m <sup>3</sup> /s	15/9 tot 15/3		
		20 m <sup>3</sup> /s	15/3 tot 15/9		

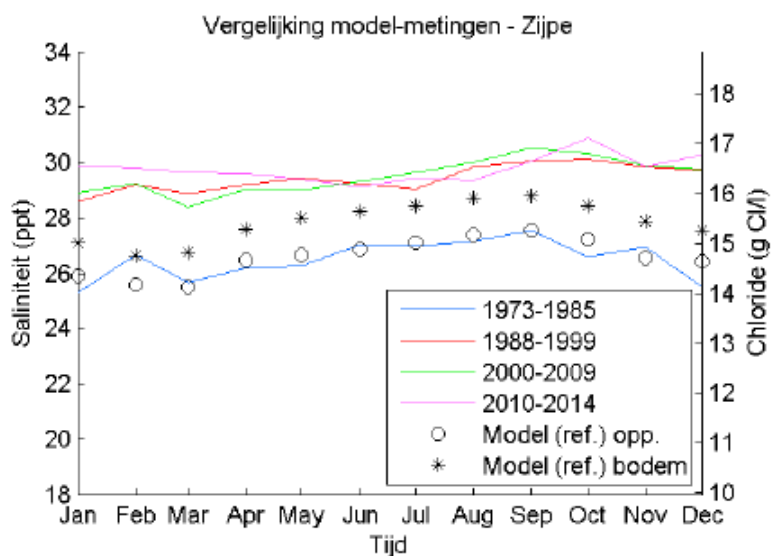


Fig. 2.2. Modeluitkomsten (markers) in vergelijking met meetreeksen uit verschillende periodes (lijnen). De waarde aan het oppervlak komt overeen met de situatie van voor de Oosterschelde werken, hetgeen dus lager is dan in de referentiesituatie (de huidige toestand) (Friocourt, 2014).

De model runs voor de huidige situatie berekenen een iets lager zoutgehalte dan is gemeten. Aangenomen wordt dat de berekende zoutgehalten in de scenarioruns ook worden onderschat. Dit leidt tot een veiligheidsmarge aan de worst-case zijde. Uit Friocourt (2014) blijkt dat het zoutgehalte in het winterhalfjaar in de Krammer aan het oppervlak zal kunnen dalen tot minimaal 8 g Cl/l, ten opzichte van minimaal 12 g Cl/l in de huidige situatie (geplot voor 2 weken in februari - Fig. 2.3). De zoutgehalten bij de bodem nemen minder sterk af, en zijn ten minste 11 – 12 g Cl/l bij toegenomen spui. Uit figuur 2.4 blijkt dat het verschil tussen oppervlak en bodem, dat van belang is in verband met de kans op gelaagdheid en tekort aan zuurstof, varieert met een maximum absoluut verschil van 1,5 g Cl/l (3 ppt).



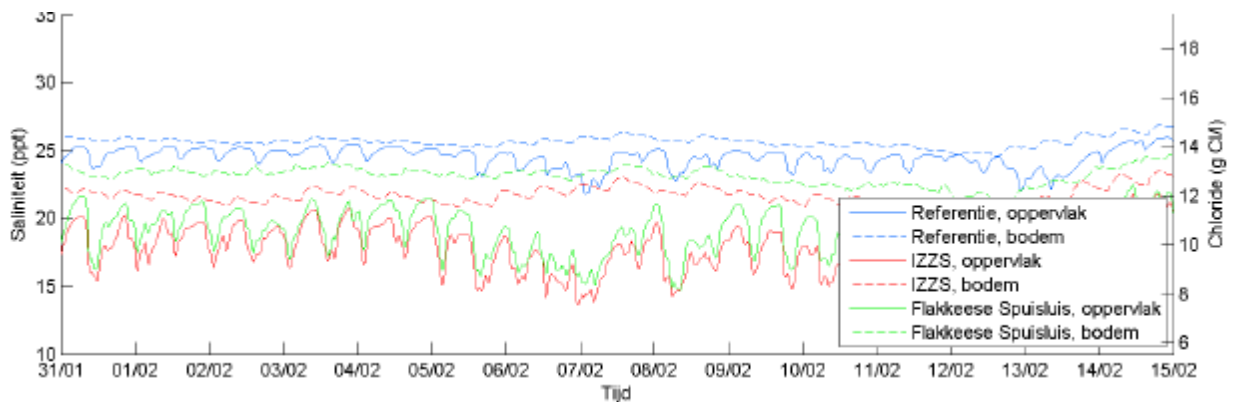


Fig. 2.3. Model uitkomsten van het zoutgehalte aan het oppervlak en bij de bodem in de Krammer bij verschillende scenario's (Friocourt, 2014).

