

Synthese doelindicatoren en duiding: Effect en effectiviteit van peilbeheervarianten op de waterkwaliteit en ecologie van de Grevelingen



**Synthese doelindicatoren en duiding:
Effect en effectiviteit van peilbeheervarianten op de waterkwaliteit en ecologie van de
Grevelingen**

Auteurs

Arno Nolte (Deltares)

Luuk van der Heijden (Deltares)

Jeroen Wijsman (WMR)

Synthese doelindicatoren en duiding:**Effect en effectiviteit van peilbeheervarianten op de waterkwaliteit en ecologie van de Grevelingen**

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersonen	René Boeters (RWS Zee en Delta) Paul Paulus (RWS Zee en Delta)
Referenties	Plan uitwerkingsfase Getij Grevelingen
Trefwoorden	Grevelingen, ecosysteem functioneren, waterkwaliteit, ecologie, zuurstof, bodemdieren, vogels, Natura 2000

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	15-11-2022
Projectnummer	11206580-006
Document ID	11206580-006-ZKS-0010
Pagina's	25
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Arno Nolte	Deltares
	Luuk van der Heijden	Deltares
	Jeroen Wijsman	Wageningen Marine Research

Gebruik van onderstaande tabel is voor de controle van de juiste uitvoering door Deltares van de opdracht.

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord
1.0	Arno Nolte	Willem Stolte (Deltares)	Myra van der Meulen (Deltares)
	Luuk van der Heijden		
	Jeroen Wijsman	Robbert Jak (WMR)	Tammo Bult (WMR)

Samenvatting

Dit syntheserapport is opgesteld als een samenvatting van door Deltares en WMR aangeleverde (relevante) kennis en inzichten ten behoeve van de beoordeling van peilbeheervarianten. De samenvatting op deze pagina is daarom kort en geeft aan wat de lezer kan verwachten in dit rapport.

In het Getij Grevelingen project hebben Deltares en Wageningen Marine Research (WMR) een aantal technische rapporten uitgebracht. Deze rapporten omvatten onder andere:

- De definitie van doelindicatoren voor de inschatting van de huidige en toekomstige toestand van de Grevelingen.
- Opzet van het modelinstrumentarium voor de berekening van de doelindicatoren
- Berekening van de doelindicatoren voor zes peilbeheervarianten inclusief een interpretatie en duiding per doelindicator

In dit syntheserapport duiden Deltares en WMR de verwachte ontwikkelingen in waterkwaliteit en ecologie van de Grevelingen voor de zes peilbeheervarianten op een integrale manier. De duiding geschiedt aan de hand van de zes doelindicatoren én van expert- en systeemkennis.

Het syntheserapport geeft geen oordeel over en maakt geen keuze tussen de peilbeheervarianten. Bij de beschrijving van de verwachte ontwikkeling zoals gepresenteerd in dit syntheserapport zijn noch de compenserende en mitigerende maatregelen noch de adaptatiepaden voor met de zeespiegel meestijgende peilgrenzen meegenomen.

Ten slotte geven Deltares en WMR aan wat de zekerheden en onzekerheden zijn met betrekking tot de beschikbare kennis van het ecosysteem functioneren van de Grevelingen, het gebruikte modelinstrumentarium en uiteindelijk de verwachte effectiviteit van de peilbeheervarianten.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding en doelstelling	6
	Beschouwde peilbeheervarianten	7
2	Positie doelindicatoren in duiding	9
3	Berekende waarde doelindicatoren voor de peilbeheervarianten	11
4	Integrale en holistische duiding – zekerheden en onzekerheden	18
	4.1 Boven water, terrestrisch (habitattypen en leefgebieden voor vogels)	18
	4.2 Onder water boven de spronglaag (waterkwaliteit en kwaliteit leefgebied bodemdieren)	19
	4.3 Onder water onder de spronglaag (waterkwaliteit en kwaliteit leefgebied bodemdieren)	21
5	Referenties	24

1 Inleiding en doelstelling

Voor de inschatting van de huidige en toekomstige toestand van de Grevelingen zijn zes doelindicatoren ontwikkeld (Nolte et al., 2021):

1. Zuurstofconcentratie in de waterkolom vlakbij de waterbodem (mate en duur van overschrijding van grenswaarde)
2. Gemiddelde zuurstofindringdiepte in de waterbodem (zomerhalfjaar)
3. Geschiktheidsindex (kanskaart) voor filtrerende bodemdieren
4. Geschiktheidsindex (kanskaart) voor bodemetende bodemdieren
5. Habitatgeschiktheid vogels (broed- en foerageergebied)
6. Natura 2000 habitattypen en soorten

Deze zes doelindicatoren zijn berekend voor zes peilbeheervarianten (Tabel 1). Doelindicatoren 1. en 2. zijn gerapporteerd in Van Der Heijden en Nolte (2022). Doelindicatoren 3. tot en met 6. zijn gerapporteerd in Wijsman et al. (2022). Beide rapporten bevatten een onderbouwing van de respectievelijke berekeningen en een interpretatie en duiding per doelindicator.

In dit syntheserapport duiden Deltares en WMR de verwachte ontwikkelingen in waterkwaliteit en ecologie van de Grevelingen voor de zes peilbeheervarianten op een integrale manier. De duiding geschiedt aan de hand van de zes doelindicatoren én van expert- en systeemkennis. Het syntheserapport geeft geen oordeel over en maakt geen keuze tussen de peilbeheervarianten. Bij de beschrijving van de verwachte ontwikkeling zoals gepresenteerd in dit syntheserapport zijn noch de compenserende en mitigerende maatregelen noch de adaptatiepaden voor met de zeespiegel meestijgende peilgrenzen meegenomen. In een vervolgstudie die zal worden uitgevoerd door SWECO worden, de effecten van eventuele compenserende/mitigerende maatregelen en adaptatiepaden wel meegenomen in de beoordeling. Hierdoor zal de beschrijving door SWECO (kunnen) afwijken van de beschrijving en de duiding gepresenteerd door Deltares en WMR in deze synthese.

Beschouwde peilbeheervarianten

Tabel 1 geeft een overzicht van de zes peilbeheervarianten (A0, A1, A3, B1, B2 en B3) die zijn beschouwd in deze studie. Voor de peilbeheervarianten A1, B1 en B2 is naast de situatie voor 2030 ook de situatie voor 2080 doorgerekend, waarbij de situatie zich onderscheidt door de mate van zeespiegelstijging en de daarvan afhankelijke uitwisselingsdebieten door de kunstwerken. Andere klimaatvariabelen zoals temperatuurstijging zijn niet meegenomen in de voorliggende analyses. Eventuele adaptatiestappen in het peilbeheer in reactie op de zeespiegelstijging zijn in deze studie eveneens niet meegenomen.

Tabel 1 Omschrijving van de varianten en situaties die zijn doorgerekend (tabel uit: Wijsman et al., 2022).

Variant	Omschrijving	Situaties
A0 #	Uitwisseling met alleen Brouwerssluis, vasthouden aan peilgrenzen van het huidig peilbesluit	A0 2030
A1 #,##	Uitwisseling met Brouwerssluis en Flakkeese spuisluis, vasthouden aan peilgrenzen van het huidig peilbesluit	A1 2030 en A1 2080
A3	Uitwisseling met Brouwerssluis en Flakkeese spuisluis waarbij het peil op het Grevelingenmeer zo weinig mogelijk wordt gestuurd. Het peil blijft tussen NAP -0,50 m en NAP 0,25 m.	A3 2030
B1	Uitwisseling met Brouwerssluis, Flakkeese spuisluis en doorlaatmiddel met een getijslag van ca 20 cm. Het waterpeil zal buiten het broedseizoen fluctueren tussen maximaal NAP -0,10 m en minimaal NAP -0,45 m. Tijdens het broedseizoen is het peil 10 cm lager en zal fluctueren tussen maximaal NAP -0,20 m en minimaal NAP -0,55 m.	B1 2030 en B1 2080
B2	Uitwisseling met Brouwerssluis, Flakkeese spuisluis en doorlaatmiddel met een getijslag van ca. 30 cm. Waterpeil zal buiten het broedseizoen fluctueren tussen maximaal NAP -0,10 m en minimaal NAP -0,45 m. Tijdens het broedseizoen is het peil 10 cm lager en zal fluctueren tussen maximaal NAP -0,20 m en minimaal NAP -0,55 m.	B2 2030 en B2 2080
B3	Uitwisseling met Brouwerssluis, Flakkeese spuisluis en doorlaatmiddel met een getijslag van ca. 40 cm. Waterpeil zal fluctueren tussen NAP -0,10 m en NAP -0,55 m. Tijdens het broedseizoen zal het peil fluctueren tussen NAP -0,20 m en NAP -0,65 m.	B3 2030

In het gehanteerde A0 en A1 peilbeheer wordt niet gestuurd op een (jaar)gemiddeld waterpeil van NAP -0,20 m zoals in het huidig operationeel waterbeheer wel het geval is. Er wordt gestuurd op maximale verversing binnen de huidige peilgrenzen.

