



# Geschiktheid Grevelingenmeer voor filtrerende en bodemetende bodemdieren

Validatie geschiktheidskaarten aan de hand van MWTL-gegevens

Auteur(s): Jeroen Wijsman en Alilcia Hamer

Wageningen University &  
Research rapport C038/24

# Geschiktheid Grevelingenmeer voor filtrerende en bodemetende bodemdieren

Validatie geschiktheidskaarten aan de hand van MWTL-gegevens

Auteur(s)      Jeroen Wijsman en Alicia Hamer

Wageningen Marine Research  
Yerseke, juni 2024

---

Wageningen Marine Research rapport C038/24

---

Jeroen Wijsman en Alicia Hamer, 2024. *Geschiktheid Grevelingenmeer voor filtrerende en bodemetende bodemdieren; Validatie geschiktheidskaarten aan de hand van MWTL-gegevens*. Wageningen, Wageningen Marine Research, Wageningen Marine Research rapport C038/24.

Keywords: Geschiktheid, filterfeeders, depositfeeders

Opdrachtgever Rijkswaterstaat  
T.a.v.: Paul Paulus  
Poelendaelesingel 18  
4335 JA Middelburg

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/660663>  
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut binnen de  
rechtspersoon Stichting Wageningen Research,  
hierbij vertegenwoordigd door  
Drs. ir. M.T. van Manen, directeur bedrijfsvoering

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

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor  
gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de  
resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen  
Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van  
aanspraken van derden in verband met deze toepassing.  
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of  
gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt  
worden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A\_4\_3\_1 V33 (2023)

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1 Achtergrond	5
1.2 Herstel getij Grevelingenmeer	5
1.3 Doelstelling en aanpak	6
<b>2 Materiaal en methoden</b>	<b>7</b>
2.1 Geschiktheidskaarten	7
2.2 Monitoringsdata macrofauna	8
2.3 Verwerking gegevens	10
2.4 Statistische analyses	11
2.4.1 Regressies totale dichtheden, biomassa's en aantal taxa	11
2.4.2 Logistische regressies individuele taxa	11
<b>3 Resultaten</b>	<b>12</b>
3.1 Ontwikkelingen over de tijd	12
3.2 Relatie geschiktheid bodemetende- en geschiktheid filtrerende bodemdieren	14
3.3 Regressies totale dichtheden, biomassa's en aantal taxa	15
3.4 Logistische regressies individuele taxa	18
<b>4 Conclusies en discussie</b>	<b>23</b>
<b>5 Kwaliteitsborging</b>	<b>25</b>
<b>Literatuur</b>	<b>26</b>
<b>Verantwoording</b>	<b>28</b>

---

# Samenvatting

Om de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer te verbeteren zijn er plannen om de wateruitwisseling met de Noordzee te vergroten. In 2022 is er door Deltares en Wageningen Marine Research onderzocht wat de effecten zijn van een vergroting van de wateruitwisseling met de Noordzee op de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer. Er zijn in die studie zes verschillende situaties met elkaar vergeleken op basis van een zestal indicatoren. Twee van deze indicatoren, geschiktheid voor filtrerende bodemdieren en geschiktheid voor bodemetende bodemdieren, waren specifiek voor die studie ontwikkeld op basis van theoretische modellen die de berekende waterkwaliteit vertalen naar potentiële geschiktheid voor beide functionele groepen van bodemdieren. In deze relaties is de potentiële geschiktheid voor filtrerende bodemdieren afgeleid uit de chlorofyl-*a* concentratie, de stroomsnelheid en de zuurstofcondities in het water en de geschiktheid voor bodemetende bodemdieren is afgeleid uit de sedimentatie van organisch materiaal naar de bodem en de zuurstofcondities in het water. De indicatoren vatten daarmee meerdere modelvariabelen samen tot twee getallen die iets moeten zeggen over de waterkwaliteit. Er was binnen het project echter geen ruimte om de indicatoren te valideren aan de hand van empirische gegevens waardoor niet kon worden aangetoond hoe representatief de potentiële geschiktheidskaarten waren voor het voorkomen van beide groepen bodemdieren in de huidige situatie.

In voorliggende studie zijn de potentiële geschiktheidskaarten van filtrerende en bodemetende bodemdieren gevalideerd aan de hand van gegevens van de verspreiding van bodemdieren (MWTl-gegevens). De monitoringslocaties uit het MWTl-programma in het Grevelingenmeer zijn daarbij gekoppeld aan de kaarten met de potentiële geschiktheden voor bodemetende en filtrerende bodemdieren. Door middel van regressieanalyses is onderzocht wat de relaties zijn tussen de potentiële geschiktheidskaarten voor het voorkomen van filterende en bodemetende bodemdieren.

Over het algemeen tonen de analyses een significante, positieve relatie aan tussen geobserveerde dichtheid, biomassa en het aantal taxa per monster, en de potentiële geschiktheid. Echter het deel van de variantie dat wordt verklaard door de geschiktheid is beperkt en varieert tussen de 0.8% en 19.6%. Opvallend is daarbij de afname in biomassa van bodemeters bij toenemende potentiële geschiktheid voor deze groep. Logistische regressies laten zien dat potentiële geschiktheid een goede voorspeller kan zijn van de kans op voorkomen van een aantal soorten, maar niet alle soorten reageren op dezelfde manier op omgevingscondities die ten grondslag liggen aan de potentiële geschiktheid. Iedere soort heeft zijn eigen specifieke niche binnen de diversiteit aan habitats. Het is waarschijnlijk dat aanvullende omgevingsfactoren zoals sedimentsamenstelling en waterdiepte, die in de vorige studie niet zijn meegenomen bij de berekening van de potentiële geschiktheidsindices, van belang zijn voor de kwaliteit van het habitat voor een specifieke soort. Voor de evaluatie van de verschillende situaties, zoals gedaan is tijdens de studie in 2022, was dit geen probleem omdat factoren als sedimentsamenstelling en bathymetrie voor alle situaties gelijk zijn verondersteld. Echter voor het voorspellen van het voorkomen van bodemdiergemeenschappen is aanvullende informatie nodig.

De potentiële geschiktheidsindices blijken goed te werken als samenvattende indicatoren voor waterkwaliteit om verschillende situaties met elkaar te vergelijken en te evalueren. De indicatoren hebben echter maar een beperkte voorspellende waarde voor het voorkomen van bodemdieren. Met de beschikbaarheid van de MWTl-monitoringsdata en door gebruik te maken van meer omgevingsvariabelen is zeker een verbeteringslag mogelijk. Hiervoor zouden aanvullende regressieanalyses kunnen worden uitgevoerd waarbij additionele modelvariabelen en omgevingscondities worden meegenomen. Van belang is daarbij dat goed moet worden gedefinieerd hoe geschiktheid zich vertaalt naar een grootte die de bodemdiergemeenschap beschrijft. Dat kan zijn hoge biomassa, hoge dichtheid of hoge diversiteit, maar ook aan- of afwezigheid van specifieke doelsoorten.

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Het Grevelingenmeer is ontstaan als gevolg van de aanleg van de Grevelingendam (1964) en de Brouwersdam (1971). Door deze dammen is het getij verdwenen maar er is nog wel een beperkte uitwisseling van zoutwater met de Noordzee via de Brouwerssluis en met de Oosterschelde via de Flakkeese Spuisluis (Haas et al., 2006, Wetsteyn, 2011). Hierdoor wordt het zoutgehalte in het meer op peil gehouden. De beperkte waterbeweging en uitwisseling met de Noordzee in combinatie met de opwarming van de bovenste delen van de waterkolom leidt in de zomerperiode tot temperatuurstratificatie in de waterkolom en vervolgens tot zuurstofdepletie in de diepere delen van het meer (Wijsman, 2002). Organisch materiaal (e.g. algen) dat naar de bodem zakt hoopt zich op en wordt deels afgebroken door bacteriën waardoor het zuurstof wordt opgebruikt. Verspreid over de bodem van het Grevelingenmeer worden witte matten aangetroffen die veroorzaakt worden door zwavel bacteriën (Didderen en Driessen, 2017). Deze bacteriën zitten normaal gesproken dieper in de bodem maar komen aan de oppervlakte waar sulfide aan de oppervlakte komt, en zijn daarmee een indicator voor een slechte waterkwaliteit. In het najaar wordt de stratificatie weer opgeheven door de verlaging van de temperatuur in het water aan de oppervlakte en hogere turbulentie als gevolg van de toenemende wind. De volledige menging van de waterkolom resulteert dan tot het verdwijnen van de zuurstofdeficiëntie in de diepe putten (Wijsman, 2002).

## 1.2 Herstel getij Grevelingenmeer

Om de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer te verbeteren wordt er gekeken naar mogelijkheden en de effecten van een toename van de uitwisseling met de Noordzee (Ministerie I&W, 2020, Ministerie I&M, 2023). In 2022 is er door Deltares en Wageningen Marine Research een modelstudie uitgevoerd naar de effecten van een toename van de wateruitwisseling met de Noordzee op de waterkwaliteit en de bovenwaternatuur (Kleissen et al., 2022, Nolte et al., 2022, Van Der Heijden en Nolte, 2022, Wijsman et al., 2022b). In die studie zijn zes verschillende varianten doorgerekend. Om deze varianten kwantitatief met elkaar te kunnen vergelijken is er door Nolte et al. (2021) een set van zes indicatoren opgesteld die de toestand van het ecosysteem in het Grevelingenmeer beschrijven.

1. Zuurstofconcentratie in de waterkolom bij de waterbodem;
2. Gemiddelde zuurstof-indringdiepte in de waterbodem (zomerhalfjaar);
3. Geschiktheidsindex (kansenkaart) voor filtrerende bodemdieren;
4. Geschiktheidsindex (kansenkaart) voor bodemetende bodemdieren;
5. Habitatgeschiktheid vogels (broed- en foeragegebied);
6. Natura 2000 habitattypen en soorten,

De indicatoren 3 (geschiktheid filtrerende bodemdieren) en 4 (geschiktheid bodemetende bodemdieren) zijn ontwikkeld door Wijsman et al. (2022b) op basis van theoretische modellen. De indicatoren integreren een aantal waterkwaliteitsvariabelen met behulp van eenvoudige modellen en vatten deze samen in getallen die de (potentiële) geschiktheid moet weergeven voor respectievelijk filtrerende - en bodemetende bodemdieren. Op basis van de modelberekeningen zijn er voor de verschillende varianten gebiedsdekkende kaarten van potentiële geschiktheid gemaakt die met elkaar zijn vergeleken (Nolte et al., 2022, Wijsman et al., 2022b). Er was binnen het project echter geen ruimte om de potentiële geschiktheidskaarten te valideren en/of te verbeteren aan de hand van empirische gegevens waardoor niet kon worden aangetoond hoe representatief de potentiële geschiktheidskaarten waren voor het voorkomen van de verschillende groepen bodemdieren.