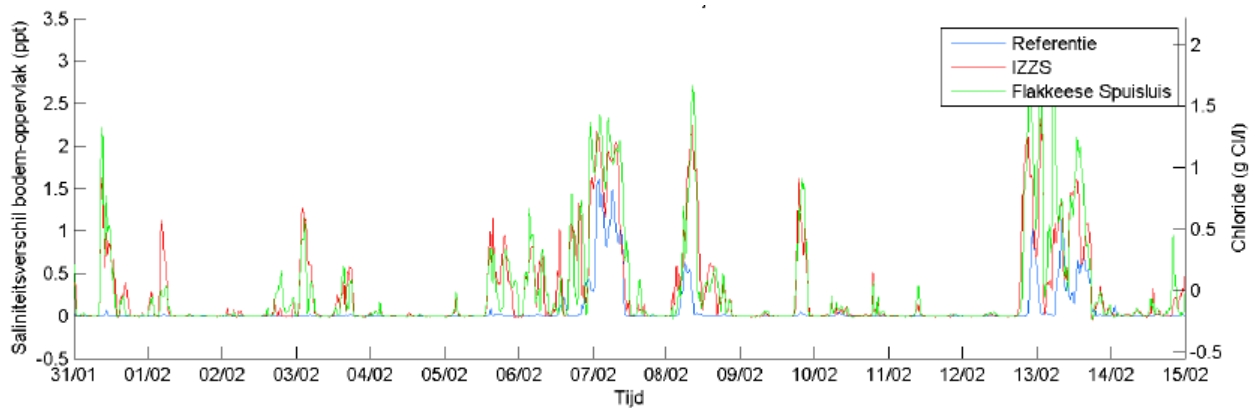


Fig. 2.4. Verschil in zoutgehalte tussen bodem en oppervlak in de Krammer bij verschillende scenario's (Friocourt, 2014).

De resultaten zijn samengevat voor de zoutgehalten bij de bodem in tabel 2.2, voor verschillende locaties in de Oosterschelde. Dit is weergegeven in ppt saliniteit (dat is bij benadering gelijk aan chloride gehalte \* 1.807) voor de 10, 50 en 90 percentielen in winter en zomerhalfjaar. De percentielen geven aan welk deel van de uitkomsten kleiner is dan de waarde bij een grens van resp. 10, 50 en 90 % van de gevallen. Vanwege de onderschatting van het zoutgehalte wordt in dit rapport met de 50-percentielen gerekend en niet met 10-percentielen. De laagste zoutgehalten treden op in het Slaak (50 m<sup>3</sup>/s scenario: 14,3 ppt = 8 g Cl/l). Uit tabel 2.2 blijkt dat de effecten van verhoogde spui vooral zichtbaar zijn in Krabbenkreek, Krammer en Slaak, hoewel er ook verder in de Oosterschelde wel lagere zoutgehalten worden berekend, zoals bijvoorbeeld in het Brabantsch Vaarwater.

Tabel 2.2 Zoutgehalten in ppt bij de bodem in winter (d.w.z. spui van 50 m<sup>3</sup>/s) en zomer (30 m<sup>3</sup>/s) op verschillende locaties.

	Referentie		IZZS		Flakkeese Spuisluis	
	Winter	Zomer	Winter	Zomer	Winter	Zomer
<b>10<sup>e</sup> percentiel</b>						
Brabantsche Vaarwater	28,2	29,8	24,6	27,6	24,9	27,7
Hammen Oost	29,7	30,8	27,5	29,5	27,6	29,4
Krabbenkreek	26,0	28,2	20,8	25,3	21,8	25,6
Krammer	25,2	28,1	20,7	25,6	22,2	25,3
Lodijksegat	27,3	29,1	25,0	27,5	25,0	27,5
Mastgat Zuid	27,4	29,1	24,5	27,1	24,6	27,0
Slaak	21,8	26,2	12,6	21,7	13,9	21,5
Wissenkerke	29,7	30,8	28,1	29,8	28,1	29,7
Zijpe	26,2	28,5	22,7	26,2	22,9	25,8
<b>50<sup>e</sup> percentiel</b>						
Brabantsche Vaarwater	28,4	29,9	25,0	27,8	25,1	27,9
Hammen Oost	30,0	31,2	28,1	30,0	28,1	30,0
Krabbenkreek	26,2	28,4	21,2	25,4	22,0	25,8
Krammer	25,7	28,3	21,7	26,0	19,3	21,9
Lodijksegat	27,8	29,7	25,4	28,0	25,4	28,1
Mastgat Zuid	27,8	29,4	25,0	27,5	23,1	25,7
Slaak	22,8	26,4	14,3	22,1	14,9	21,7
Wissenkerke	30,0	31,0	28,9	30,2	28,4	29,9
Zijpe	26,5	28,8	23,3	26,7	20,9	23,6
<b>90<sup>e</sup> percentiel</b>						
Brabantsche Vaarwater	28,9	30,2	26,1	28,4	26,2	28,4
Hammen Oost	30,5	31,5	29,0	30,7	29,0	30,7
Krabbenkreek	26,4	28,5	21,6	25,6	22,5	25,9
Krammer	26,1	28,5	22,5	26,3	23,9	26,0
Lodijksegat	28,1	30,1	25,6	28,4	25,7	28,4
Mastgat Zuid	28,1	29,6	25,3	27,8	25,4	27,7
Slaak	23,5	26,7	16,7	22,7	18,0	22,3
Wissenkerke	30,6	31,5	29,7	31,0	29,6	30,9
Zijpe	27,0	29,0	24,0	27,0	24,1	26,7

### Gebruik Flakkeese spuisluis

De Flakkeese spuisluis (FS) biedt de mogelijkheid zout water uit het Grevelingenmeer te spuien op de Oosterschelde. Dit zoute water komt binnen bij de bodem. In de berekeningen is uitgegaan van een gemiddeld debiet van 65 m<sup>3</sup>/s. Het werkelijke debiet is afhankelijk van de getijfase en kan dus hoger en lager zijn. Dit scenario houdt in dat er meer zoutwater beschikbaar is, hetgeen blijkt uit fig. 2.3. De veronderstelde betere menging komt niet duidelijk tot uitdrukking in fig. 2.4. Door Friocourt (2014) wordt aangegeven dat het gebruik van FS moeilijk is te voorspellen op detailschaal.