In het gehanteerde A1 scenario wordt het peilbeheer gerealiseerd door te sturen op het aantal openingen van de Flakkeese spuisluis. De Brouwerssluis staat in het broedseizoen met één koker open en buiten het broedseizoen met beide kokers. In het huidig operationeel waterbeheer wordt zowel met de Brouwerssluis als met de Flakkeese spuisluis gestuurd op het peil binnen en buiten het broedseizoen.

Naast de peilgrenzen zijn de jaargemiddelde uitwisselingsdebieten door Brouwerssluis, Flakkeese spuisluis en doorlaatmiddel voornamelijk afhankelijk van de jaargemiddelde waterstand in de Voordelta en de Oosterschelde, welke van jaar op jaar varieert. In de studie is het gemiddelde over 2010-2018 als referentieniveau aangehouden ten opzichte waarvan de zeespiegelstijging in 2030 en 2080 is afgezet. Alle doelindicatoren zijn berekend voor (de condities van) het jaar 2017. De jaargemiddelde waterstand in 2017 in de Voordelta is NAP +0,05 m ofwel 5 cm hoger dan het gemiddelde over de periode 2010-2018. Dit beïnvloedt ook de jaargemiddelde waterstand in het Grevelingenmeer. In de B1, B2 en B3

varianten is het jaargemiddeld peil in 2030 (= 2017 plus 10 cm zeespiegelstijging) respectievelijk NAP -0,27 m, NAP -0,29 m en NAP -0,36 m, terwijl het gemiddelde over meerdere jaren (= 2010-2018 plus 10 cm zeespiegelstijging) respectievelijk NAP -0,24 m, NAP -0,29 m en NAP-0,35 meter is. Bij de duiding en de beschouwing van (on)zekerheden wordt hier rekening mee gehouden: het verschil leidt niet tot een andere (relatieve) vergelijking van het effect van de peilbeheervarianten op waterkwaliteit en ecologie van de Grevelingen.

2 Positie doelindicatoren in duiding

Het ecosysteem van het Grevelingenmeer wordt gevormd door alle organismen die er voorkomen, hun abiotische omgeving, en de interactie tussen beide¹. Onderstaande Figuur 1 – uit Nolte et al. (2021) met enkele aanpassingen – geeft een representatie van de samenhangende abiotische en biotische componenten. De biologische componenten zijn daarbij sterk vereenvoudigd tot soortgroepen en habitats. Ook de zes doelindicatoren zijn aangegeven (📌). Het schema is opgesteld als een oorzaak-effectketen van links naar rechts. De primaire ‘oorzaak’ ofwel stuurknop van de peilbeheervarianten is de uitwisseling via de Brouwerssluis en de Flakkeese spuisluis en via het nieuw te bouwen doorlaatmiddel in de Brouwersdam (⚙️).

Uit het schema blijkt dat er veel meer componenten zijn dan de zes doelindicatoren die zijn gebruikt in deze studie. De doelindicatoren zijn zo gekozen dat ze ...:

- ... een indicatie geven van het functioneren van het ecosysteem
- ... een indicatie geven van (het effect op) de ecologie als geheel, en
- ... met voldoende zekerheid te voorspellen zijn voor een toekomstige situatie.

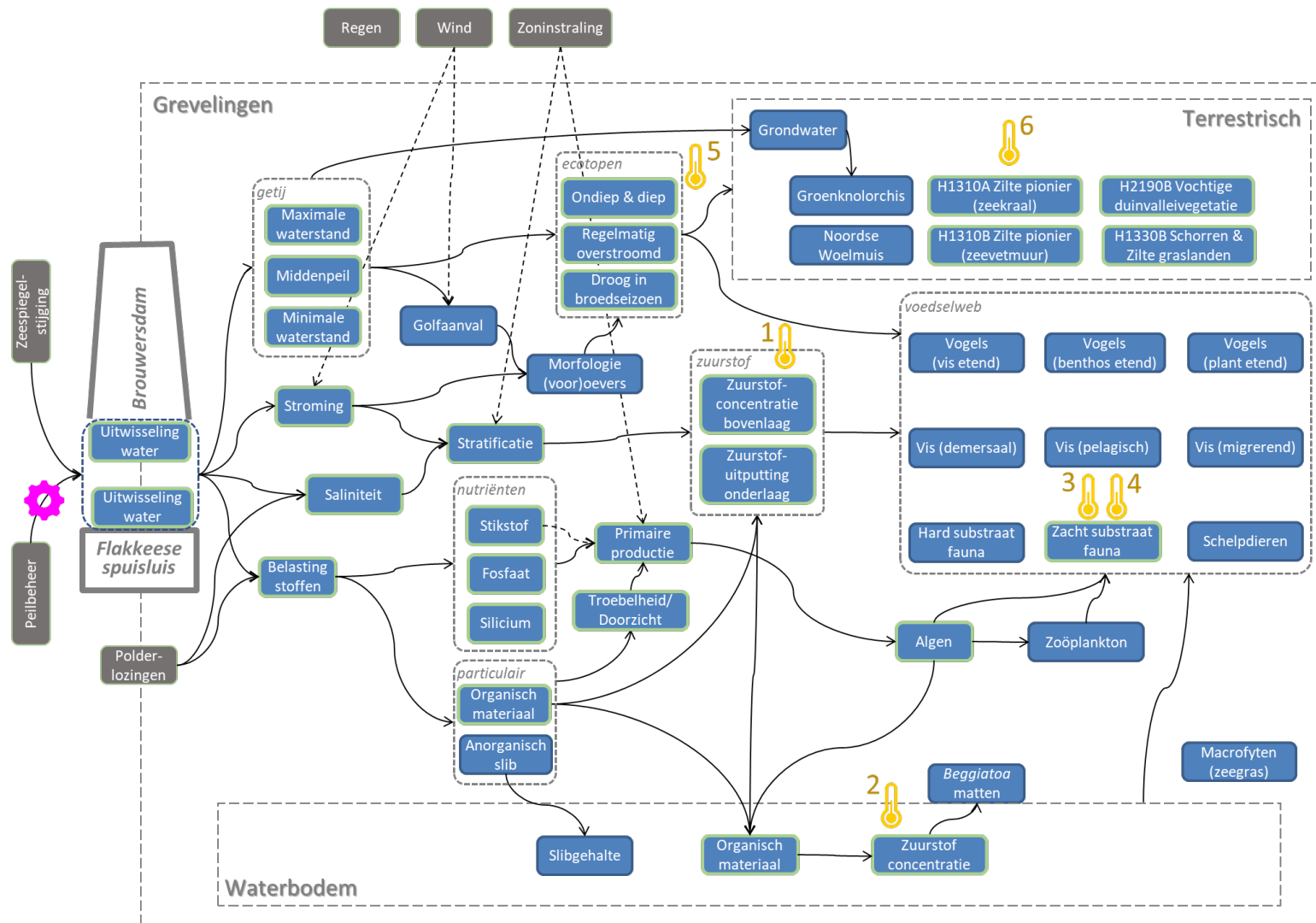
Voor meer detail zijn de doelindicatoren niet bruikbaar en moet naar onderliggende componenten (specifieke soorten, ruimtelijke en temporele dynamiek, kwaliteit) worden betrokken in de duiding. Vanuit de stuurknop (peilbeheer) links gezien liggen de doelindicatoren verder naar rechts in de effectketen. Zij omvatten daardoor ook ten dele (het effect op) de tussenliggende componenten.

(De verandering van) biologische componenten met uitzondering van algen zijn met het huidige modelinstrumentarium niet met voldoende zekerheid te voorspellen in termen van biomassa, aantallen of soortensamenstelling. Het ingezette modelinstrumentarium richt zich daarom op de volgende componenten (groen omrand in Figuur 1):

- Fysische omstandigheden (waterstand, stroming, zoutgehalte en watertemperatuur)
- Waterkwaliteitsprocessen (koolstof-, nutriënten- en zuurstofhuishouding)
- Primaire productie van algen aan de basis van de voedselketen
- Directe effecten op (geschiktheid voor) enkele soort(groep)en en habitats/ecotopen .

Effecten van peilbeheervarianten op overige biologische componenten worden kwalitatief op basis van expert beoordeling ingeschat.