---

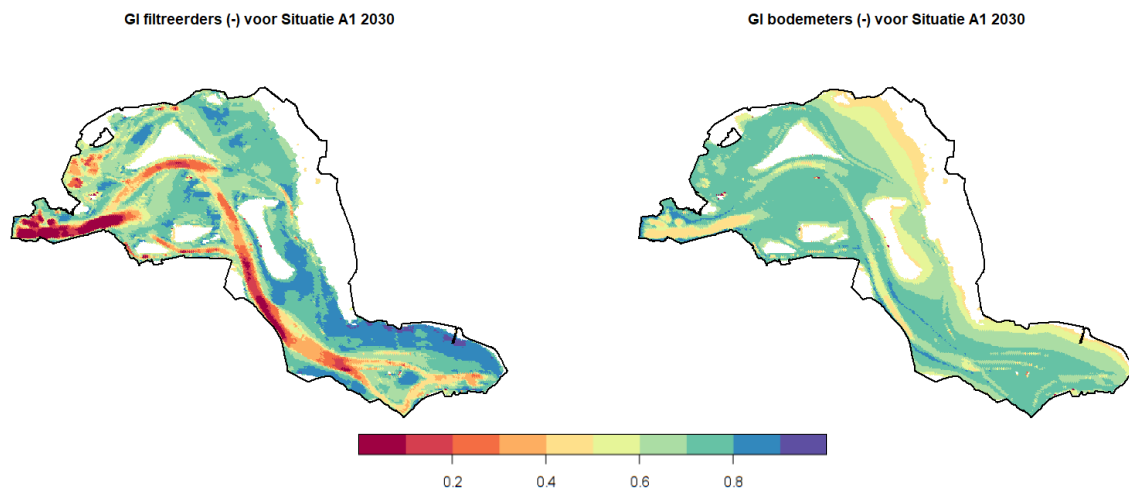
## 1.3 Doelstelling en aanpak

Het doel van voorliggende studie is om de geschiktheidskaarten van filterende en bodemetende bodemdieren te valideren aan de hand van gegevens van de verspreiding van bodemdieren (MWTL-gegevens) in het Grevelingenmeer. De monitoringslocaties uit de MWTL zijn hiervoor gekoppeld aan de kaarten met de potentiële geschiktheid voor bodemetende en filterende bodemdieren. Door middel van regressieanalyses is onderzocht wat de voorspellende waarde is van de potentiële geschiktheidskaarten voor het voorkomen van filterende en bodemetende bodemdieren.

## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Geschiktheidskaarten

De potentiële geschiktheidskaarten voor filtrerende en bodemetende bodemdieren zijn afkomstig uit Wijsman et al. (2022b). In voorliggend rapport zijn de kaarten voor de situatie A1 2030 gebruikt (huidige situatie met Flakkeese spuisluis) (Figuur 1). In de situatie A1 2030 voorspelt het model dat de minst geschikte gebieden voor filtrerders zich bevinden in de diepere delen van de geulen. De in potentie meest geschiktste delen zijn de ondiepere delen, vooral in het zuidoostelijk deel van het Grevelingenmeer. Ook voor bodemeters zijn de diepe geulen het minst geschikt, maar de geschiktheidsindex is wel iets hoger dan voor filtrerders. De ondiepe delen langs de Slikken van Flakkee en langs de randen van de eilanden hebben ook een lagere geschiktheid voor bodemeters (Figuur 1).



Figuur 1: Ruimtelijke verdeling potentiële geschiktheid voor filtrerders (links) en bodemeters (rechts) voor de variant A1 2030 (zie Wijsman et al., 2022b).

De potentiële geschiktheidsindices zijn afgeleid uit een aantal variabelen van de modelberekeningen die zijn uitgevoerd door Deltares. De geschiktheid voor filtrerende bodemdieren is berekend uit de volgende modelvariabelen, die in min- of meerdere mate aan elkaar zijn gecorreleerd (voor een uitgebreide beschrijving zie: Wijsman et al., 2022b):

- **Fytoplankton:** Jaargemiddelde chlorofyl-*a* concentratie ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) in onderste waterlaag in het model. Hoe hoger de chlorofyl concentratie (binnen de range van 2 – 8  $\mu\text{g l}^{-1}$ ) hoe geschikter het in potentie wordt voor filtrerende bodemdieren (<2  $\mu\text{g l}^{-1}$  is ongeschikt);
- **Stroomsnelheid** (jaargemiddelde,  $\text{m s}^{-1}$ ) in onderste waterlaag. Hoe sneller het water stroomt (binnen de range van 0.02 – 0.06  $\text{m s}^{-1}$ ), hoe geschikter het in potentie wordt voor filtrerende bodemdieren (<0.02  $\text{m s}^{-1}$  is ongeschikt);
- **O<sub>2</sub>\_zomer:** zomergemiddelde zuurstofconcentratie ( $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ ) in onderste waterlaag. Hoe hoger de gemiddelde zuurstofconcentratie (binnen de range van 3 – 8  $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ ), hoe geschikter het in potentie wordt voor filtrerende bodemdieren (<3  $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$  is ongeschikt);
- **O<sub>2</sub>\_max\_dag:** Max aantal aaneengesloten dagen met O<sub>2</sub> concentratie in de onderste waterlaag minder is dan 3  $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$  (d). Hoe lager het aantal aaneengesloten zuurstofarme dagen (binnen de range van 0 – 7 dagen), hoe geschikter het in potentie is voor filtrerende bodemdieren (meer dan 7 dagen aaneengesloten is ongeschikt).



---

De potentiële geschiktheid voor bodemetende bodemdieren is berekend uit de volgende (aan elkaar gecorreleerde) modelvariabelen:

- **Flx\_det**: Jaargemiddelde flux detritus naar de bodem ( $\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ). Hoe hoger de flux van detritus (binnen de range van 0 – 0.5  $\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), hoe geschikter het in potentie wordt voor bodemetende bodemdieren;
- **O<sub>2</sub>\_5cm**: zomergemiddelde zuurstofconcentratie 5 cm boven de bodem ( $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ ). Hoe hoger de gemiddelde zuurstofconcentratie (binnen de range van 3 – 8  $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ ), hoe geschikter het in potentie is voor bodemetende bodemdieren (<3  $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$  is ongeschikt).

Voor iedere variabele is er een eenvoudige modellen (lineaire relaties) opgesteld die de partiële potentiële geschiktheid weergeeft als functie van de waarde van betreffende variabele:

$$GI_{FF,X_{j,i}} = f(X_{j,i})$$

$$GI_{DF,X_{j,i}} = f(X_{j,i})$$

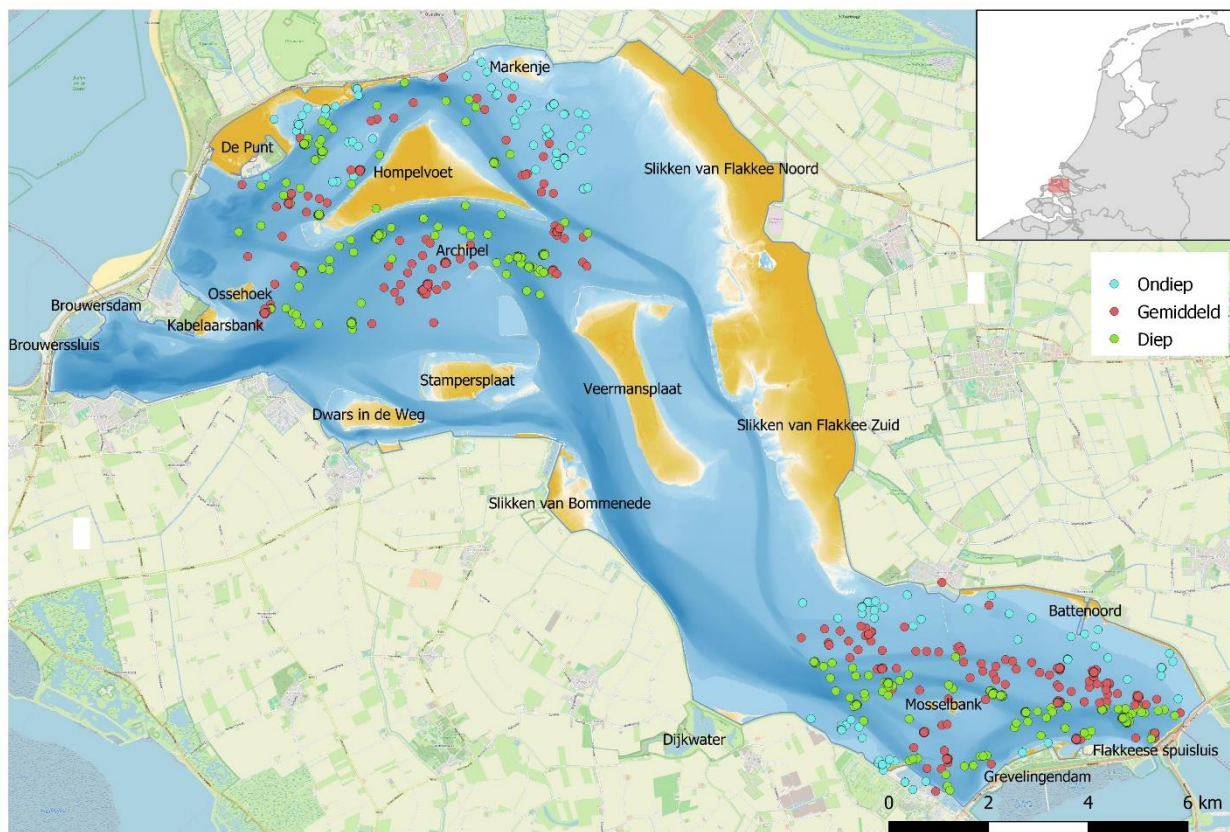
Waarbij  $GI_{FF,X_{j,i}}$  en  $GI_{DF,X_{j,i}}$  zijn de partiële potentiële geschiktheidsindices ( $GI$ ) van respectievelijk filtrerende ( $FF$ ) en bodemetende ( $DF$ ) in gridcel ( $i$ ) als functie van de waarde van variabele  $X_{j,i}$  in gridcel  $i$ . De overall potentiële geschiktheidsindex ( $GI_{FF,i}$  en  $GI_{DF,i}$ ) voor respectievelijk filtrerende ( $FF$ ) en bodemetende ( $DF$ ) bodemdieren in gridcel ( $i$ ) is berekend door de het aantal variabelen (respectievelijk 4 en 2 voor filtrerende en bodemetende bodemdieren). De gridcellen ondieper dan 0.5 meter zijn buiten beschouwing gelaten in de berekeningen:

$$GI_{FF,i} = \frac{\sum_{j=1}^4 GI_{FF,X_{j,i}}}{4}$$

$$GI_{DF,i} = \frac{\sum_{j=1}^2 GI_{DF,X_{j,i}}}{2}$$

## 2.2 Monitoringsdata macrofauna

De verspreiding van de zacht substraat bodemdiergemeenschap (macrofauna) in het Grevelingenmeer wordt sinds 1992 gemonitord in het kader van het MWTL (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Land) programma (e.g. Rijkswaterstaat, 2015, Kruijt et al., 2020, Van Son et al., 2022). De monitoringslocaties in het Grevelingenmeer zijn verdeeld over een oostelijk en westelijk deelgebied van het Grevelingenmeer (Figuur 2) en zijn gelijk verdeeld over drie dieptestrata (<2 meter; tussen 2 en 6 meter; > 6 meter). De bemonstering vindt jaarlijks plaats in het voorjaar (60 monsters) en in het najaar (60 monsters) (Tabel 1).