Wel kan worden verwacht dat er bij de bodem een hoger zoutgehalte optreedt en dat er ook een betere menging zal optreden.

Ook in het Veerse Meer is de menging aanzienlijk verbeterd bij de in gebruik name van doorlaatmiddel Katse Heule (Craeymeersch & de Vries, 2007).

Voor onderhavige impact studie is vooralsnog uitgegaan van het IZZS scenario. Het gebruik van FS kan dat mogelijk deels mitigeren, maar de kwantitatieve uitkomsten van de modelscenarios dienen daarvoor nog verder geanalyseerd te worden. De verschillen tussen bodem en oppervlak bedragen bij gebruik FS maximaal 1,5 g Cl/l (Fig. 2.4); er is dan wel stratificatie mogelijk (mond. med. I de Vries) maar gezien de omvang van het FS debiet wordt dit niet verwacht (mond med Y. Friocourt). Toevoer van zuurstofrijk zout water uit het Grevelingenmeer via FS zal waarschijnlijk positief uitwerken op het zuurstofgehalte en verticale menging, maar dat kan op basis van de huidige berekeningen nog niet worden gekwantificeerd.

### **Nutriënten toevoer**

Eerder zijn studies uitgevoerd naar het effect van zoetwaterafvoer vanuit het Krammer-Volkerak naar de Oosterschelde op productiviteit van de Oosterschelde. In 2010 is de proef Natuurlijk Sluisbeheer uitgevoerd bij een Krammerjachtensluis met een spuidebiet van daggemiddeld 2 m<sup>3</sup>/s gedurende de spuidagen (totale hoeveelheid gespuid zoet wa (De Mesel et al., 2010) ter is 0,88 miljoen m<sup>3</sup>) en bij de Bergsediepsluis met een spuidebiet van daggemiddeld 0,85 m<sup>3</sup>/s (totale hoeveelheid gespuid zoet water is 8.12 miljoen m<sup>3</sup>). Bij de sluisen zijn in de zoet-zout gradiënt op vier punten mandjes met mosselen en oesters uitgezet om het effecten op deze schelpdieren te bepalen (De Mesel et al., 2010). Daarnaast zijn twee referentielocaties geselecteerd die niet onder invloed stonden van de zoetwater inlaat. De schelpdiergroei was het beste op de locaties nabij de sluis. Dit kan een gevolg zijn van extra algengroei als gevolg van extra nutriënten (groen bemesting) of door aanvoer van dood organisch materiaal als gevolg van afgestorven zoetwater algen uit het Volkerak Zoommeer (bruin bemesting) (De Vries, 2012). In een andere studie is met behulp van modelberekeningen het effect bepaald van een doorlaatmiddel met een constant debiet van 10 m<sup>3</sup> sec<sup>-1</sup> via de Oesterdam op de nutriëntenconcentratie in het water en de groei van schelpdieren in de Kom van de Oosterschelde (Wijsman et al., 2013). Daarbij is aangenomen dat de extra nutriënten beschikbaar komen voor groei van eencellige algen. De modelberekeningen lieten zien dat het continu toelaten van nutriëntrijk water in de zomer een verhoging van de chlorofylconcentraties tot gevolg heeft, maar in de winter niet. Dit heeft waarschijnlijk te maken met lichtlimitatie van de algengroei in de winter. In de zomer was er dus wel een positief effect op de eencellige algen.

Uit tabel 2.3 blijkt dat de nutriënten concentraties in het VZM duidelijk hoger zijn dan in het Krammer, dus extra zoetwaterspui zal een netto toevoer van nutriënten opleveren. Dit geldt met name voor opgelost stikstof, waarvan de concentratie in het VZM een factor 5 hoger is in de winter, en 8 x hoger in de zomer, vergeleken met het Zijpe; voor fosfaat is het verschil beduidend minder, nl ca 20 %. Aangezien beide nutriënten gedurende het seizoen beperkend zijn voor de algengroei kan worden verwacht dat deze bemesting de productiviteit bevordert.

Tabel 2.3 Gehalten orthofosfaat en opgelost anorganisch stikstof gemiddeld in zomer en winter in de Oosterschelde en het Volkerak-Zoommeer (de Vries & Postma 2013, de Vries 2014)

locatie	mg P/l		mg N/l	
	zomer	winter	zomer	winter
hammen-oost	0.029	0.046	0.21	0.57
wissenkerke	0.021	0.04	0.19	0.52
Iodijkse gat	0.034	0.044	0.18	0.58
zijpe	0.034	0.051	0.27	0.71
VZM	0.047	0.06	2.2	3.4