¹ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Ecosysteem>



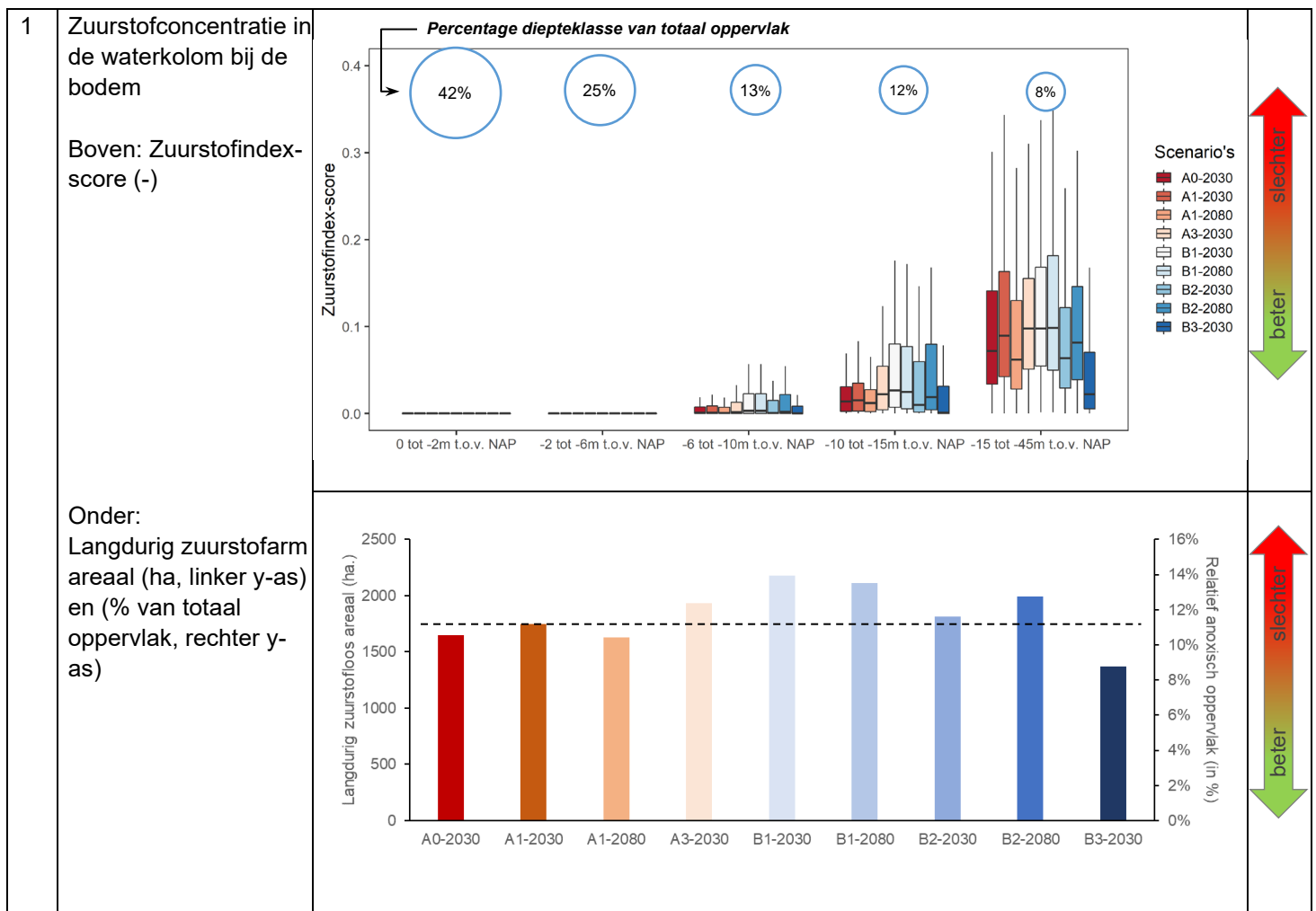
Figuur 1 Schematische representatie van de werking van het ecosysteem Grevelingen en de onderlinge relaties tussen fysische, chemische en biologische componenten (aangepast uit Nolte et al., 2021). De zes doelindicatoren zijn aangegeven met en de primaire stuurknop voor de peilbeheervarianten met . Groen omrande componenten worden berekend met het ingezette modelinstrumentarium.

3 Berekende waarde doelindicatoren voor de peilbeheervarianten

Onderstaande Tabel 2 toont de berekende waarden voor de zes doelindicatoren. Voor een aantal doelindicatoren worden meerdere subindicatoren getoond. Voor geen van de doelindicatoren is een absolute norm beschikbaar, maar de waarde van de doelindicatoren maakt het wel mogelijk om de verschillende situaties met elkaar te vergelijken. Daarom is in de rechter kolom middels een beter/slechter pijl aangegeven hoe de varianten relatief ten opzichte van elkaar vergeleken kunnen worden.

Tabel 3 geeft daarna een samenvattende, relatieve vergelijking ten opzichte van peilvariant A1 in 2030 als referentie ("huidige situatie") met een korte beschrijving en verklaring per doelindicator. De indicatoren vatten de toestand van het ecosysteem samen in één getal. Voor de duiding van de indicatoren en om deze onderling met elkaar te kunnen vergelijken zijn ook de gegevens van belang die ten grondslag liggen aan de indicatoren. Hiervoor wordt verwezen naar de onderliggende rapportages (Kleissen et al., 2022, Van Der Heijden en Nolte, 2022, Wijsman et al., 2022).

Tabel 2 Overzicht van berekende waarden voor de zes doelindicatoren. De horizontale stippellijn geeft de peilvariant A1 2030 ("huidige situatie") weer.



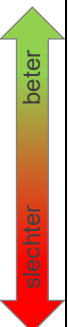
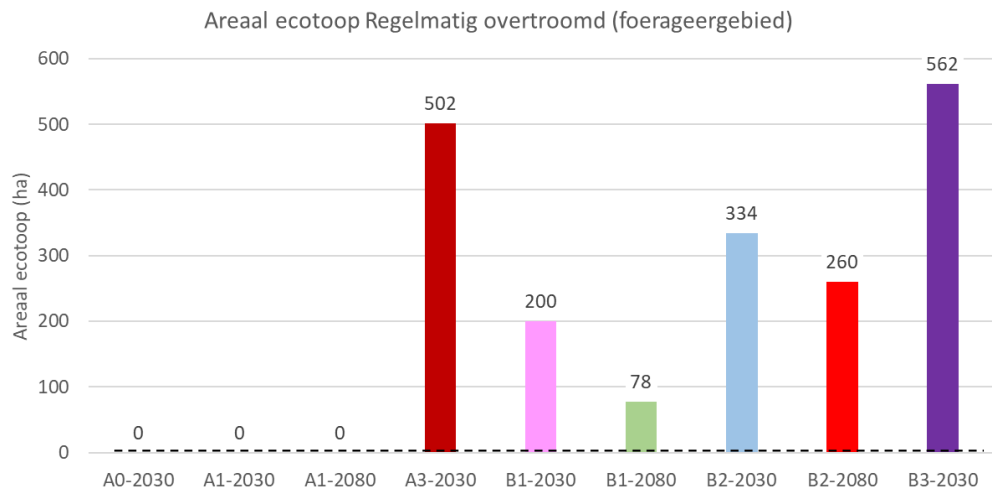
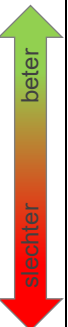
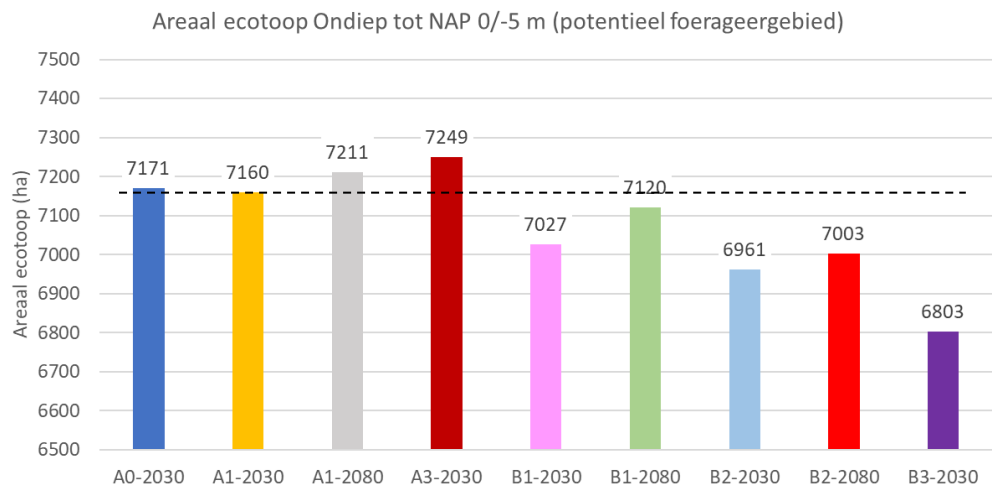
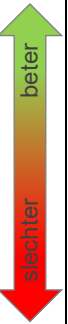
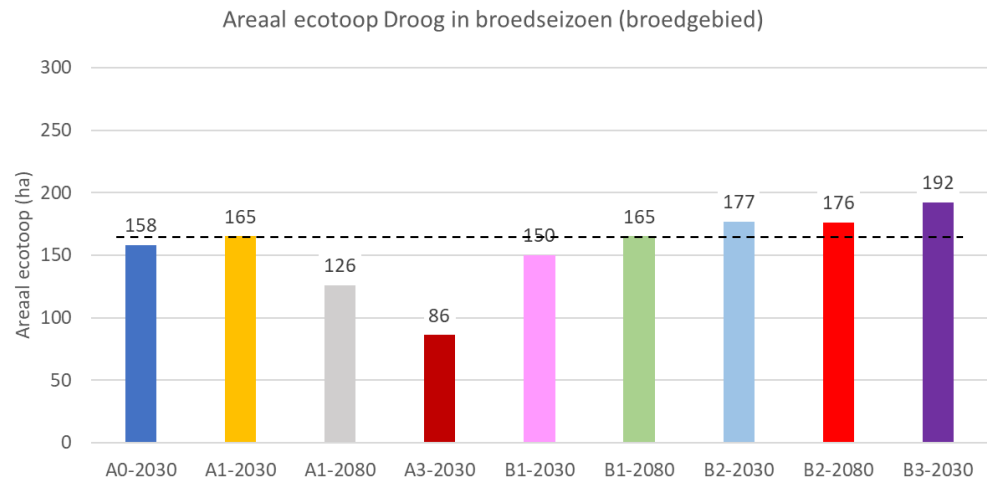
<p>2</p> <p>Zuurstofindringdiepte (cm)</p> <p>Getoond worden de berekende waarden <u>exclusief</u> eventuele verbetering bodemleven.</p>	<p>Percentage diepteklasse van totaal oppervlak</p> <p>Zuurstofindringdiepte (in cm)</p> <p>Scenario's</p> <ul style="list-style-type: none"> A0-2030 A1-2030 A1-2080 A3-2030 B1-2030 B1-2080 B2-2030 B2-2080 B3-2030 <p>Grotere zuurstofindringdiepte (beter)</p> <p>Kleinere zuurstofindringdiepte (slechter)</p>
<p>3</p> <p>Geschiktheidsindex filtrerende bodemdieren (-)</p> <p>Let op: y-as begint bij 0,50</p>	<p>Geschiktheid filtrerende bodemdieren</p> <p>Geschiktheid filtrerende bodemdieren (-)</p> <p>A0-2030: 0.625</p> <p>A1-2030: 0.634</p> <p>A1-2080: 0.632</p> <p>A3-2030: 0.633</p> <p>B1-2030: 0.671</p> <p>B1-2080: 0.666</p> <p>B2-2030: 0.713</p> <p>B2-2080: 0.702</p> <p>B3-2030: 0.759</p> <p>beter</p> <p>slechter</p>
<p>4</p> <p>Geschiktheidsindex bodemetende bodemdieren (-)</p> <p>Let op: y-as begint bij 0,50</p>	<p>Geschiktheid bodemetende bodemdieren</p> <p>Geschiktheid bodemetende bodemdieren (-)</p> <p>A0-2030: 0.664</p> <p>A1-2030: 0.670</p> <p>A1-2080: 0.671</p> <p>A3-2030: 0.681</p> <p>B1-2030: 0.699</p> <p>B1-2080: 0.702</p> <p>B2-2030: 0.718</p> <p>B2-2080: 0.716</p> <p>B3-2030: 0.736</p> <p>beter</p> <p>slechter</p>