*Figuur 2: Ligging van de monitoringslocaties in het Grevelingenmeer over alle jaren verdeeld over de dieptestrata: Ondiep (<2 m), Gemiddeld (2-6 meter) en Diep (> 6 meter).*

Sinds de start van de monitoring in 1992 zijn er een aantal veranderingen opgetreden in de opzet. Tot en met 1994 werden de monsterlocaties telkens random verdeeld binnen de dieptestrata. Vanaf 1995 worden steeds vaste locaties bemonsterd, ook evenredig verdeeld over de dieptestrata. Tussen 2010 en 2019 is de frequentie van bemonstering verminderd. Tot en met 2010 is de bemonstering en analyse uitgevoerd door NIOO (en later NIOZ). Vanaf 2013 is dit uitbesteed aan verschillende marktpartijen. Met de bemonstering door verschillende marktpartijen is ook het monstertuig en de bemonsterde oppervlakte veranderd. De ondiepe locaties (<2 meter diep) zijn bemonsterd met een flushing sampler (tot en met 2010) of een vacuüm steekbuis (vanaf 2013) (Mulder et al., 2019). De diepere delen (> 2 meter) zijn bemonsterd met een box-corer waaruit een of meerdere steekbuizen zijn genomen (oppervlakte 0.015-0.016 m<sup>2</sup>). In de jaren 2013 en 2016 is de hele box-corer (oppervlakte 0.078 m<sup>2</sup>) uitgezocht (Leewis et al., 2015, Verduin et al., 2018). Het bemonsterde oppervlak heeft gevolgen op de trefkans en daarmee het aantal soorten dat wordt aangetroffen en daarmee de diversiteit (Wijsman et al., 2022a).

Tabel 1: Overzicht van het aantal bemonsterde locaties en de bemonsterde oppervlakte (m<sup>2</sup>) in de ondiepe (<2m) en diepere (>2m) delen van het Grevelingenmeer over de jaren.

Jaar	Aantal monsters VJ	Aantal monsters NJ	Bem. opp ondiep (m <sup>2</sup> )	Bem. opp diep (m <sup>2</sup> )
1993	60	60	0.02	0.015
1994	60	60	0.02	0.015
1995	60	60	0.02	0.015
1996	60	60	0.02	0.015
1997	60	60	0.02	0.015
1998	60	60	0.02	0.015
1999	60	60	0.02	0.015
2000	60	60	0.02	0.015
2001	60	60	0.02	0.015
2002	60	60	0.02	0.015
2003	60	60	0.02	0.015
2004	60	60	0.02	0.015
2005	60	60	0.02	0.015
2006	60	60	0.02	0.015
2007	60	60	0.02	0.015
2008	60	60	0.02	0.015
2009	60	60	0.02	0.015
2010	60	60	0.02	0.016
2013	60	60	0.012	0.078
2016	60	60	0.016	0.078
2018	-	60	0.016	0.016
2019	60	58	0.016	0.016
2020	60	60	0.016	0.016
2021	60	60	0.016	0.016
2022	-	60	0.016	0.016

De resultaten van de MWTL-bodemdiergegevens in het Grevelingenmeer zijn opgevraagd en aangeleverd door de Servicedesk Data van de Centrale Informatievoorziening van Rijkswaterstaat.

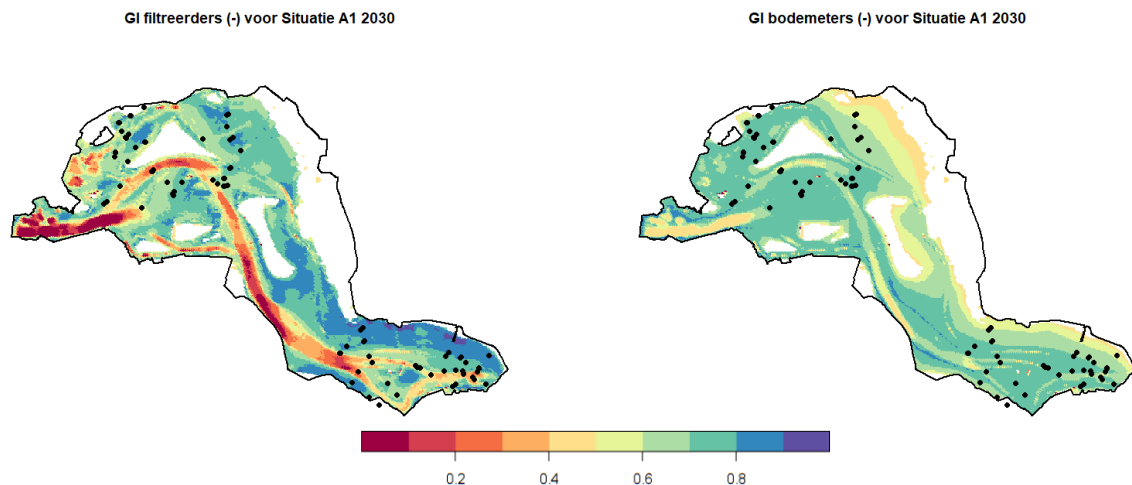
## 2.3 Verwerking gegevens

Van alle geobserveerde taxa is de huidige geaccepteerde wetenschappelijke naam toegekend volgens het World Register of Marine Species (WORMS [www.marinespecies.org](http://www.marinespecies.org)) waarbij gebruik is gemaakt van het [Rpackage worrms](#). Per taxon is per bemonstering de gemiddelde dichtheid (# individuen m<sup>-2</sup>) en de gemiddelde biomassa (mg AFDW m<sup>-2</sup>) bepaald. Als de biomassa niet is gemeten is de gemiddelde biomassa per bemonstering bepaald uit het gemiddelde gewicht van betreffende soort over de gehele dataset en de dichtheid. Het aantal taxa per bemonstering is geteld waarbij een taxonlevel hoger dan soort alleen is meegeteld in het aantal taxa als er binnen hetzelfde monster geen observaties zijn van een lager taxonomisch niveau.

Van ieder aangetroffen taxon is voor zover mogelijk aangegeven tot welke functionele groep ("filtreerders", "bodemers" of "anders") deze behoort. Hierbij is gebruik gemaakt van verschillende bronnen (Shojaei et al., 2015, Beauchard et al., 2022, Meijer et al., 2023). Als er sprake is van meerdere voedingsstrategieën voor een bepaald taxon is de meest dominante gekozen. Per bemonsteringslocatie is de totale dichtheid (# individuen m<sup>-2</sup>) en de biomassa (mg AFDW m<sup>-2</sup>) bepaald van de bodemetende en filtrerende bodemdieren. Ook is voor beide functionele groepen het totaal aantal taxa per monster bepaald.

Alle bemonsterde locaties vanaf 2016 zijn "geprikt" op de potentiële geschiktheidskaarten voor filtreerders en bodemers voor de situatie A1 2030 (Figuur 1), waardoor voor iedere locatie de berekende geschiktheden

bekend zijn. Naast de geschiktheden zijn zo ook de onderliggende modelvariabelen en de waterdiepte gekoppeld aan de locaties.



*Figuur 3: Ruimtelijke verdeling potentiële geschiktheid voor filtreerders (links) en bodemers (rechts) voor de situatie A1 2030 (zie Wijsman et al., 2022b). De zwarte stippen zijn de MWTL-monitoringslocaties van 2016-2022.*

## 2.4 Statistische analyses

### 2.4.1 Regressies totale dichtheden, biomassa's en aantal taxa

Om de relatie tussen de geobserveerde ecologische waarden en de gemodelleerde potentiële geschiktheden te onderzoeken, zijn drie ecologische indices geselecteerd: totale dichtheden (# individuen  $m^{-2}$ ), aantal aangetroffen taxa en totale biomassa (g AFDW  $m^{-2}$ ), zowel voor filtreerders als bodemers apart en vergeleken met de potentiële geschiktheid voor zowel filtreerders als bodemers. Hiervoor zijn lineaire GLM-regressies uitgevoerd in de R-omgeving met de functie `glm()`. Voor het fitten van de regressielijnen zijn de dichtheden en de biomassa's getransformeerd door middel van een vierdemachtswortel transformatie. Naderhand zijn de voorspelde waardes weer terug getransformeerd voor visualisatie.

Voor de overzichtelijkheid zijn de observaties in de figuren samengevat weergegeven. Hiertoe zijn de 593 bemonsteringen opgedeeld in 15 geschiktheidsklassen met een gelijk aantal ( $\sim 40$ ) bemonsteringen per geschiktheidsklasse. Per geschiktheidsklasse is de gemiddelde waarde en standaarddeviatie van de dichtheid/biomassa/aantal taxa berekend en weergegeven in de figuren.

### 2.4.2 Logistische regressies individuele taxa

Om de relatie tussen individuele taxa en de berekende habitatgeschiktheid voor de huidige situatie te onderzoeken, is een selectie gemaakt van de taxa die in de periode van 2016 tot en met 2022 op meer dan 5% van de bemonsterde locaties zijn aangetroffen. Logistische regressies tussen de aan/afwezigheid op de bemonsterde locaties en de geschiktheid zijn uitgevoerd in de R-omgeving met behulp van de functie `glm()` met `logit-link`. Naast de regressies van het voorkomen van filtreerders en van bodemers tegen de specifieke geschiktheid voor deze groepen zijn er ook regressies uitgevoerd van het voorkomen van filtreerders tegen de geschiktheid voor bodemers en het voorkomen van bodemers tegen de geschiktheid voor filtreerders.

Voor de zes meest voorkomende bodemers en filtreerders zijn de significante ( $p < 0.05$ ) regressies geplott samen met de samengevatte observaties (aantal locaties waar het taxon is aangetroffen / totaal aantal locaties binnen betreffende geschiktheidsklasse).