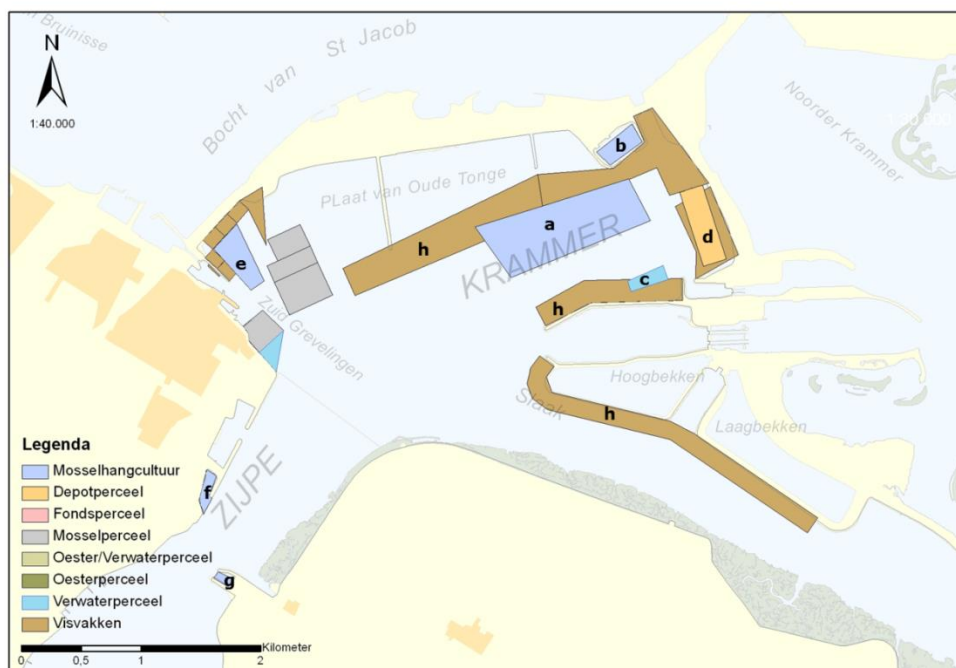
Het is wel de vraag welke algen zullen profiteren van de extra nutriënten. Door de hoge biomassa aan schelpdieren in de Oosterschelde is de graasdruk op de algen die voor schelpdieren van belang zijn, hoog (Smaal et al, 2013). De toevoer van extra nutriënten uit zoet water komt dan mogelijk eerder ten goede aan algen die te klein (picoplankton) of te groot (zeesla) zijn voor de schelpdieren. Om de neveneffecten van extra zoetwaterspui – zoals extra nutriënten toevoer - in kaart te brengen, zijn aanvullende analyses en onderzoeken nodig.

### 3. Beschrijving van de effecten

#### Huidige schelpdiercultuur in de noordelijke tak van de Oosterschelde

De schelpdiercultuur in de noordelijke tak van de Oosterschelde betreft mosselhangcultuur, mosselzaadinvang (MZI) en mosselbodemcultuur (Fig. 3.1.). Nabij de Krammersluizen is er hangcultuur in het gebied voor de Oostkophaven (a), en ook binnenin de Oostkophaven (b). Er is een depot bodem perceel nabij de jachtsluis (c) en een verwaterperceel (d). Nabij de sluis van Bruinisse is er mosselhangcultuur (e). Het Slaak is in beheer bij stichting het Zeeuws Landschap. Daar zijn bodempercelen, mosselhangcultures en MZI-systemen aanwezig: fig. 3.2.

De voormalige veerhavens van Zijpe en Anna-Jacobapolder zijn in gebruik voor hangcultuur (f,g). In de Krabbenkreek is er bodemcultuur, evenals langs de oevers van het Zijpe en het Mastgat. Hangcultures en MZI –systemen gebruiken touwen of netten die maximaal tot 5 m onder het wateroppervlak rijken. De bodemcultures in het gebied bevinden zich op dieptes tot 15 m. Verder is het gebied commercieel van belang als leefgebied voor de Oosterschelde kreeft en andere soorten zoals paling die met behulp van vaste vistuigen worden gevangen (h). Deze visserij is niet alleen vergund voor de aangegeven vakken, in de overige zones is zogeheten vrije visserij toegestaan met behulp van vaste vistuigen, voor hen die daarvoor een vergunning hebben.



Figuur 3.1. Overzicht van kweek en visserij locaties in Krammer en Zijpe: hangcultures: a,b,e,f,g, bodemcultuur: c en d, vaste vistuigen vakken: h.