5 Arealen potentieel broed- en foerageergebied (ha)

Getoond worden de berekende arealen exclusief compensatie en/of mitigatie.

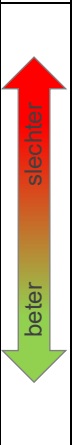
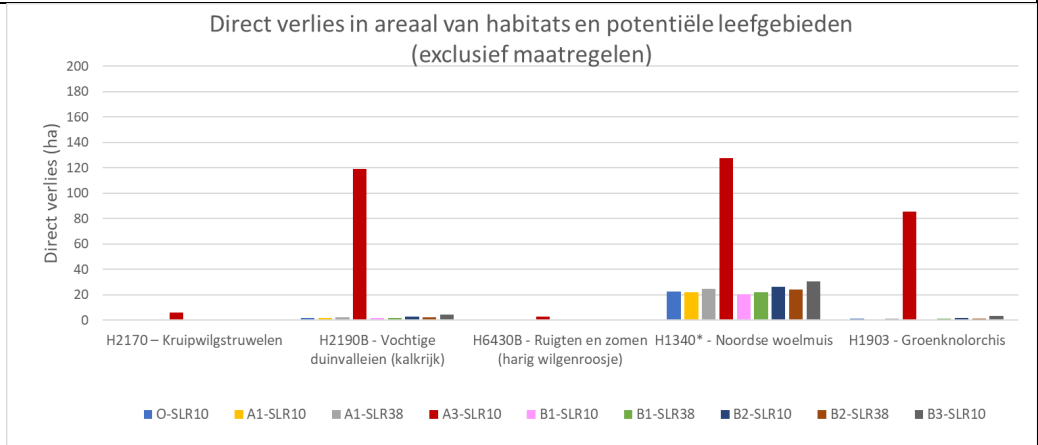
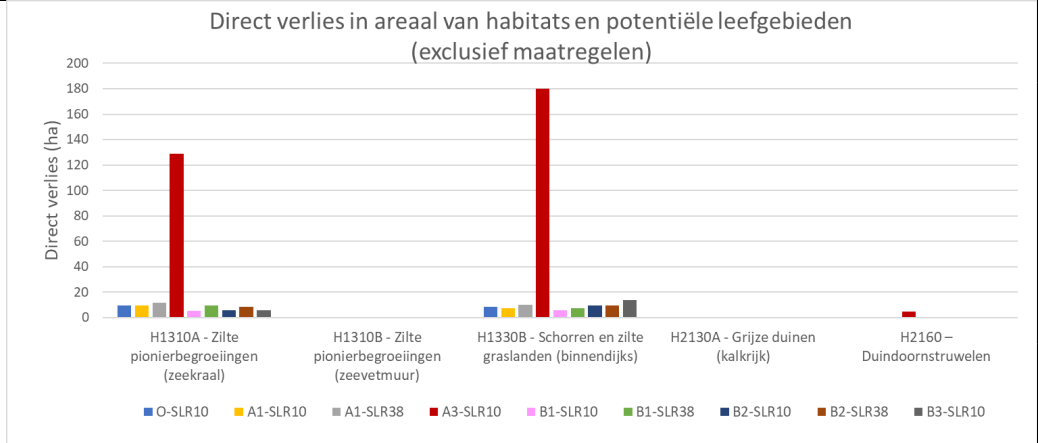
Voor de beoordeling in Tabel 3 wordt de kwaliteit als foerageergebied meegenomen.

Let op: y-as ecotoop Ondiep begint bij 6500.



6 Natura 2000 habitattypen en soorten

Getoond worden de berekende arealen exclusief compensatie en/of mitigatie en exclusief indirecte effecten die semi-kwantitatief zijn beoordeeld in Tabel 3.



Tabel 3 Relatieve vergelijking doelindicatoren ten opzichte van de peilvariant A1 2030 als referentie (ref) op een semi-kwantitatieve schaal, waarbij een verbetering ten opzichte van de referentie is aangegeven met +, een substantiële verbetering met ++, een verslechtering met - en een substantiële verslechtering met --. De waarde 0 is ongeveer gelijk aan de referentie.

Doelindicator	Subindicator	Peilbeheervarianten									
		A0-2030	A1-2030	A1-2080	A3-2030	B1-2030	B1-2080	B2-2030	B2-2080	B3-2030	
1	Zuurstofconcentratie in de waterkolom bij de bodem	Zuurstofindex-score <u>boven</u> NAP -10 m	0	ref	0	0	0/-	0/-	0	0/-	0
		Zuurstofindex-score <u>beneden</u> NAP -10 m	0/+	ref	0/+	0/-	-	-	0	0/-	+
		Langdurig zuurstofarm areaal	0/+	ref	0/+	0/-	-/--	-/--	0	-	+/++
2	Zuurstofindringdiepte waterbodem (exclusief eventuele verbetering bodemleven)	0/+	ref	0/+	0/-	-	-	-	-	-	
3	Geschiktheidsindex filtrerende bodemdieren	0	ref	0	0	+	+	+/++	+/++	++	
4	Geschiktheidsindex bodemetende bodemdieren	0	ref	0	0	+	+	+	+	+/++	
5	Habitatgeschiktheid vogels ² (exclusief maatregelen)	Broedgebied	0	ref	-	--	0/+	0	0/+	0	0/+
		Foerageergebied (regelmatig overstroemd)	0	ref	-	0/+	+	+	+	+	++
		Foerageergebied (ondiep water)	0	ref	0/+	0/+	0/+	0	0/+	0	0/+
6	Natura 2000 habitattypen en soorten ³ (exclusief maatregelen)	Zilte habitattypen (H1310A, H1310B en H1330B)	0	ref	0	+/++	+	+	+	+	+
		Overige habitattypen	0	ref	0	--	-	0	-	0	-
<p>In bovenstaande tabel zijn adaptatiestappen en de effecten van eventuele compenserende en/of mitigerende maatregelen niet meegenomen. De tabel toont uitsluitend de relatieve vergelijking van de berekende doelindicatoren. Voor de details wordt verwezen naar de onderliggende rapportages.</p> <p>Beschrijving en beknopte verklaring</p> <ul style="list-style-type: none"> Voor circa 80% van het oppervlak van het Grevelingenmeer tot een diepte van NAP -10 m verschilt de <u>zuurstofconcentratie bij de bodem</u> nauwelijks tussen de varianten en heeft zeespiegelstijging geen noemenswaardig effect. Bij de varianten B1 en B2 is de zuurstofconcentratie bij de bodem een fractie lager door hogere zuurstofvraag die niet gecompenseerd wordt door aanvoer vanuit de atmosfeer en menging door hogere stroomsnelheden. Beneden een diepte van NAP -10 m – circa 20% van het oppervlak van het 											

² Het betreft hier een gemiddeld beeld voor alle soorten. De inschatting is zowel gebaseerd op de verandering in arealen (Tabel 2) als de kwaliteit van de foerageergebieden, zie hiervoor ook de onderliggende rapportage (Wijsman et al., 2022). Voor de effecten op de individuele soorten wordt verwezen naar Wijsman et al. (2022).