# 3 Resultaten

## 3.1 Ontwikkelingen over de tijd

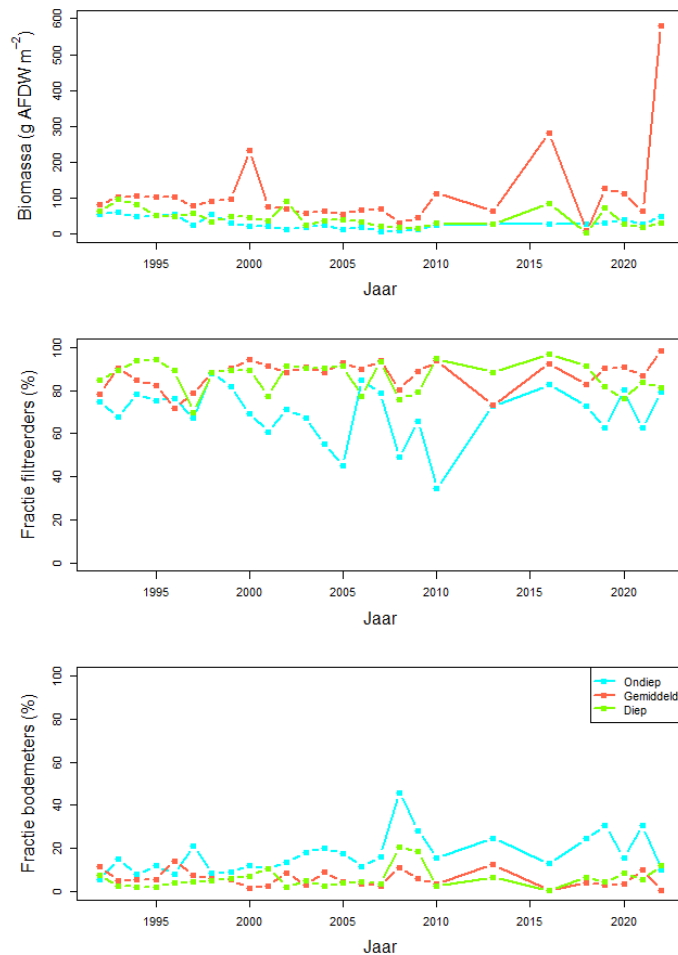
De gemiddelde dichtheid aan bodemdieren in het Grevelingenmeer over de periode 1992 tot en met 2022 was ongeveer 5800 individuen  $m^{-2}$  (st. dev. 11250 individuen  $m^{-2}$ ) (Figuur 4). De hoge piek in 1994 is het gevolg van het (late) tijdstip van de bemonstering in het voorjaar in combinatie met een enorme broedval van muiltjes (Schaub et al., 2002, Wetsteyn, 2011). De hoogste gemiddelde dichtheden zijn aangetroffen op een gemiddelde diepte (tussen 2 en 6 meter). De filtreerders zijn gemiddeld verantwoordelijk voor 32% van de totale jaargemiddelde dichtheid, terwijl de bodemeters verantwoordelijk zijn voor 45% van de jaargemiddelde dichtheid. In de diepe delen (>6 meter) is het aandeel filtreerders aan de totale dichtheid groter (gemiddeld 44% van de totale jaargemiddelde dichtheid) en in de ondiepe delen (<2 meter) is juist het aandeel bodemeters groter (gemiddeld 59% van de totale jaargemiddelde dichtheid). Het lijkt uit de figuur dat na 2013 het aandeel filtreerders aan de jaargemiddelde totale dichtheid is toegenomen terwijl die van bodemeters is afgenomen.



*Figuur 4: Ontwikkeling gemiddelde dichtheid aan bodemdieren ( $\# m^{-2}$ ) in de verschillende dieptestrata van het Grevelingenmeer van 1992 tot en met 2022 (bovenste figuur). In de onderste twee figuren zijn respectievelijk het verloop van de fractie filtreerders en de fractie bodemeters weergegeven.*

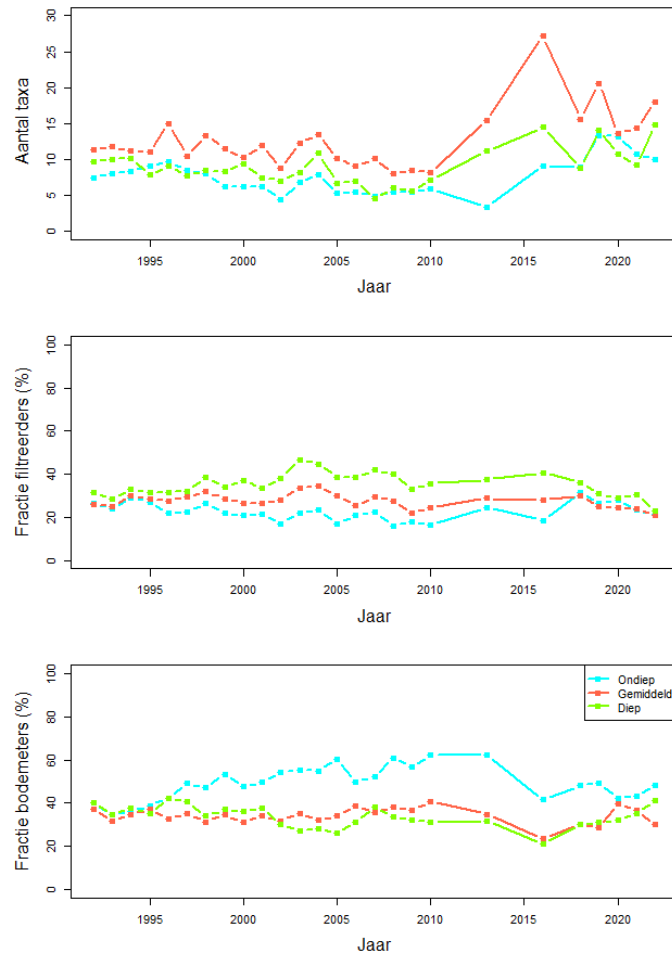
De gemiddelde biomassa aan bodemdieren in het Grevelingenmeer over de periode 1992 tot en met 2022 was ongeveer 60 g AFDW  $m^{-2}$  (st. dev. 180 g AFDW  $m^{-2}$ ) (Figuur 5). Vooral in de jaren 2000, 2016 en 2022

was de gemiddelde biomassa relatief hoog. De filtreerders zijn gemiddeld verantwoordelijk voor 85% van de jaargemiddelde totale biomassa, terwijl de bodemeters verantwoordelijk zijn voor slechts 8% van de jaargemiddelde totale biomassa. De filtreerders zijn gemiddeld dus wat zwaarder dan bodemeters. In de ondiepe delen (<2 meter) is het aandeel filtreerders aan de totale biomassa het laagst (gemiddeld 69% van de jaargemiddelde biomassa). In deze ondiepe delen is juist het aandeel van bodemeters het grootst (17% van de jaargemiddelde biomassa), terwijl het aandeel van bodemeters aan de totale jaargemiddelde biomassa in de diepere delen (tussen 2 en 6 meter en dieper dan 6 meter) slechts 6% is.



*Figuur 5: Ontwikkeling gemiddelde biomassa aan bodemdieren (g AFDW m<sup>-2</sup>) in de verschillende dieptestrata van het Grevelingenmeer van 1992 tot en met 2022 (bovenste figuur). In de onderste twee figuren zijn respectievelijk het verloop van de fractie filtreerders en de fractie bodemeters weergegeven.*

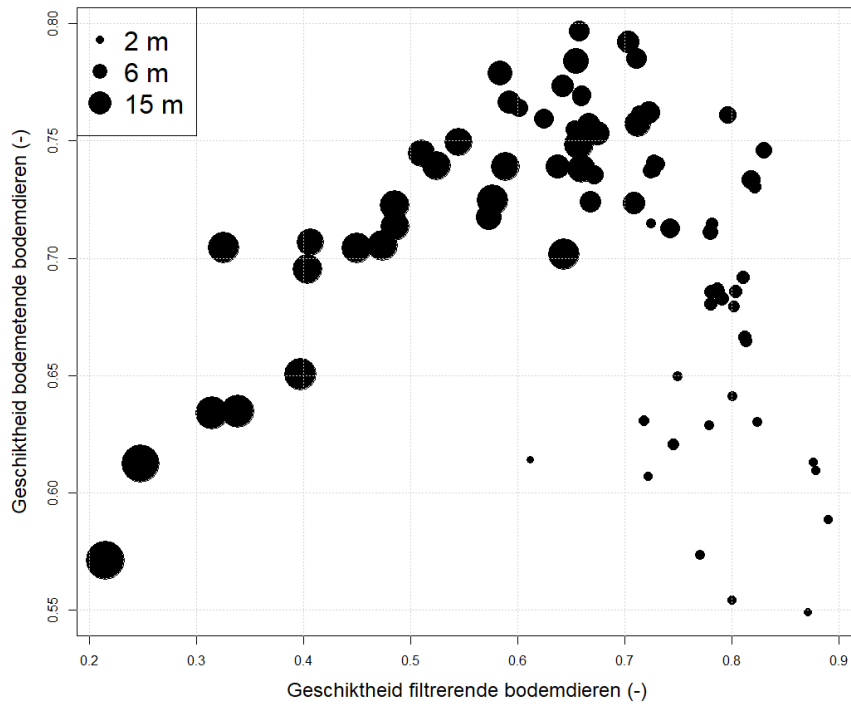
Het gemiddeld aantal taxa in het Grevelingenmeer was 9.7 per monster (st. dev. 7.2 taxa)(Figuur 6). De minste taxa worden aangetroffen in de ondiepe delen (<2 meter, gemiddeld 7.6 taxa per monster) en de meeste taxa in het dieptestratum tussen 2 en 6 meter (12.7 taxa per monster). Terwijl het aantal taxa geleidelijk lijkt af te nemen binnen alle dieptestrata van 1992 tot 2011 neemt het aantal taxa weer toe na 2013, vooral op gemiddelde diepte (tussen 2 en 6 meter). Gemiddeld zijn de filtreerders verantwoordelijk voor 29% van de taxa terwijl de bodemeters verantwoordelijk zijn voor 38% van de taxa. In de diepe delen (>6 meter) lijken de filtreerders meer bij te dragen aan de totale diversiteit dan in de zone tussen 2 en 6 meter diepte.



Figuur 6: Ontwikkeling gemiddelde aantal taxa per monster in de verschillende dieptestrata van het Grevelingenmeer van 1992 tot en met 2022 (bovenste figuur). In de onderste twee figuren zijn respectievelijk het aandeel filtreerders en bodemeters aan het totaal aantal taxa weergegeven.

### 3.2 Relatie geschiktheid bodemetende- en geschiktheid filtrerende bodemdieren

De berekende potentiële geschiktheden voor bodemetende en filtrerende bodemdieren (Figuur 1) zijn niet onafhankelijk van elkaar. Ze zijn gebaseerd op dezelfde modelberekeningen waarbij er duidelijke correlaties zijn tussen de verschillende modelvariabelen (zie figuur 23 in Wijsman et al., 2022b). In Figuur 7 is de potentiële geschiktheid voor bodemetende bodemdieren uitgezet tegen de potentiële geschiktheid voor filtrerende bodemdieren voor de locaties waar in de periode van 2016 tot en met 2022 de bodemdieren zijn bemonsterd. In de figuur is duidelijk te zien dat er een positieve correlatie zit tussen beide indicatoren voor de diepere stations, waarbij de potentiële geschiktheid voor filtreerders toeneemt met de potentiële geschiktheid voor bodemeters. Dit is het gevolg van zuurstofdepletie die op beide indicatoren een negatief effect heeft. Op de ondiepe locaties neemt de potentiële geschiktheid voor bodemetende bodemdieren af met een toenemende potentiële geschiktheid voor filtrerende bodemdieren. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de beperkte sedimentatie van detritus naar de bodem die hier door het model wordt betekend, wat negatief bijdraagt aan de geschiktheid voor bodemeters. Tegelijkertijd zijn de concentratie Chlorofyl-*a* (~fytoplankton) en de stroomsnelheden in deze zone juist relatief hoog, en dragen dan ook positief bij aan de potentiële geschiktheid voor filtreerders.

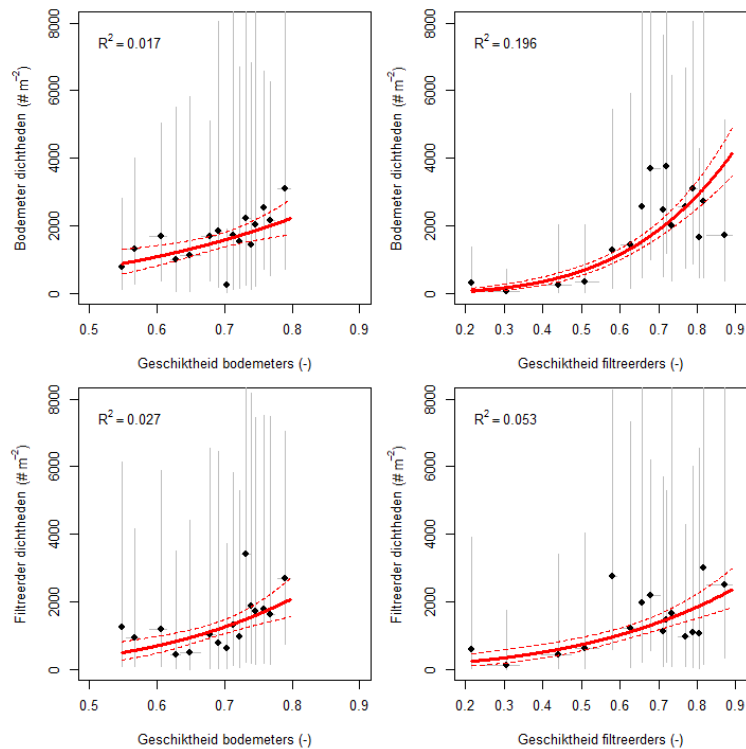


*Figuur 7: Potentiële geschiktheid bodemetende bodemdieren als functie van de potentiële geschiktheid van de filtrerende bodemdieren voor de 593 locaties die van 2016 tot en met 2022 zijn bemonsterd. De grootte van de bolletjes zijn representatief voor de waterdiepte (m) op de betreffende locatie.*

### 3.3 Regressies totale dichtheden, biomassa's en aantal taxa

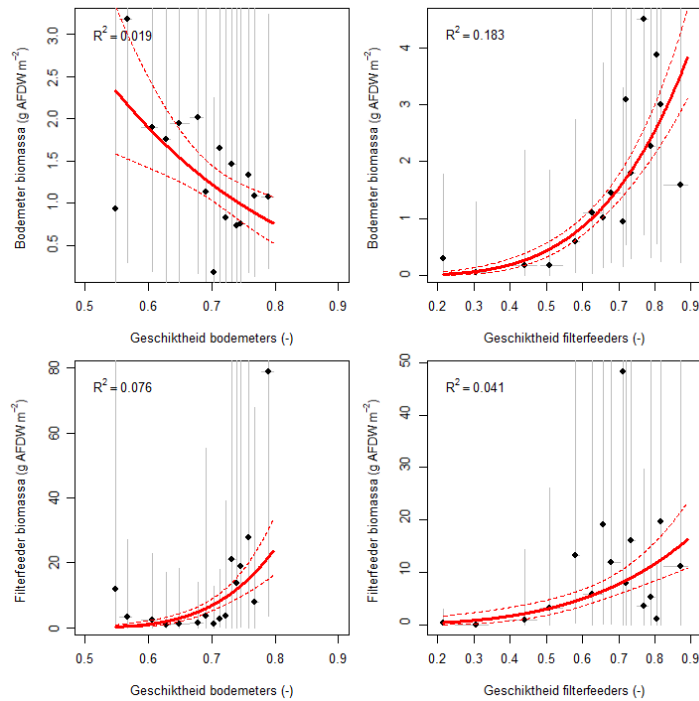
De geobserveerde dichtheden van zowel bodemeters als filtreerders tonen een significante ( $p < 0.05$ ) positieve relatie met de potentiële geschiktheid voor filtrerende bodemdieren en de aangetroffen dichtheden neemt dus toe met deze potentiële geschiktheid (Figuur 8). Echter is er een aanzienlijke variatie in de waargenomen dichtheden, vooral bij hogere waarden van potentiële geschiktheid voor filtreerders en over het gehele bereik van geschiktheidswaarden voor bodemeters. Hoewel er tussen alle waarden een significante relatie te vinden is, is de verklaarde variantie beperkt en varieert tussen de 1.7% en de 19.6%.





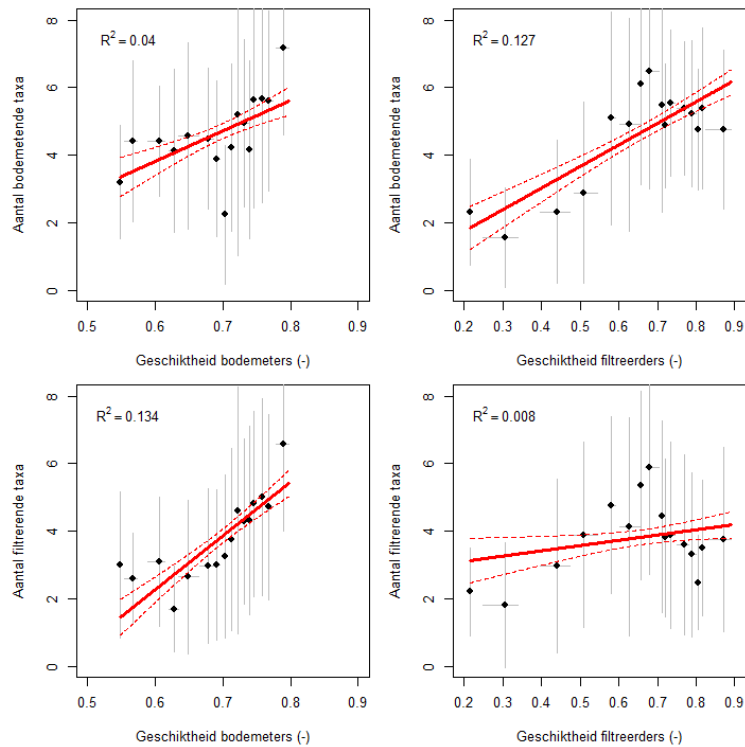
**Figuur 8:** Lineaire regressiecurves (gefit op een vierde machtswortel transformatie) van de totale dichtheid en de gemodelleerde potentiële geschiktheid voor zowel filtreerders als bodemeters. Alleen significante ( $p < 0.05$ ) regressielijnen zijn weergegeven. De gebroken lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval van de regressie. De bolletjes en horizontale lijnen geven respectievelijk de mediaan en de range van de potentiële geschiktheid over de 15 geschiktheidsklassen van de data. De verticale lijnen geven de standaarddeviatie van de aangetroffen dichtheden binnen deze klassen.

De geobserveerde biomassa van zowel bodemeters als filtreerders tonen een significante ( $p < 0.05$ ) positieve relatie met de potentiële geschiktheid voor filtrerende bodemdieren en de aangetroffen dichtheden neemt toe met deze geschiktheid (Figuur 9). Een uitzondering hierop is wanneer de bodemeter biomassa wordt vergeleken met de potentiële geschiktheid voor bodemeters, hier is juist een significante dalende trend te zien, met zeer veel variatie. De verklaarde variantie voor de biomassa ligt tussen de 1.9% en 18.3%.



**Figuur 9:** Lineaire regressiecurves (gefit op een vierde-machtswortel transformatie) van de totale biomassa en de gemodelleerde potentiële geschiktheid voor zowel filtreerders als bodemeters. Alleen significante ( $p < 0.05$ ) regressielijnen zijn weergegeven. De gebroken lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval van de regressie. De bolletjes en horizontale lijnen geven respectievelijk de mediaan en de range van de potentiële geschiktheid over de 15 geschiktheidsklassen van de data. De verticale lijnen geven de standaarddeviatie van de aangetroffen biomassa binnen deze klassen

De geobserveerde aantal taxa van zowel bodemeters als filtreerders tonen een significante ( $p < 0.05$ ) positieve relatie met de potentiële geschiktheid voor filtrerende bodemdieren (Figuur 10) en het aangetroffen aantal taxa neemt dus toe met deze potentiële geschiktheid. Ook hier is een aanzienlijke variatie te zien in de data en is de verklaarde variantie relatief laag, tussen de 0.8% en 13.4%.



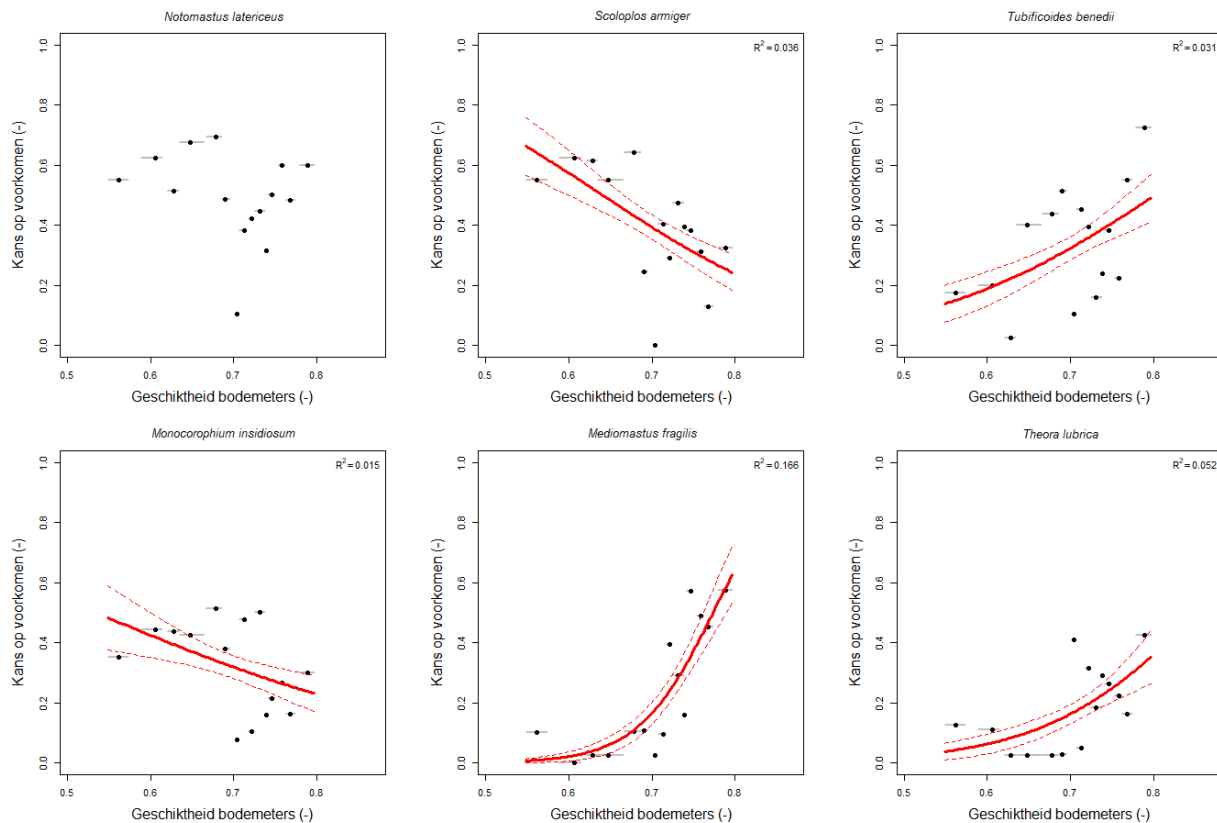
**Figuur 10:** Lineaire regressiecurves van het aantal taxa en de gemodelleerde potentiële geschiktheid voor zowel filtreerders als bodemeters. Alleen significante ( $p < 0.05$ ) regressielijnen zijn weergegeven. De gebroken lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval van de regressie. De bolletjes en horizontale lijnen geven respectievelijk de mediaan en de range van de potentiële geschiktheid over de 15 geschiktheidsklassen van de data. De verticale lijnen geven de standaarddeviatie van de aantal taxa binnen deze klassen.

### 3.4 Logistische regressies individuele taxa

Voor de zes meest voorkomende soorten bodemeters en filtreerders over de jaren 2016 tot en met 2022 (Tabel 2) zijn de logistische regressie curves weergegeven in Figuur 8 en Figuur 9. De aanwezigheid van de bodemeters *Tubificoides benedii*, *Mediomastus fragilis* en *Theora lubrica* vertonen een significante ( $p < 0.05$ ) positieve relatie met de door het model berekende potentiële geschiktheid voor bodemetende bodemdieren (Figuur 11). Dit betekent dat hoe hoger de potentiële geschiktheid van een locatie is voor bodemetende bodemdieren, hoe groter de kans is dat deze soorten worden aangetroffen. De soorten *Scoloplos armiger* en *Monocorophium insidiosum* vertonen echter een significante ( $p < 0.05$ ) negatieve relatie, wat er op neerkomt dat de kans op aantreffen van deze soorten juist afneemt met de potentiële geschiktheid voor bodemetende bodemdieren. Voor de soort *Notomastus latericeus* is er geen significante ( $p = 0.11$ ) relatie met de potentiële geschiktheid voor bodemetende bodemdieren.

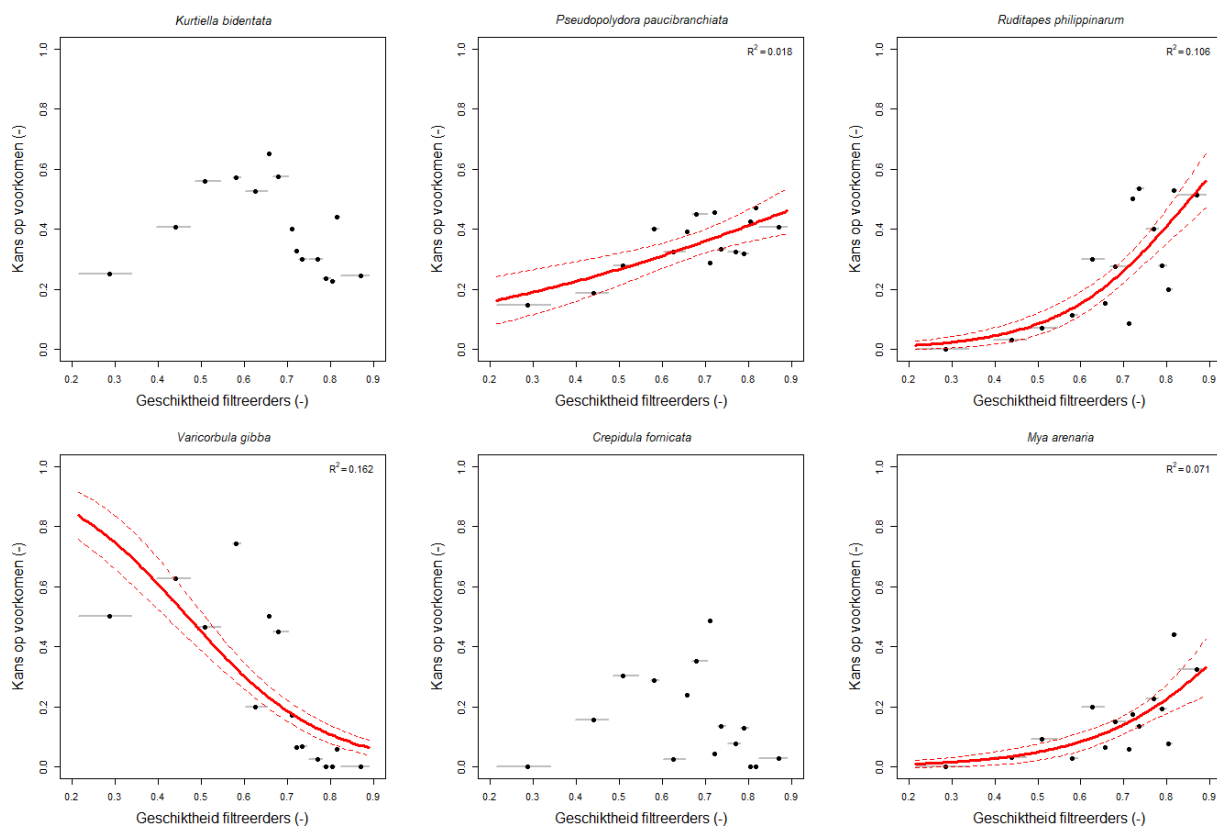
**Tabel 2:** Overzicht van de 6 meest voorkomende soorten bodemeters en filtreerders over de jaren 2016 tot 2022.

Bodemeters	Voorkomen (%)	Filtreerders	Voorkomen (%)
<i>Notomastus latericeus</i>	50%	<i>Kurtiella bidentata</i>	40%
<i>Scoloplos armiger</i>	40%	<i>Pseudopolydora paucibranchiata</i>	34%
<i>Tubificoides benedii</i>	33%	<i>Ruditapes philippinarum</i>	26%
<i>Monocorophium insidiosum</i>	33%	<i>Varicorbula gibba</i>	26%
<i>Mediomastus fragilis</i>	22%	<i>Crepidula fornicata</i>	15%
<i>Theora lubrica</i>	18%	<i>Mya arenaria</i>	14%



**Figuur 11:** Logistische regressiecurves van het voorkomen van de 6 meest voorkomende soorten bodemers tegen de gemodelleerde potentiële geschiktheid voor bodemers. Alleen significantie ( $p < 0.05$ ) regressielijnen zijn weergegeven. De gebroken lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval van de regressie. De bolletjes en horizontale lijnen geven respectievelijk de mediaan en de range van de potentiële geschiktheid over de 15 geschiktheidsklassen.

De dominante filtreerders *Pseudopolydora paucibranchiata*, *Ruditapes philippinarum* en *Mya arenaria* vertonen allen een significante ( $p < 0.05$ ) positieve relatie met de potentiële geschiktheid voor filterende bodemdieren en de kans op voorkomen van deze soorten neemt dus toe met de geschiktheid. De kans op voorkomen van *Varicorbula gibba* neemt echter af met de potentiële geschiktheid voor filtreerders ( $p < 0.05$ ) en voor de soorten *Kurtiella bidentata* ( $p = 0.11$ ) en *Crepidula fornicata* ( $p = 0.36$ ) is er geen significante relatie tussen de kans op voorkomen en de berekende potentiële geschiktheid voor filtreerders. Voor beide soorten lijkt er een optimum in voorkomen te zitten bij een geschiktheid voor filtreerders van rond 0.6 – 0.7. Van beide soorten neemt de kans op voorkomen af bij potentiële geschiktheid voor filtreerders  $> 0.7$ . Dit zijn voornamelijk de ondiepere locaties (Figuur 7). Mogelijk zijn de ondiepe locaties minder geschikt voor deze soorten als gevolg van beperkende biotische of abiotische factoren die niet zijn meegenomen in de berekening van de potentiële geschiktheidskaarten.



**Figuur 12:** Logistische regressiecurves van het voorkomen van de 6 meest voorkomende soorten filtreerders tegen de gemodelleerde potentiële geschiktheid voor filtreerders. Alleen significantie ( $p < 0.05$ ) regressielijnen zijn weergegeven. De gebroken lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval van de regressie. De bolletjes en horizontale lijnen geven respectievelijk de mediaan en de range van de potentiële geschiktheid over de 15 geschiktheidsklassen.

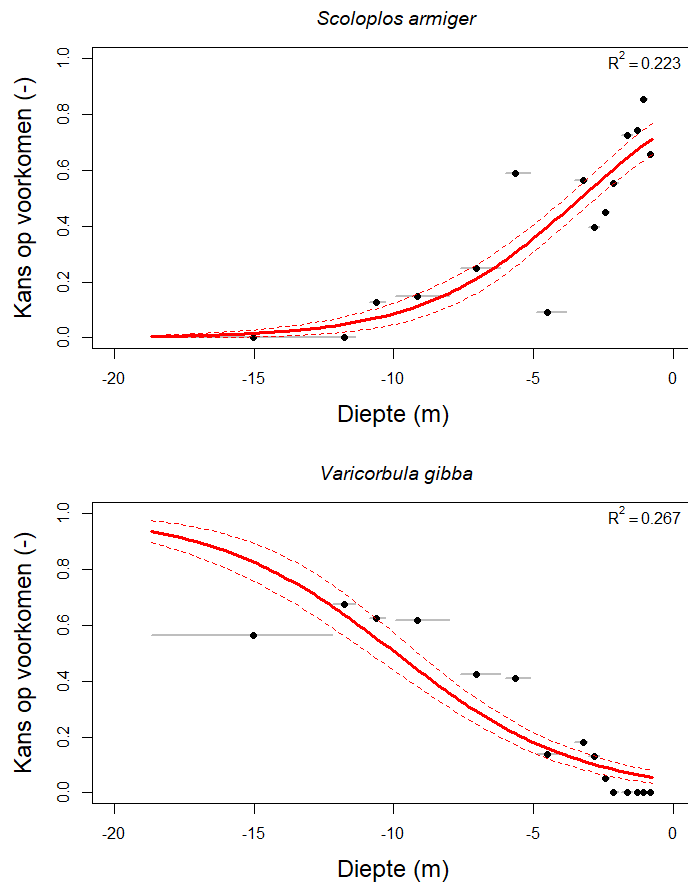
In Tabel 3 zijn alle regressieresultaten weergegeven van de dominante (aangetroffen op meer dan 5% van de bemonsterde locaties) taxa van bodemetende – en filtrerende bodemdieren. Voor beide groepen is er een regressie uitgevoerd op zowel de voorspelde potentiële geschiktheid voor bodemeters als de voorspelde potentiële geschiktheid voor filtreerders. Van de 21 taxa bodemetende bodemdieren vertonen er 11 een significant ( $p < 0.05$ ) positieve relatie met de berekende potentiële geschiktheid voor bodemeters. Vooral het voorkomen van *Protocirrineris* sp., *Cirratulus cirratus* en *Mediomastus fragilis* vertonen een sterke relatie met de potentiële geschiktheid voor bodemetende bodemdieren. Voor 7 taxa is er een significant ( $p < 0.05$ ) negatieve relatie, wat inhoudt dat de kans op voorkomen van deze soorten juist afneemt met de potentiële geschiktheid voor bodemetende bodemdieren. Als we de kans op voorkomen van deze taxa bodemetende bodemdieren vergelijken met de potentiële geschiktheid voor filtreerders blijken ook 11 taxa een significant ( $p < 0.05$ ) positieve relatie te vertonen en slechts 2 taxa vertonen een significant ( $p < 0.05$ ) negatieve relatie.

Van de 22 filtreerders blijken er 10 taxa een significant ( $p < 0.05$ ) positieve relatie te hebben met de potentiële geschiktheid voor filtrerende bodemdieren. In totaal 3 taxa vertonen een significant ( $p < 0.05$ ) negatieve relatie. Van de regressies van het voorkomen van deze filtreerders met de potentiële geschiktheid voor bodemeters blijken er ook 10 taxa een significante ( $p < 0.05$ ) relatie met een positieve trend te vertonen en 2 een significante ( $p < 0.05$ ) relatie met een negatieve trend.

Tabel 3: Resultaten logistische regressies voor de taxa die in de periode 2016 tot 2022 zijn aangetroffen op meer dan 5% van de bemonsterde locaties onderverdeeld naar bodemeters en filtreerders. In de tabel zijn voor beide regressies de trends weergegeven (++ positieve trend,  $p < 0.01$ ; + positieve trend,  $0.01 < p < 0.05$ ; -- negatieve trend,  $p < 0.01$ ; - positieve trend,  $0.01 < p < 0.05$ ; n.s. trend is niet significant,  $p > 0.05$ ).

Taxon	Type	Aangetroffen (%)	Geschiktheid bodemeters			Geschiktheid filtreerders		
			Trend	R <sup>2</sup>	p	Trend	R <sup>2</sup>	p
Capitella	Bodemeter	74.6	++	0.038	0.000	++	0.023	0.000
Notomastus latericeus	Bodemeter	49.8	n.s.	0.003	0.107	++	0.124	0.000
Scoloplos armiger	Bodemeter	39.8	--	0.036	0.000	++	0.204	0.000
Tubificoides benedii	Bodemeter	32.8	++	0.031	0.000	++	0.038	0.000
Monocorophium insidiosum	Bodemeter	32.6	--	0.015	0.001	++	0.125	0.000
Oligochaeta	Bodemeter	24.1	++	0.070	0.000	n.s.	0.002	0.309
Arenicola	Bodemeter	22.4	--	0.014	0.003	++	0.048	0.000
Mediomastus fragilis	Bodemeter	22.4	++	0.166	0.000	n.s.	0.003	0.195
Protocirrinieris	Bodemeter	22.2	++	0.218	0.000	n.s.	0.000	0.993
Tharyx	Bodemeter	19.4	++	0.084	0.000	n.s.	0.002	0.256
Theora lubrica	Bodemeter	17.6	++	0.052	0.000	--	0.082	0.000
Urothoe poseidonis	Bodemeter	14.2	--	0.124	0.000	++	0.149	0.000
Monocorophium acherusicum	Bodemeter	13.7	+	0.014	0.012	++	0.024	0.002
Polycirrus medusa	Bodemeter	13	++	0.114	0.000	n.s.	0.001	0.468
Lagis koreni	Bodemeter	9.9	n.s.	0.009	0.075	--	0.122	0.000
Cirratulidae	Bodemeter	8.9	n.s.	0.003	0.432	n.s.	0.003	0.451
Heteromastus filiformis	Bodemeter	8.7	+	0.016	0.024	n.s.	0.001	0.610
Spio martinensis	Bodemeter	8	--	0.071	0.000	++	0.107	0.000
Cirratulus cirratus	Bodemeter	7.9	++	0.180	0.000	n.s.	0.001	0.681
Alitta virens	Bodemeter	7.7	--	0.032	0.001	++	0.050	0.001
Malacoceros	Bodemeter	7.5	--	0.077	0.000	++	0.068	0.000
Kurtiella bidentata	Filtreerder	39.6	++	0.079	0.000	n.s.	0.003	0.107
Aoridae	Filtreerder	39.3	n.s.	0.005	0.106	++	0.042	0.000
Pseudopolydora paucibranchiata	Filtreerder	34.4	n.s.	0.002	0.260	++	0.018	0.000
Ruditapes philippinarum	Filtreerder	25.8	n.s.	0.000	0.641	++	0.106	0.000
Varicorbula gibba	Filtreerder	25.6	++	0.041	0.000	--	0.162	0.000
Veneridae	Filtreerder	24.1	n.s.	0.000	0.975	+	0.010	0.038
Pseudopolydora	Filtreerder	22.9	n.s.	0.000	0.846	++	0.021	0.001
Streblospio	Filtreerder	22.6	++	0.035	0.000	--	0.014	0.003
Asciadiacea	Filtreerder	14.7	++	0.125	0.000	n.s.	0.002	0.320
Crepidula fornicata	Filtreerder	14.5	++	0.156	0.000	n.s.	0.002	0.358
Mya arenaria	Filtreerder	14.4	n.s.	0.002	0.333	++	0.071	0.000
Mytilus edulis	Filtreerder	12.2	++	0.055	0.000	n.s.	0.007	0.086
Porifera	Filtreerder	11.9	++	0.107	0.000	n.s.	0.003	0.256
Polydora cornuta	Filtreerder	11.7	n.s.	0.005	0.149	n.s.	0.003	0.308
Venerupis corrugata	Filtreerder	9.4	++	0.066	0.000	++	0.036	0.001
Magallana gigas	Filtreerder	8.2	++	0.098	0.000	n.s.	0.013	0.053
Cerastoderma edule	Filtreerder	6.9	-	0.015	0.032	++	0.045	0.002
Ensis leei	Filtreerder	6.9	n.s.	0.001	0.628	++	0.031	0.007
Mytilidae	Filtreerder	6.2	n.s.	0.020	0.111	n.s.	0.020	0.124
Balanus crenatus	Filtreerder	5.5	++	0.057	0.001	--	0.032	0.003
Malacoceros fuliginosus	Filtreerder	5.5	--	0.076	0.000	++	0.088	0.000
Ostreidae	Filtreerder	5.2	n.s.	0.080	0.057	n.s.	0.009	0.429

De potentiële geschiktheden blijken maar een beperkte voorspeller te zijn voor het voorkomen van individuele taxa. Andere omgevingsvariabelen, zoals waterdiepte en sedimentsamenstelling, die niet zijn meegenomen in de berekening van de geschiktheden kunnen, afhankelijk van de soort, ook een belangrijke rol spelen. Als voorbeeld voor de invloed van overige omgevingsvariabelen zijn er voor de soorten *Scoloplos armiger* en *Varicorbula gibba* additioneel ook logistische regressies uitgevoerd van de kans op voorkomen als functie van de waterdiepte (Figuur 13). Beide soorten vertonen een negatieve relatie met de geschiktheid (Figuur 11 en Figuur 12) en hebben een sterke relatie met de waterdiepte. *Scoloplos armiger* is een soort die voornamelijk voorkomt in de ondiepere delen terwijl *Varicorbula gibba* juist voorkomt in de diepere zones.



Figuur 13: Logistische regressiecurves (rode lijnen) van het voorkomen van *Scoloplos armiger* en *Varicorbula gibba* als functie van de waterdiepte (m). De gebroken lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval van de regressie. De bolletjes en horizontale lijnen geven respectievelijk de mediane diepte en de range van de 15 diepteklassen.

## 4 Conclusies en discussie

Ondanks het feit dat de door Wijsman et al. (2022b) ontwikkelde potentiële geschiktheidsindices een beperkte relatie hebben met het voorkomen van filtrerende en bodemetende bodemdieren zijn ze toch bruikbaar als indicator voor de waterkwaliteit nabij de bodem, en kunnen daardoor worden gebruikt om verschillende varianten met elkaar te vergelijken. De potentiële geschiktheidsindex voor filtrerende bodemdieren neemt toe met de verbeterde zuurstofcondities, stroomsnelheid en hoeveelheid fytoplankton in het water terwijl de potentiële geschiktheidsindex voor bodemetende bodemdieren toeneemt met verbeterde zuurstofcondities en sedimentatie van organisch materiaal naar de bodem.

De regressieanalyses laten in vrijwel alle gevallen een significante, positieve relatie tussen de geobserveerde dichtheid, biomassa en aantal taxa en voor zowel bodemeters als filtreerders met beide gemodelleerde potentiële geschiktheden. Alleen de biomassa van bodemeters neemt opvallend genoeg af met toenemende potentiële geschiktheid voor bodemeters. De variantie die wordt verklaard door de potentiële geschiktheid varieert van 0.8% tot 19.6%. Opvallend is dat de voorspellende waarde het hoogst is (19.6%) tussen de gemodelleerde potentiële geschiktheid van filtreerders en de geobserveerde dichtheid van bodemeters. Blijkbaar is dat de potentiële geschiktheid van filtrerende bodemdieren een betere voorspeller is voor de dichtheid van bodemeters dan de potentiële geschiktheid van bodemetende bodemdieren. Mogelijke oorzaken voor het beperkt verklarend vermogen van de regressies zijn de grote (ruimtelijke en temporele) variantie in dichtheden en biomassa en het beperkt aantal variabelen dat is meegenomen bij het berekenen van de potentiële geschiktheden. De totale groep filtreerders en bodemeters bestaan uit een groot aantal individuele soorten die allemaal hun specifieke populatiedynamiek (rekrutering, groei, sterfte, ruimtelijke aggregatie) hebben en op hun eigen manier reageren op de omgevingscondities. Sommige van deze soorten dragen veel bij aan de totale dichtheid/biomassa en andere soorten maar beperkt waardoor de reactie van de meest dominante soorten het sterkste meewegen in de regressieanalyses van de totale dichtheid/biomassa.

In het Grevelingenmeer droegen een beperkt aantal taxa tussen 2016 en 2022 het meeste bij aan de totale dichtheid van bodemeters. Vier taxa (*Capitella* sp., *Protocirrineris* sp., *Tubificoides benedii* en *Notomastus latericeus*) vormden samen meer dan 50% van de totale aantallen die zijn aangetroffen. *Capitella* sp. vertegenwoordigde 25% van de dichtheid maar slechts 5.4% van de biomassa, *Protocirrineris* sp. 10.3% van de dichtheid en slechts 1.4% van de biomassa, en *Tubificoides benedii* vertegenwoordigde 10.3% van de totale dichtheid en slechts 1.3% van de totale biomassa. Deze drie soorten laten allemaal een positieve relatie zien met de potentiële geschiktheid voor bodemeters (Tabel 3), echter dragen zij maar heel weinig bij aan de totale biomassa van bodemeters. Een soort als *Notomastus latericeus* daarentegen draagt voor 8.1% bij aan de totale dichtheid aan bodemeters maar bepaald bijna een kwart (24.6%) van de totale biomassa. *Arenicola* sp. vormen 0.76% van de totale dichtheden en 22.5% aan de totale biomassa en *Alitta virens* vormt 0.13% van de totale dichtheid en 18.5% van de totale biomassa. Alle drie deze soorten vertonen geen significante of een negatieve relatie met de potentiële geschiktheid voor bodemeters (Tabel 3). Dit verklaart waarom er voor algehele dichtheden aan bodemende soorten geen negatieve relatie te zien is met de potentiële geschiktheid terwijl dat voor de biomassa wel het geval is.

Ook bij de filtreerders wordt de grootste bijdrage aan de totale biomassa en de totale dichtheden veroorzaakt door een beperkt aantal taxa, en dus ook de globale patronen voor deze twee indices. In de periode 2016-2022, draagt *Pseudopolydora* sp. (incl. *Pseudopolydora paucibranchiata*) voor 49% bij aan de totale dichtheid aan filtreerders en voor slechts 0.5% bij aan de biomassa in dezelfde klasse en de soorten binnen de familie *Aoridae* voor 10% aan de dichtheden en slechts 0.05% aan de totale biomassa. Daar tegenover draagt *Magallana gigas* slechts voor 0.5% bij aan de dichtheden maar wel voor 33% aan de biomassa, *Ruditapes philippinarum* draagt voor 8.5% bij aan de dichtheden en 28% bij aan de biomassa en *Crepidula fornicata* voor 0.8% bij aan de dichtheid en 16.5% aan de biomassa. Voor filtreerders zijn alleen maar positief significante relaties gevonden, maar de sterkte van de relatie en de voorspellende waarde



---

wordt dus voor de twee indices door verschillende soorten veroorzaakt. De relaties in algehele dichtheden worden dus het sterkst beïnvloedt door kleinere abundante soorten, en de relaties in algehele biomassa door grotere en dus zwaardere soorten.

De logistische regressies voor de individuele taxa laten zien dat voor 28 van de 43 onderzochte taxa de potentiële geschiktheidsindices een significante ( $p < 0.01$ ) voorspeller zijn voor de kans op voorkomen op een bepaalde locatie. Voor 10 van deze 28 soorten is deze relatie echter negatief (grotere kans op voorkomen bij afnemende geschiktheid). Wat ook opvalt is dat de potentiële geschiktheidsindex filtreerders voor meer taxa van bodemeters en de potentiële geschiktheidsindex bodemeters voor meer taxa filtreerders een significante positieve relatie heeft met de kans op voorkomen. Van belang hierbij is dat niet iedere soort op dezelfde manier zal reageren op de omgevingscondities. Iedere soort heeft namelijk zijn eigen specifieke niche in relatie tot de omgevingscondities. Sommige soorten zijn bijvoorbeeld aangepast om zuurstofarme perioden te tolereren, maar worden verdrongen door andere soorten als de zuurstofcondities verbeteren. Logistische regressieanalyse van twee bodemetende bodemdieren (Figuur 13) laten zien de kans op voorkomen van de ene soort (*Scoloplos armiger*) afneemt met de waterdiepte terwijl de kans op voorkomen van een andere soort (*Varicorbula gibba*) juist toeneemt met de waterdiepte. Dezelfde patronen worden ook verwacht voor andere omgevingsvariabelen. Uit deze analyses valt af te leiden dat de potentiële geschiktheid niet voor alle taxa een goede voorspeller is voor de kans op voorkomen in de bemonstering.

Het doel van de indicatoren was ook om verschillende situaties met elkaar te kunnen vergelijken, niet om de kans op voorkomen van bodemdieren te voorspellen. Om te komen tot betere voorspellende modellen te komen zouden in een vervolgstudie (mixed model) regressies kunnen worden uitgevoerd op basis van de MWTL bodemdiergegevens vanaf 2016 in combinatie met de resultaten van de modelberekeningen (Nolte et al., 2022, Van Der Heijden en Nolte, 2022). Van belang is dan vooraf te definiëren wat wordt verstaan onder "geschikt": Hoge biomassa? Hoge dichtheid? Hoge diversiteit? Aanwezigheid van bepaalde doelsoorten? Door middel van regressieanalyse kan worden onderzocht welke (combinatie van) modelvariabelen het grootste deel van de variantie kan verklaren. Indien beschikbaar kunnen hierbij ook andere variabelen worden meegenomen zoals waterdiepte en sedimentsamenstelling. Voor een aantal specifieke doelsoorten, bijvoorbeeld de soorten genoemd in Tabel 2, zouden individuele mixed models kunnen worden opgesteld op basis van logistische regressie waarbij meerdere omgevingsvariabelen worden meegenomen zoals waterdiepte, sedimentsamenstelling, stroomsnelheid, fytoplankton, enz. Met deze resultaten zouden betere voorspellingen kunnen worden gedaan over het voorkomen van deze doelsoorten.

# 5 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV.

---

# Literatuur

- Beauchard, O., S. Mestdagh, L. Koop, T. Ysebaert en P.M.J. Herman (2022). Benthic synecology in a soft sediment shelf: habitat contrasts and assembly rules of life strategies. *Marine Ecology Progress Series* 682:31-50.
- Breton, G., M.A. Faasse, P. Noël en T. Vincent (2002). A new alien crab in Europe: *Hemigrapsus sanguineus* (Decapoda: Brachyura: Grapsidae). *Journal of Crustacean Biology* 22:184-189.
- Clarke, K.R. en R.N. Gorley (2015). PRIMER v7: User manual/Tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth.
- Clarke, K.R., R.N. Gorley, P.J. Somerfield en R.M. Warwick (2014). Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. 3rd Edition. PRIMER-E Ltd, Plymouth.
- Didderen, K. en F.M.F. Driessen (2017). Verspreiding van witte bacteriematten en schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer V. Zomer 2017. Metingen in het oostelijke deel in het eerste jaar na ingebruikname Flakkeese spuisluis (T1). Bureau Waardenburg. Rapport nummer: 17-159.
- Faasse, M.A. en M. Ligthart (2009). American (*Urosalpinx cinerea*) and Japanese oyster drill (*Ocenebrellus inornatus*) (Gastropoda: Muricidae) flourish near shellfish culture plots in The Netherlands. *Aquatic Invasions* 4:321-326.
- Foekema, E.M., E. Brummelhuis, J. Cuperus, B. Van der Weide, C. Van Zweeden en A.C. Sneekens (2014). Soorteninventarisatie oesterputcomplexen en schelpdierverwerkende bedrijven. IMARES. Rapport nummer: C015/14. 51 paginas.
- Haas, H.A., P.R.A. Van Der Linden en H. Holzhauer (2006). Flakkeese Spuisluis in ere hersteld. Studie naar de effecten van de ingebruikname van de Flakkeese Spuisluis op het Grevelingenmeer. RIKZ. Rapport nummer: 2006.022. 44 paginas.
- Kleissen, F.M., A.J. Nolte en M. Maarse (2022). Optimalisatie Getij Grevelingen peilbeheerscenario's met het OD waterbalansmodel. 69 paginas.
- Kruijt, D.B., O. Duijts, M. Japink en R.P. Middelverld (2020). Macrozoöbenthos-bemonstering in de zoute Rijkswateren, hoofdrapport, MWTL 2019 : waterlichamen: Westerschelde, Veerse Meer en Grevelingenmeer. Bureau Waardenburg. Rapport nummer: 20-270. 64 paginas.
- Leewis, L., E.C. Verduin en J.H. Wanink (2015). Macrozoöbenthosonderzoek in de zoute Rijkswateren, Jaarrapportage MWTL 2013. Grontmij Nederland B.V. 131 paginas.
- Legendre, L. en P. Legendre (1998). Numerical ecology. Elsevier, Amsterdam.
- Meijer, K.J., J.B. Gusmao, L. Bruil, O. Franken, I.A. Grimm, T. Van der Heide, N. Hijner, S.J. Holthuijsen, L. Hübner, D.W. Thieltges, H. Olf, B.K. Eriksson en L.L. Govers (2023). The seafloor from a trait perspective. A comprehensive life history dataset of soft sediment macrozoobenthos. *Nature Scientific Data* 10:26.
- Ministerie I&M (2023). Kiezen voor systeemherstel? Einrapport Taskforce Getij Grevelingen. 74 paginas.
- Ministerie I&W (2020). Verkenningenrapport. Beschrijving voorkeursalternatief Getij Grevelingen.
- Mulder, I., V. Escaravage, M. Tangelder en T. Ysebaert (2019). Ontwikkelingen van het macrozoöbenthos in het Grevelingenmeer 1992-2016. Wageningen University & Research. Rapport nummer: C021/19. 68 paginas.
- Nolte, A.J., L.J. Buckman en M. Maarse (2021). Advies voor indicatoren ter beoordeling van de toekomstige ecologische waterkwaliteit van de Grevelingen. 48 paginas.
- Nolte, A.J., J.W.M. Wijsman, L. Van Der Heijden en M. Maarse (2022). Synthese doelindicatoren en duiding: Effect en effectiviteit van peilbeheervarianten op de waterkwaliteit en ecologie van de Grevelingen. Deltares / WMR. 25 paginas.
- Rijkswaterstaat (2015). MWTL Meetplan 2016. Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands. Milieumeetnet Rijkswateren chemie en biologie. Rijkswaterstaat. 272 paginas.
- Schaub, B.E.M., D. Van Oevelen, W.C.H. Sistermans, M. Rietveld, P.M.J. Herman en H.H. Hummel (2002). Veranderingen in de Samenstelling van het Macrozoöbenthos van het Grevelingenmeer (periode 1990-2000) en mogelijke Oorzaken. NIOO-CEME. Rapport nummer: 2002-01. 109 paginas.
- Shojaei, M.G., L. Gutow, J. Dannheim, H. Pehlke en T. Brey (2015). Functional Diversity and Traits Assembly Patterns of Benthic Macrofaunal Communities in the Southern North Sea. *In* G. Lohmann, H. Meggers, V. Unnithan, D. Wolf-Gladrow, J. Notholt, and A. Bracher, editors. *Towards an Interdisciplinary Approach in Earth System Science*.
- Van Der Heijden, L. en A.J. Nolte (2022). Effect en effectiviteit van negen scenario's op de zuurstofdoelindicatoren van het Grevelingenmeer. Onderdeel van Getij Grevelingen.
- Van Son, L., L. Leewis en T. Van Haaren (2022). Macrozoöbenthosmonitoring in de zoute Rijkswateren, 2020 Delta (Grevelingen, Oosterschelde en Westerschelde). Eurofins Omegam B.V. 54 paginas.
- Verduin, E., L. Leewis en T. Van Haaren (2018). Macrozoöbenthosonderzoek in de zoute Rijkswateren 2016 Delta (Grevelingen, Oosterschelde, Westerschelde en Veerse Meer). Eurofins | AquaSense. 142 paginas.

- Wetsteyn, L.P.M.J. (2011). Grevelingenmeer: meer kwetsbaar? Een beschrijving van de ecologische ontwikkelingen voor de periode 1999 t/m 2008 - 2010 in vergelijking met de periode 1990 t/m 1998. RWS Waterdienst. 163 paginas.
- Wijsman, J.W.M. (2002). Stratificatie en zuurstofdeficiëntie in het Grevelingenmeer. RIKZ Middelburg. Rapport nummer: RIKZ/AB/2002.819X. 64 paginas.
- Wijsman, J.W.M., J.A. Craeymeersch en P.M.J. Herman (2022a). Comparing grab and dredge sampling for shoreface benthos using ten years of monitoring data from the Sand Motor mega nourishment. *Journal of Sea Research* 188:12.
- Wijsman, J.W.M., M. Tangelder, A. Hamer, J. Janssen, N. Van Rooijen en M.S.J. Hoekstein (2022b). Ecologische effecten veranderd peilbeheer Grevelingen. Inschatting effecten aangepaste varianten in peilbeheer op onderwaternatuur en de Natura 2000 instandhoudingsdoelen. Wageningen Marine Research. 138 paginas.

---

# Verantwoording

Rapport C038/24

Projectnummer: 4313100175

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

Akkoord: Dr. Vincent Escaravage  
Onderzoeker

Handtekening:

DocuSigned by:  
*Vincent Escaravage*  
CA1B877F55634EB...

Datum: 18 juni 2024

Akkoord: Dr. Tammo Bult  
Director

Handtekening:

DocuSigned by:  
*Tammo Bult*  
B64E2991BD8A472...

Datum: 18 juni 2024

---

Wageningen Marine Research  
T +31 (0)317 48 70 00  
E [marine-research@wur.nl](mailto:marine-research@wur.nl)  
[www.wur.nl/marine-research](http://www.wur.nl/marine-research)

Bezoekersadres:

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



---

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

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---