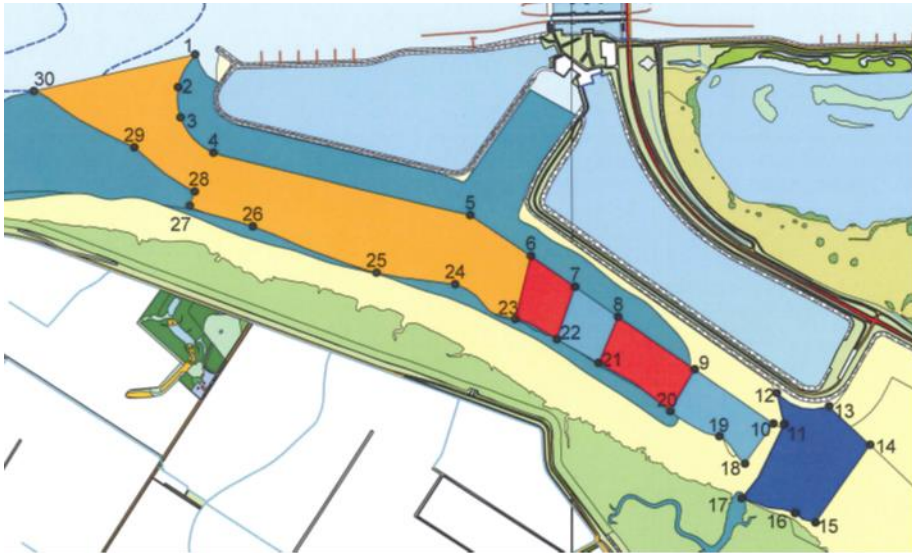


Fig 3.2. Mosselkweek in het Slaak; de gekleurde vakken geven de percelen aan, waarvan er een aantal ook wordt gebruikt voor hangcultures en mosselzaad invang.

De opbrengsten van de mosselkweek op bodempercelen worden per geleverde partij geregistreerd door de mosselveiling. Daarbij geldt dat de kwekers hun mosselen tijdens de kweekcyclus regelmatig verplaatsen naar andere percelen, waardoor de werkelijke opbrengst per perceel afwijkt van wat er wordt geregistreerd aan de mosselveiling. De oogst van MZI's wordt jaarlijks geregistreerd en gerapporteerd. De oogst van hangcultuurmosselen wordt alleen door de betreffende kwekers bijgehouden. De opbrengst van de vaste vistuigen wordt niet op gedetailleerde schaal gerapporteerd. Het belang van de diverse kweekgebieden voor kwekers en vissers is daarom lastig te kwantificeren. Het is evenwel duidelijk dat er in alle deelgebieden van de Noordelijke Tak op uitgebreide schaal gekweekt en gevist wordt.

### **Potentiele effecten van winterdoorspoeling op schelpdiercultuur in het gebied**

Uit de modelberekeningen blijkt dat het zoutgehalte in de Noordelijke tak beduidend lager wordt bij een spuidebiet van 50 m<sup>3</sup>/s: zie tabel 2.2.

In het verleden zijn diverse studies uitgevoerd naar de effecten van een hogere zoetwatertoevoer op de Oosterschelde. In Haas (1998) zijn de analyses geïntegreerd in een synthese rapport, mede gebaseerd op een literatuurstudie van Schuiling en Smaal (1998) over de effecten op commercieel belangrijke soorten.

Van belang is dat soorten zich op de langere termijn kunnen aanpassen. In de brakke Oostzee komen bijv. mosselen en zeesterren bij een lager zoutgehalte voor dan in Nederlandse wateren. Verder is de temperatuur van belang. Bij lage temperatuur is de gevoeligheid voor lagere zoutgehaltes doorgaans geringer dan bij hogere temperatuur. Er komen ook fysiologische en biochemische aanpassingen voor aan brakke milieus (Carregosa, 2014 a).

Volgens Haas (1998) is er bij het ontwerp van de Oosterscheldewerken een minimum waarde afgesproken van het Chloride gehalte in de Kom van Oosterschelde van 28 ppt (15,5 g Cl/l), met een tijdelijk minimum in de winter van 24,3 ppt (13,5 gCl/l), en een minimum in de Krabbenkreek van 23,5 ppt (13 gCl/l). De grenswaarde in de Kom is gebaseerd op de toleranties van de platte oester. Het is duidelijk dat waarden van de gebruikte scenario's onder deze minimum waarden liggen. De vraag is evenwel wat hiervan de gevolgen zouden kunnen zijn.

In de studie van Schuiling & Smaal (1998), zijn tolerantiegrenzen voor commerciële soorten opgenomen, die voor de huidige studie relevant zijn. Voor volwassen stadia van schelpdieren wordt een ondergrens voor langere termijn overleving aangegeven van 20 ppt (11 mg Cl/L). Voor de kreeft geldt een hoger minimum zoutgehalte, nl 28 ppt (15,5 gCl/L). Voor goede groei, larvale ontwikkeling en vestiging van schelpdierbroed zijn niet altijd minimum waarden gegeven; de ondergrens van de optimale range kan dan worden aangehouden als referentie; deze bedraagt voor de mossel bij 14 °C: 25 ppt (14 g/L, tabel 4.3) Voor exploitatie is niet zozeer de tolerantie voor minimale waarden van belang, doch gaat het om optimale condities voor een marktwaardige opbrengst. Dan zijn de optimum zoutgehalten dus meer relevant dan de minimum waarden. In tabel 4.2 en 4.3 is dit samengevat.

Meer recente literatuur over effecten van zoutgehalte op schelpdieren is schaars. In een recent artikel laten Carregosa et al. (2014b) zien dat de tapijtschelp *Ruditapes philippinarum*, een exoot die inmiddels ook in de Oosterschelde voorkomt, een zout tolerantie heeft van 11-14 g Cl/l, hetgeen goed overeenkomt met de tolerantiewaarden voor de schelpdiersoorten in tabel 4.2.

Uiteraard zijn ook niet-commerciële soorten van belang bij de analyse van effecten van zoetwatertoevoer. Deze analyse is echter geen onderdeel van onderhavige studie, zie daarvoor o.a. Haas (1998) en Steenbergen (2005).