³ Het betreft hier een gemiddeld beeld voor alle habitattypen en -soorten. Voor de effecten op de individuele habitattypen en -soorten wordt verwezen naar Wijsman et al. (2022).

Grevelingenmeer – neemt de zuurstofconcentratie bij de bodem met name in de B1 en B2 varianten duidelijk af en het langdurig zuurstofarm areaal toe. Bij variant B3 is beneden NAP -10 m (duidelijk) een verbetering zichtbaar. Beneden NAP -10 m is het effect van zeespiegelstijging gemengd: in varianten met weinig uitwisseling (A1) resulteert minder uitwisseling door zeespiegelstijging in een kleine verbetering (A1 in 2080). Bij grotere uitwisseling (B2) resulteert het in een kleine verslechtering. In balans tussen meer zuurstofvraag en meer menging lijkt een knikpunt te liggen rond en waarschijnlijk voorbij 40 cm getijslag (B3), wanneer het langdurig zuurstofarm areaal duidelijk afneemt ten opzichte van de referentie A1. Dit knikpunt is consistent met de oorspronkelijke studie (Deltares, 2011) die aangaf dat circa 50 cm getijslag voldoende is om het langdurig zuurstofarm areaal substantieel te laten afnemen. In Deltares (2011) bleek dat bij grotere getijslag tot circa 75-100 cm het langdurig zuurstofarm areaal niet substantieel verder afneemt.

- De zuurstofindringdiepte in de waterbodem als indicator voor de abiotische toestand van bodem neemt iets af in varianten A0 2030 en A3 2030 en neemt verder af in varianten B1, B2 en B3. Het effect op de zuurstofindringdiepte is vrijwel gelijk over het diepteprofiel. Uitzondering daarop is de zuurstofindringdiepte beneden NAP -10 m in variant B3, waar de verbeterde zuurstofconcentratie in de waterkolom de hogere zuurstofvraag in de bodem deels compenseert. Door de grotere uitwisseling ten opzichte van de referentie A1 2030 neemt de import van organisch materiaal toe en neemt de nutriëntenbelasting toe met hogere primaire productie tot gevolg. De hoeveelheid organisch materiaal in de bodem neemt daardoor toe en door afbraak neemt de zuurstofindringdiepte af. Het risico op bedekking met *Beggiatoa* neemt daardoor toe. De berekening is uitgevoerd onder aanname van gelijkblijvende biologische activiteit en er wordt dus geen uitspraak gedaan over het effect van de toenemende geschiktheid voor bodemdieren.
- De relatief kleine verschillen voor de geschiktheidsindex filtrerende bodemdieren ten opzichte van A1 2030 variëren tussen -1,4% en +19,7%. Voor de geschiktheidsindex bodemetende bodemdieren is de variatie ten opzichte van A1 2030 kleiner van -0,9% tot +9,9%. De berekende index is de resultante van aan een kant de verandering in de voedselbeschikbaarheid en aan de andere kant de waterkwaliteit (zuurstofcondities). De indices zijn daarmee een indicator voor de potentie voor de biomassa van respectievelijk filtrerende en bodemetende bodemdieren. Dit hoeft nog niet *per se* een relatie te hebben met de biodiversiteit (aantal soorten) of specifieke soorten. De beschikbaarheid van voedsel neemt zowel voor de bodemetende als voor de filtrerende bodemdieren toe met een toenemende wateruitwisseling. Met het water uit de Noordzee (en de Oosterschelde) worden algen en nutriënten geïmporteerd die leiden tot hogere primaire productie, meer fytoplankton en een grotere sedimentatie van organisch materiaal naar de bodem. Deze toename in productiviteit heeft ook een keerzijde, namelijk een grotere zuurstofvraag. De verbeterde wateruitwisseling is niet voldoende om de toegenomen zuurstofvraag (volledig) te compenseren. De B1 variant leidt daardoor slechts tot een beperkte verbetering van de potentiële geschiktheid voor filtrerende en bodemetende bodemdieren. Bij de grotere dimensies van het doorlaatmiddel (B2 en B3) is de toename van de indices groter en neemt de potentiële geschiktheid van zowel filtrerende als bodemetende bodemdieren verder toe. Van belang is wel dat er ruimtelijke patronen (diepte; oost-west) zijn in de veranderingen van de geschiktheidsindices. Deze zijn te vinden in de onderliggende rapportage (Wijsman et al., 2022).
- De habitatgeschiktheid voor vogels is uitgedrukt in de sub-indicatoren broedgebied (voor kustbroedvogels) en foerageergebied (regelmatig overstroomd en ondiep water). Het potentieel broedgebied is het gebied dat tijdens het broedseizoen droog komt te liggen en buiten het broedseizoen (regelmatig) onder water komt te staan waardoor de vegetatie zich maar beperkt kan ontwikkelen. In de situaties waar er sprake is van een verlaging van het maximum peil tijdens het broedseizoen, varieert het areaal droog in broedseizoen tussen de 126 ha (A1 in 2080) en 192 ha (B3 in 2030). In de situatie A3 2030 is het areaal potentieel broedgebied een stuk lager (86 ha). Van belang is tevens dat dit areaal bij de variant A3 sterk afhankelijk is van de randvoorwaarden (waterstanden op de Noordzee) in het jaar 2017 waarvoor de berekening is uitgevoerd. In een ander jaar waar er gedurende het broedseizoen hoge waterstanden voorkomen op de Noordzee (bijvoorbeeld door harde wind uit Noorden) kan het areaal potentieel broedgebied een stuk minder zijn wat gevolgen heeft voor het broedsucces.

Naast het totale areaal is ook de ligging en kwaliteit van belang omdat andere factoren (zoals verstoring, nabijheid foerageergebied, substraattypen) van invloed zijn op de geschiktheid van een locatie als broedgebied. De arealen “ondiep water” en “droog in broedseizoen” kunnen gezien worden als belangrijke foerageergebieden voor visetende en benthosetende vogels. De grootste arealen regelmatig overstroomd komen voor bij de varianten A3, B2 en B3. Bij de B varianten lijkt dit op een intergetijdengebied dat dagelijks droog komt te vallen. Dit is een geschikt gebied waar bodemdieren zich kunnen ontwikkelen en waar

steltlopers kunnen foerageren waardoor de geschiktheid van de B-varianten over het algemeen licht positief is. Door het verschil in middenpeil tijdens en buiten het broedseizoen zal de droogvalperiode mogelijk variëren door het jaar, wat mogelijk consequenties heeft voor de geschiktheid van het gebied voor bodemdieren. Bij de variant A3 is de frequentie van droogval compleet anders. Er is geen sprake van een dagelijks getij over het hele ecotootype, maar de perioden van droogval en inundatie zijn veel langer variërend van dagen tot maanden. Dit zal niet ten goede komen van de kwaliteit van het gebied voor bodemdieren en dus voor foeragerende vogels. Het grote areaal in combinatie met de beperkte kwaliteit leidt tot een licht positief effect. De ondiep water gebieden zijn doorgaans rijker aan organismen dan de diepere delen en daardoor interessanter voor bijvoorbeeld visetende vogels. De arealen ondiep water (tot 5 meter diepte) bevatten het grootste oppervlak in het Grevelingenmeer. Het areaal varieert van 6803 ha. (situatie B3 2030) tot 7249 ha. (situatie A3 2030). Of deze verschillen relevant zijn voor foeragerende vogels is afhankelijk van of het areaal beperkend wordt. Daarnaast is ook de kwaliteit (o.a. waterkwaliteit en hoeveelheid voedsel) en bereikbaarheid van belang. De verwachting is dat de kwaliteit iets zal toenemen met de toegenomen productiviteit als gevolg van een grotere doorlaat waardoor het netto effect op foeragerende vogels in het ondiep water neutraal tot licht positief is.

