

Potenties van een zout Volkerak-Zoommeer voor mossel- en oestercultuur

Jeroen Wijsman¹, Frank Kleissen²

Rapport C180/11a



IMARES Wageningen UR

¹IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies

²Deltares

Opdrachtgever:

Ministerie EL&I, Directie DAD
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

BO-12.01-001-003

Publicatiedatum:

2 februari 2012

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
--	--	---	--

© 2011 IMARES Wageningen UR

IMARES is onderdeel van Stichting DLO
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16

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-V12.2

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	3
Samenvatting.....	5
1 Inleiding.....	6
1.1 Achtergrond.....	6
1.2 Vraagstelling.....	6
1.3 Aanpak.....	6
1.4 Afbakening.....	7
1.5 Leeswijzer.....	7
2 Volkerak-Zoommeer.....	8
2.1 Situatie voor de Deltawerken.....	8
2.2 Situatie na de deltaxwerken.....	10
3 Randvoorwaarden voor mosselcultuur.....	12
3.1 Waterdiepte.....	12
3.2 Stroomsnelheden.....	14
3.3 Zuurstofconcentratie.....	15
3.4 Zoutgehalte.....	17
3.5 Voedsel.....	18
3.6 Scheepvaart.....	20
3.7 Natuur.....	21
4 Model Volkerak-Zoommeer.....	23
4.1 Opzet model.....	23
4.2 Randvoorwaarden.....	24
4.3 Scenario's.....	25
4.4 Statistiek.....	26
4.5 Resultaten.....	26
5 Kansenskaart voor mosselcultuur.....	29
5.1 Methode.....	29
5.2 Resultaten.....	29
6 Conclusies en Discussie.....	32
6.1 Potenties voor mossel- en oestercultuur op de bodem.....	32
6.2 Potenties voor MZI's.....	32

6.3	Zuurstofloosheid.....	32
6.4	Discussie.....	33
	Kwaliteitsborging.....	35
	Referenties.....	36
	Verantwoording.....	37
	Bijlage A. Potentiële geschiktheden met waterski gebied.....	38
	Bijlage B. Partiële geschiktheden.....	40

Samenvatting

In een zoute situatie zal het Volkerak-Zoommeer (opnieuw) een interessant gebied worden voor de kweek van schelpdieren. In een eerdere verkenning door de Vries et al. (2008) is berekend dat een mosselproductie van 6 á 9 miljoen kg mogelijk is. Er is hiervoor een perceeloppervlak nodig van 400 tot 600 ha. Onderhavige studie laat zien dat er in het zoute Volkerak-Zoommeer een totaal areaal van maximaal 2000 ha in potentie geschikt is voor bodemcultuur mosselen en oesters. Een totaal perceeloppervlak van 400 tot 600 ha is dus realistisch.

In deze studie is een kanskaart gemaakt voor bodempercelen en MZI's in een zout Volkerak-Zoommeer. De kaart is gebaseerd op de verwachte omgevingscondities in het gebied. De waterkwaliteit in het zoute Volkerak-Zoommeer is berekend met behulp van een 3D waterkwaliteitsmodel. Uit het model blijkt dat de hoeveelheid voedsel in het water in principe voldoende is, mits het zeesla of picoplankton niet gaat domineren. Het zoutgehalte is voldoende voor de kweek van mosselen en oesters. Doordat het watertransport in het Volkerak-Zoommeer voornamelijk windgedreven is zijn de stroomsnelheden zeer laag (gemiddeld $< 10 \text{ cm s}^{-1}$). Mogelijk kunnen de stroomsnelheden in het zoute Volkerak-Zoommeer wel beperkend worden voor schelpdierteelt omdat waterbeweging nodig is om voedsel naar de mosselen te transporteren. In de diepe geulen van het oostelijk deel van het Volkerak en in het Zoommeer bij de Bergse Diepsluis wordt de zuurstofconcentratie tijdens de zomerperiode te laag voor bodemcultuur van mosselen. Het Volkerak-Zoommeer is een belangrijke transportroute voor de binnenvaart. De transportroutes alsmede de waterskigebieden zijn vanwege de veiligheid ongeschikt voor schelpdiercultuur.

De ligging van de locaties in die geschikt zijn voor bodemcultuur komen in grote lijnen overeen met de historische ligging van de mosselpercelen in het Krammer-Volkerak voor de afsluiting. In het westen van de Krammer lagen percelen in gebieden die nu ongeschikt zijn vanwege de geringe waterdiepte en het ontbreken van een getij van betekenis. De meest geschikte locaties voor bodemcultuur liggen ten zuiden van de Krammerse slikken, rond de Noordplaat en ten noorden en noordoosten van de Dintelse gorzen.

Het zoute Volkerak-Zoommeer biedt ook potenties voor mosselzaad invang systemen (MZI's). In het verleden was het gebied ook al een belangrijk gebied voor de visserij op mosselzaad. In totaal is er een areaal van bijna 1000 ha geschikt voor MZI's. Een groot deel van dit areaal overlapt met het areaal dat beschikbaar is voor bodemcultuur. De meest geschikte locatie voor MZI's bevindt zich in de diepe geul in het westen van de Krammer.

Een zout Volkerak-Zoommeer zal ook een geschikt habitat vormen voor exoten als de Japanse oester (*Crassostrea gigas*), Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*) en Filippijnse tapijtschelp (*Tapes philippinarum*). Deze soorten kunnen mogelijk gaan concurreren met de gekweekte mosselen en oesters om het beschikbare voedsel.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het Volkerak-Zoommeer (VZM) zal in de zoute situatie mogelijk (opnieuw) een interessant gebied worden voor de schelpdierkweek. Deze schelpdieren gebruiken de voedingsstoffen die via het Mark-Vlietstelsel vanuit Brabant en België worden aangevoerd en verbeteren tevens de waterkwaliteit. Ook de schelpdieren in de Oosterschelde hebben mogelijk baat bij het toelaten van zout water uit de Oosterschelde in het Volkerak-Zoommeer, doordat tevens een toevoer ontstaat van voedselrijk water richting de Oosterschelde. Een robuust zout Volkerak-Zoommeer, met een grote biomassa aan grazers kan bovendien meer nutriënten verwerken dan een eutrofiëringgevoelig zoet meer, waardoor bovenstreams minder vergaande emissiereducties nodig zijn.

In de brief aan de stuurgroep zuidwestelijke delta van 30 maart 2010 is opgenomen dat de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit samen met de sector zal onder zoeken welke economische kansen een zout Volkerak-Zoommeer biedt voor de mosselvisserij/-cultuur. Het bestuurlijk Overleg Krammer-Volkerak heeft op 7 april 2010 besloten om een gebiedsalliantie te vormen waarin de kansen (gebiedsontwikkeling) voor een toekomstig zout Volkerak-Zoommeer worden uitgewerkt. Een integrale visievorming en kansenkaart zullen in dat kader worden opgepakt. Deze nadere analyse moet een van de bouwstenen worden voor die integrale visie.

In 2008 is ten behoeve van de MER Waterkwaliteit VZM een Quick scan uitgevoerd naar de draagkracht van een zout VZM voor schelpdierkweek (De Vries et al., 2008). Uit deze quick scan kwam naar voren dat de potentiële opbrengst van mosselkweek in het zoute Volkerak-Zoommeer tussen de 6 en 9 miljoen kg is. De realiseerbaarheid hiervan is afhankelijk van ruimtelijke inpasbaarheid in het gebied (geschiktheid van locaties en aanwezigheid van overige functies (e.g. natuur, recreatie, scheepvaart).

1.2 Vraagstelling

Door het Ministerie van EL&I is aan Wageningen IMARES gevraagd middels een helpdesk vraag om verder uit te zoeken wat de potenties zijn van een zout Volkerak-Zoommeer voor de mosselvisserij/-cultuur. Specifieke kennisvragen hierbij zijn:

- Is te verwachten dat als gevolg van stratificatie zuurstofloosheid ontstaat? Zo ja waar zijn die gebieden te verwachten? Maak een nadere analyse van de resultaten van de quick scan waarbij rekening wordt gehouden met locaties waar stratificatie kan worden verwacht?
- Waar bevinden zich de meest optimale productielocaties? Hierbij dient een ruimtelijke analyse te worden uitgevoerd die resulteert in het opstellen van een functiegeschiktheidskaart voor schelpdierkweek voor het VZM. De beschikbare locaties voor mosselkweek worden daarin op kaart weergegeven. Hierbij zal rekening worden gehouden met locaties waar stratificatie verwacht kan worden.
- Breng in beeld waar conflicten tussen de meest geschikte productielocaties en de overige functies (scheepvaart, recreatie, natuur) kunnen worden verwacht?

1.3 Aanpak

Om de potenties van een zout Volkerak-Zoommeer voor de kweek van mosselen en oesters te onderzoeken is er een kansenkaart gemaakt. Hiervoor zijn er kennisregels opgesteld om de geschiktheid van een bepaald gebied voor schelpdiercultuur te kunnen relateren aan de lokale omgevingscondities (waterkwaliteit, fysica, overig gebruik). De kennisregels zijn toegepast op voorspellingen in kaartvorm voor waterkwaliteit, fysica en overige gebruiksfuncties om zo te komen tot een kansenkaart met

potentieel geschikte gebieden voor mossel- en oestercultuur. Hierbij is zowel gekeken naar bodemcultuur en mosselzaadinvangsystemen.

De voorspelling van de waterkwaliteit (voedselconcentratie en zuurstofloosheid) en hydrodynamica (stroomsnelheden) in een zout Volkerak-Zoommeer is gedaan met het Delft-3D instrumentarium (Broderie et al., 2007). Het waterkwaliteitsmodel is daarbij opnieuw gedraaid waarbij met name is gekeken naar de situatie met graas en zonder graas. De dynamische modelresultaten zijn omgezet in statische, statistische kaarten van de 10-, 50- en 90-percentielen. Dit betekent dat 10 %, 50% en 90% van de waarden op een bepaalde locatie lager zijn dan de 10-, 50 en 90-percentiel en deze zijn dus een maat voor respectievelijk de minimale, mediane en maximale waarden. Daarnaast is een tweetal andere indicatoren afgeleid, namelijk een maat voor de maximale duur van lage zuurstofconcentraties en een maat voor de voedselbeschikbaarheid voor mosselen. Naast deze berekeningen van de waterkwaliteit is er ook gebruik gemaakt van overige kaartbeelden van het gebied zoals de topografie, gebruiksfuncties, natuurwaarden.

De kennisregels zijn opgesteld op basis van expert judgement en literatuurgegevens. Er is daarbij onder andere gebruik gemaakt van kennisregels die er voor de Oosterschelde zijn opgesteld (Van Broekhoven, 2010). Hierbij is rekening gehouden met de mogelijke interactie met overige gebruiksfuncties zoals natuur, transport en recreatie voor zover daar informatie over beschikbaar is. Het moet hierbij worden opgemerkt dat de uiteindelijke kanskaart een beeld geeft van de potenties van het gebied voor mosselcultuur. Er is hierbij slechts een mogelijk scenario uitgewerkt. Ook is het mogelijk dat niet alle randvoorwaarden voor mosselcultuur zijn meegenomen in het model omdat de gegevens hiervoor ontbreken (bijvoorbeeld bodemgesteldheid). De kanskaart geeft daarom slechts een indicatie van de potenties voor mossel- en oestercultuur.

1.4 Afbakening

In deze studie wordt gekeken welke locaties in potentie geschikt zijn voor mosselkweek en mosselzaad invang systemen (MZI's). Indien er heel veel mosselen in het gebied gaan worden gekweekt, kan dit ook effect hebben op de draagkracht van het systeem. De schelpdieren kunnen de biomassa aan algen zo laag houden dat er te weinig voedsel is voor een goede groei. In deze studie is niet specifiek gekeken naar de draagkracht. Hoewel de kennisregels die in dit rapport worden gepresenteerd zijn gebaseerd op de kweek van mosselen op percelen zijn de resultaten direct te vertalen naar de kweek van oesters. De eisen van bodemcultuur oesterteelt komen namelijk grotendeels overeen met de eisen voor mosselcultuur. Er worden in de oesterteelt minder eisen gesteld aan het voedsel. Dat is een belangrijke reden waarom er wél oesters maar geen mosselen worden gekweekt in het Grevelingenmeer en in de kom van de Oosterschelde. Waar in de rest van het rapport wordt gesproken over de kweek van mosselen op bodem percelen kan men ook lezen de kweek van oesters op percelen.

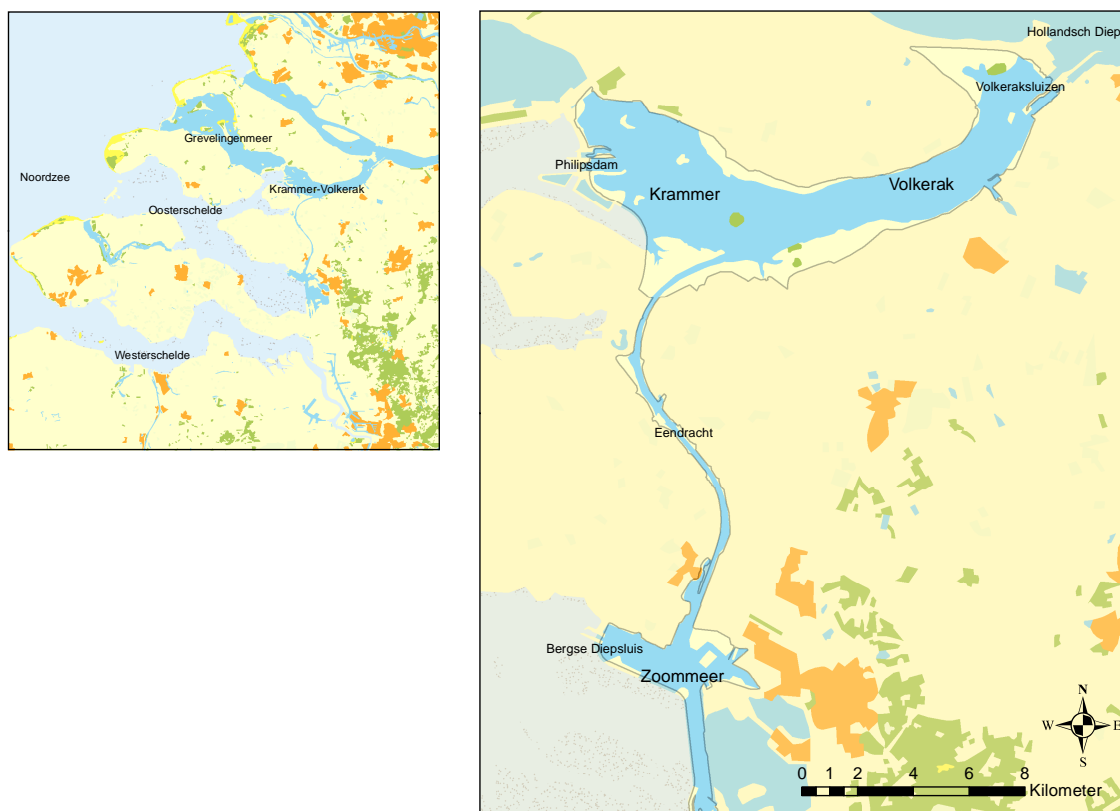
1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2. wordt een algemene beschrijving gegeven van het Volkerak-Zoommeer, zowel voor als na het gereedkomen van de deltawerken. De randvoorwaarden die nodig zijn voor mosselcultuur worden besproken in hoofdstuk 3. In dit hoofdstuk worden ook de gebruikte kennisregels gepresenteerd. Voor deze studie zijn modelberekeningen uitgevoerd met het Delft-3D instrumentarium om de waterkwaliteit in een zout Volkerak-Zoommeer te voorspellen. Het model en de resultaten van de berekeningen worden besproken in hoofdstuk 4. De kanskaarten voor bodemcultuur en MZI's zijn opgesteld door de achtergrondkaarten met elkaar te combineren met behulp van de kennisregels. De kanskaarten zijn gepresenteerd in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 tenslotte worden de conclusies getrokken en worden de resultaten bediscussieerd.

2 Volkerak-Zoommeer

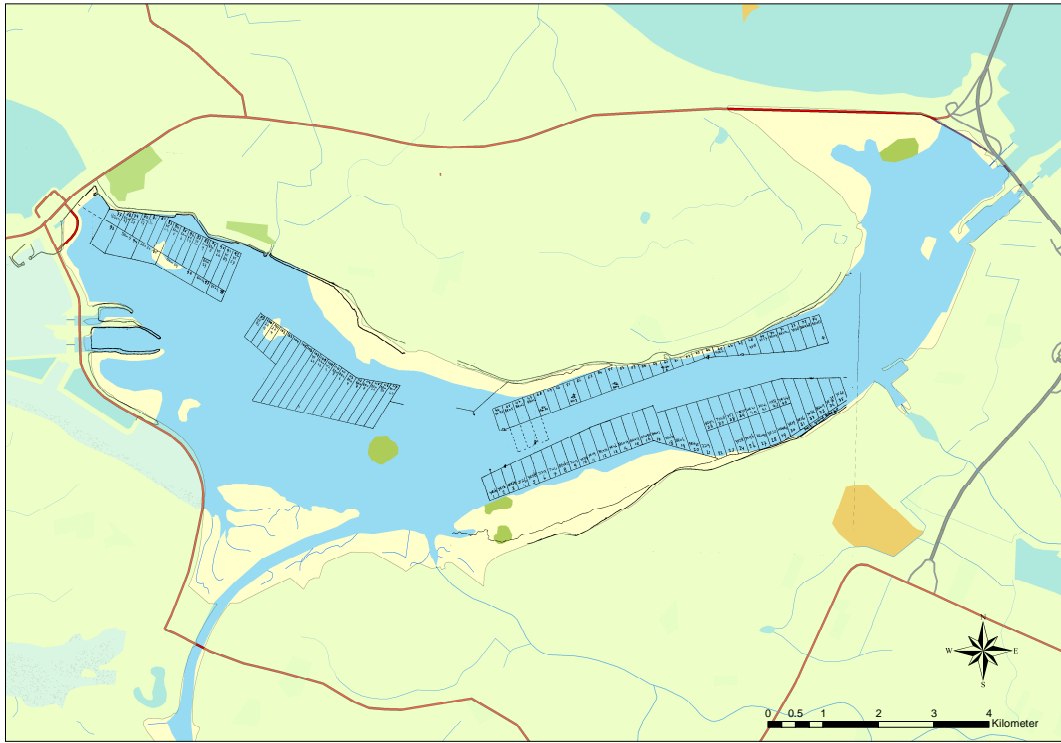
Het Volkerak-Zoommeer is met zijn 8300 ha, na het IJsselmeer en het Markermeer het grootste zoetwaterbekken in Nederland. De gemiddelde diepte van het meer is ongeveer 5 meter met een maximale diepte van 24 meter. De twee meren (Krammer-Volkerak en Zoommeer) zijn met elkaar verbonden via de Schelde-Rijnverbinding/Eendracht. Het gebied ligt op de grens van de provincies Noord-Brabant, Zuid-Holland en Zeeland. Het gebied is ontstaan na het gereedkomen van de Philipsdam in 1987 als onderdeel van de Deltawerken.