Voor migrerende vissoorten is zoetwaterspui gunstig, omdat het zoete water een lokstroom is voor trekgedrag. Ook dat aspect is geen onderwerp van deze studie, zie daarvoor Kamermans et al. (2013).

Tabel 4.2. Minimum en optimum zoutgehalte op basis van literatuur voor soorten die van belang zijn voor aquacultuur- en visserij activiteiten in de Oosterschelde (Schuiling & Smaal, 1998).

Soort	Minimum Zoutgehalte (g/l Cl <sup>-</sup> )	Optimum Zoutgehalte (g/l Cl <sup>-</sup> )	Opmerkingen	Referentie
mossel <i>Mytilus edulis</i>	11 11 8,3-11 11		temperatuur 5-20°C  de soort kan gedurende kortere periode 5 g/l overleven	Brenko en Calabrese, 1969 Coosen et al., 1990 Eertman en Smaal, 1995 Wolff, 1973
kokkel <i>Cerastoderma edule</i>	10 5,5 10		minimumwaarde laboratorium minimumwaarde veld	Smaal en Mosterdijk, 1985 Brock, 1980 Brock, 1980
platte oester <i>Ostrea edulis</i>	11	13,8	bij temp. lager dan 6°C	Korringa, 1976
Japane oester <i>Crassostrea gigas</i>	11			Prins, 1985; Medcof en Needler, 1941
mesheft <i>Ensis directus</i>	11		optimum is relatief laag; soort is goed bestand tegen fluctuaties	Beukema en Dekker, 1995
zeekreeft <i>Homarus gammarus</i>	11 6 - 8	15	bij 5°C - 25°C	Wolff en Sandee, 1971 Kinne, 1964
alikuik <i>Littorina littorea</i>	11 11			Kinne, 1964 en 1971 Wolff, 1973
strandkrab <i>Carcinus maenas</i>	5,5 11 7,7 2,8 6 6 11	18 15-18 15-18 12	bij temp. < 10 °C bij temp. 10-25°C bij temp. 15°C  groene krab groene krab rode en oranje krab 's winters 's zomers	Ameyaw-Akumi en Naylor, 1987 McGaw en Naylor, '92 Ameyaw-Akumi en Naylor, 1987 Nagaraj, 1993 Adema (1991) McGaw en Naylor, 1992 Wolff en Sandee, 1971
Noordzeegarnaal <i>Crangon crangon</i>	9,5 13,8	15,8 18,3	bij temp. 22°C bij temp. 4°C bij temp. 15 - 22°C bij temp. 4-6°C	Spaargaren 1969; Weber en Spaargaren, 1970 Weber en Spaargaren, 1970
zeester <i>Asterias rubens</i>	8,3	14,4		Wolff, 1968 Groth en Theede, 1989



Tabel 4.3. Minimum en optimum zoutgehaltenes voor jonge stadia van commerciële soorten uit de Oosterschelde op basis van literatuur (Schuiling & Smaal, 1998).

Soortnaam	Minimum Zoutgehalte (g/l Cl <sup>-</sup> )	Optimum Zoutgehalte (g/l Cl <sup>-</sup> )	Opmerkingen	Literatuurbron
mossel <i>Mytilus edulis</i>		17-22 14-19 11-19	trochofoor: bij temp. 8-18°C larven: bij temp. 15°C bij temp. 20°C	Prins, 1985 Kinne, 1971
kokkel <i>Cerastoderma edule</i>		17-19	soort kan waarden lager dan 3 g/l Cl <sup>-</sup> overleven	Brock, 1980
platte oester <i>Ostrea edulis</i>	14		bij temp. 19-20°C	Korringa, 1976 en 1947
Japane oester <i>Crassostrea gigas</i>		8-17 8-25 11-15	zaad 1,1 mg zaad 0,68 g soort kan waarden zo laag als 3 g/l en zo hoog als 31 g/l Cl <sup>-</sup> overleven	Neil en Holliday, 1988 Neil en Holliday, 1988
zeekreeft <i>Homarus gammarus</i>	15		gedurende gehele ontwikkeling juvenielen	Wolff en Sandee, 1971
strandkrab <i>Carcinus maenas</i>	11 14	14 11-20	eieren bij temp. 16,3°C eieren bij temp. 10°C eieren bij temp. 10°C megalopa	Kinne, 1964 Nagaraj, 1993 Nagaraj, 1993
	11	17 16 20 11-20	geldt voor alle vier zoea-stadia, bij temp. 10°C zoea stadium: I, bij temp. 10°C II, bij temp. rond 10°C III, bij temp. rond 10°C IV, bij temp. 10°C of lager	Nagaraj, 1993

#### Effecten 50 m<sup>3</sup>/s scenario

Uit de tolerantiegrenzen van commercieel belangrijke soorten (schelpdier overleving 11 g/L (20 ppt) en recruitering 14 g/L (25 ppt), en voor jonge stadia van de kreeft 15 g/L (27 ppt) en de voorspelde zoutgehalten bij het 50 m<sup>3</sup>/s scenario, kan worden afgeleid dat de waarden in het Slaak bij de bodem de tolerantiegrenzen onderschrijden (Tabel 4.4). De waarden zijn in de huidige situatie ook relatief laag, maar wel boven de waarden voor schelpdieroverleving. In het Krammer, Zijpe en Krabbenkreek komt het zoutgehalte in dit scenario bij de bodem onder de waarde voor optimale recruitering en voor de ontwikkeling van jonge stadia van de kreeft.

Op een diepte van 2 m onder het wateroppervlak zijn de zoutgehalten nog iets lager dan bij de bodem. Dit is van belang voor de hangcultures en de mosselzaadinvang die immers in de waterkolom plaats vinden. Uit tabel 4.4 blijkt dat de waarden in de meeste gebieden onder de 25 ppt komen en in Krammer, Slaak en Zijpe onder de 20 ppt. Overigens is in de huidige situatie in Krammer en Slaak ook sprake van waarden iets onder de 25 ppt.

### Effecten 30 m<sup>3</sup>/s scenario

In het 30 m<sup>3</sup>/s scenario komt het zoutgehalte alleen in het slaak bij de bodem onder de 25 ppt (22 ppt = 12 g/L), hetgeen betekent dat recrutering van mossel en kreeft mogelijk minder optimaal is.

Op een diepte van 2 m onder het wateroppervlak zijn de gehalten in Slaak, Krammer en Zijpe iets onder de 25 ppt. Zoals gesteld kan dit mogelijk effect hebben op de mosselzaadinvang.

Tabel 4.4. Voorspelde zoutgehalten in de 50 en 30 m<sup>3</sup>/s scenario's bij de bodem en 2 m onder het wateroppervlak, voor de verschillende locaties. In blauw zijn de waarden onder de tolerantiewaarde voor recrutering (< 25 ppt) aangegeven en in rood de waarden onder de tolerantiewaarde voor groei en overleving van schaal- en schelpdieren (< 20 ppt).

zoutgehalte ppt	bodem			2 m diepte		
	huidige situatie	IZZS	verschil	huidige situatie	IZZS	verschil
<b>50 m<sup>3</sup>/s</b>						
Krammer	25.7	21.7	4	24.7	18	6.7
Slaak	22.8	14.3	8.5	22.7	14	8.7
Zijpe	26.5	23.3	3.2	25.5	19.7	5.8
Krabbenkreek	26.2	21.1	5.1	26.2	21.2	5
Brabants Vaarwater	28.4	25	3.4	28.3	24.8	3.5
Lodijkse gat	27.8	25.4	2.4	27.8	25.4	2.4
<b>30 m<sup>3</sup>/s</b>						
Krammer	28.3	26	2.3	27.3	24	3.3
Slaak	26.4	22.1	4.3	26.3	22	4.3
Zijpe	28.8	26.7	2.1	27.5	24	3.5
Krabbenkreek	28.4	25.4	3	28.4	25.4	3
Brabants Vaarwater	29.9	27.8	2.1	29.9	27.8	2.1
Lodijkse gat	29.7	28	1.7	29.7	28	1.7

De situatie met verhoogde spui lijkt enigszins op het Volkerak in de periode van gereed komen van de Volkeraksluizen en voor de voltooiing van de Krammersluizen, toen er een debiet van 50 m<sup>3</sup>/s zoetwater op het Volkerak werd gespuid (Pieters, 1998). In die periode werden mosselpercelen vooral gebruikt voor het bewaren van halfwasmosselen en niet voor productie (zie Wijsman & Kleissen, 2012).

Hierbij geldt dat de modelvoorspellingen de effecten van zoet water op het zoutgehalte waarschijnlijk overschatten waardoor het zoutgehalte 4 ppt hoger uitkomt. Indien daar rekening mee zou worden gehouden, dan zijn de zoutgehalten bij de bodem in het 50 m<sup>3</sup>/s scenario alleen in het Slaak onder de 50 percentiel tolerantiegrens voor overleving, nl 18,3 ppt. In het 30 m<sup>3</sup>/s scenario zijn er dan geen nadelige effecten te verwachten.

## **4. Conclusies**

Deze studie laat zien dat de voorgenomen zoetwaterspui bij het scenario van 50 m<sup>3</sup>/s tot een aanzienlijke verlaging kan leiden van het zoutgehalte in de Noordelijke Tak van de Oosterschelde, met in het Slaak een afname tot een saliniteit van 14,3 ppt. Indien wordt gecorrigeerd voor de onderschatting van het zoutgehalte door het model, komt het zoutgehalte uit op 18,3 ppt.

Op basis van literatuurgegevens is ingeschat wat dit zal betekenen voor commercieel belangrijke soorten, met name de mossel en de kreeft. Voor de jonge stadia van de kreeft wordt de Noordelijke tak minder geschikt, en voor de mossel wordt met name het Slaak minder geschikt.

In het 30 m<sup>3</sup>/s scenario heeft de zoetwaterspui minder effect, behalve in het Slaak, waar de waarden lager worden dan voor succesvolle recrutering nodig is. Voor de kreeft (jonge stadia) wordt het zoutgehalte in het Slaak eveneens te laag. Indien rekening gehouden wordt met de onderschatting van het zoutgehalte in het model, en met het gegeven dat de hogere spui voornamelijk in de winterperiode optreedt, heeft het 30 m<sup>3</sup>/s scenario naar verwachting geen effect.

## **Aanbevelingen**

Om de effecten van zoetwaterspui te minimaliseren is een nadere definiëring nodig van de gewenste spuiregimes, al dan niet met inbegrip van inzet van de Flakkeese Spuisluis. Dit betreft niet alleen de debieten, maar ook de variatie in de tijd. De modelberekeningen zijn nog niet toegerust om de effecten hiervan op het zoutgehalte in ruimte en tijd met voldoende nauwkeurigheid te voorspellen, waardoor de effect analyse incompleet is.

Aanbevolen wordt de effecten van een eventueel nieuw spuiregiem te monitoren, om de modelberekeningen te ijken met gemeten waarden.

Verder is in deze studie alleen ingegaan op de effecten voor de schelpdiercultuur en voor enkele andere commerciële soorten, en niet op effecten voor de levensgemeenschap.

Het effect van veranderingen in nutriënten en daaraan gerelateerde primaire productie is niet meegenomen in deze studie. Naar verwachting zal er een netto toevoer van met name stikstof optreden. Het gevolg van toevoer van voedselrijk zoetwater op groei en recrutering van schelpdieren is niet eenduidig. Er zijn aanwijzingen dat er sprake is van overbegrazing door het totale bestand aan schelpdieren. Dan bestaat de mogelijkheid dat toevoer van nutriënten vooral ten goede komen van de niet begraasde soorten zoals picoplankton en macrowieren.

Verder is in deze studie geen aandacht besteed aan mogelijke positieve effecten op het trekgedrag van migrerende vissoorten.

## Referenties

- Carregosa V Cátia Velez, Amadeu M.V.M. Soares, Etelvina Figueira, Rosa Freitas, (2014) Physiological and biochemical responses of three Veneridae clams exposed to salinity changes. *Comp Biochem Physiol B* 177-178: 1-9.
- Carregosa V, Etelvina Figueira, Ana M. Gil, Sara Pereira, Joana Pinto, Amadeu M.V.M. Soares, Rosa Freitas, (2014) Tolerance of *Venerupis philippinarum* to salinity: Osmotic and metabolic aspects. *Comp Biochem Physiol A* 171: 36-43.
- Craeymeersch, J. en I. de Vries (2007). Waterkwaliteit en ecologie Veerse Meer: het tij is gekeerd. Eerste evaluatie van de veranderingen na de ingebruikname van de 'Katse Heule', Rapport RIKZ/2007.008. Middelburg
- Friocourt Y., (2014) Aanvullende simulaties winterdoerspoeling Volkerak-Zoommeer. Deltares rapport 1209937-000
- Haas, H.A., (1998) Zoet water naar de Oosterschelde, een verkenning naar de effecten op natuur en visserij. RIKZ-98.036
- Kamermans, P., E. Brummelhuis, K.J. Perdon, A.C.M. van Gool & J. Poelman (2004). Verbetering broedval mosselen. RIVO Rapport C013/04
- Kamermans P, E Winter en T Schellekens (2013) Onderzoek naar vismigratie en voedsel voor schelpdieren in Green Deal Biodiversiteit Oosterschelde. IMARES Rapport C022/13
- Mesel I De, T Ysebaert, E Brummelhuis, J Jol. (2010) Proef natuurlijk sluisbeheer Impact op groei van mosselen en oesters. IMARES Rapport C107/10.
- Pieters, T., (1998) Overgangen zoet-zout in de Oosterschelde in het verleden een historische analyse op basis van beschikbare literatuur. BGW 89.1
- Schuiling, E & A.C. Smaal, (1998) Het zoet in de pap, een literatuurstudie naar de effecten van verhoogde zoetwatertoevoer op commercieel belangrijke soorten in de Oosterschelde. RIVO C041/98
- Smaal A.C., T. Schellekens, M.R. van Stralen, J.C. Kromkamp (2013) Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing? *Aquaculture* 404-405: 28-34
- Steenbergen, J. (2004) Over het effect van sterk wisselende zoutgehalte op benthos in Westerschelde en de Haringvlietmonding. RIVO rapport CO75/04
- Vries, I. de, (2012) Groen- en bruinbemesting vanuit VZM. Deltares Memo 5 oktober 2012.
- Vries I. de, (2014) Waterkwaliteiten Deltawateren, data rapport Oosterschelde, concept. Deltares 1209393-000
- Vries I. de & R. Postma, (2013) Quick scan waterkwaliteit en ecologie Volkerak-Zoommeer. Deltares, 1207783-000
- Wijsman, J. W. M. en F. M. Kleissen (2012) Potenties van een zout Volkerak-Zoommeer voor mossel- en oestercultuur. IMARES, Rapport nummer: C180/11, 43 pagina's.
- Wijsman, J.W.M., M. Poelman, A. Blanco, T. Troost, T. Schellekens, W.J. Strietman en K. Hamon (2013) Verkenning van de effecten van toelaten nutriënten en verwijderen van wilde oesters op de productie van Kweekoesters in de Kom van de Oosterschelde. IMARES Rapport C010/13.

## **Kwaliteitsborging**

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 124296-2012-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2015. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Vis over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2017 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

## Verantwoording

Rapport : C181/14  
Projectnummer : 4303108201

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

Akkoord: Dr. Ir. J.W.M. Wijsman  
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 22-12-2014

Akkoord: Dr. Ing. R.E. Trouwborst  
Hoofd afdeling Delta en Aquacultuur

Handtekening:



Datum: 22-12-2014