De vertaling van de habitatgeschiktheid naar de verschillende vogelsoorten is soort-specifiek. Sommige vogels zijn afhankelijker van de lokale voedselsituatie in het Grevelingenmeer dan andere die bijvoorbeeld foerageren in de Voordelta of in de Oosterschelde. Een beschrijving van de vertaling naar soorten is terug te vinden in Wijsman et al. (2022).

- In de varianten A0, A1, B1, B2 en B3, waar de bovenste peilgrens op NAP -0,10 m gehandhaafd is, zijn er niet of nauwelijks directe effecten op de Natura 2000 habitattypen en soorten. Wat betreft de indirecte effecten zijn de verschillen groter omdat de gemiddelde waterstand sterker varieert tussen de varianten dan de bovenste peilgrens. Zeker in de varianten met veel getij (B3 2030). Zie hiervoor de integrale en holistische duiding verderop in dit rapport. Het middenpeil heeft effect op de grondwaterstand op de terrestrische delen. In de situatie A1 2030 is de door het model berekende gemiddelde waterstand NAP -0,16 m, terwijl in de situatie B3 2030 de berekende gemiddelde waterstand 20 cm lager ligt (NAP -0,36 m). In variant A3 waar de bovenste peilgrens NAP +0,25 m is, worden vrijwel alle habitattypen en soorten relatief veel beïnvloed door overspoeling. Over het algemeen profiteren de zilte habitattypen van de dynamiek in deze waterstanden. Dit is ook het geval voor de variant A3 waar een groot areaal regelmatig wordt overstroomd. Aan de onderkant van de verspreiding zal er areaalverlies optreden maar de verwachting is dat het habitatype kan opschuiven naar hoger gelegen delen. Voor de overige habitattypen zal de variant A3 en in mindere mate de B-varianten leiden tot verlies als gevolg van het lagere middenpeil. In deze berekening zijn maatregelen die eventuele negatieve effecten zouden kunnen beperken of tenietdoen niet meegenomen. Omdat er een verschil is in de effecten tussen de zilte en overige habitattypen zijn deze in de tabel apart weergegeven. Een meer gedetailleerde beschrijving van de ruimtelijke effecten op de Natura 2000 habitattypen en soorten is te vinden in Wijsman et al. (2022).

4 Integrale en holistische duiding – zekerheden en onzekerheden

Op basis van de invloed van de peilbeheervarianten op de dominante processen die het ecosysteem van de Grevelingen bepalen, zijn drie deelgebieden te onderscheiden:

1. Boven water, terrestrisch → Beïnvloed door gemiddeld peil, de bovenste peilgrens en de peilvariatie van een variant
2. Onder water boven de spronglaag → Beïnvloed door de grootte en verdeling van de wateruitwisseling behorende bij een variant die de import van organisch materiaal en de nutriëntenbelasting bepalen met gevolg voor de productiviteit van het systeem.
3. Onder water onder de spronglaag → Naast beïnvloeding door organisch-materiaalimport en primaire productie is er ook beïnvloeding door horizontale waterverversing en door verticale menging als gevolg van een peilbeheervariant.

4.1 Boven water, terrestrisch (habitattypen en leefgebieden voor vogels)

In het algemeen geldt dat bij gelijk gemiddeld peil en gelijke bovenste peilgrens er in essentie geen verschil is tussen peilbeheervarianten; de ontwikkeling boven water/terrestrisch (ver)volgt de autonome ontwikkeling.

Peilbeheervarianten A0, A1, B1, B2 en B3 hebben een gelijke bovenste peilgrens (NAP -0,10 m). Het gemiddeld peil is 10 tot 20 cm hoger in A0 en A1 dan in de B-varianten. In de varianten A0 en A1 is het gemiddeld peil ongeveer NAP -0,15 m. Het lijkt overigens goed mogelijk om het gemiddeld peil in A0 en A1 in overeenstemming met het huidige peilbeheer op NAP -0,20 m te houden. Het effect van een iets kleinere uitwisseling op de onderwaterdeelgebieden wordt in A0 en A1 als verwaarloosbaar ingeschat. Daaruit volgt dan ook dat er geen effect wordt verwacht op het boven water/terrestrisch deel.

In de B1, B2 en B3 varianten is het gemiddeld peil in 2030⁴ respectievelijk ongeveer NAP -0,27 m, NAP -0,29 m en NAP -0,36 m. Ten opzichte van de actuele situatie wordt het gemiddeld peil dus lager met toenemende getijslag, wat toenemend negatief effect heeft op de grondwaterstand (verdroging) en daarmee de vegetatie en de kwaliteit van de terrestrische habitats. Voor de B peilbeheervarianten zal ten opzichte van de actuele (2020) situatie enig effect optreden op de terrestrische habitats dat door gerichte maatregelen gemitigeerd en/of gecompenseerd kan (of moet) worden.

Peilbeheervariant A3 heeft een 35 cm hogere bovenste peilgrens van NAP +0,25 m dan de andere peilbeheervarianten. Het gemiddeld peil is 25 cm hoger (circa NAP +0,10 m) in 2030 en 35 cm hoger in 2080 (circa NAP +0,19 m). Er is daardoor sprake van overspoeling en direct verlies van terrestrische habitats. Mitigerende en/of compenserende maatregelen zijn niet te voorkomen. De variant heeft de meeste dynamiek waardoor het peil in 2030 fluctueert tussen NAP -0,29 m en NAP +0,25 m. Deze zone van fluctuatie kan een interessant gebied worden voor zilte pioniersvegetaties en zal verdere successie tegenhouden. Echter voor broedvogels is deze zone wel een minder geschikt gebied vanwege het risico op overstroming. Door onregelmatige overstroming is de ontwikkeling van stabiel bodemleven beperkt en daardoor is de waarde als foerageergebied voor wadvogels ook beperkt.

⁴ 2030 is afgeleid uit de waterstand in de Voordelta en Oosterschelde voor 2017 plus 10 cm zeespiegelstijging. Omdat deze waterstand van jaar op jaar verschilt, zal het jaargemiddeld peil op het Grevelingenmeer enkele cm kunnen verschillen.

Zeker of onzeker?

Het effect van peilbeheervarianten op waterstanden is goed te voorspellen. Daardoor is het direct effect op het huidige areaal (ecotopen, habitats) ook goed te voorspellen. De indirecte effecten op grondwaterstand en zoutspray zijn niet berekend, maar worden als voldoende zeker ingeschat. De grootste onzekerheid zit in de autonome ontwikkeling, maar die onzekerheid is onafhankelijk van de peilbeheervariant. Als onderdeel van die (onzekere) autonome ontwikkeling worden in ieder geval de volgende factoren geïdentificeerd: successie en klimaatverandering (zeespiegelstijging, opwarming en verandering in neerslagpatronen). De verwachte effecten op vogels kenmerken zich door relatief grote bandbreedtes, omdat er veel (onzekere) variabelen een rol spelen. Cruciaal daarbij is dat vogels zich door hun mobiliteit in een open systeem bevinden. Factoren binnen de Grevelingen bepalen slechts deels hoe populaties zullen toe- of afnemen. Andere factoren variëren bijvoorbeeld van nog onbekende klimaateffecten op de Siberische toendra op het broedsucces tot mogelijke overbevissing voor de Mauritaanse kust. De voorspellingen zijn gedaan met de best beschikbare expert inschatting.

4.2 Onder water boven de spronglaag (waterkwaliteit en kwaliteit leefgebied bodemdieren)

De spronglaag komt voor op een diepte van circa NAP -10 m variërend van circa NAP -8 m tot NAP -15 m. Zo'n 80% van het Grevelingenmeer is ondieper dan NAP -10 m en heeft geen spronglaag. Zo'n 90% van het watervolume van het Grevelingenmeer bevindt zich boven NAP -10 m (Wijsman et al., 2022).

De zuurstofconcentratie lijkt een dominante factor voor de toestand en ontwikkeling van het onderwater-ecosysteem van het Grevelingenmeer, zowel voor de waterkolom als de waterbodem. In het deelgebied boven de spronglaag wordt de zuurstofconcentratie in de waterkolom vooral bepaald door de zuurstofuitwisseling met de atmosfeer. Afbraak van organisch materiaal in de waterkolom en zuurstofvraag van de bodem spelen een ondergeschikte rol. Zuurstofconcentraties in de waterkolom lager dan 5 mg/l, als indicatieve grenswaarde voor negatieve effecten op organismen, worden niet of nauwelijks gemeten. Echter, metingen in delen met een bodemdikte van NAP -5 m of ondieper zijn zeer schaars.