2.1 Situatie voor de Deltawerken

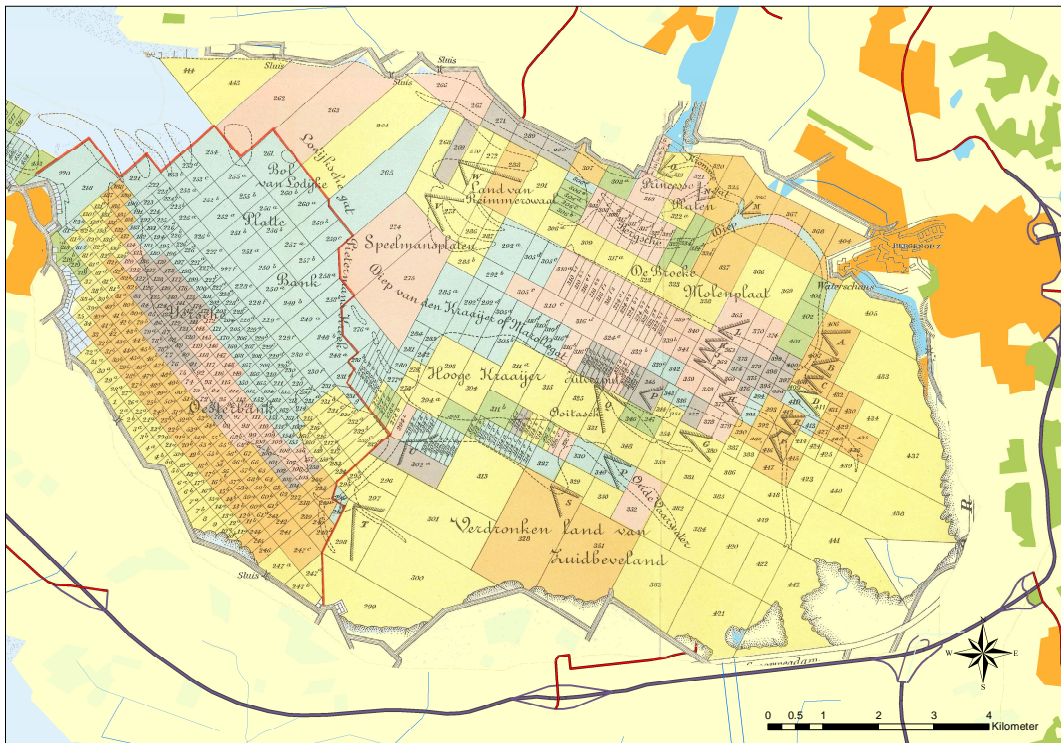


Figuur 1: Overzicht van zuidwestelijke Delta (links) en het Volkerak-Zoommeer (rechts)

Voor de Deltawerken was het Krammer-Volkerak verbonden met de Noordelijke tak van de Oosterschelde en de Grevelingen. Zoetwater stroomde vanuit het Hollandsch Diep binnen en werd via de Oosterschelde en het Grevelingen afgevoerd naar de Noordzee. Het Krammer-Volkerak vormde de natuurlijke brakwaterovergang tussen het zoete water van de rivieren en het zoute water van de zee. Het gebied stond ook onder invloed van het getij vanuit de Noordzee. De estuariene condities in het gebied maakte het een geschikt gebied voor de kweek van mosselen. Mosselpercelen bevonden zich langs de randen van de geulen, tegen de zuidelijke kust van Goeree-Overflakkee en langs de Noord-Brabantse kust (Figuur 2). Het gebied was ook zeer geschikt voor de visserij op mosselzaad. Het Zoommeer was onderdeel van de kom van de Oosterschelde. Het gebied was geschikt voor de traditionele weervisserij op Ansjovis. Ook lagen er in het gebied percelen voor mossel en oestercultuur (Figuur 3). Hoewel het gebied vooral van belang was voor invang en kweek van oesters werd het gebied ook gebruikt voor de kweek of het verwateren van mosselen (in groen aangegeven).

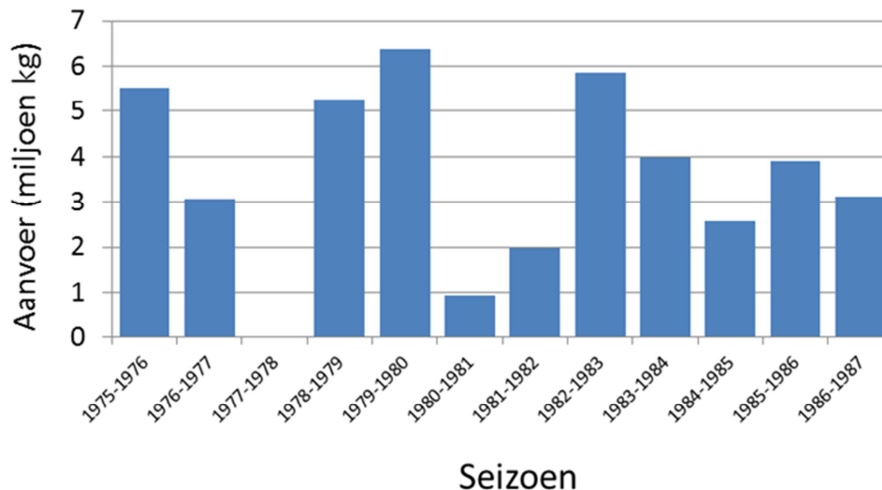


Figuur 2: Ligging van mosselparcels in het Krammer-Volkerak (ca 1970, data IMARES)



Figuur 3: Ligging van schelpdierpercelen in de Oostelijke tak van de Oosterschelde (Fokker, 1904). Percelen voor mosselcultuur en verwaterplaatsen zijn in groen aangegeven.

Het areaal aan mosselpercelen in het Krammer-Volkerak was ongeveer 622 ha. De aanvoer van mosselen van de percelen uit het Krammer-Volkerak over de periode 1975 – 1987 is aangegeven in Figuur 4 (Schneider et al., 2006). De gemiddelde aanvoer uit het gebied in deze periode was 3,9 miljoen kg per jaar. Dit was ongeveer 10% van de totale aanvoer van mosselen uit Zeeland in die periode. De aanvoer was echter zeer variabel van jaar tot jaar. In de laatste 5 jaar was de gemiddelde productie van consumptiemosselen in het gebied 3,4 miljoen kg per jaar. Het is bekend dat het gebied vooral werd gebruikt voor de opslag en opgroei van halfwasmosselen. Er zijn geen gegevens van de bestanden van zaad en halfwasmosselen op de percelen.



Figuur 4: Aanvoer van mosselen vanuit het Krammer-Volkerak over de periode 1975 tot en met 1987.

2.2 Situatie na de deltawerken

Het Volkerak-Zoommeer is in 1987 ontstaan door de aanleg van de Grevelingendam (1964), Volkerakdam (1969), de Oesterdam (1986) en de Philipsdam (1987) (Kerremans, 2010). Het Volkerak-Zoommeer is het watersysteem dat bestaat uit het Volkerakmeer (6 450 ha) in het Noorden en het Zoommeer en het Rijn-Schelde kanaal (1850 ha) in het zuiden. Beide bekkens staan met elkaar in open verbinding via de Eendracht. Het Volkerak is gemiddeld 5,2 meter diep met een maximale diepte van 24 meter. Het Zoommeer is gemiddeld 6 meter diep en heeft een maximale diepte van 20 meter (Van Duren et al., 2006). Door het wegvallen van het getij is een groot deel van het voormalig intergetijdengebied (circa 1.775 ha) permanent droog komen te liggen. De gemiddelde waterstand wordt gestuurd op NAP 0 m met een bandbreedte tussen NAP -10 en NAP +15 cm).

De belangrijkste aanvoer van zoetwater komt van de Brabantse rivieren Dintel en Roosendaalse en Steenbergse Vliet. Ook wordt er vanuit het Hollands Diep/Haringvliet zoetwater ingelaten via de Volkeraksluizen. Overtollig water wordt geloosd op de Westerschelde via het Bathse Spuikanaal. De aanvoer van meststoffen vanuit de Brabantse rivieren en het Hollands Diep, in combinatie met de geringe doorstroming van water, leidt regelmatig tot explosieve groei van toxische blauwalgen (*Microcystis*) in de zomer wat een sterk negatief effect heeft op de (zwem)waterkwaliteit. Tijdens een blauwalgenbloom is het water ook minder geschikt voor de landbouw. Het afsterven van blauwalgen in de (na)zomer geeft bovendien enorme stankoverlast en kan leiden tot zuurstofloosheid.

Om de waterkwaliteit in het gebied te verbeteren zijn er verschillende scenario's uitgewerkt waarvan er drie als kansrijk zijn bestempeld (Slieden and Tosserams, 2003):

- Estuariene dynamiek: zoet-zout stromend met getij

- Dynamische zeearm: zout stromend met getij
- Rivierdynamiek: zoet stromend

In twee van deze scenario's zal het Volkerak-Zoommeer veranderen in een zoutwater systeem. In dat geval zullen de hoge chloridegehalten er toe leiden dat er geen blauwalgen meer tot bloei komen en daarmee zal het blauwalgenprobleem opgelost zijn (Meijers et al., 2008). Omdat de nutriënten belasting hoog blijft zal er sprake zijn van een hoge productie aan mariene algen die in potentie ten goede kunnen komen aan mosselkweek (Schneider et al., 2006). Op basis van expert judgement is geschat dat er in een zout Volkerak-Zoommeer een mosselproductie mogelijk is van 6 tot 9 miljoen kg per jaar (De Vries et al., 2008).

3 Randvoorwaarden voor mosselcultuur

Er zijn diverse randvoorwaarden waaraan een systeem aan moet voldoen om geschikt te zijn voor mosselcultuur. Van belang is hierbij te definiëren om welk type cultuur het is. Aan hangcultuur worden andere eisen gesteld dan aan bodemcultuur. In deze studie worden de volgende randvoorwaarden meegenomen:

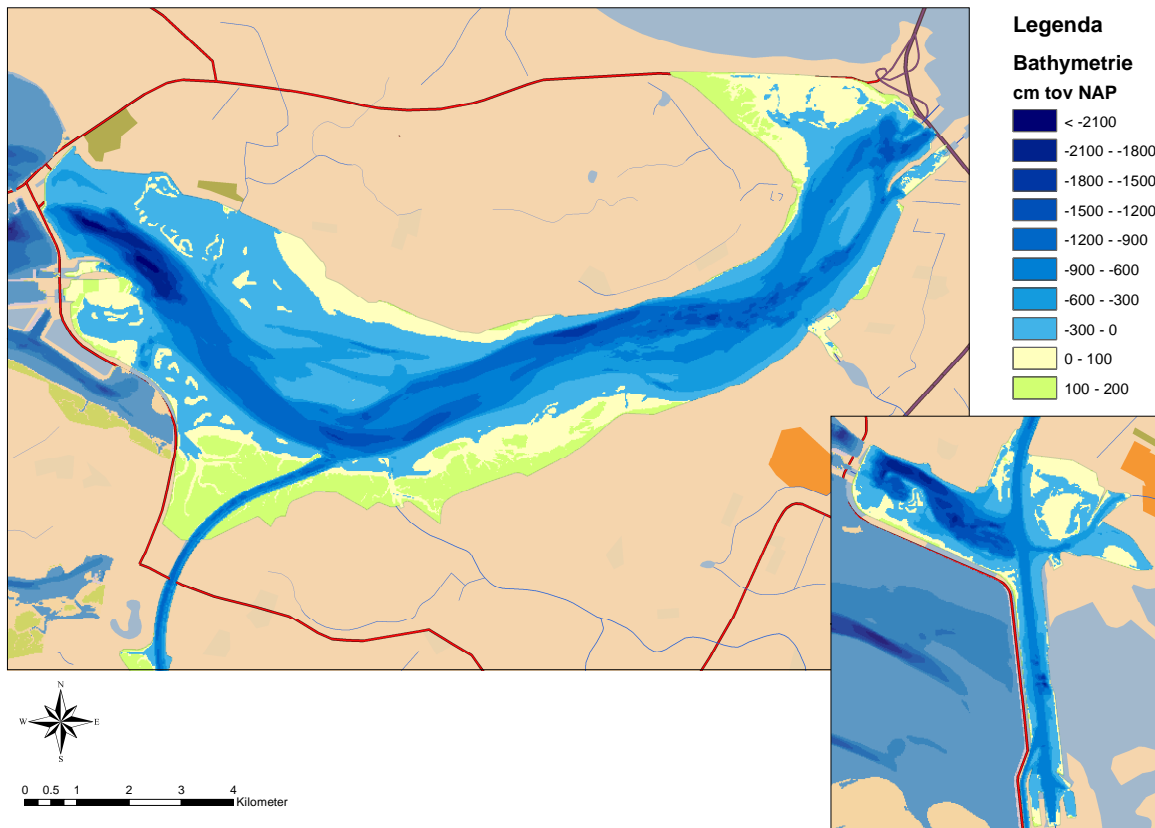
- Waterdiepte
- Stroomsnelheden
- Zurstofconcentratie
- Zoutgehalte
- Voedsel
- Scheepvaart
- Natuurfunctie

Voor iedere variabele zijn kaarten gemaakt voor het Volkerak-Zoommeer. Tevens zijn er kennisregels opgesteld die de variabele koppelt aan de geschiktheid voor mosselcultuur. Door de kaarten en kennisregels met elkaar te combineren komt men tot een potentiële geschiktheidskaart voor mosselcultuur. De waarden in deze kaart variëren van 0 (ongeschikt voor mosselcultuur) tot 1 (in potentie optimaal geschikt voor mosselcultuur). We spreken daarbij van een "potentiële" geschiktheidskaart omdat variabelen die niet zijn meegenomen in deze analyse, omdat er geen kaarten van beschikbaar zijn of omdat er geen kennisregels voor zijn opgesteld, mogelijk ook nog van belang kunnen zijn.

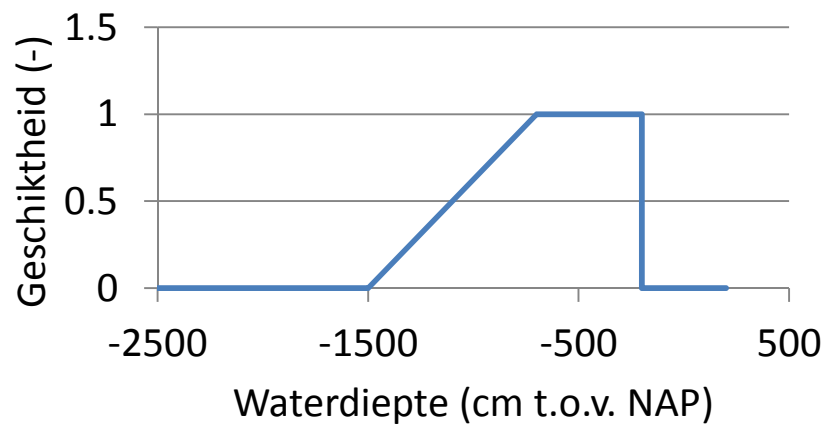
3.1 Waterdiepte

Waterdiepte is van belang voor zowel de bodemcultuur als voor MZI's. Als het te ondiep is, is het ongeschikt voor de bodemcultuur omdat de mosselboten er niet meer kunnen varen of goed kunnen manoeuvreren (Van Broekhoven, 2010). Omdat er in de zoute situatie slechts een zeer beperkt getij zal terugkeren, kan er ook geen gebruik worden gemaakt van hoogwaterperioden. Er kan worden gesteld dat bodemcultuur een minimale diepte nodig heeft van NAP -2 m. Als het water dieper wordt dan NAP -15 meter is wordt het te diep om goed te kunnen vissen. Het meest geschikt is het gebied tussen NAP -2 meter en NAP -7 meter (Wijsman, 2007).

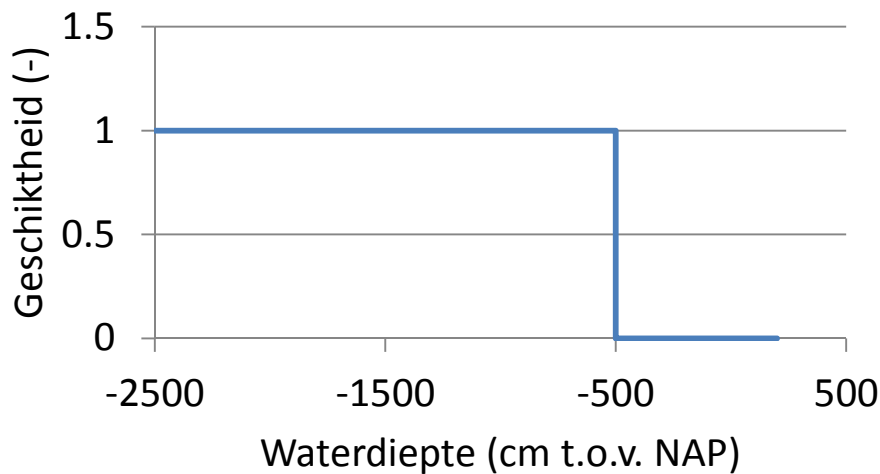
Voor de MZI's is er geen maximale diepte. Als het water te ondiep wordt komen de MZI's tegen de bodem. De minimale diepte om goed met MZI's te kunnen werken is ongeveer 5 meter.



Figuur 5: Dieptekaart (cm tov NAP). Krammer-Volkerak (links) en Zoommeer (inzet rechts). De gele en groene gebieden zijn de oude inter-getijdengebieden die permanent droog liggen



Figuur 6: Geschiktheid van een locatie voor bodemcultuur als functie van waterdiepte (cm)



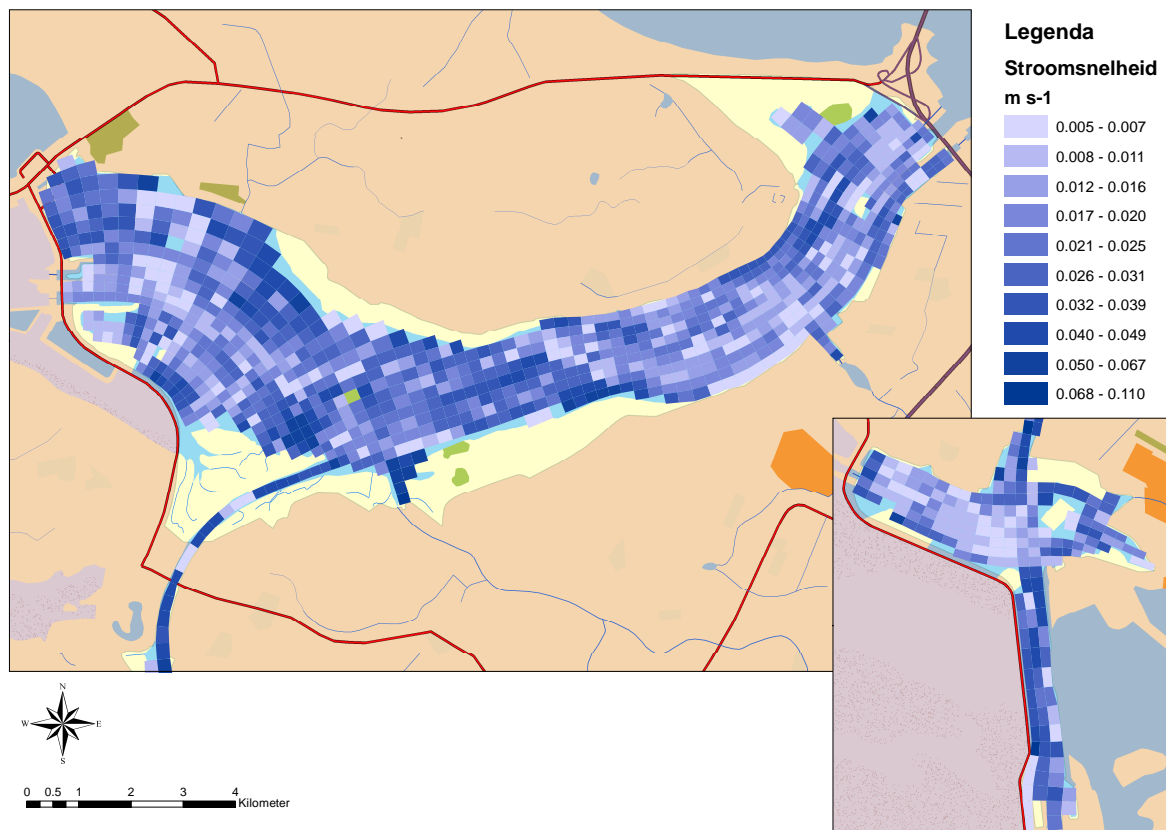
Figuur 7: Geschiktheid van een locatie voor MZI's als functie van waterdiepte (cm)

Een groot deel van het Volkerak-Zoommeer is ongeschikt voor bodemcultuur omdat het water te ondiep is (Figuur 28). Doordat er geen getij van belang zal zijn zullen de ondiepe delen moeilijk te bereiken zijn. In de diepe geulen, voornamelijk in het westelijk deel van de Krammer is het te diep voor bodemcultuur. MZI's hebben een grotere diepte nodig omdat de MZI's anders de bodem raken. Alleen de diepe delen zijn daarom geschikt voor MZI's (Figuur 29).

3.2 Stroomsnelheden

Stroming heeft ook een belangrijk effect op de geschiktheid van een locatie voor mosselkweek. Hoe hoger de stroomsnelheden, hoe meer voedsel er wordt aangevoerd. Echter als de stroomsnelheden te hoog worden kunnen de mosselen van het perceel spoelen en kan er schade optreden aan de MZI's. De stroomsnelheden in het Volkerak-Zoommeer zijn ook in de zoute situatie voornamelijk wind gedreven en relatief laag. Effecten van te hoge stroomsnelheden worden dan ook niet verwacht. Door van Broekhoven (2010) is op basis van expert judgement aangenomen dat de stroomsnelheid beperkend wordt bij waarden van minder dan 20 cm sec^{-1} . In het Volkerak-Zoommeer waar de voedselconcentraties hoger zullen zijn dan in de Oosterschelde zal de stroomsnelheid echter van minder belang zijn. In het Grevelingenmeer waar de stroomsnelheden ook heel laag zijn is ook geen mosselkweek omdat de mosselen daar niet hard genoeg groeien. Oesterteelt is wel mogelijk omdat deze vorm van schelpdierkweek bij minder eisen stelt aan voedselbeschikbaarheid van mosselkweek.

De stroomsnelheden zijn ook veel minder goed te voorspellen in het Volkerak-Zoommeer omdat de waterbeweging voornamelijk windgedreven zal zijn. Er is geen duidelijk patroon in de gemiddelde stroomsnelheden nabij de bodem zoals deze door het model worden berekend (Figuur 8). De gemiddelde stroomsnelheden zijn zeer laag (minder dan 10 cm s^{-1}).

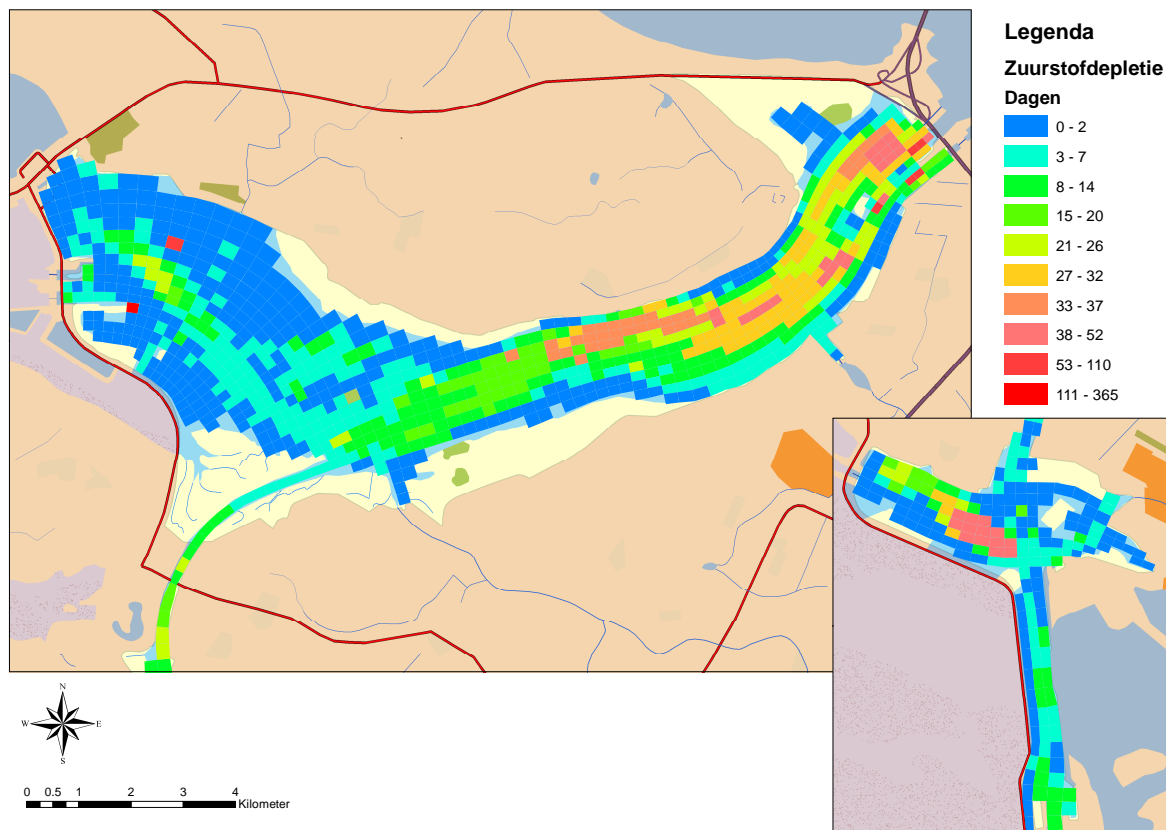


Figuur 8: Berekende stroomsnelheden ($m s^{-1}$) in het Krammer-Volkerak (links) en Zoommeer.(inzet rechts).

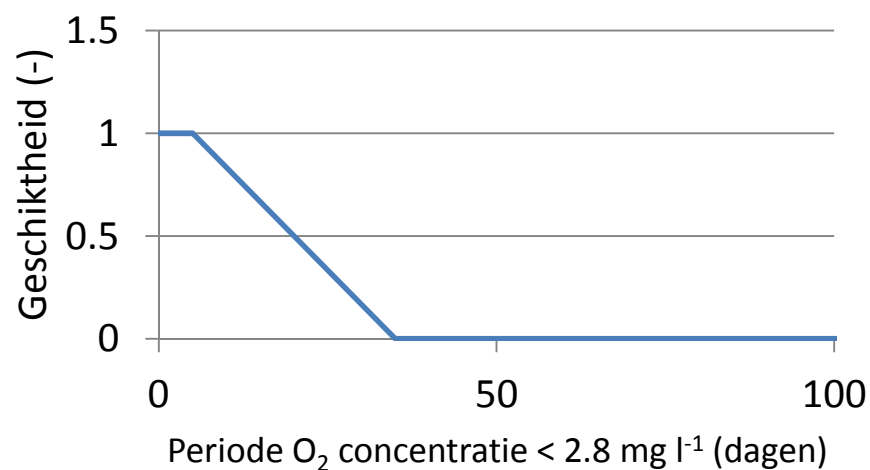
3.3 Zuurstofconcentratie

Productie en verbruik van zuurstof is vaak heterogeen verdeeld. Productie vindt voornamelijk plaats in de bovenste waterlagen door de fotosynthetiserende algen. Het verbruik van zuurstof vindt voornamelijk plaats nabij de bodem waar bodemdieren en bacteriën het in de bovenste lagen geproduceerde organisch materiaal afbreken. Als er geen goede menging is van het water (bijvoorbeeld tijdens stratificatie) kan er zuurstofloosheid optreden nabij de bodem. Stratificatie kan optreden als gevolg van de temperatuurverschillen en als gevolg van verschillen in zoutgehaltes. Het relatief stagnante Volkerak-Zoommeer is in de zoute situatie, net als het Grevelingenmeer gevoelig voor stratificatie (Wijsman, 2002). De combinatie van stratificatie en een hoge organische belasting kan dan leiden tot zuurstofloosheid.

Mosselen zijn redelijk goed bestand tegen perioden van zuurstofloosheid. Ze kunnen hun schelp sluiten en overschakelen op een anaerobe ademhaling (deZwaan and Eertman, 1996). Echter als de periode zonder zuurstof te lang duurt, zal de mossel sterven. Bij een temperatuur van 10°C kunnen mosselen 35 dagen zonder zuurstof (deZwaan and Eertman, 1996). Bij hogere water temperaturen neemt deze periode af.



Figuur 9: Aantal dagen aaneengesloten dat de zuurstof concentratie lager is dan 2.8 mg l^{-1}



Figuur 10: Geschiktheid van een locatie voor bodemcultuur als functie van de aaneengesloten periode van lage ($<2.8 \text{ mg l}^{-1}$) zuurstof concentratie (dagen).

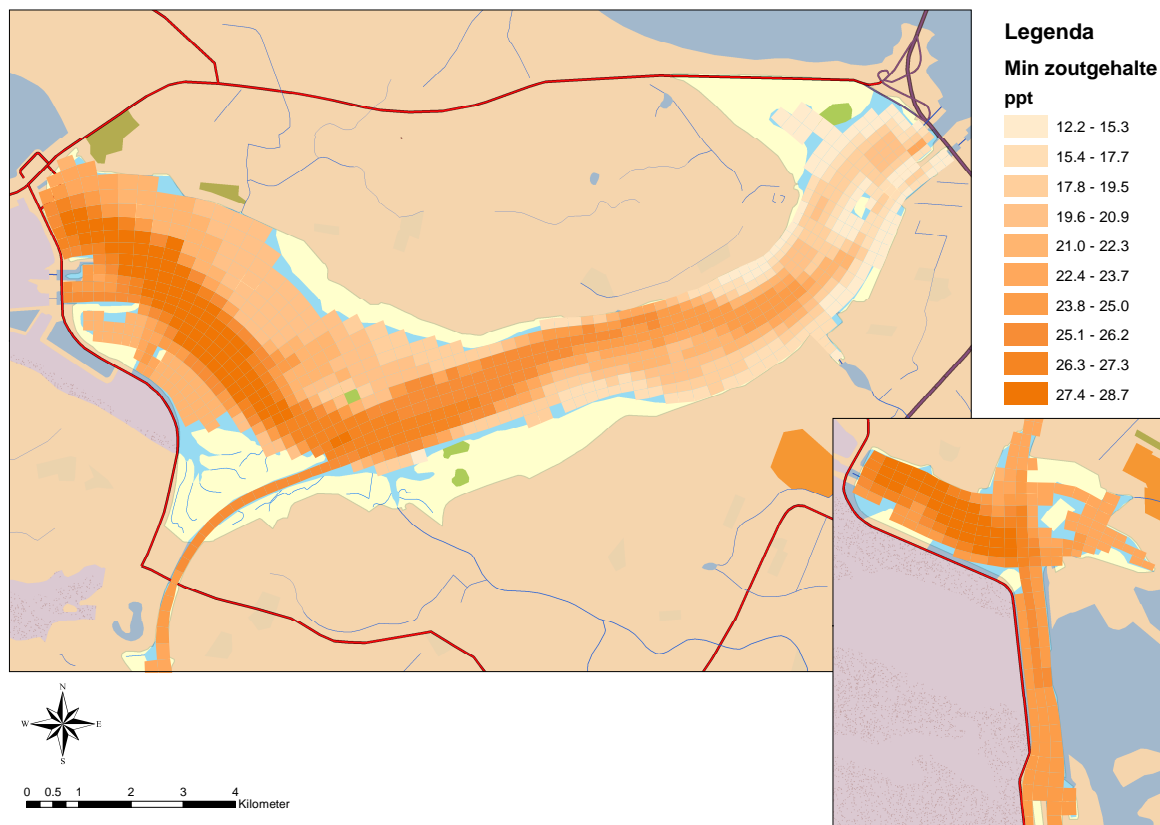
Zuurstofloosheid van het bodemwater treedt voornamelijk op in de zomerperiode (mei tot september) in de diepe delen in het oostelijk Volkerak en bij de Bergsediepsuis in het Zoommeer (Figuur 30). Deze gebieden zijn ongeschikt voor de bodemcultuur van mosselen. Mosselen zijn in staat perioden van

zuurstofloosheid te overleven, maar dat komt de productiviteit niet ten goede. Als er mosselen sterven als gevolg van de zuurstofloosheid kan dit de afbraaksnelheden verhogen waardoor de zuurstofvraag van de bodem toeneemt. MZI's zitten voornamelijk in de bovenste waterlagen. Zuurstofloosheid treedt daar niet op en er is daarom geen beperking als gevolg van de zuurstofconcentraties voor MZI's. In de praktijk zullen de MZI's niet alleen in de bovenste waterlaag zitten, maar ook dieper waardoor de MZI's in het oostelijk deel van de Volkerak ook last kunnen hebben van zuurstofloosheid.

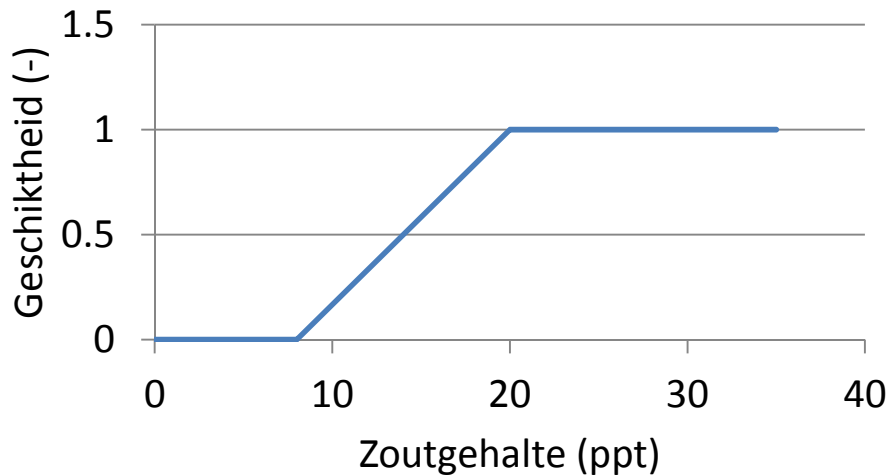
3.4 Zoutgehalte

In het zoute Volkerak-Zoommeer zal er een gradiënt optreden van relatief lage zoutgehalten in het oosten en hogere zoutgehalten in het westen en het zuiden. Mosselen zijn typische estuariene soorten en kunnen goed omgaan met wisselende zoutgehalten. Mosselen komen voor tot gemiddelde zoutgehalten van 10 g Cl l^{-1} (18 ppt) bij vloed en normale rivierafvoer of van $4\text{-}6 \text{ g Cl l}^{-1}$ (7.2 – 10.8 ppt) tijdens hoge rivierafvoer (Steenbergen, 2004). Voor de mosselpopulatie in de Zeeuwse delta is een minimum zoutgehalte van 18 – 20 ppt om zich te handhaven. Het optimum ligt voor deze soort echter hoger dan 20 ppt. Dit is meer van belang in het groeiseizoen dan in de winterperiode vanwege de hogere tolerantie bij lagere temperaturen (Schuiling and Smaal, 1998).

De larven van mosselen zijn minder tolerant voor lagen zoutgehalten. Zij kunnen zich niet afsluiten van hun omgeving met behulp van een schelp. De larven hebben zoutgehalten van hoger dan 20 ppt nodig (Schuiling and Smaal, 1998).



Figuur 11: Minimum (10-percentiel) zoutgehalte (ppt) bij de bodem in Volkerak-Zoommeer.



Figuur 12: Geschiktheid van een locatie voor bodemcultuur als functie van het minimale zoutgehalte (ppt).

In de meeste delen van het Volkerak-Zoommeer is het minimale zoutgehalte niet beperkend voor de mosselcultuur (Figuur 31). In het Zoommeer zijn alle locaties geschikt. In de ondiepe delen van het oostelijk deel van het Volkerak wordt het zoutgehalte te laag voor mosselen.

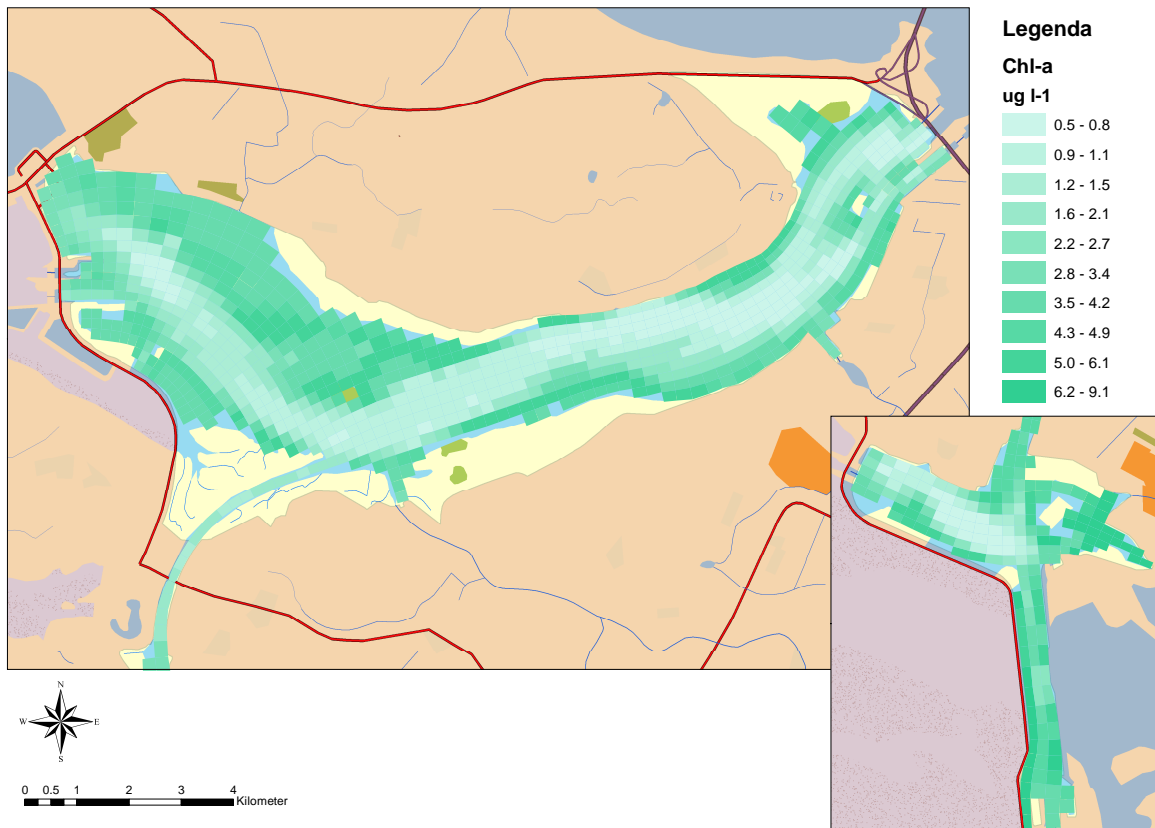
3.5 Voedsel

Voedsel is van groot belang voor de groei van mosselen. Het voedsel voor mosselen bestaat voornamelijk uit fytoplankton dat de mosselen uit het water filteren met behulp van hun kieuwen. De groei van de algen (netto primaire productie) is afhankelijk van de aanvoer van nutriënten en de instraling. Als gevolg van de relatief grote nutriënten toevoer is het zoute Volkerak-Zoommeer in potentie een gebied met relatief hoge primaire productie en hoge algenbiomassa's. Het is echter niet eenvoudig om een duidelijke relatie te maken tussen algenbiomassa en potentiële schelpdierproductie. Dit komt omdat naast primaire productie, factoren als graasdruk en verblijftijd van het water ook een belangrijk effect hebben op de algenbiomassa. Een hoge graasdruk door schelpdieren kan de algenbiomassa aanzienlijk terugbrengen. Ook de kwaliteit van de algen is hierbij van belang. Het kleine, zogenaamde picoplankton ($< 3 \mu\text{m}$), wordt bijvoorbeeld minder goed gefiltreerd door de kieuwen dan het grotere fytoplankton.

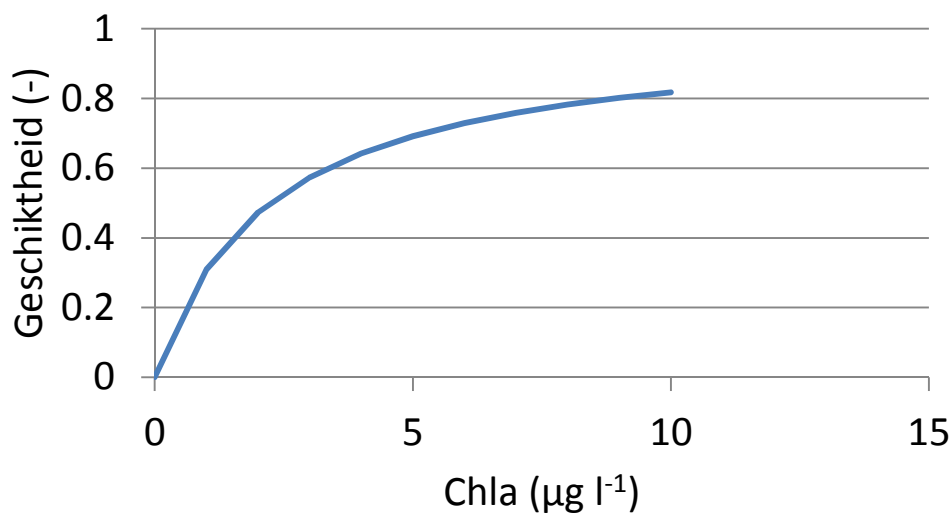
In deze studie is er gebruik gemaakt van modelvoorspellingen voor de fytoplankton concentratie (chlorofyl-a). Omdat in het model is aangenomen dat de graasdruk homogeen verdeeld is over het Volkerak-Zoommeer kan worden aangenomen dat de gebieden waar hogere chlorofyl-a concentraties worden berekend in het algemeen leiden tot betere productie van mosselen dan gebieden met lagere chlorofyl-a concentraties. De relatie is echter niet lineair maar heeft een hyperbolische vorm (Troost et al., 2010; Wijsman and Smaal, 2011).

$$f = \frac{[Chla]}{X_k + [Chla]}$$

Hierbij is X_k de concentratie chlorofyl-a waarbij de voedselopnamesnelheid de helft is van de maximale voedselopname snelheid. Voor mossels in de Oosterschelde is de halfwaarde constante voor mosselen geschat op $2.23 \mu\text{g l}^{-1}$ (Troost et al., 2010).



Figuur 13: Over een jaar afgeleide mediane chlorofyl-a concentratie (50-percentiel) ($\mu\text{g l}^{-1}$) in Volkerak-Zoommeer.



Figuur 14: Geschiktheid van een locatie voor bodemcultuur als functie van de gemiddelde chlorofyl-a concentratie ($\mu\text{g l}^{-1}$).

Uit Figuur 32 blijkt dat de ondiepe delen van het Volkerak-Zoommeer meer voedsel (Chlorofyl-a) bevatten dan de diepere delen. De productie van algen vindt voornamelijk plaats in de bovenste lagen

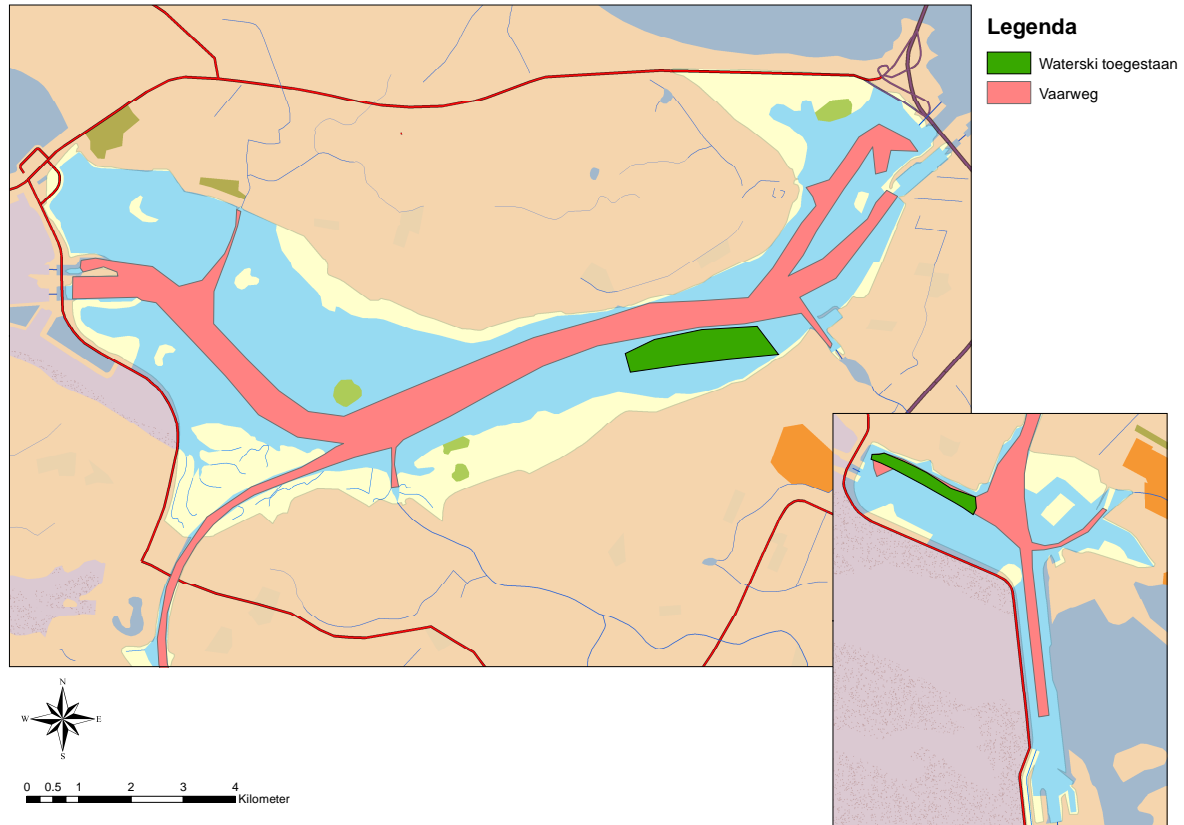
van de waterkolom (fotische zone). In de diepe geulen vindt geen productie plaats maar wel consumptie door graas.

3.6 Scheepvaart

Het Volkerak-Zoommeer maakt deel uit van twee belangrijke scheepvaartroutes voor de beroepsscheepvaart in ons land. Ten eerste de Schelde-Rijnverbinding, een directe verbinding tussen de Rotterdamse haven en de haven van Antwerpen. Ten tweede de verbinding via de Krammersluizen en het kanaal door Zuid-Beveland naar Terneuzen, Gent en Vlissingen (Keizer and Liefing, 2010). De Volkerak-, Krammer- en Kreekraksluizen zijn belangrijke schakels in de hierboven genoemde scheepvaartroutes; De Bergse Diepsluis in de oesterdam heeft meer een regionale functie, is van veel kleinere omvang. In 2008 was het aantal scheepsbewegingen door de Volkeraksluizen 112.496. Door de Kreekraksluizen 69.454 en door de Krammersluizen 42.290. Het aantal scheepsbewegingen door de Bergse diepsluis was marginaal (149) (Keizer and Liefing, 2010).

Bij de Volkeraksluizen is een jachtensluis aangelegd voor de pleziervaart. In het Volkerak zijn 10 jachthavens. Ook bij de Krammersluizen in de Philipsdam wordt de recreatievaart gescheiden van de beroepsvaart door een speciale sluis (Holzhauer et al., 2006). Door de slechte waterkwaliteit tijdens de zomer als gevolg van de blauwalgen wordt het Volkerak-Zoommeer door de pleziervaart voornamelijk gebruikt als doorgaande route naar de overige deltawateren. Ten noordwesten van Dinteloord ligt een waterskigebied. In het Zoommeer is een waterskigebied ten noorden van de Speelmansplaten.

De scheepvaartroutes zijn gemarkeerd met boeien waartussen de schepen moeten navigeren. In Figuur 15 zijn de scheepvaartroutes weergegeven.



Figuur 15: Scheepvaartroutes en waterskigebieden in het Krammer-Volkerak (links) en Zoommeer (inzet rechts).

In deze studie is aangenomen dat er geen mosselpercelen kunnen worden aangelegd in de scheepvaarroutes en in de waterski gebieden omdat beide activiteiten vanuit veiligheidsoverwegingen niet zijn te combineren (Figuur 33). Het is mogelijk om de waterski gebieden in het Volkerak en het Zoommeer te verplaatsen naar andere locaties. Hierdoor komen deze gebieden vrij voor schelpdierteelt. In deze studie hebben we ook een analyse gedaan waarbij het waterski gebied buiten beschouwing is gelaten. De partiële geschiktheid op basis van alleen de scheepvaarroutes is gepresenteerd in Figuur 34.

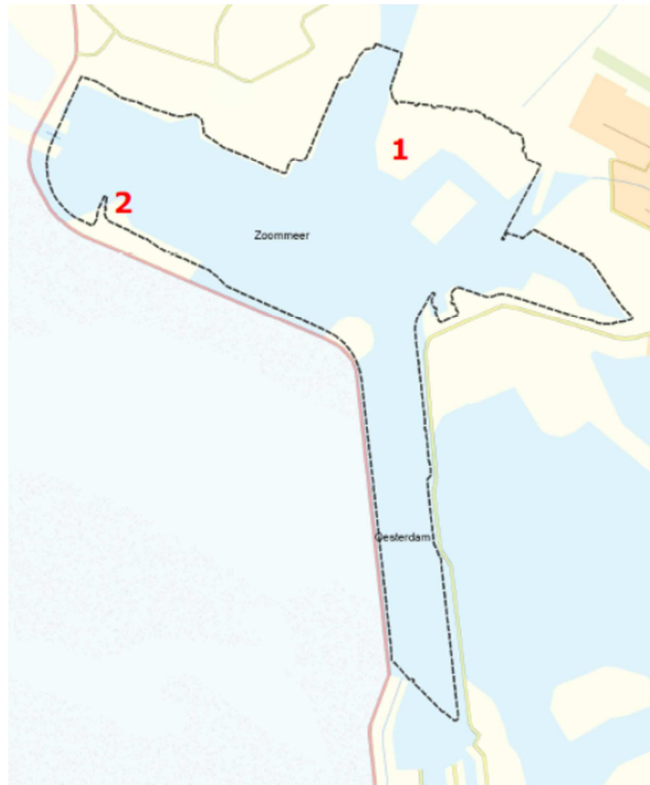
3.7 Natuur

Door het wegvallen van het getij in het Volkerak-Zoommeer is een groot deel van het voormalige intergetijdengebied permanent droog komen te liggen en zijn er nog slechts weinig van de kenmerken van het oorspronkelijke gebied bewaard gebleven. Typische zoutminnende planten- en diersoorten verdwenen uit het water en er vestigden zich steeds meer soorten van zoete ecosystemen. Hoewel er een verschuiving van soorten plaatsvond, bleef het meer ook na de afsluiting van internationale betekenis voor diverse soorten watervogels. Deze betekenis heeft ertoe geleid dat het Krammer-Volkerak in 1995 is aangewezen als speciale beschermingszone in de zin van de Vogelrichtlijn en in 2003 aangemeld in de zin van de Habitatrichtlijn. Het Zoommeer is in 2000 alleen in het kader van de Vogelrichtlijn aangewezen. Het Volkerak-Zoommeer is ook aangewezen als wetland in het kader van de conventie van Ramsar. Het Ramsar Verdrag beschermt wetlands en de bijbehorende plant- en diersoorten. Nederland heeft alle wetlands die zijn aangemeld voor het Ramsar Verdrag ook aangewezen als Natura 2000-gebied. Alle wetlands vallen daardoor onder de bescherming van de Natuurbeschermingswet (Liefting, 2010).

De droogvallende delen en ondiep-water-gebieden van het Volkerak-Zoommeer zijn aangewezen als buitendijkse natuurgebieden. In het Krammer-Volkerak zijn er 8 natuurterreinen (Figuur 16). De Krammerse Slikken, Noordplaat en Hellegatsplaten zijn in het beheer bij Staatsbosbeheer. De Sabina Henrica polder, Dintelse Gorzen en Slikken van de Heen – Oost zijn in beheer van Natuurmonumenten en de Slikken van de Heen – West en de Platen van de Vliet zijn in beheer van de Stichting het Zeeuwse Landschap.



Figuur 16: *Overzicht buitendijkse natuurterreinen Krammer-Volkerak (Troost and Van Hulzen, 2009). 1: Krammerse Slikken, 2: Noordplaat, 3: Hellegatsplaten, 4: Sabina Henrica polder, 5: Dintelse Gorzen, 6: Slikken van de Heen – Oost, 7: Slikken van de Heen – West en 8: Platen van de Vliet*



Figuur 17: Overzicht buitendijkse natuurterreinen Zoommeer (Troost and Van Hulzen, 2009). 1: Prinsesseplaat, 2: Speelmansplaten. Beide gebieden zijn onder beheer van Staatsbosbeheer.

In een zoute situatie zullen de natuurwaarden van het systeem drastisch wijzigen. Het is te verwachten dat de buitendijkse natuurterreinen ook in een zoute situatie hun natuurfunctie blijven behouden. Vanwege het feit dat de gebieden permanent droog zijn of zeer ondiep zullen deze gebieden niet geschikt zijn voor mosselcultuur.

4 Model Volkerak-Zoommeer

4.1 Opzet model

De modelsimulaties zijn uitgevoerd met de schematisaties die ook in 2007 zijn gebruikt (Broderie et al., 2007) en betreffen een jaarsimulatie van condities die afgeleid zijn van het jaar 2000. Dit betekent dat de meteorologische forcering en natuurlijke afvoeren van het jaar 2000 afkomstig zijn.

Een overzicht van de modelschematisatie en bodem is weergegeven in Figuur 18.



Figuur 18: Delft3D grid van het Volkerak-Zoommeer met daarin de modelranden en monitoringpunten voor tijdreeksen aangegeven.

De waterbeweging is gemodelleerd met behulp van de Delft3D-FLOW module (zie ook Broderie et al., 2007). Het model is opgezet in 3D met 13 vaste lagen (z-lagen). Een 3D aanpak is noodzakelijk omdat in deze studie de situatie wordt doorgerekend met een zout Volkerak met een doorlaatmiddel in de Philipsdam en de Oesterdam, waardoor een 3-dimensionele structuur van zout en zoet water ontstaat. De laagdikte in het model varieert van ongeveer 0.8 m bij het oppervlak tot 2.6 m bij de bodem (op ongeveer 19m). Figuur 1 geeft de locaties weer van de open randen in het model. Op deze locaties worden randvoorwaarden voor de hydrodynamische als waterkwaliteit simulaties opgelegd.

Het waterkwaliteitsmodel waar in deze studie gebruik van is gemaakt is het bestaande DBS model (DELWAQ-BLOOM-SWITCH) (Broderie et al., 2007). In het model zijn een aantal verschillend algen types gedefinieerd, te weten:

- Marine Diatomeeën
- Zoetwater Diatomeeën
- Marine Flagelaten
- Dinoflagelaten

- Groenalgen
- Microcystis (blauw-groen)
- Nodularia (blauw-groen)
- Anabaena (blauw-groen)
- Ulva

De algensoortensamenstelling wordt uiteindelijk door het model bepaald op basis van eigenschappen van de verschillende algensoorten, uitgaande van de saliniteit (zoutgehalte) en beschikbare hoeveelheid nutriënten en licht. Een overzicht van de belangrijkste door BLOOM beschouwde processen en proces coëfficiënten staan in Los (2009).

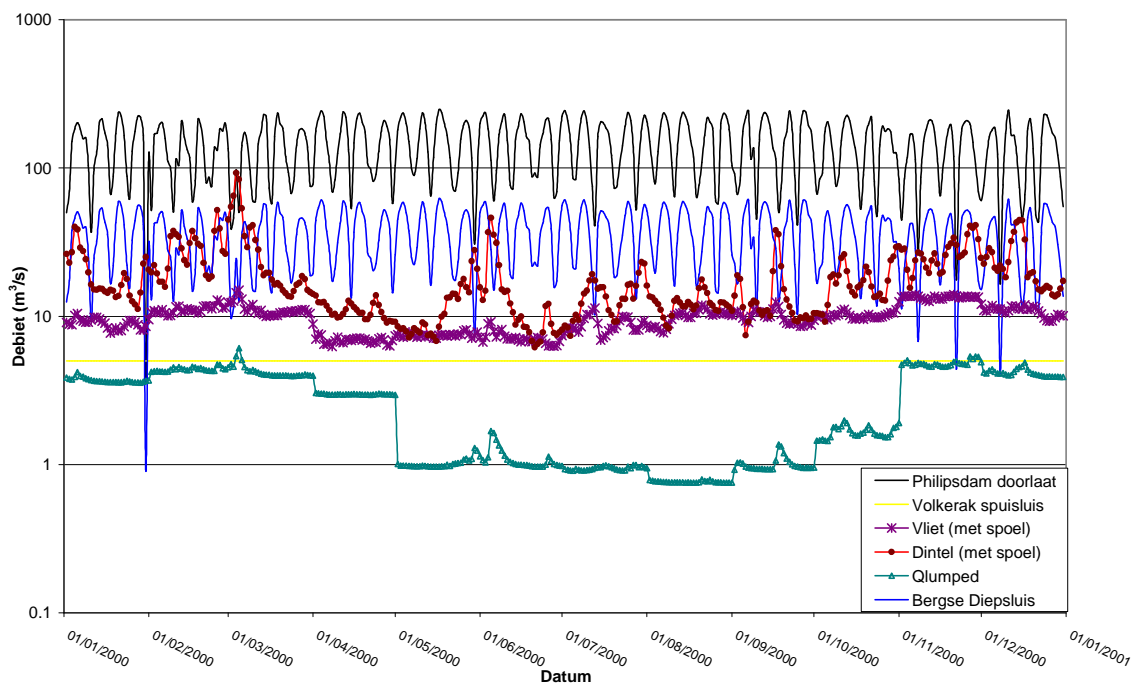
In dit project zijn twee scenario's doorgerekend, een met en een zonder de invloed van grazers. Zonder graas voorspelt het model een hogere algenbiomassa dan met graas. Net als in eerdere studies uit 2007 en 2008 is de graasfunctie opgelegd als een forcering en is gelijk gekozen aan de graasdruk die in modelberekeningen voor het Veerse Meer is gebruikt.

De belangrijkste aanpassing is dat de modelinvoer uit 2007 is aangepast aan de meest recente versie van Delft3D (Delft3D-WAQ versie 4.5207 van 05-10-2010) en bijbehorende processenbibliotheek (versie 4.52). Resultaten van de verschillende versies zijn vergeleken. Een aantal verschillen is wel geconstateerd, maar hiervan is geconcludeerd dat deze verschillen niet significant zijn.

4.2 Randvoorwaarden

Hydrodynamica

De waterbeweging in het model wordt aangestuurd door modelranden die debieten voorschrijven. De instroom op de randen als functie van de tijd in het hydrodynamische model is weergegeven in Figuur 19. De uitstroom is via de Kreekraksluizen, de Bathse spuisluis de Philipsdam en de Oesterdam.



Figuur 19: Instroom gegevens ($m^3 s^{-1}$) in het Volkerak-Zoommeer hydrodynamische model. Qlumped is de verzameling van overige zoetwaterlozingen.

4.3 Scenario's

De hydrodynamische randvoorwaarden bestaan uit opgelegde debieten. Het in deze studie bestudeerde scenario is gedefinieerd door de debieten zoals in Tabel 1 weergegeven.

Tabel 1 Water balans voor de in deze studie berekende scenario

	Instroom ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	Uitstroom ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
Philipsdam	144,2	-93,1
Dintel	5,0	-
Bathse spuisluis	-	-91,3
Volkeraksluizen	5,0	-
Kreekraksluizen	-	-8,0
Vliet	4,6	-
Dintel spoel	13,3	-
Overige	2,5	-
Oesterdam	36,1	-23,3
Vliet Spoel	5,0	-
Som	215,6	215,7

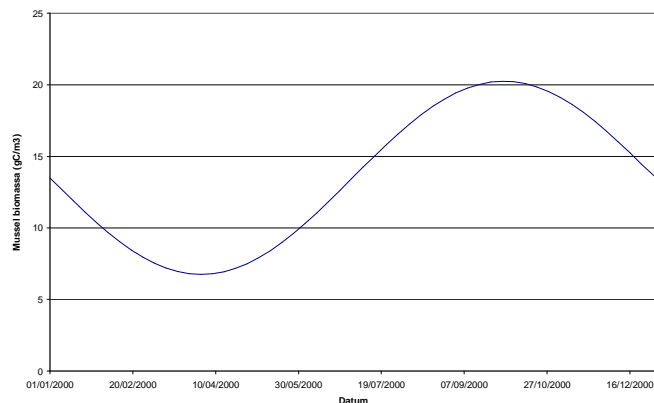
De variant van dit scenario is gebaseerd op de 80%-20% variant waarbij 80% van het water via de Philipsdam (vanuit het Grevelingen) en 20% via de Oesterdam (vanuit de Oosterschelde) wordt ingelaten, met een totaal van $180 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Vergeleken met de P 300 variant (80%-20%) (Meijers et al., 2008) is het gemodelleerde ingelaten debiet via de Philipsdam en Oesterdam verlaagd van $268 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ naar $180 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. In het scenario van Tabel 1 is het doorlaatdebiet wat minder dan het P300 scenario waardoor het gebied wat minder zout zal zijn en het stratificatiegebied groter.

De nutriënten input in het systeem worden voornamelijk bepaald door de fluxen vanuit de Vliet, Dintel en Volkerak, deze zijn in Tabel 2 samengevat.

Tabel 2 Nutriënten invoer Volkerak-Zoommeer

	Si (kg dag^{-1})	TotN (kg dag^{-1})	TotP (kg dag^{-1})
Volkeraksluizen	1032	1439	64
Vliet (incl. Spoel)	2070	1439	64
Dintel (incl. Spoel)	4103	10532	1439
Som	7205	13410	1567

Er zijn twee scenario's opgezet op basis van deze randvoorwaarden, waarbij de eerste zonder en de tweede met grazers is uitgevoerd. De graasdruk is een opgelegde forcering, gespecificeerd door een seizoensvariatie van de streefwaarde van mossel biomassa (Figuur 20). In het model bereiken de mosselen deze streefwaarden indien de condities optimaal zijn.



Figuur 20: Streefwaarde mossel biomassa

4.4 Statistiek

Het waterkwaliteitsmodel heeft een aantal statistische bewerkingen, zoals de bepaling van de percentielen die op de toestandsvariabelen zijn toegepast. In overleg zijn de 10%, 50% en 90% percentielen gegenereerd voor:

- Stroomsnelheid;
- Zuurstofconcentratie
- Chlorofyl-a concentratie
- Saliniteit.

Conditie bij de bodem spelen voor de beoordeling van de geschiktheid voor mosselen een belangrijke rol. Voor het afleiden van de condities bij de bodem en de statistische bewerkingen was het noodzakelijk om de resultaten, inclusief de statistische afleidingen, van het z-lagen model om te zetten naar een sigma laag (voor de bodem) zodat in een enkele uitvoerbestand de noodzakelijke modelgegevens beschikbaar zijn voor verder verwerking.

De naverwerking van de modeluitvoer is na overleg met IMARES gedefinieerd zodat de informatie uit het model direct kan worden gebruikt, gebruik makend van de kennisregels (zie Hoofdstuk 3), voor de bepaling van mogelijk geschikte en niet-geschikte gebieden voor mosselteelt. De gegevens die werden overeengekomen betreffen:

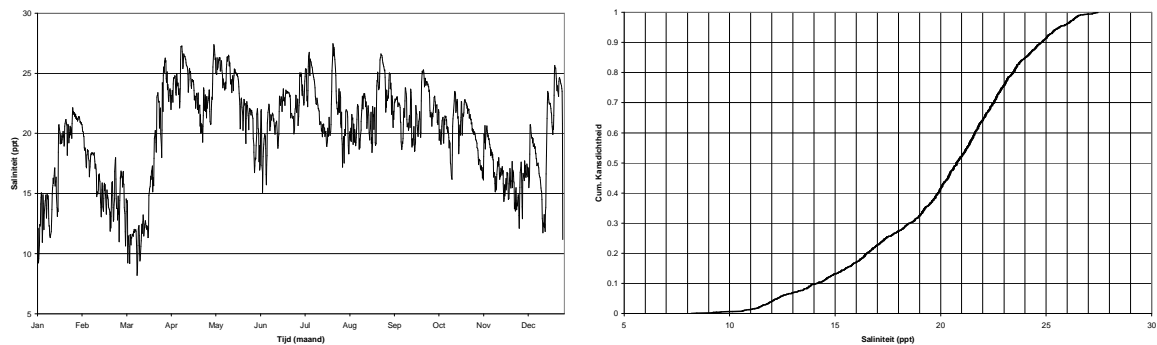
- Het maximaal aantal opeenvolgende dagen waarbij de zuurstofconcentratie minder is dan 2.8 mg l^{-1}
- De jaargemiddelde chlorofyl-a concentratie als indicator voor de hoeveelheid voedsel dat er gedurende het jaar aanwezig is.

Indicatoren voor geschiktheid voor mosselteelt zijn ook afgeleid voor de verschillende (10-, 50- en 90-) percentielen.

4.5 Resultaten

Een aantal voorbeelden worden in dit hoofdstuk gegeven waarmee de naverwerking van de modelresultaten wordt uitgelegd. De uiteindelijke consequenties voor mogelijk geschikte gebieden voor mosselteelt wordt op basis van alle beschikbare resultaten in Hoofdstuk 5 gepresenteerd.

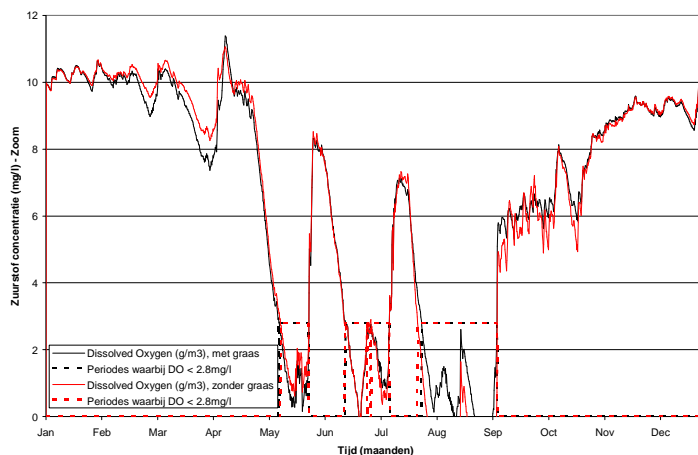
Voor de saliniteit is een voorbeeld hiervan weergegeven in Figuur 21.



Figuur 21 Saliniteitverloop in het Volkerak (oppervlakte op locatie MP) -links- en bijbehorende cumulatieve kansdichtheidverdeling -rechts

De van het tijdsverloop afgeleide cumulatieve kansdichtheidverdeling van het voorbeeld in Figuur 21 (locatie in MP in het Volkerak) geeft aan dat de saliniteit minder is dan 14 ppt gedurende 10% van de tijd, 20,7 ppt gedurende 50% van de tijd en 24,8 ppt gedurende 90% van de tijd.

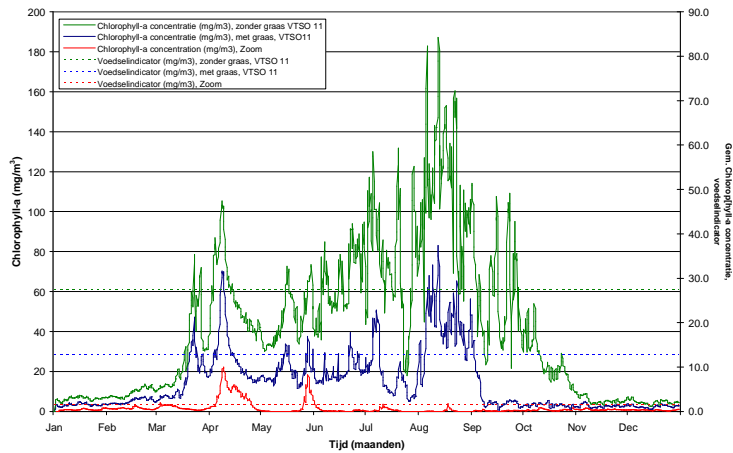
Een voorbeeld van het bepalen van het aaneengesloten aantal dagen waarbij de zuurstofconcentratie minder is dan $2,8 \text{ mg l}^{-1}$ is in Figuur 22 weergegeven.



Figuur 22: Zuurstofconcentratie bij de bodem in het Zoommeer met daarin periodes met minder dan $2,8 \text{ mg l}^{-1}$

Voor de zuurstofconcentratie in het Zoommeer (locatie Zoom – zie Figuur 18) zijn, in dit voorbeeld, drie periodes aan te geven met concentraties minder dan $2,8 \text{ mg l}^{-1}$. De laatste periode is echter de langste en dit wordt dan ook als de indicator in de geschiktheidbeoordeling voor deze locatie meegenomen. Zonder graas is de maximale duur met concentraties minder dan $2,8 \text{ mg l}^{-1}$ ongeveer 45 dagen en met graas is dit verminderd tot 42 dagen. Deze locatie is vanwege de duur van periodes met lage zuurstofconcentratie niet geschikt (zie Figuur 10).

De indicator voor de voedselbeschikbaarheid is de jaargemiddelde Chlorofyl-a concentratie. Een voorbeeld hiervan voor twee locaties (Volkerak VTSO11 en Zoommeer) is weergegeven in Figuur 23.



Figuur 23: Chlorofyl-a concentratie (mg m^{-3}) en de gemiddelde concentratie als voedselbeschikbaarheidsindicator.

Uit het voorbeeld van Figuur 23 is af te leiden dat de gemiddelde Chlorofyl-a concentratie in het Volkerak (VTSO 11) zonder graas ongeveer $27,5 \text{ mg m}^{-3}$ is en met graas ongeveer 13 mg m^{-3} is. Dit laatste is bijna een factor 10 hoger dan voor het Zoommeer (met graas, locatie Zoom). Op die eerste locatie is dus potentieel meer voedsel beschikbaar en is volgens Figuur 14 aanzienlijk geschikter voor bodemcultuur. Locatie Zoom is ongeveer 14,2 m diep terwijl locatie VTSO 11 in het Volkerak ongeveer 9,8 m diep is. Volgens de geschiktheidscurve van Figuur 6 Voor een bodemcultuur is de locatie Zoom minder geschikt dan locatie VTSO 11. Wat deze twee indicatoren betreft, is locatie VTSO 11 in het Volkerak aanzienlijk geschikter voor een mogelijke bodemcultuur dan locatie Zoom in het Zoommeer. Deze laatste locatie was al ongeschikt bevonden door de lage zuurstofconcentraties.

Alle statistieken en uit de modelresultaten gegenereerde gegevens zijn afgeleid voor elke bodem en oppervlakte segment (gridcel) hetgeen een volledig ruimtelijk beeld geeft van deze indicatoren.

Alle resultaten zijn vervolgens geconverteerd in shapefiles die als invoer zijn gebruikt voor de afleiding van een kanskaart voor mosselcultuur.

5 Kansenkaart voor mosselcultuur

5.1 Methode

De kansenkaarten zijn gegenereerd met behulp van het GIS PCRaster (PCRasterTeam, 2011). Ter voorbereiding zijn in ArcGIS zijn de shapefiles met omgevingscondities omgezet naar grid files met een resolutie van 20x20 meter. Deze kaarten zijn gemaakt voor de volgende variabelen:

- **Diepte:** Waterdiepte (m t.o.v. NAP)
- **Zuurstof:** Aantal dagen aaneengesloten dat de zuurstofconcentratie lager is dan 2,8 mg l⁻¹.
- **Zout:** Minimum zoutgehalte (ppt)
- **Chla:** Gemiddelde concentratie Chlorofyl-*a* (µg l⁻¹) door het jaar heen.
- **Varen:** Kaart met vaarroutes en waterskigebieden. Er is een alternatieve kaart gemaakt waarbij alleen de vaarroutes zijn aangegeven en waarin de waterskigebieden zijn weggelaten.

Van iedere variabele is een partiële geschiktheidskaart gemaakt door de kennisregels (zie hoofdstuk 3) toe te passen op de achtergrondkaarten. De uiteindelijke kansenkaart is gemaakt door voor iedere gridcel de minimale waarde van de partiële geschiktheden uit te rekenen:

$$P_{bodem} = \min(p_{diepte,bodem}, p_{zuurstof}, p_{zout}, p_{Chla}, p_{varen})$$

$$P_{MZI} = \min(p_{diepte,MZI}, p_{zout}, p_{Chla}, p_{varen})$$

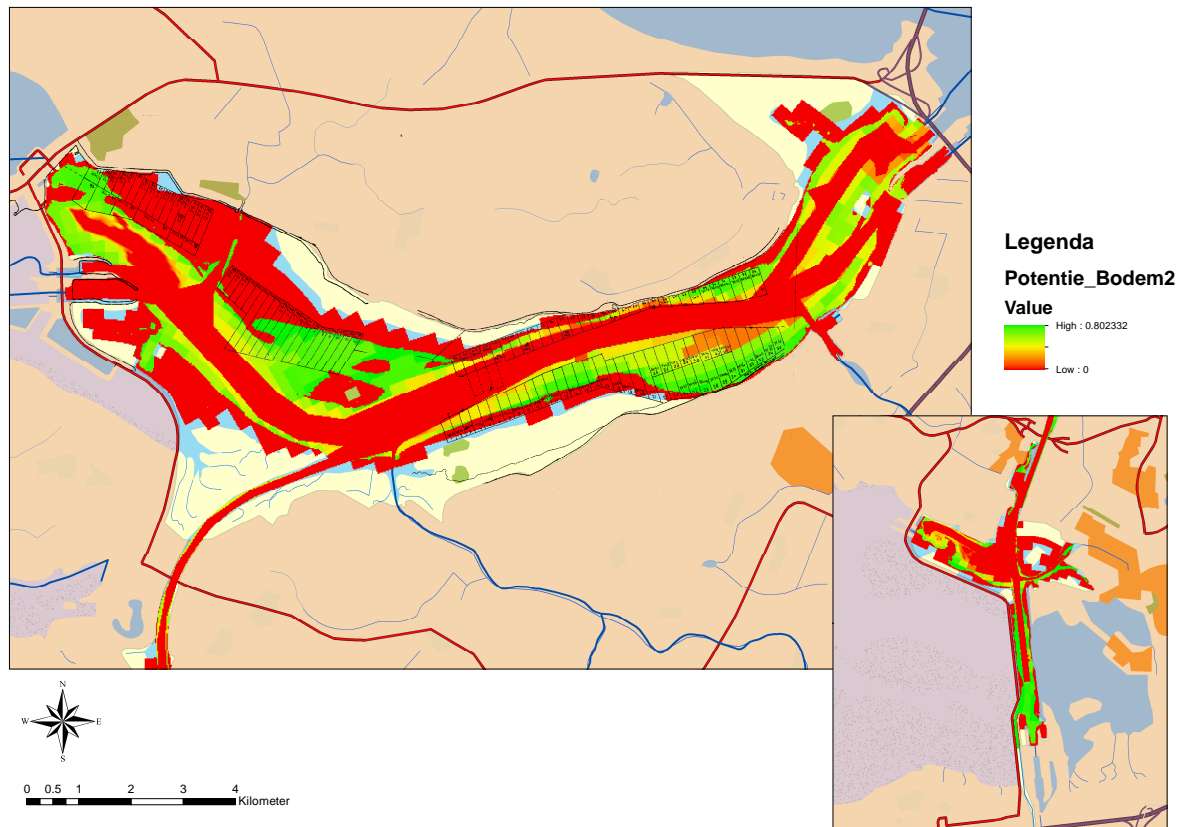
Waarbij P_{bodem} en P_{MZI} zijn de potenties van een locatie voor respectievelijk bodemcultuur en MZI's. p_{diepte} , $p_{zuurstof}$, p_{zout} , p_{Chla} en p_{varen} zijn de partiële geschiktheden op basis van de individuele abiotische condities.

5.2 Resultaten

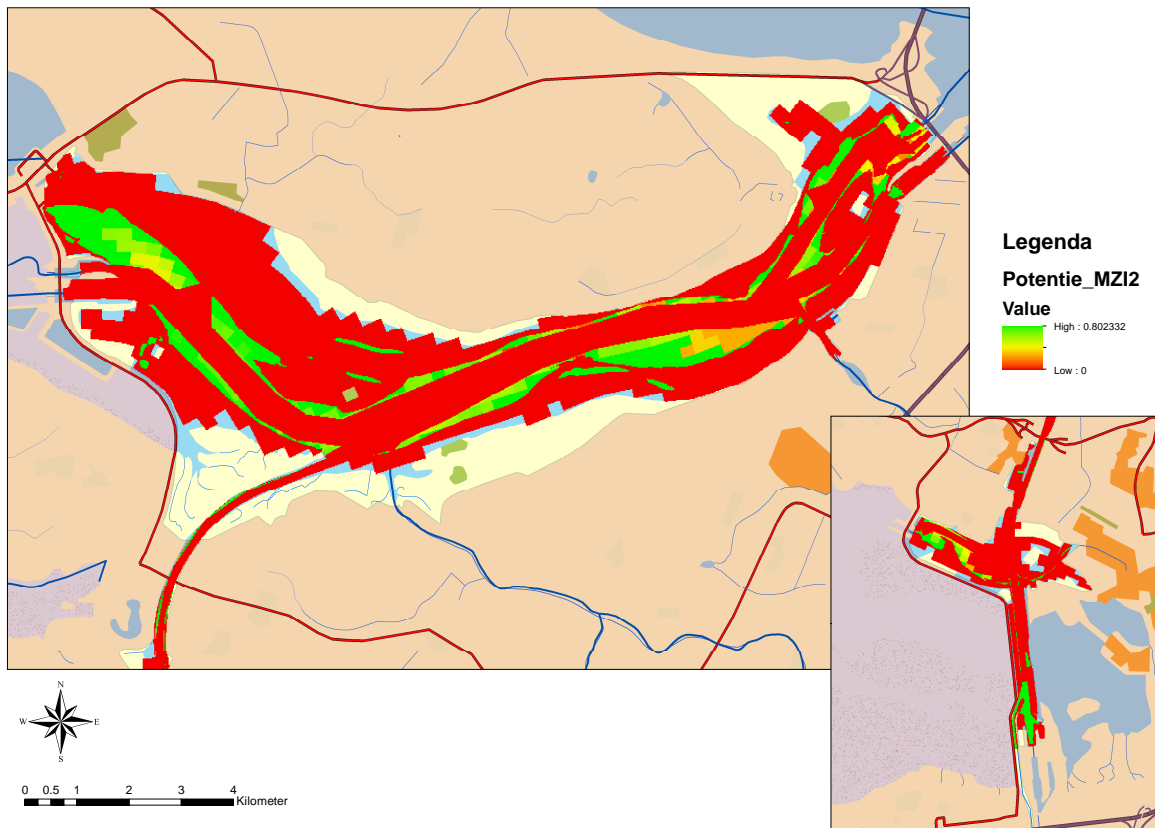
De potenties van het Volkerak-Zoommeer voor de bodemcultuur en MZI's zijn weergegeven in respectievelijk Figuur 24 en Figuur 25. In totaal is er 2037 ha geschikt voor bodemcultuur van mosselen en is er 979 ha geschikt voor MZI's. Er is bij deze kansenkaarten geen rekening gehouden met de aanwezigheid van de waterskigebieden. In bijlage A zijn ook kansenkaarten gepresenteerd waar wel rekening is gehouden met de ligging van de waterski gebieden. De oppervlakten aan geschikt gebied voor bodemcultuur en MZI's zijn hier respectievelijk 1878 en 860 ha.

Het Krammer-Volkerak is geschikter voor aquacultuur dan het Zoommeer. Een groot deel van het Zoommeer is ongeschikt vanwege de scheepvaart. Tevens zal er in de diepe delen van het Zoommeer zuurstofloosheid gaan optreden. De geschikte gebieden voor bodemcultuur in het Krammer-Volkerak komen overeen met de ligging van de kweekpercelen voor de afsluiting (Figuur 24). In het westelijk deel (voormalige Krammerse slikken) is een gebied waar vroeger percelen lagen, maar waar het in de nieuwe situatie te ondiep is voor mosselcultuur. Omdat er slechts beperkt getij zal zijn in een zout Volkerak-Zoommeer zullen deze gebieden te ondiep blijven voor mosselkweek. Het gebied ten zuiden van de Krammerse slikken en rond de Noordplaat is wel geschikt voor mosselkweek. Het model voorspelt dat er ook mosselkweek mogelijk is aan de kant van Tholen, ten noordwesten van de Slikken van de Heen. Ook zijn er geschikte gebieden in het noordwesten in de buurt van de Volkeraksluizen. Echter in dit gebied kan zuurstofloosheid als gevolg van stratificatie een rol spelen. Een groot deel van het voor schelpdiercultuur geschikte gebied ligt aan de kust van Noord-Brabant (oostelijk van de Dintelse Gorzen). Met de huidige waterski activiteiten in dit gebied is het areaal geschikt gebied aanzienlijk minder.

Er is minder areaal in het zoute Volkerak-Zoommeer geschikt voor MZI's dan voor bodemcultuur. De geschikte gebieden voor MZI's beperken zich vaak tot smalle stroken. De ondiepe locaties zijn ongeschikt omdat de MZI's de bodem raken en de diepe locaties zijn ongeschikt vanwege de scheepvaart activiteiten. Er is wel een relatief groot gebied dat geschikt is voor MZI's in het westen tegen de Philipsdam aan en ten noordoosten van de Dintelse Gorzen.



Figuur 24: Kansenkaart voor bodemcultuur in het Volkerak-Zoommeer. Op de kansenkaart is ook de ligging van de mosselpercelen (ca 1970), voor de afsluiting ingetekend. Hierbij is geen rekening gehouden met de ligging van de waterski gebieden.



Figuur 25: Kanskaart voor MZI's in het Volkerak-Zoommeer. Hierbij is geen rekening gehouden met de ligging van de waterski gebieden.

6 Conclusies en Discussie

6.1 Potenties voor mossel- en oestercultuur op de bodem

In totaal is er in een zout Volkerak-Zoommeer een areaal van ruim 2000 ha in potentie geschikt voor bodemcultuur van schelpdieren. De locaties komen in grote lijnen overeen met de ligging van de percelen in het gebied voor de afsluiting. Het areaal aan percelen in de historische situatie was 622 ha. Omdat de geschikte locaties versnipperd liggen over het hele gebied zullen zal het werkelijk bruikbare gebied kleiner zijn. In de analyse naar de draagkracht van het zoute Volkerak-Zoommeer voor mosselcultuur (De Vries et al., 2008) is uitgegaan van een oppervlakte aan percelen van 300 ha in het Krammer-Volkerak en 100 ha in het Zoommeer. Op basis van de huidige analyse kan worden geconcludeerd dat dit oppervlak wellicht niet in het Zoommeer is te vinden, maar wel in het Krammer-Volkerak. Een totaal oppervlak van 2000 ha aan percelen kan leiden tot een opbrengst van 30×10^6 kg jaar⁻¹, uitgaande van een gebruiksefficiëntie van 15% en een opbrengst van 10 kg m⁻². Dit is een absoluut maximum waarbij geen rekening is gehouden met draagkracht van het systeem en de ruimtelijke ligging van de geschikte gebieden.

Het is te verwachten dat een zout Krammer-Volkerak voornamelijk een rol kan gaan spelen als gebied voor mosselzaad en halfwas mosselen. De relatief beschutte ligging en de aanvoer van zoetwater beschermen de mosselen tegen wegspoelen en predatie. Van oudsher was het gebied ook voornamelijk van belang als overleef gebied. De stroomsnelheden kunnen mogelijk wel een beperkende factor zijn. Waterbeweging is een belangrijke randvoorwaarde om het voedsel naar het schelpdier te transporteren. Zonder waterbeweging zal het schelpdier de algen in zijn directe omgeving uitputten. De lage stroomsnelheden in het Grevelingenmeer bijvoorbeeld maken het gebied minder geschikt voor mosselcultuur in vergelijking tot de Oosterschelde. Oestercultuur is echter wel mogelijk omdat dit minder eisen stelt aan de voedselbeschikbaarheid dan mosselkweek.

6.2 Potenties voor MZI's

Het areaal aan geschikt gebied voor MZI's is aanzienlijk minder dan voor bodemkweek. Interessant is dat er in het westelijk deel van de Krammer een relatief groot, diep gebied ligt dat in potentie geschikt is voor MZI's maar, vanwege de diepte, ongeschikt voor bodemcultuur. Verderop in het Krammer-Volkerak langs de geulen zijn ook nog gebieden te vinden die geschikt zijn voor MZI's.

6.3 Zuurstofloosheid

Doordat het Volkerak-Zoommeer een relatief stagnant meer is bestaat het risico op stratificatie en daarmee zuurstofloosheid bij de bodem. De zuurstofloosheid ontstaat als er onvoldoende uitwisseling is tussen de bovenste waterlagen, waar zuurstof wordt geproduceerd door algen, en de diepe waterlagen, waar afbraakprocessen zuurstof verbruiken. De stratificatie in het zoute Volkerak-Zoommeer ontstaat voornamelijk in de zomerperiode (mei tot september) en beperkt zich voornamelijk tot de diepere delen van het oostelijk deel van het Volkerak en het Zoommeer nabij de Bergse Diepsluis. De stratificatie, en daarmee de zuurstofloosheid bij de bodem, kan tijdelijk worden opgeheven als het harder gaat waaien. In het najaar (september), als de temperatuur van het water afneemt wordt de stratificatie volledig opgeheven.

Perioden van zuurstofloosheid zijn een bedreiging voor de bodemcultuur. Zuurstofloosheid is niet direct fataal voor de mosselen en oesters omdat ze kunnen overschakelen op een anaerobe ademhaling (afhankelijk van de temperatuur ongeveer 30 - 35 dagen (deZwaan and Eertman, 1996)). Dit komt echter de groei van de mosselen niet ten goede.

6.4 Discussie

In deze studie zijn potentiële geschiktheidskaarten voor bodemcultuur en MZI's in een zout Volkerak-Zoommeer gemaakt. De kaarten zijn gebaseerd op een mogelijke toekomstige situatie in een zout Volkerak-Zoommeer. Hierbij is ondermeer gebruik gemaakt van modelberekeningen met het Delft-3D model. Er is daarbij uitgegaan van een bepaald scenario waarbij er zout water via de Philipsdam (vanuit het Grevelingen) en via de Oesterdam (vanuit de Oosterschelde) wordt ingelaten, met een totaal van $180 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Het is niet duidelijk of er in het geval van een zout Volkerak-Zoommeer gekozen zal worden voor deze variant. Een andere variant kan de situatie op het gebied van waterkwaliteit veranderen. Omdat de waterbeweging in het Volkerak-Zoommeer voor een groot deel windgedreven is kunnen weersinvloeden ook een sterke invloed hebben op de (jaar tot jaar fluctuatie in) waterkwaliteit. Van andere variabelen zoals waterdiepte, vaarwegen en waterski gebieden is aangenomen dat deze gelijk zullen blijven aan de huidige situatie. Een doorlaatmiddel met het Grevelingenmeer zal er toe kunnen leiden dat er ook in het westelijk deel van de Krammer een vaarroute (voor recreatieve vaart) komt. De diepte kaart zal gezien de beperkte waterstroming niet veel veranderen.

In de analyse is geen rekening gehouden met bodemgesteldheid en recreatie- en natuurfuncties. Op dit moment zijn er een aantal natuurgebieden op de voormalige slikken en platen van het Volkerak-Zoommeer. Deze zouden in potentie kunnen worden verstoord door de mosselboten. In een zout Volkerak-Zoommeer zullen de natuurfuncties mogelijk gaan veranderen. De zoete ruigten en bos zullen grotendeels behouden blijven maar er komen nieuwe zoute habitats bij zoals mogelijk zeegras langs de oude schorren (Meijers et al., 2008). Dit zal mogelijk beperkingen kunnen opleveren voor visserijactiviteiten. Ook bodemgesteldheid, zowel fysiek als chemisch, kan van belang zijn voor de mossel- en oestercultuur. Door de stagnante situatie sinds de afsluiting is er fijn materiaal naar de bodem, in het bijzonder de geulen gezakt. Als er een hele dikke laag slik op de bodem van een perceel ligt zullen de mosselen erin wegzakken als deze worden uitgezaaid. In de Oosterschelde maken de kwekers de mosselpercelen vaak schoon alvorens ze de mosselen erop uitzaaien.

In deze studie is er van uitgegaan dat de algen die in het zoute Volkerak-Zoommeer van dezelfde kwaliteit zijn als voedsel voor de schelpdieren dan de algen in de Oosterschelde. Dit hoeft niet noodzakelijk het geval te zijn. De nutriënten verhouding (N/P/Si) in het Volkerak-Zoommeer zal anders zijn dan in de Oosterschelde. Het is mogelijk dat als gevolg hiervan de algen een andere geschiktheid hebben voor mosselen. Het kleine picoplankton ($< 3 \mu\text{m}$) en ook zeesla kan bijvoorbeeld niet (goed) worden gefilterd door de mosselen en oesters, en mogelijk ontstaan er ook schadelijke algen. De samenstelling van de algen in het zoute Volkerak-Zoommeer is echter moeilijk te voorspellen en was ook geen onderwerp van deze studie.

De kennisregels die zijn gehanteerd in deze studie zijn gebaseerd op expert judgement. De kennisregels zijn zo eenvoudig mogelijk gehouden, maar in werkelijk kan het complexer zijn. Ook de combinatie van de kennisregels kan complexer zijn dan hier gebruikt (minimale waarde van de partiële geschiktheden). De kaarten die zijn gegenereerd moeten dan ook gezien worden als **potentiële** geschiktheidskaarten. Eén van de parameters bijvoorbeeld die beperkend kunnen zijn in het zoute Volkerak-Zoommeer is de waterbeweging. Met de waterbeweging worden de algen naar de schelpdieren toegebracht. De lage stroomsnelheden in het Volkerak-Zoommeer kunnen mogelijk beperkend zijn voor de voedselbeschikbaarheid van de kweekmosselen.

Het is te verwachten dat een zout Volkerak-Zoommeer ook een geschikt leefgebied zal zijn voor exoten zoals de Japanse oester (*Crassostrea gigas*), Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*) en Filippijnse tapijtshell (*Tapes philippinarum*). Als deze soorten Japanse zich daadwerkelijk succesvol kunnen vestigen en, net als op dit moment voor Japanse oesters en Amerikaanse zwaardschedes het geval is in

de Oosterschelde, kunnen uitgroeien tot grote bestanden zullen ze concurreren met de met de mosselteelt.

Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 57846-2009-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2012. 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 Milieu over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2013 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

Referenties

- Broderie, P., Groot, S., Hulsbergen, R., Los, F.J., Meijers, E., 2007. Resultaten scenario-berekeningen met het 2D en 3D-blauwalgenmodel voor het Volkerak, Krammer en Zoommeer. Planstudie waterkwaliteit Volkerak-Zoommeer. WL | Delft Hydraulics, Q4015.00, 83 p.
- De Vries, I., Wijsman, J.W.M., Smaal, A.C., 2008. Memo: Quick scan naar de draagkracht van een toekomstig zout VZM voor schelpdierkweek. Deltares, 4 p.
- deZwaan, A., Eertman, R.H.M., 1996. Anoxic or aerial survival of bivalves and other euryoxic invertebrates as a useful response to environmental stress - A comprehensive review. *Comparative Biochemistry and Physiology C-Pharmacology Toxicology & Endocrinology* 113, 299-312.
- Fokker, A.J.F., 1904. Onderzoek naar den toestand van oester- en mosselkweek- en bewaarplaatsen in Zeeland. Bestuur der Visscherijen op de Schelde en Zeeuwsche Stroomen.
- Holzauer, H., Haas, H.A., Tosserams, M., 2006. Kansen in de Delta. Globale indicatie van kansen voor gebruikers van de Delta bij het herstel van estuariene dynamiek. RIKZ/RIZA, RIKZ/ZDA/2006.806.w, 72 p.
- Keizer, A., Liefting, M., 2010. Waterberging Volkerak-Zoommeer Scheepvaart, landbouw en visserij. DHV, 63 p.
- Kerremans, K., 2010. Kansen voor een verzilt Volkerak. Meer met natuurlijke dynamiek. NHTV, Internationale hogeschool Breda, Ruimtelijke Ordening en Planologie, 57 p.
- Liefting, M., 2010. Rapport Effecten Natuur. Toetsing effecten waterberging Volkerak-Zoommeer. DHV, 115 p.
- Los, F.J., 2009. Eco-hydrodynamic modeling of primary production in coastal waters and lakes using BLOOM. Wageningen University, 276 p.
- Meijers, E., Groot, S., Haasnoot, M., Van Wesenbeeck, B., De Vries, I., 2008. Waterkwaliteit en ecotopen in een zout Volkerak-Zoommeer. Planstudie Volkerak-Zoommeer. Deltares, 66 p.
- PCRasterTeam, 2011. PCRaster Documentation Release 3.0.1. 330 p.
- Schneider, O., Wijsman, J.W.M., Steenbergen, J., Smaal, A.C., 2006. Vissen in het zout Een quickscan naar de gevolgen van het alternatief "zout" voor de visserij en schelpdiercultuur in het Volkerak Zoommeer. IMARES, C069/06, 25 p.
- Schuilting, E., Smaal, A.C., 1998. Het zoet in de pap. Een literatuurstudie naar de effecten van verhoogde zoetwatertoevoer op commercieel belangrijke soorten in de Oosterschelde. RIVO-DLO, C041/98, 47 p.
- Sliepen, H., Tosserams, M.W.A., 2003. Verkenning oplossingsrichtingen Volkerak Zoommeer. Projectteam Verkenning oplossingsrichtingen Volkerak-Zoommeer, 42 p.
- Steenbergen, J., 2004. Het effect van sterk wisselende zoutgehalten op het benthos in de Westerschelde en de Haringvlietmonding. RIVO, C075/04, 39 p.
- Troost, K., Van Hulzen, H., 2009. Doelendocument Natura 2000 Deltagebied. Uitwerking van Natura 2000 waarden in omvang, ruimte en tijd. 233 p.
- Troost, T.A., Wijsman, J.W.M., Saraiva, S., Freitas, V., 2010. Modeling shellfish growth with Dynamic Energy Budget models: an application for cockles and mussels in the Oosterschelde (SW Netherlands). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 365, 3567-3577.
- Van Broekhoven, B.J.L., 2010. Alternatieve gronden. Verkenning naar potentiële vrije locaties voor de bodemkweek van mosselen in de Oosterschelde. RWS Directie Zeeland, 35 p.
- Van Duren, L., Boers, P., De Vries, I., 2006. Is there a green solution for a blue-green problem leading to clear blue water? Results of the expert evaluation of model calculations on management scenarios to eradicate cyanobacteria from the Volkerak - Zoommeer area. WL | delft Hydraulics, 68 p.
- Wijsman, J.W.M., 2002. Stratificatie en zuurstofdeficiëntie in het Grevelingenmeer. RIKZ Middelburg, RIKZ/AB/2002.819X, 64 p.
- Wijsman, J.W.M., 2007. Effecten van zandhonger in de Oosterschelde op kokkels, oesters en de kweek van oesters en mosselen. IMARES, C002/07, 28 p.
- Wijsman, J.W.M., Smaal, A.C., 2011. Growth of cockles (*Cerastoderma edule*) in the Oosterschelde described by a Dynamic Energy Budget model. *J. Sea Res.* 66, 372-380.

Verantwoording

Rapport C180/11a
Projectnummer: 11430134

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

Akkoord: A.C. Smaal
Senior onderzoeker IMARES

Handtekening:



Datum: 2 februari 2012

A.J. Nolte
Senior onderzoeker Deltares



30 januari 2012

Akkoord: Dr. B.D. Dauwe
Afdelingshoofd

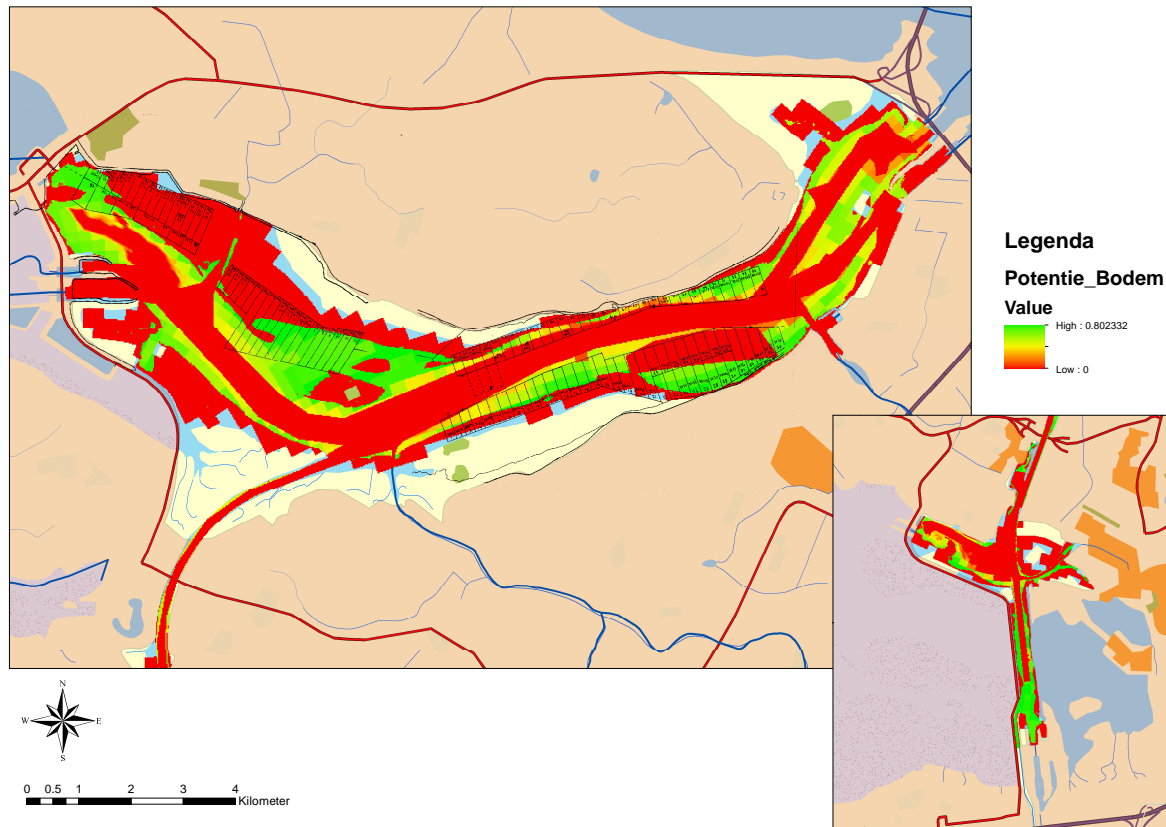
Handtekening:



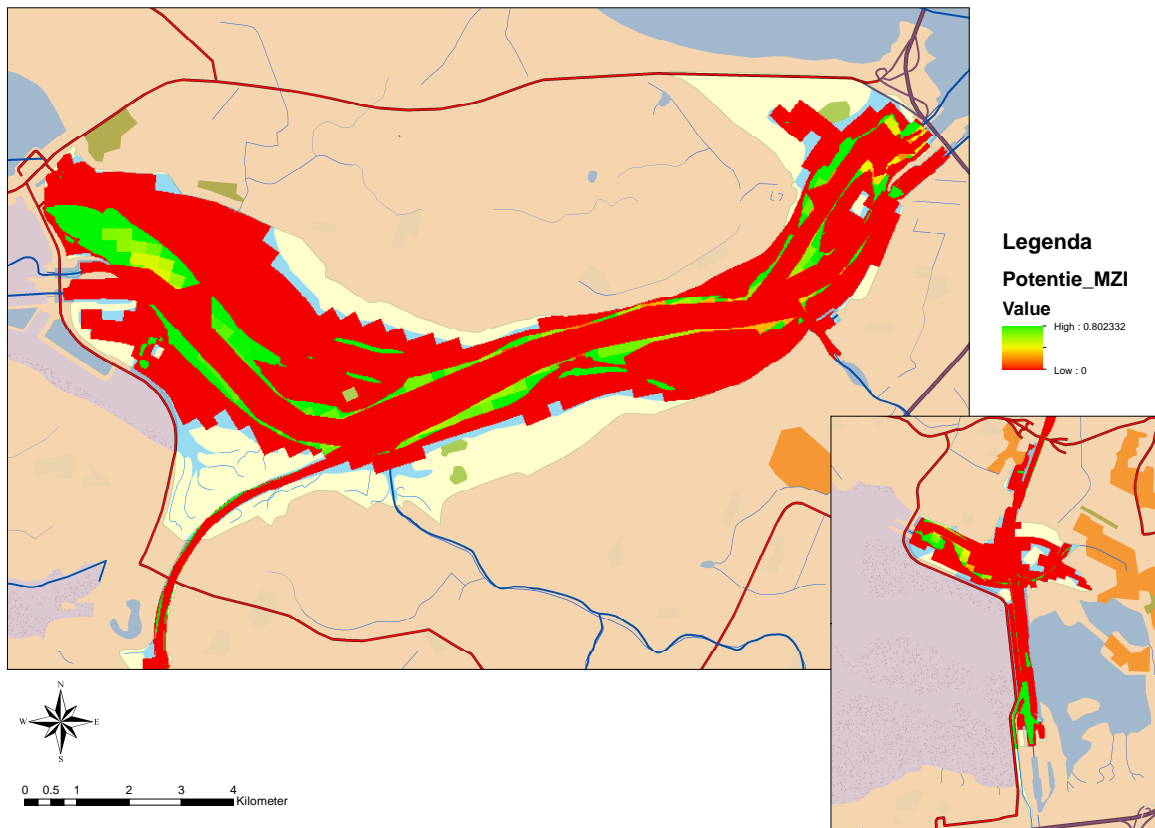
Datum: 2 februari 2012

Bijlage A. Potentiële geschiktheden met waterski gebied

In het Krammer-Volkerak ligt een waterski gebied in een gebied dat in potentie geschikt is voor bodemcultuur (en MZI). In de analyse is ervan uitgegaan dat deze vorm van gebruik niet zal plaatsvinden in een zout Krammer-Volkerak. Onderstaande kansenkaarten geven de situatie waarbij het waterski gebied wél gehandhaafd blijft op deze locatie.

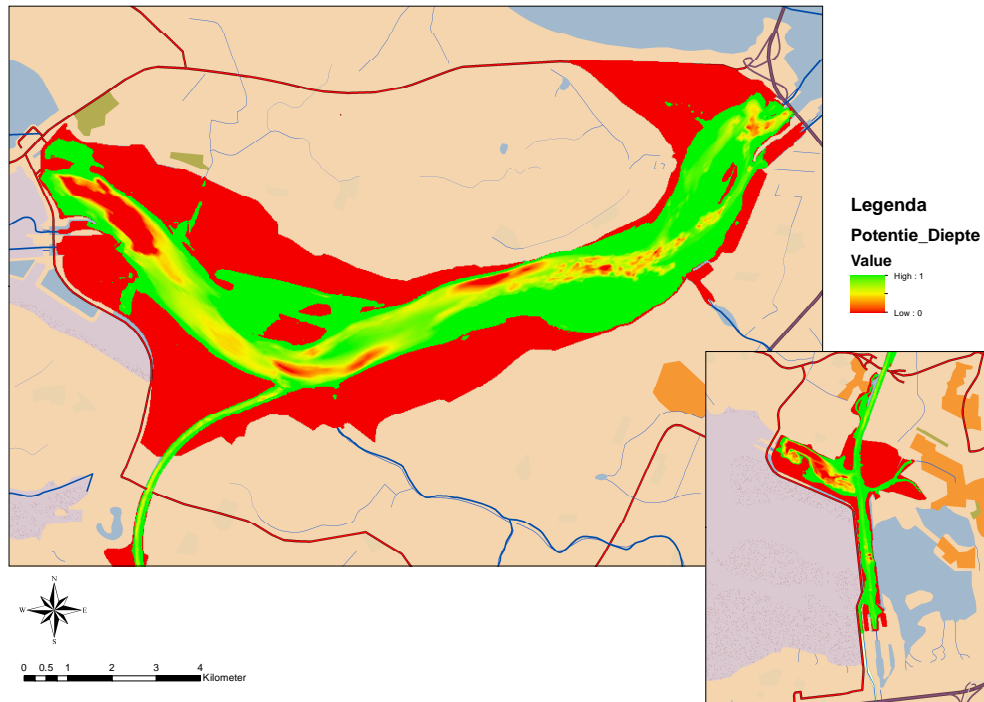


Figuur 26: Kansenkaart voor bodemcultuur in het Volkerak-Zoommeer in het geval dat de huidige waterskigebieden worden gehandhaafd. Op de kansenkaart is ook de ligging van de mosselpercelen (ca 1970), voor de afsluiting ingetekend.

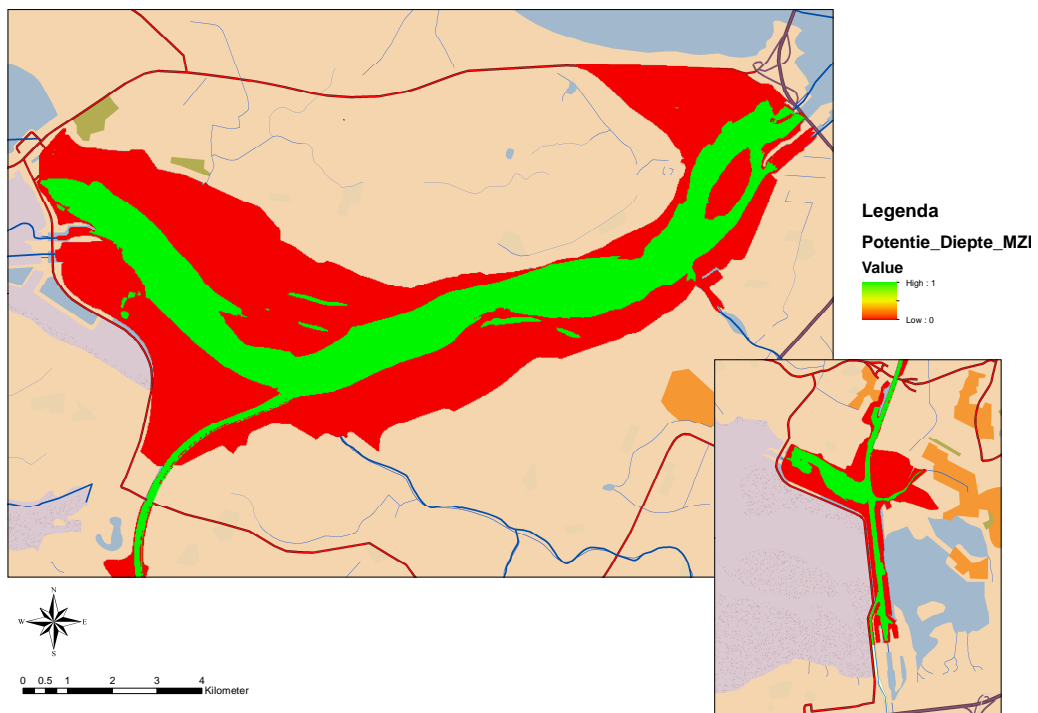


Figuur 27: Kansenkaart voor MZI in het Volkerak-Zoommeer in het geval dat de huidige waterskigebieden worden gehandhaafd.

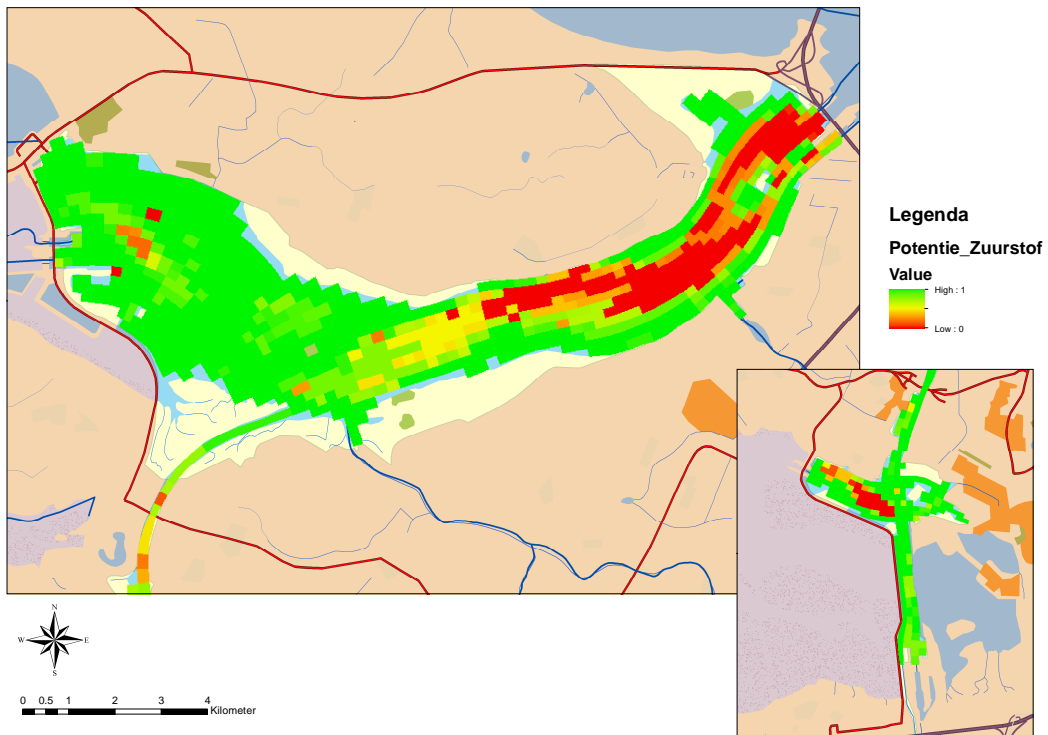
Bijlage B. Partiële geschiktheden



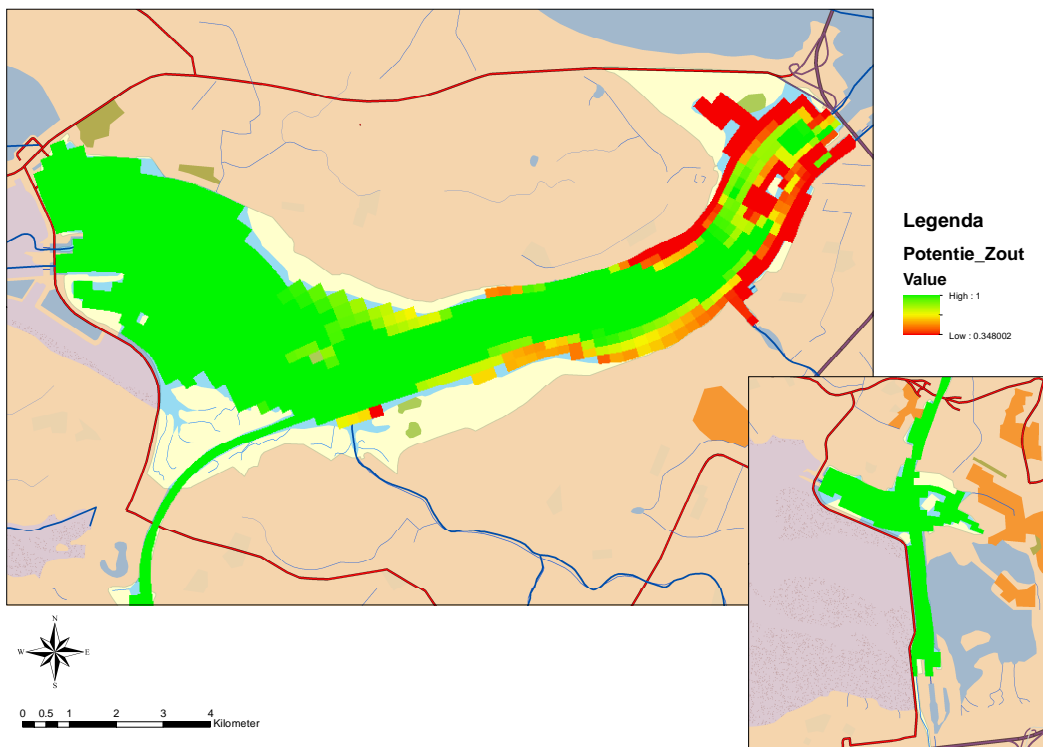
Figuur 28: Partiële geschiktheid Volkerak-Zoommeer voor bodemcultuur op basis van de diepte.



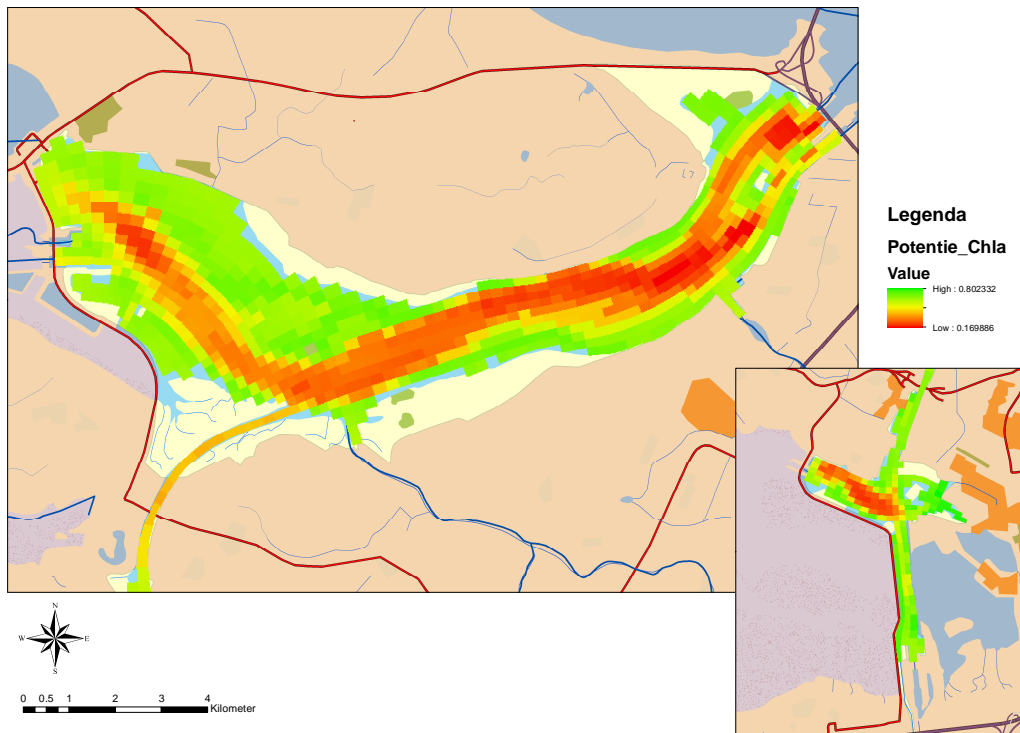
Figuur 29: Partiële geschiktheid Volkerak-Zoommeer voor MZI's op basis van diepte.



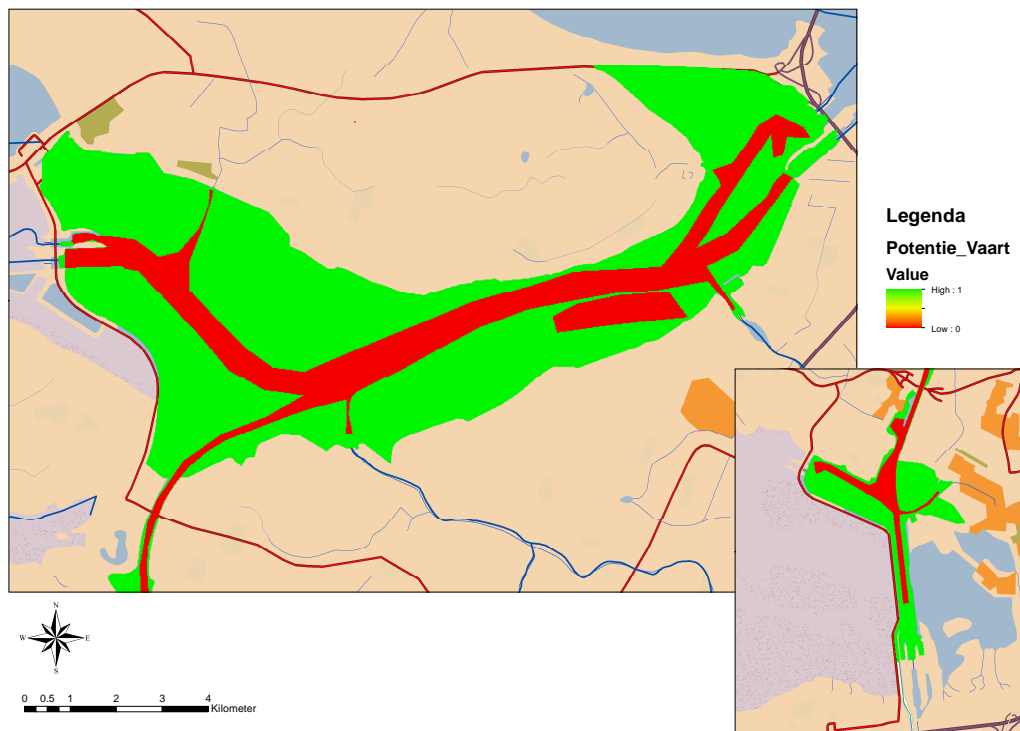
Figuur 30: Partiële geschiktheid Volkerak-Zoommeer voor bodemcultuur op basis van het optreden van zuurstofdepletie bij de bodem



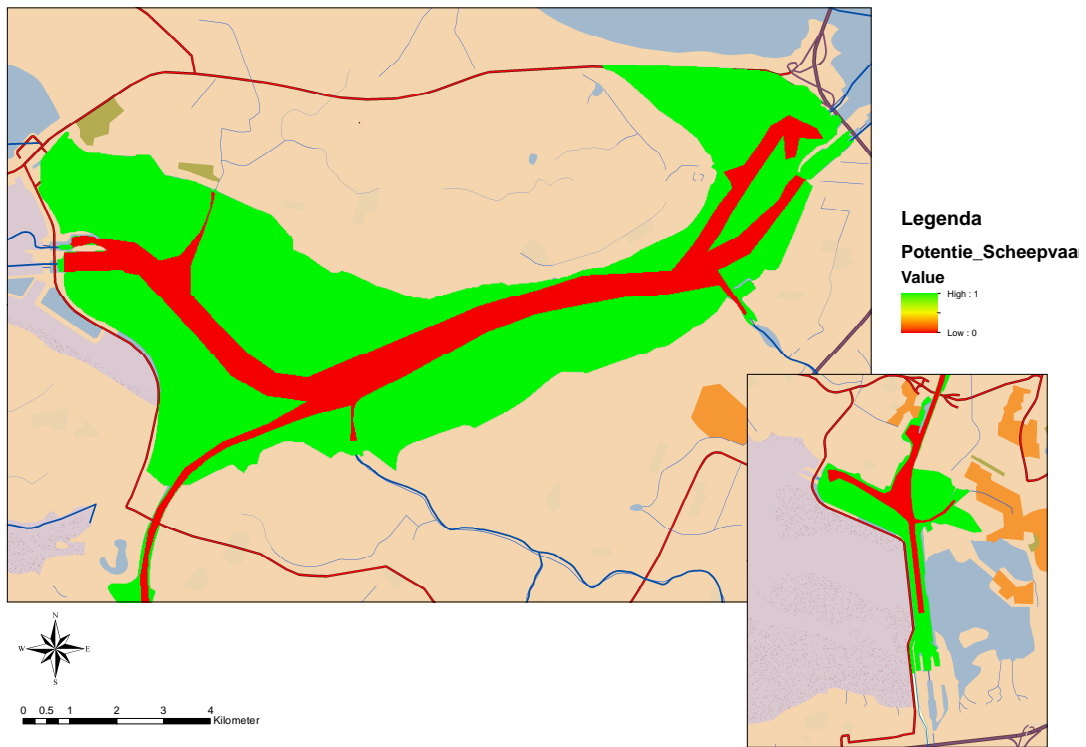
Figuur 31: Partiële geschiktheid Volkerak-Zoommeer voor bodemcultuur en MZI op basis van het zoutgehalte.



Figuur 32: Partiële geschiktheid Volkerak-Zoommeer voor bodemcultuur en MZI op basis van de gemiddelde Chlorofyl-a concentratie.



Figuur 33: Partiële geschiktheid Volkerak-Zoommeer voor bodemcultuur en MZI op basis scheepvaart en waterski gebieden.



Figuur 34: Partiële geschiktheid Volkerak-Zoommeer voor bodemcultuur en MZI op basis van scheepvaart (waterski gebieden zijn hier buiten beschouwing gelaten).