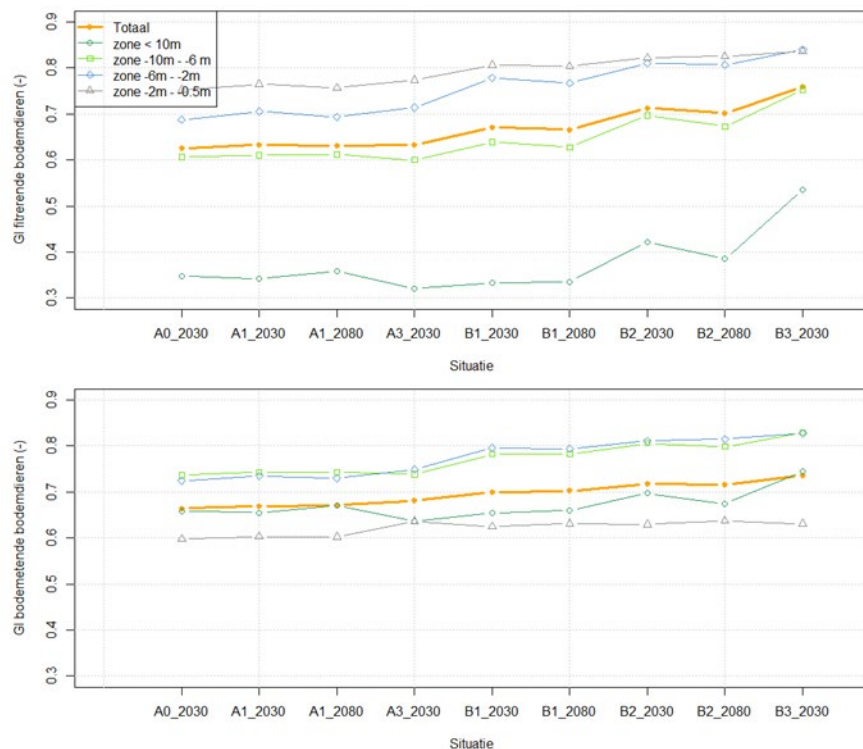
Voldoende zuurstof in de waterkolom is geen garantie voor voldoende zuurstof in de waterbodem. In de huidige situatie komen *Beggiatoa* matten voor in het deelgebied boven de spronglaag, wat bewijst dat zuurstof in de bodem is uitgeput terwijl zuurstof in de waterkolom aanwezig is. Als *Beggiatoa* aanwezig is, zullen bodemetende bodemdieren vrijwel afwezig zijn, omdat zij zuurstof de bodem in moeten kunnen transporteren om te ademen. Filtrerende bodemdieren kunnen mogelijk nog wel aanwezig zijn, omdat zij vaak boven het sediment uitsteken en het zuurstof uit de waterkolom vlak boven de bodem gebruiken.

In het deelgebied boven de spronglaag speelt het effect van peilbeheervarianten op de zuurstofconcentratie in de waterkolom naar verwachting geen rol van betekenis voor de ecologische toestand, omdat de uitwisseling met de atmosfeer niet beïnvloed wordt door de grootte en/of verdeling van de uitwisseling met de Voordelta en de Oosterschelde. Het effect van meer wateruitwisseling en daarmee verhoogde aanvoer van organisch materiaal en nutriënten werkt op twee andere manieren wel door. Ten eerste betekent meer organisch materiaal, zowel door meer import als door meer lokale primaire productie, meer voedsel voor bodemdieren en in feite voor de voedselketen in het algemeen. Dit kan worden gezien als een positieve ontwikkeling voor de ecologische toestand.

Ten tweede betekent meer organisch materiaal dat de hoeveelheid organisch materiaal in de bodem toeneemt, waardoor de zuurstofvraag in de bodem toeneemt. Omdat de zuurstofconcentratie vlakbij de bodem in deze ondiepe delen waarschijnlijk niet verandert, verhoogt een grotere zuurstofvraag in de bodem het risico op *Beggiatoa* maten. Dit is een negatieve ontwikkeling voor de ecologische toestand. Als meer voedsel zorgt voor meer bodemetende bodemdieren die door hun gedrag extra zuurstof in de bodem brengen (bioturbatie en bio-irrigatie), kan dit risico verminderd worden. Dit laatste effect is niet meegenomen in de berekeningen die zijn uitgevoerd in onderhavige studie.

Het deelgebied boven de spronglaag heeft derhalve te maken met twee factoren die bij meer uitwisseling in een tegenstelde richting wijzen: positief voor meer voedsel, negatief voor meer zuurstofvraag in de bodem en een groter risico op *Beggiatoa* maten. De beschouwde peilvarianten A0, A1 en A3 variëren relatief weinig in uitwisseling en de doelindicatoren voor de geschiktheidsindices voor filtrerende en bodemetende bodemdieren laten geen wezenlijk effect zien (Figuur 2). In peilbeheervariant B1 wordt een kleine verbetering van beide indices berekend (Figuur 2), wat aangeeft dat in de berekening de betere voedselbeschikbaarheid zwaarder weegt dan de slechtere zuurstofconditie in de bodem. In de varianten B2 en B3 waarbij de wateruitwisseling met de Noordzee en de Oosterschelde groter is neemt de voedselbeschikbaarheid verder toe en verbeteren de zuurstofcondities zich ten opzichte van de situatie B1. Als gevolg hiervan neemt de potentiële geschiktheid voor zowel de bodemetende- als de filtrerende bodemdieren toe bij toenemende wateruitwisseling.

De berekende potentiële geschiktheidsindices zijn een indicator voor de te verwachten veranderingen in totale biomassa van de beide groepen bodemdieren en daardoor bruikbaar voor doorvertaling verder in het voedselweb (Wijsman et al., 2022). De ontwikkeling van specifieke soorten of soortendiversiteit kunnen ook van belang zijn voor de "kwaliteit" van een ecosysteem, maar daarvoor zijn de in deze studie gebruikte indices niet ontwikkeld.



Figuur 2 Gemiddelde totale geschiktheidsindices (dikke oranje lijn) en partiële geschiktheden (overige lijnen) voor filtrerende bodemdieren (boven) en bodemetende bodemdieren (onder) voor het hele Grevelingenmeer dieper dan -0.5 m NAP voor de verschillende situaties. (Figuur 34 uit: Wijsman et al., 2022)

Zeker of onzeker?

Het effect op de zuurstofconcentratie in de waterkolom is voldoende zeker, omdat de uitwisseling met de atmosfeer zo'n dominante rol speelt. Ook het toenemende risico op *Beggiatoa* matten volgt logischerwijs direct uit de peilbeheervariant, dat wil zeggen de mate van uitwisseling en de direct daaraan gerelateerde import van organisch materiaal en primaire productie. Ook dit effect wordt als voldoende zeker beschouwd.

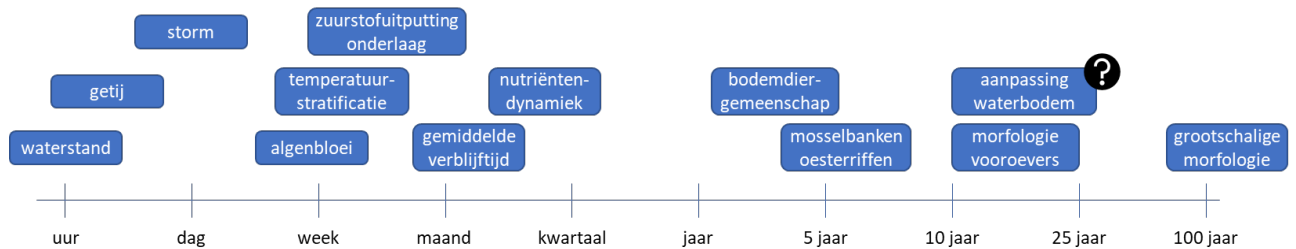
Onzekerder zijn de relaties tussen het bodemleven en de (zuurstof)conditie van de bodem en tussen het bodemleven en de voedselbeschikbaarheid. Ook zijn de berekende kwantitatieve verschillen relatief klein. In de huidige situatie is een afnemende trend van (biomassa) bodemleven geconstateerd (Mulder et al., 2019). Een verklaring voor de afname is niet of niet met voldoende zekerheid vastgesteld. Het is niet voldoende zeker of voedselbeschikbaarheid of de zuurstofcondities in de huidige situatie de beperkende factor is en daarom is onzeker of meer voedsel tot een verbetering leidt. De rekenregels die zijn ontwikkeld om de potentiële geschiktheden te bepalen zijn niet eerder gebruikt in eerdere studies en het zou goed zijn om de resultaten te valideren met monitoringsgegevens. Vanwege de korte doorlooptijd was er binnen de huidige studie geen ruimte voor een dergelijke validatie.

Omdat de berekeningen zijn uitgevoerd voor de condities van één jaar (2017), is geen bandbreedte gekwantificeerd en is een statistische toets op een significant verschil tussen de peilbeheervarianten niet mogelijk. De verschilbeoordeling leunt daarom op deskundigenoordeel, zoals in de relatieve vergelijking in Tabel 3. Bij dat deskundigenoordeel is wel informatie over de periode 2010-2018 uit berekeningen met een OD-waterbalansmodel meegewogen, zoals de bandbreedte in jaargemiddeld peil en jaargemiddelde getijslag in de orde van enkele centimeters. Op de relatieve vergelijking tussen de peilbeheervarianten heeft deze bandbreedte geen invloed.

Als integrale beoordeling op basis van de berekende doelindicatoren en op basis van expert- en systeemkennis wordt een positief effect van elk van de beschouwde peilbeheervarianten op het deelgebied boven de spronglaag als onvoldoende zeker beschouwd.

4.3 Onder water onder de spronglaag (waterkwaliteit en kwaliteit leefgebied bodemdieren)

Het deelgebied onder water onder de spronglaag omvat circa 20% van de bodem en zo'n 10% van het watervolume (Wijsman et al., 2022). De aanwezigheid van de spronglaag – stratificatie op basis van zout en temperatuur – is van dominant belang voor (de uitputting van) de zuurstofconcentratie in de diepere delen. In het Grevelingenmeer is met name temperatuurstratificatie van belang, veroorzaakt door opwarming van de bovenlaag tijdens de zomer. Temperatuurstratificatie kan versterkt worden door zoutstratificatie, maar zoutverschillen tussen Voordelta, Oosterschelde en Grevelingenmeer zijn over het algemeen klein. De invloed van (zoet of brakke) polderlozingen is ook klein. De tijdschaal waarop temperatuurstratificatie ontstaat is orde een tot twee weken; korter dan de gemiddelde verblijftijd van orde een tot twee maanden (Figuur 3).



Figuur 3 Tijdschalen van processen in het Grevelingenmeer. De tijdschaal van aanpassing waterbodembodem is niet goed bekend.

Bij meer wateruitwisseling neemt de zuurstofvraag onder de spronglaag toe door de import van organisch materiaal en de toename van primaire productie. Een deel van de algen die boven de spronglaag groeien, zakken door de spronglaag naar beneden en dragen daar bij aan de zuurstofvraag. Meer uitwisseling kan op twee manieren de toevoer van zuurstof naar het deelgebied onder de spronglaag vergroten.

De eerste manier is door horizontale, laterale stroming als zuurstofhoudend water vanuit de kunstwerken de diepe geulen instroomt en het water ververscht ('transportband'). Dit gebeurt als het instromende water een hogere dichtheid heeft (zouter en/of kouder is) dan het aanwezige water in het Grevelingenmeer. Het dichtheidsverschil tussen Voordelta en Oosterschelde aan de ene kant en Grevelingenmeer aan de andere kant is klein. Er zijn ook momenten dat het instromende water een lagere dichtheid heeft dan het aanwezige water in het Grevelingenmeer. In zo'n situatie stroomt het instromende water in de oppervlaktelaag en ververscht het niet de onderlaag. Metingen en modelresultaten indiceren dat het verversen van de onderlaag in de vorm van een "transportband" mechanisme aanwezig is in het Grevelingenmeer. Omdat er ook momenten zijn dat het water in de Grevelingen een hogere dichtheid heeft dan het water in de Voordelta, is de transportband niet continu aanwezig en zijn er dus momenten dat het water in de onderlaag niet ververscht wordt. Als die momenten langer duren dan de tijdschaal voor zuurstofuitputting van de onderlaag – orde twee tot drie weken (Figuur 3) – blijft het risico op zuurstofuitputting aanwezig.

De tweede manier van verversing is door verticale menging, waardoor zuurstofhoudend water uit de oppervlaktelaag het water in de onderlaag ververscht. Hiervoor moet de spronglaag ofwel geheel opgeheven worden ofwel gedeeltelijk door bijvoorbeeld te verplaatsen van NAP -10 m naar NAP -15 m. Omdat de tijdschaal van temperatuurstratificatie duidelijk korter blijft dan de gemiddelde verblijftijd in alle peilbeheervarianten, blijft temperatuurstratificatie een dominante factor. Hogere stroomsnelheden kunnen de spronglaag geheel of gedeeltelijk opheffen. Echter, omdat stroomsnelheden in het Grevelingenmeer laag zijn en ook in variant B1 nog laag zijn in de orde van 10 cm/s, is er (te) weinig energie om de spronglaag op te heffen. Bij een min of meer gelijk blijvende spronglaag en toenemende zuurstofvraag neemt het risico op zuurstofuitputting toe. Bij toenemende getijslag en dus stroomsnelheden neemt de verticale menging toe. Dat effect is met name zichtbaar in variant B3 waar het langdurig zuurstofarm areaal duidelijk afneemt, overigens door een combinatie van de twee manieren (horizontale stroming en verticale menging). Consistent met het oorspronkelijke (model)onderzoek uit 2011 wordt verwacht dat rond 50 cm getijslag een minimaal areaal wordt bereikt wat bij nog verder toenemende getijslag nog maar beperkt verder afneemt.

Zeker of onzeker?

De processen die zuurstofuitputting van de onderlaag veroorzaken, zijn in principe goed begrepen en er zijn voldoende metingen van de huidige situatie. De toename van de zuurstofvraag in de onderlaag door import van organisch materiaal en toename van primaire productie bij grotere uitwisseling is aannemelijk. Omdat de tijdschalen van temperatuurstratificatie en van zuurstofuitputting dominant blijven in de beschouwde peilbeheervarianten, is het voldoende zeker dat het risico op zuurstofuitputting aanwezig blijft.

Omdat de berekeningen zijn uitgevoerd voor de condities van één jaar (2017), is niet aan te geven of het effect van de peilbeheervarianten onder condities van andere jaren positiever, vergelijkbaar of negatiever zou zijn voor de zuurstofcondities in de onderlaag. De richting van de sturende processen – toename zuurstofvraag en tijdschaal temperatuurstratificatie – is echter gelijk ook onder condities van andere jaren. Naar verwachting zal daarom de relatieve, onderlinge vergelijking tussen de peilbeheervarianten gelijk zijn.

De tijdschaal van (herstel) van het bodemleven is 2 tot 5 jaar (Figuur 3). Als een zuurstofarme situatie binnen die tijdschaal voorkomt, is een negatief effect op het bodemleven te verwachten. Het is aannemelijk dat in de beschouwde peilbeheervarianten zo'n zuurstofarme situatie in de onderlaag zal optreden. Hogere (lucht)temperatuur en hittegolven veroorzaakt door klimaatverandering verhogen het risico op temperatuurstratificatie. Deze autonome ontwikkeling is niet in de berekeningen meegenomen en dit effect is derhalve onzeker. Meer uitwisseling heeft waarschijnlijk een gunstig, verminderend effect op temperatuurstratificatie, maar dit leidt niet per se tot minder zuurstofuitputting. Zo leidde de jaarrond openstelling van de Brouwersdam, waardoor de uitwisseling groter werd, tot minder temperatuurstratificatie in de diepe putten bij de sluis door een hogere temperatuur in de onderlaag. Bij de hogere temperatuur gaan (bio)chemische processen sneller en daardoor nam de zuurstofvraag en de zuurstofuitputting waarschijnlijk toe. Hoe deze balans uitwerkt bij klimaatverandering is onzeker.

5 Referenties

- Deltares (2011): Effect van herintroductie van getij op waterkwaliteit en ecologische toestand van het Grevelingenmeer; scenarioberekeningen ten behoeve van de MIRT-Verkenning, A.J. Nolte en C. Spiteri, Rapport 1201650-000-ZKS-0033, in opdracht van Natuur- en Recreatieschap Grevelingen, juni 2011.
<https://pub.kennisbank.deltares.nl/Details/fullCatalogue/1000008435>
- Deltares (2019): Optimalisatie van peilbeheer Getij Grevelingen door aansturing van het doorlaatmiddel in de Brouwersdam, M.J. Maarse, A.J. Nolte, F.M. Kleissen en B.P.J. Becker, Rapport 11203818-001-ZKS-0003, in opdracht van Rijkswaterstaat, augustus 2019. <https://pub.kennisbank.deltares.nl/Details/fullCatalogue/1000003294>
- Kleissen, F.M., A.J. Nolte en M. Maarse (2022). Optimalisatie Getij Grevelingen peilbeheersscenario's met het 0D waterbalansmodel. 69 paginas.
- 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. <https://doi.org/10.18174/471938>
- 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.
<https://pub.kennisbank.deltares.nl/Details/fullCatalogue/1000020637>
- 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.
- Wijsman, J.W.M., M. Tangelder, A. Hamer, J. Janssen, N. Van Rooijen en M.S.J. Hoekstein (2022). Ecologische effecten veranderd peilbeheer Grevelingen. Inschatting effecten aangepaste varianten in peilbeheer op onderwaternatuur en de Natura 2000 instandhoudingsdoelen. Wageningen Marine Research. 138 paginas.
<https://doi.org/10.18174/579650> (vanaf 1-1-2023)

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl