



Ecologische effecten veranderd peilbeheer Grevelingen

Inschatting effecten aangepaste varianten in peilbeheer op onderwaternatuur en de Natura 2000
instandhoudingsdoelen

Auteurs: Wijsman, J.W.M.¹, Tangelder, M¹, Hamer, A¹, Janssen, J.A.M.², Van Rooijen, N.M.²
en Hoeksteen, M³

Wageningen University &
Research rapport C066/22A

¹ Wageningen Marine Research

² Wageningen Environmental Research

³ Deltamilieu Projecten

Ecologische effecten veranderd peilbeheer Grevelingen

Inschatting effecten aangepaste varianten in peilbeheer op onderwaternatuur en de Natura
2000 instandhoudingsdoelen

Auteur(s): Wijsman, J.W.M.¹, Tangelder, M.¹, Hamer, A.¹, Janssen, J.A.M.², Van Rooijen, N.M.²
en Hoekstein, M.³

¹Wageningen Marine Research

²Wageningen Environmental Research

³Deltamilieu Projecten

Wageningen Marine Research
Yerseke, november 2022

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C066/22A

Keywords: **Bodemmetende bodemdieren, filtrerende bodemdieren, groenknolorchis, gedempt getij, Grevelingen.**

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

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/579650>
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
gevolg schade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de
resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen
Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van
aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of
gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden
zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A_4_3_1 V32 (2021)

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	8
1.1 Achtergrond	8
1.2 Vraagstelling	9
1.3 Aanpak	9
1.4 Leeswijzer	9
2 Grevelingenmeer	10
2.1 Ontstaan en ontwikkeling	10
2.2 Begrenzing onderzoeksgebied en bathymetrie	11
2.3 Natura 2000 habitattypen en -soorten	12
2.3.1 Habitattypen	12
2.3.2 Habitatsoorten	18
2.3.3 Broedvogels en niet-broedvogels	20
3 Peilbeheervarianten	23
3.1 Stuurknoppen peilbeheer	23
3.2 Varianten	23
3.2.1 Variant A0	25
3.2.2 Variant A1	26
3.2.3 Variant A3	26
3.2.4 Variant B1	27
3.2.5 Variant B2	28
3.2.6 Variant B3	28
4 Waterstanden Grevelingenmeer OD model	29
5 Impact op ecotopen	31
5.1 Achtergrond	31
5.2 Aanpak	31
5.3 Resultaten	33
6 Geschiktheidsindex bodemetende- en filtrerende bodemdieren	36
6.1 Bodemdieren	36
6.2 Relatie met de omgeving	36
6.2.1 Filtrerende versus bodemetende bodemdieren	36
6.2.2 Voedselbeschikbaarheid	37
6.2.3 Zuurstof	38
6.3 Filtrerende en bodemetende en bodemdieren als indicatoren	40
6.4 Aanpak	40
6.5 Resultaten modelberekeningen	42
6.6 Resultaten geschiktheden	47
7 Effecten op broedvogels en niet-broedvogels	54
7.1 Achtergrond	54
7.2 Autonome ontwikkelingen	54
7.2.1 Broedvogels	55
7.2.2 Niet-broedvogels	56

7.3	Effecten varianten	58
7.3.1	Broedvogels	58
7.3.2	Niet-broedvogels	59
8	Effecten op zeezoogdieren	63
8.1	Achtergrond	63
8.2	Autonome ontwikkelingen	63
8.2.1	Gewone zeehond	63
8.2.2	Grijze zeehond	63
8.3	Effecten varianten	64
8.3.1	Gewone zeehond	64
8.3.2	Grijze zeehond	64
9	Effecten varianten op Natura 2000 habitattypen en -soorten	65
9.1	Achtergrond	65
9.2	Directe effecten	65
9.2.1	Waterstanden	65
9.2.2	Habitatkaarten	66
9.2.3	Rekenregels	66
9.2.4	Resultaat	67
9.3	Indirecte effecten	69
9.3.1	Veranderingen grondwaterstand	69
9.3.2	Zoutspray	74
9.3.3	Opschuiven vegetatie	74
9.3.4	Autonome ontwikkelingen	77
9.3.5	Overzicht indirecte effecten	79
10	Discussie en conclusies	81
	Literatuur	89
	Verantwoording	92
Bijlage 1	Natura 2000 Habitattypen en soorten 2020	93
Bijlage 2	Berekende waterstanden OD model	95
Bijlage 3	Verspreiding ecotopen	100
Bijlage 4	Potentiële indicatorsoorten bodemdieren Grevelingenmeer	102
Bijlage 5	Geschiktheidsindices filtrerende en bodemetende bodemdieren	104
Bijlage 6	Veranderingen geschiktheids- indices ten opzichte van A1 in 2030	108
Bijlage 7	Veranderingen geschiktheids- indices ten opzichte van A1 in 2080	112
Bijlage 8	Directe effecten habitattypen	113
Bijlage 9	Direct habitatverlies door overspoeling	133

Samenvatting

Om de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer te verbeteren zijn er plannen om de uitwisseling met de Noordzee en de Oosterschelde te vergroten door gebruik te maken van de bestaande doorlaatmiddelen (Brouwerssluis en Flakkeese spuisluis) eventueel in combinatie met een nieuw aan te leggen doorlaatmiddel in de Brouwersdam. Naast de effecten op de waterkwaliteit en daarmee ook de onderwaternatuur zal de aanpassing van de wateruitwisseling ook de (fluctuaties in) waterstanden in het Grevelingenmeer veranderen en daarmee gevolgen hebben voor de huidige terrestrische natuur.

Peilbeheer varianten & indicatoren

In deze studie zijn zes verschillende varianten van peilbeheer onderzocht, waarbij in drie varianten waarbij gebruik wordt gemaakt van de huidige doorlaatmiddelen (Brouwerssluis en Flakkeese spuisluis): varianten A0, A1 en A3. De varianten A0 en A1 gaan uit van het huidige peilbeheer waarbij er in de variant A0 alleen uitwisseling met de Noordzee plaatsvindt door middel van de Brouwerssluis (situatie tot 2022) en bij variant A1 ook de Flakkeese spuisluis in gebruik is ("huidige situatie"). In de variant A3 wordt het peilbeheer losgelaten en worden beide doorlaatmiddelen maximaal open gezet waardoor het peil in het Grevelingenmeer zal toenemen tot ongeveer het middenpeil op de Voordelta. Bij de andere drie varianten - B1, B2 en B3 - wordt er een nieuw doorlaatmiddel in de Brouwersdam aangelegd waardoor er een getijslag wordt bereikt van respectievelijk ca 20, 30 en 40 cm. Alle varianten zijn doorgerekend voor het jaar 2030, want dit is het veronderstelde aanvangsjaar voor het nieuwe peilbeheer. Om de effecten van klimaatverandering te onderzoeken zijn de varianten A1, B1 en B2 tevens onderzocht voor het jaar 2080, waarbij rekening is gehouden met de zeespiegelstijging. De effecten van eventuele adaptatiestappen in het peilbeheer zijn daarbij niet meegenomen. Dit resulteert in een totaal aantal van negen verschillende situaties.

Om de effecten van deze negen situaties op het ecosysteem van het Grevelingenmeer te kwantificeren zijn er door Deltares zes specifieke indicatoren opgesteld die zich niet alleen richten op de waterkwaliteit in de diepe geulen maar ook op de ondiepe delen (< 10 meter waterdiepte) en de bovenwaternatuur:

1. Zuurstofconcentratie in de waterkolom bij de waterbodem (mate en duur van onderschrijding van grenswaarde);
2. Gemiddelde zuurstofindringingdiepte in de waterbodem (zomerhalfjaar);
3. Geschiktheidsindex (kansenskaart) voor filtrerende bodemdieren;
4. Geschiktheidsindex (kansenskaart) voor bodemetende bodemdieren;
5. Habitatgeschiktheid vogels (broed- en foerageergebied);
6. Natura 2000 habitattypen en soorten

Voorliggende studie richt zich op evaluatie van de negen verschillende situaties met behulp van de indicatoren 3 tot en met 6. De evaluatie met behulp van de indicatoren 1 en 2 is uitgevoerd door Deltares in een parallel traject.

Geschiktheid voor bodemdieren

De geschiktheidsindices voor filtrerende en bodemetende bodemdieren zijn de resultante van variabelen die iets zeggen over enerzijds de voedselbeschikbaarheid en anderzijds de waterkwaliteit in termen van zuurstofconcentratie. Over het algemeen zijn vooral de diepere delen minder geschikt voor filtrerende bodemdieren (lagere geschiktheidsindex). Dit heeft te maken met de lage zuurstofconcentraties en de lange perioden met lage zuurstofconcentraties. Ook zijn de geulen minder geschikt vanwege de lage concentraties fytoplankton en de lage stroomsnelheden. De resultaten laten zien dat de verschillen tussen de A-varianten (zonder nieuw doorlaatmiddel) voor deze indicator zijn zeer beperkt. In de B1-variant, met een doorlaatmiddel in de Brouwersdam neemt geschiktheid voor filtrerende bodemdieren slechts beperkt toe ten opzichte van de situatie A1. Weliswaar neemt gemiddeld gezien de voedselbeschikbaarheid wel toe, maar de zuurstofcondities verslechteren. Lokaal, nabij het doorlaatmiddel, in het westelijk deel van het Grevelingenmeer neemt de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren wel toe. Ook in de ondiepe delen is er sprake van een (beperkte) verbetering.

In de geul van het Springersdiep, ten noorden van de Hompelvoet, is er echter sprake van een vermindering van de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren als gevolg van de verminderde zuurstofcondities. Bij een groter doorlaatmiddel (B2 en vooral B3) neemt de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren weer toe doordat de voedselbeschikbaarheid verder toeneemt. Ook verbeteren de zuurstofcondities iets ten opzichte van de situatie B1.

De geschiktheidsindex voor bodemetende bodemdieren laat ook zeer beperkte verschillen zien tussen de A-varianten. De geschiktheidsindex van de B-varianten met een extra doorlaatmiddel in de Brouwersdam laten een lichte verbetering zien doordat de voedselbeschikbaarheid verbetert met de grotere uitwisseling met de Noordzee. Echter, de vermindering in zuurstofcondities doet de verbetering in voedselbeschikbaarheid bijna teniet. In de variant met de meeste wateruitwisseling met de Noordzee (B3) is de geschiktheid met betrekking tot de zuurstofcondities weer op het niveau van de A-varianten waardoor deze variant leidt tot de hoogste geschiktheid voor bodemetende bodemdieren.

Effecten op Natura 2000 vogelsoorten

De verschillen in waterstanden en de voedselsituatie tussen de varianten A0 en A1 is zo gering dat er ook geen wezenlijke verschillen worden ingeschat op de vogelstand tussen deze varianten. Variant A3 heeft wel grote effecten voor de vogels, met name op de kustbroedvogels (viseters en benthoseters) waarbij vrijwel alle broedplaatsen zullen verdwijnen door de grote en onvoorspelbare peilfluctuaties. Hun aantallen worden daardoor gedecimeerd en nieuw terrein zal nauwelijks beschikbaar komen. Daarmee verdwijnen enkele van deze soorten ook als niet-broedvogel uit het Grevelingenmeer. De opportunistische benthosetende broedvogels kunnen soms periodes profiteren wanneer voedsel beschikbaar komt op tijdelijk droogvallende slikken. De varianten met een nieuw doorlaatmiddel (B1, B2 en B3) voorzien in stabielere situaties voor kustbroedvogels, waarvan de aantallen dan ook weinig zullen reageren op de peilverandering.

Voor de meeste benthoseters komen er bij de B-varianten met een gedempt getij areaal aan potentieel foerageergebied bij. Ook zullen ze profiteren van de toename van prooidieren als gevolg van de toegenomen productiviteit. Voor de meeste soorten wordt dan ook ingeschat dat er in de varianten met meer getij (B1, B2 en B3) sprake is van een toename in aantallen, al nemen deze aantallen naar schatting weer wat af in de periode tot 2080 als gevolg van de autonome ontwikkelingen. Voor enkele soorten wordt geen toename verwacht en/of speelt een internationale negatieve trend een dominante rol. Bij de viseters is er voor de varianten met het nieuwe doorlaatmiddel (B1, B2 en B3) een licht positief effect te verwachten door een toenemende visstand in de waterkolom. De regionale en internationale negatieve trends zijn voor sommige soorten echter van groter belang. Voor de meeste planteneters zullen de effecten van veranderd peilbeheer naar verwachting weinig effect sorteren. De meerkoet en bergeend profiteren wel van verhoogde voedselbeschikbaarheid in de vorm van droogvallende wieren. Andere planteneters volgen vooral internationale trends.

Voor zeehonden wordt weinig effect verwacht van de varianten B1, B2 en B3, mogelijk een kleine toename door een hoger visaanbod. De variant A3 kan een negatief effect hebben op de gewone zeehond omdat de vooroevers die de zeehonden gebruiken als ligplaatsen om uit te rusten en hun jongen te zogen onregelmatig en soms langdurig overspoelen.

Effecten op Natura 2000 habitattypen en -soorten

De effecten van de negen peilbeheer situaties op de Natura 2000 habitattypen en -soorten is ingeschat door de berekende waterstanden te relateren aan de huidige verspreiding van de habitattypen in de Grevelingen (Habitatkaart 2020). Dit is gedaan in twee stappen. Eerst zijn de directe effecten ingeschat door te berekenen welke delen van de huidige habitattypen (te lang) onder water komen te staan en daardoor zullen verdwijnen. Vervolgens is een expert inschatting gemaakt van de indirecte effecten door veranderingen in grondwaterstand, zoutspray, opschuiven van vegetatie naar hoger gelegen delen en autonome ontwikkeling door successie van de vegetatie.

Doordat er bij de verschillende varianten (behalve situatie A3) is gestuurd op maximale waterstanden die min of meer gelijk zijn (ca. NAP -0.10 m buiten het broedseizoen en ca. NAP -0.22 m tijdens het

broedseizoen) is er weinig verschil in directe effecten op de habitattypen tussen de verschillende varianten en daarmee zijn de directe effecten op de habitattypen beperkt. Dit geldt niet voor de situatie A3 die wel degelijk leidt tot een grotere directe impact op vooral de lager gelegen habitattypen. Van habitatype H1310A (Zilte pionierbegroeiingen, zeekraal) zal bij de variant A3 het overgrote deel (ongeveer 130 ha) verdwijnen doordat het te lang onder water komt te staan. Ook van het habitatype H1330B (schorren en zilte graslanden, binnendijs) zal ongeveer 70% (180 ha) verdwijnen doordat het regelmatig wordt overspoeld. Van de kalkrijke vochtige duinvalleien (H2190B) zal ongeveer een kwart (120 ha) verdwijnen door overspoeling met zoutwater.

De indirecte effecten op de bestaande Natura 2000 habitattypen worden voornamelijk veroorzaakt door de verandering in zoetwaterbel en de (on)mogelijkheid van opschuiving naar hoger gelegen delen. De zilte habitattypen kunnen over het algemeen goed opschuiven naar de hoger gelegen delen bij de hogere waterstanden van variant A3. Voor de habitatsoorten en -typen van zoete, natte, lage begroeiingen (H2170, H2190B, groenknolorchis) en de duingraslanden (H2130) zit de hoger opgaande begroeiing het opschuiven deels in de weg (netto afname bij variant A3). Voor de noordse woelmuis is het effect van variant A3 voorzichtig positief ingeschat, aangezien de zilte graslanden (H1330B) geschikt leefgebied vormen voor deze soort. De varianten B1, B2 en B3 leiden tot gemiddeld iets lagere waterstanden dan de huidige situatie, en hebben door hun drainerende werking naar verwachting negatieve indirecte effecten op habitatsoorten en -typen van zoete, natte systemen (H2170, H2190B, groenknolorchis, noordse woelmuis). Op langere termijn (2080) zou de drainerende werking kunnen meevallen, omdat de zeespiegelstijging dan weer voor een toename in de gemiddelde waterstand zorgt. Vanwege het grotere gebied dat onder invloed komt van getij, is bij de B-varianten wel een uitbreiding te verwachten van de zilte habitattypen H1310A en H1330B. Los van deze effecten is de verwachting dat door autonome ontwikkelingen de duindoornstruwelen geleidelijk zullen afnemen (door successie naar bos), de duinvalleien en kruipwilgstruwelen zullen afnemen (door voortgaande humusopbouw en verzuring, en geleidelijk overgaan in andere vormen van duinvalleien of andere graslanden), de groenknolorchis hierbij mee afneemt, en de noordse woelmuis af zal nemen door oprukkende, concurrerende aardmuizen en veldmuizen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De voorgenomen maatregel om gedempt getij te introduceren in het Grevelingenmeer heeft als doel de waterkwaliteit en de onderwaternatuur in het meer te verbeteren. Dit kan onder andere worden bereikt door het zoute Grevelingenmeer te verbinden met de Noordzee via een nieuw aan te leggen doorlaat in de Brouwersdam in combinatie met de inzet van de huidige Brouwerssluis in de Brouwersdam en de inzet van de Flakkeese spuisluis in de Grevelingendam. Tijdens de verkenningsfase is onderzocht wat de optimale balans is tussen de grootte van de getijslag, nodig om voldoende wateruitwisseling te bereiken waarmee de waterkwaliteit kan worden verbeterd, en tegelijkertijd het zoveel mogelijk behouden van de door Natura 2000 beschermde natuurdoelen op de eilanden en de oevers (Tangelder et al., 2019). Hiertoe zijn er tijdens de verkenningsfase een aantal varianten doorgerekend variërend in getijslag, middenpeil (inclusief aanpassingen van het middenpeil tijdens het broedseizoen en in de winterperiode). Er is daarbij gekeken naar de gevolgen van de verschillende getijvarianten op de waterkwaliteit en diverse Natura 2000 doelen. Dit heeft uiteindelijk geleid tot een voorkeursalternatief en later een verbeterd voorkeursalternatief. Bij de doorberekening van de kosten bleek dat de voorkeursalternatieven niet pasten binnen het taakstellend budget. Een expertteam heeft daarom een aantal alternatieve oplossingsrichtingen in beeld gebracht (Ten Cate et al., 2021), waaronder een kleiner doorlaatmiddel en opties waarbij alleen gebruik wordt gemaakt van de huidige doorlaatmiddelen, de Flakkeese spuisluis en de Brouwerssluis.

De ministeries van I&W en LNV willen de opgave voor Natura 2000 in het Grevelingenmeer opnieuw tegen het licht houden voor een aantal andere peilbeheer varianten die niet in de verlengde verkenning zijn meegenomen. Hiertoe zijn aan de Taskforce Getij Grevelingen de volgende vragen gesteld:

1. Wat is de maximale ecologische kwaliteitsimpuls die gegeven kan worden binnen het beschikbare (en taakstellende) budget en breng de effectiviteit in beeld aan de hand van de door het (door Opdrachtgever eerder ingestelde) expertteam voorgestelde indicatoren;
2. Kan de effectiviteit worden verhoogd en zo ja tegen welke financiële inspanning;
3. Bij welke effectiviteit stopt de achteruitgang van de waterkwaliteit en het ecologisch systeem getoetst aan de voorgestelde indicatoren;
4. Wat is de effectiviteit van een variant zonder extra civieltechnische ingrepen, dus met bestaande spuismiddelen;
5. Onderbouw voor ieder van deze opties de haalbaarheid van het uitwerken van een Ecologisch Masterplan, zoals geadviseerd door het expertteam ten behoeve van de planuitwerkingsfase;
6. Uitbrengen een advies uit over deze opties;
7. Uitbrengen van een advies over de governance van de planuitwerking.

Als onderdeel van het project van de Taskforce Getij Grevelingen worden er een aantal nieuwe varianten doorgerekend die de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer moeten verbeteren. Om de effecten van het veranderd peilbeheer in het Grevelingenmeer op het ecosysteem te kunnen kwantificeren is er door Nolte et al. (2021) een set indicatoren opgesteld die de toestand van het ecosysteem Grevelingenmeer in een toekomstige situatie kan weergeven. Deze indicatoren richten zich niet alleen op de waterkwaliteit in de diepe geulen maar ook op de ondiepe delen (< 10 meter waterdiepte) en de bovenwaternatuur. Het gaat daarbij om zes indicatoren die de toestand van het Grevelingen ecosysteem trachten te duiden en gebruikt kunnen worden om de effectiviteit en effecten van maatregelen te kunnen beoordelen en vergelijken:

1. Zuurstofconcentratie in de waterkolom bij de waterbodem (mate en duur van onderschrijding van grenswaarde);
2. Gemiddelde zuurstofindringingdiepte in de waterbodem (zomerhalfjaar);
3. Geschiktheidsindex (kansenskaart) voor filtrerende bodemdieren;
4. Geschiktheidsindex (kansenskaart) voor bodemetende bodemdieren;

5. Habitatgeschiktheid vogels (broed- en foerageergebied);
6. Natura 2000 habitattypen en soorten.

1.2 Vraagstelling

Het project Getij Grevelingen heeft aan Deltares gevraagd om een aantal nieuwe varianten van peilbeheer en wateruitwisseling met de Noordzee en Oosterschelde te onderzoeken op waterkwaliteitsaspecten en technische uitvoerbaarheid. Tevens is Deltares gevraagd om de effectiviteit van de maatregelen te toetsen aan de hand van indicatoren 1 en 2. Aan Wageningen Marine Research is gevraagd om voor deze varianten de ecologische effecten te onderzoeken (indicatoren 3 tot en met 6).

1.3 Aanpak

De indicatoren 5 (Habitatgeschiktheid vogels) en 6 (Natura 2000 habitattypen en -soorten) zijn eerder gebruikt in voorgaande studies (Tangelder et al., 2018, Tangelder et al., 2019, Tangelder et al., 2021). De door Deltares berekende waterstanden in het Grevelingenmeer worden gekoppeld aan de dieptekaart en de verspreidingskaarten van de verschillende habitats en leefgebieden. Op basis van berekeningen en expert inschatting worden ten slotte de effecten voor de habitattypen en -soorten gekwantificeerd. Deze resultaten kunnen worden gebruikt door Rijkswaterstaat om natuurmaatregelen te definiëren die de impact op de bovenwaternatuur kunnen compenseren.

De indicatoren 3 (geschiktheid filtrerende bodemdieren) en 4 (geschiktheid bodemetende bodemdieren) zijn niet eerder gebruikt in het kader van het onderzoek naar de effecten van veranderd peilbeheer in het Grevelingenmeer. De modelberekeningen van de verwachte waterkwaliteit in het Grevelingenmeer zullen met behulp van eenvoudige kennisregels worden vertaald naar geschiktheidsindicatoren voor beide groepen bodemdieren. De indicatoren worden uitgedrukt in één getal (gewogen gemiddelde) voor het hele Grevelingenmeer en per deelgebied, zodat verschillende situaties eenvoudig met elkaar kunnen worden vergeleken.

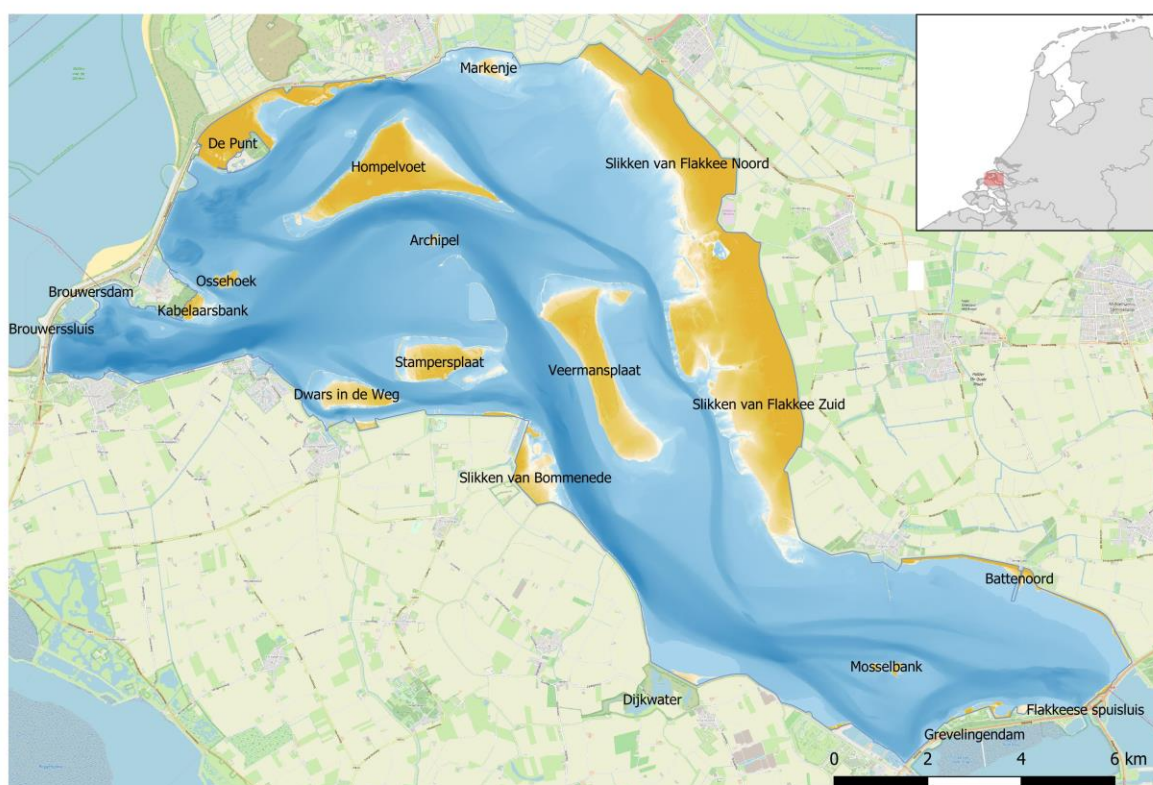
1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt als achtergrond een beschrijving gegeven van het Grevelingenmeer. Tevens wordt een overzicht gegeven van de verschillende Natura 2000 habitattypen en -soorten die van belang zijn voor het gebied. De huidige arealen en verspreiding van de Natura 2000 habitattypen in het Grevelingenmeer, gebaseerd op de Habitatkaart 2020, is gepresenteerd. In hoofdstuk 3 worden de negen situaties (zes varianten in het jaar 2030 en drie varianten in het jaar 2080) die in deze studie zijn doorgerekend gepresenteerd. De situaties zijn door Deltares eerst doorgerekend voor het jaar met een 0D model om de benodigde debieten door de verschillende doorlaten te berekenen. De (fluctuaties) in waterstanden in het Grevelingenmeer voor het jaar 2017 zijn gepresenteerd in hoofdstuk 4 en zijn indicatief voor de waterstanden uit het 3D model die verder in deze studie zijn gebruikt. De ecotopen die zijn gepresenteerd in hoofdstuk 5 zijn berekend op basis van de waterstanden uit het 3D model en geven inzicht in de gebieden die (periodiek) onder water komen te staan. In hoofdstuk 6 worden de geschiktheidsindices voor filtrerende (indicator 3) en bodemetende (indicator 4) bodemdieren gepresenteerd. De effecten op broedvogels en niet-broedvogels (indicator 5, hoofdstuk 7) en zeezoogdieren (indicator 6, hoofdstuk 8) zijn ingeschat op basis van expert inschatting waarbij gebruik is gemaakt van de resultaten van de modelberekeningen. De effecten op de Natura 2000 habitattypen en -soorten (indicator 6) zijn gepresenteerd in hoofdstuk 9. Allereerst zijn de directe effecten gekwantificeerd op basis van modelberekeningen (paragraaf 9.2) en vervolgens zijn de indirecte effecten gekwantificeerd op basis van expert inschatting (paragraaf 9.3). Hoofdstuk 10 tenslotte geeft een overzicht en discussie van de belangrijkste conclusies van dit onderzoek. Een synthese, waarbij de resultaten van dit onderzoek zijn geïntegreerd met de resultaten van de indicatoren 1 en 2 die door Deltares zijn onderzocht is uitgevoerd in een gezamenlijk rapport van Deltares en Wageningen Marine Research (Nolte et al., 2022).

2 Grevelingenmeer

2.1 Ontstaan en ontwikkeling

Tot 1964 was de Grevelingen een estuarium met uitgestrekte slikken, platen en schorren. Getij kwam binnen vanuit de Noordzee in het westen en vanuit de Oosterschelde in het zuiden. Nutriëntenrijk rivierwater werd aangevoerd via het Krammer-Volkerak. Het getijverschil in het Grevelingenmeer was gemiddeld 2.3 meter (Wijsman et al., 2014). In 1965 is de Grevelingen afgesloten van Oosterschelde en de aanvoer van rivierwater door de aanleg van de Grevelingendam. Door de aanleg van de Brouwersdam (1971) werd de Grevelingen ook van de Noordzee afgesloten en is het getij verdwenen waardoor het huidige Grevelingenmeer (Figuur 1) is ontstaan. De diepste delen van de voormalige slikken en platen zijn permanent onder water komen te staan en de hogere delen kwamen permanent droog te vallen, waardoor de aanwezige bodemdieren massaal stierven (Nienhuis, 1978). De drooggevalen delen vormden een zeer geschikt broedgebied voor kustbroedvogels (Terlouw en Lammerts, 2021). De vegetatie ontwikkelde zich snel waardoor enorme oppervlakten aan zilte plantengemeenschappen ontstonden. Door regenval ontziltten de voormalige zoute slikken en platen in korte tijd. Zoet neerslagwater trok, geholpen door de aanleg van stuifdijkjes, in de bodem van de eilanden en verdreef het zoute water waardoor een zogenoemde zoetwaterbel ontstond. Daardoor kwam de ontwikkeling van zoete vegetatie op gang (Terlouw en Lammerts, 2021).



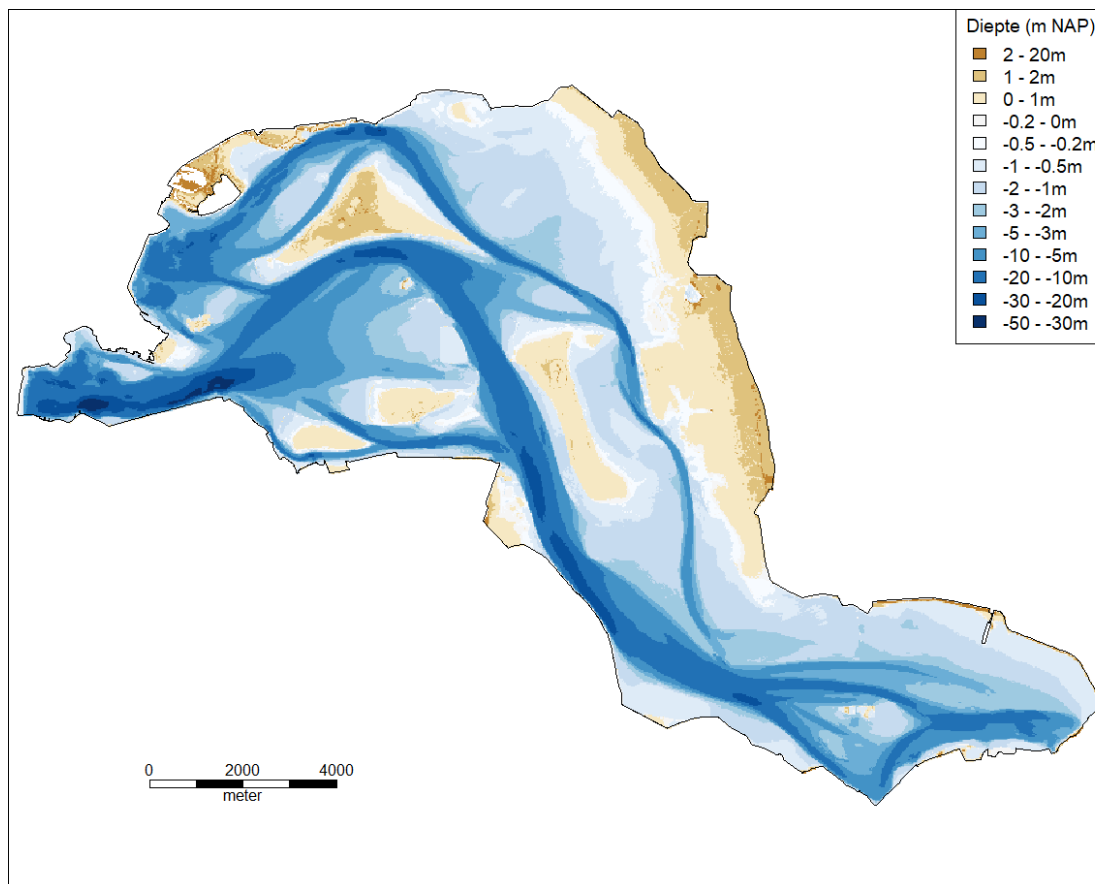
Figuur 1: Ligging van het Grevelingenmeer. Aangegeven zijn de belangrijkste terrestrische gebieden.

Na de afsluiting van de Noordzee en de Oosterschelde werd het Grevelingenmeer steeds brakker door neerslagoverschot en lozing van polderwater, waardoor kenmerkende soorten verdwenen en de waterkwaliteit verslechterde (Nienhuis, 1978). In 1978 is de Brouwerssluis aangelegd in de Brouwersdam, waardoor zout Noordzeewater (beperkt) naar binnen kon stromen zodat het zoutgehalte op peil kon worden gehouden. Sindsdien is het beheer van de Brouwerssluis meermaals aangepast en staat het Grevelingenmeer sinds 1999 continu in open verbinding met de Noordzee

(Tangelder et al., 2019). In de winter van 2016/2017 is de Flakkeese spuisluis in de Grevelingendam , na 30 jaar stilstand, weer in gebruik genomen. In het voorjaar van 2018 is de Flakkeese spuisluis echter weer gesloten voor de bouw van een Tidal Test Center. Dit is uiteindelijk niet gelukt en in januari 2022 is de Flakkeese spuisluis weer in werking gesteld. Door middel van hevelwerking en de aanwezigheid van getij op de Oosterschelde kan het zoutwater heen en weer stromen tussen de Oosterschelde en het Grevelingenmeer (Wijsman et al., 2017).

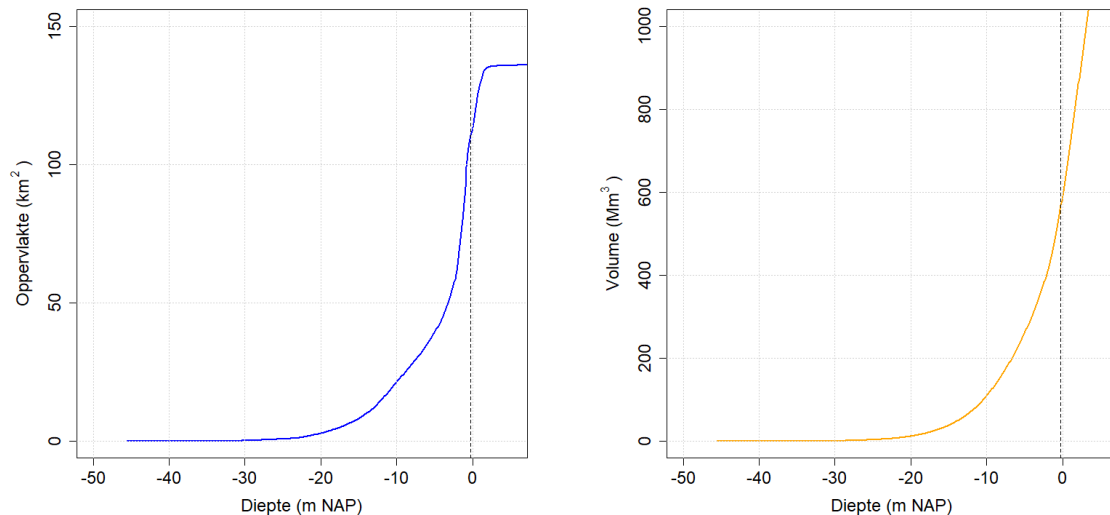
2.2 Begrenzing onderzoeksgebied en bathymetrie

De begrenzing van het onderzoeksgebied voor de huidige studie is gelijk aan de begrenzing van het Natura 2000 gebied Grevelingen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu | Rijkswaterstaat, 2016), zonder het Dijkwater (Figuur 2). De begrenzing van dit gebied verschilt van het gebied dat is gebruikt in voorgaande studies van Tangelder et al. (2018, 2019, 2021), waarbij een deel van het gebied bij de Punt en de Kabbelaarsbank niet was meegenomen. De bathymetrie die is gebruikt in de huidige studie (Figuur 2) is gebaseerd op de bathymetrie uit de studie van Tangelder et al. (2019). Ontbrekende hoogtegegevens binnen het Natura 2000 gebied Grevelingen, bij de Punt en Kabbelaarsbank zijn aangevuld met het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN2). Het totale onderzoeksgebied is ca. 13 600 ha (zonder het Dijkwater). De bathymetrie is beschikbaar als een rasterbestand met een horizontale resolutie van 10 m x 10 m.



Figuur 2: Bathymetrie van het onderzoekgebied in het Grevelingenmeer binnen het Natura 2000 gebied (met uitzondering van Dijkwater).

Voor het onderzoeksgebied zijn hypsometrische curves bepaald voor het areaal (km²) en het volume (Mm³) (Figuur 3). In deze curves is voor iedere diepte het totale areaal en het volume af te lezen. Het totale water oppervlakte (< NAP -0.2 m) is 110 km² (11 000 ha) en heeft een totaal volume van ca. 569 miljoen m³.



Figuur 3: Hypsometrische curves van het Grevelingenmeer met links het areaal (km²) en rechts het volume (Mm³) als functie van de diepte (stapjes van 0.1 m). De verticale stippellijn geeft het peil van -0.2 m NAP.

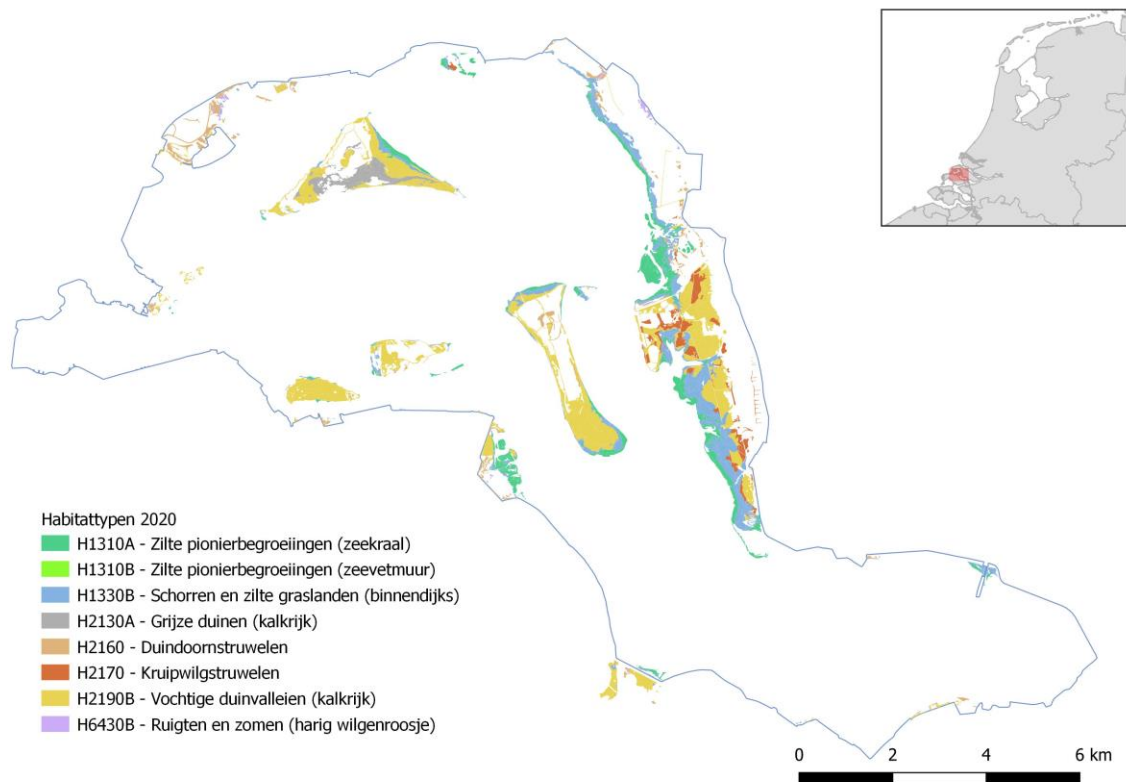
2.3 Natura 2000 habitattypen en -soorten

Het Grevelingenmeer is een natuurgebied dat onderdeel is van het Natura 2000 netwerk. De combinatie van kale- of schaars begroeide oevers en bereikbare foerageergebieden, zoals de in het broedseizoen droogvallende slikken, maken het een belangrijk gebied voor kustbroedvogels en moerasbroedvogels van rietruigtes. Ook is er een relatief groot en gevarieerd voedselaanbod binnen de gehele Zuidwestelijke Delta, met open en ondiepe (doorwaadbare) wateren, waterplanten en zeelavelden, voedselrijke binnendijkse graslanden, slikken, platen en schorren, zilte en zoete moerasbegroeiingen. Hiervan profiteren vis-, bodemfauna- en plantenetende (trek)vogels. Verder bieden de voormalige slikken en platen de grootste populatie groenknolorchis van Nederland en is het leefgebied voor de noordse woelmuis (Ministerie van Infrastructuur en Milieu | Rijkswaterstaat, 2016). Het Grevelingenmeer is aangewezen als Natura 2000 gebied op basis van een aantal kenmerkende Habitattypen, Habitatrichtlijnsoorten, broedvogel- en niet-broedvogelsoorten.

2.3.1 Habitattypen

Het Grevelingenmeer is aangewezen voor 8 habitattypen (Tabel 1). De zilte vegetaties bevinden zich veelal op de laagst gelegen delen van de voormalige slikken en platen langs de waterlijn. Deze pioniervegetaties zijn afhankelijk van regelmatige overspoeling met het zoute water van de Grevelingen en nalevering van zout uit het sediment. 'Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuur)' wordt aangetroffen op hoger gelegen gebieden die minder overstroomd worden met zout water dan die van het subtype met zeekraal. Op de hoger gelegen delen kan de bodem ontzilten en treedt successie op. Op de hoogst gelegen delen en goed doorlatende bodems neemt de kans op successie toe en krijgt de vorming van struweel (duindoorn en kruipwilg) meer kans. In het gebied treedt voortdurend successie op van 'vochtige duinvalleien' en 'zilte graslanden' naar 'kruipwilgstruwelen' en vervolgens naar 'duindoornstruweel'. Deze successie wordt zoveel mogelijk tegengegaan door begrazing en maaien. Duindoornstruwelen worden in grote hoeveelheden aangetroffen op de Punt, de Hompelvoet, de Veermansplaat, de Slikken van Flakkee (Noord), de Slikken van Bommenede en de Stampersplaat. Kruipwilgstruwelen komen voor op de Veermansplaat en Dwars in de Weg, vaak in een complex met vochtige duinvalleien (kalkrijk) en zilte graslanden. Het habitatype 'vochtige duinvalleien (kalkrijk)' komt voor in relatief grote arealen op de Slikken van Flakkee en verder op de Veermansplaat en Dwars in de Weg (zie ook Figuur 1 voor de ligging van bovengenoemde gebieden in het Grevelingenmeer).

In Figuur 4 is de verspreiding van de Habitattypen in het Grevelingenmeer weergegeven voor het jaar 2020. De kaart is gebaseerd op vegetatieopnamen die in de zomer van 2019 zijn uitgevoerd. Omdat habitattypen kunnen overlappen en er binnen een polygoon soms meerdere habitattypen aanwezig kunnen zijn is in Bijlage 1 een overzicht gegeven van de verspreiding van de afzonderlijke habitattypen.



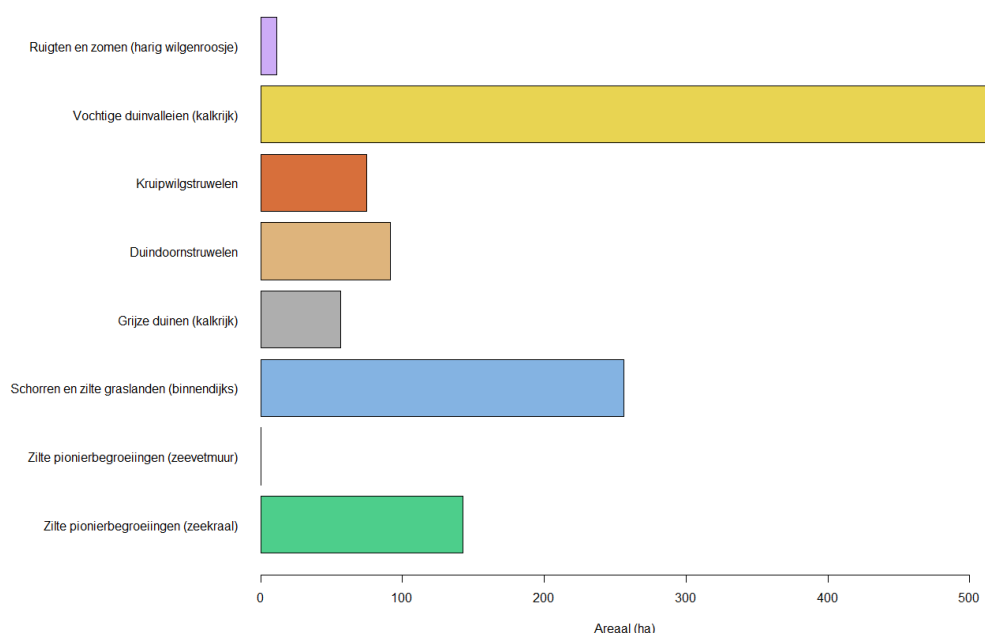
Figuur 4: Verspreiding habitattypen in het Grevelingenmeer in 2020 (habitatkaart 2020). Weergegeven zijn de habitattypen H1310A - Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal); H1310B - Zilte pionierbegroeiingen (zevetmuur); H1330B - Schorren en zilte graslanden (binnendijks); H2130A - Grijze duinen (kalkrijk); H2160 - Duindoornstruwelen; H2170 - Kruiwilgstruwelen; H2190B - Vochtige duinvalleien (kalkrijk) en H6430B - Ruigten en zomen (harig wilgenroosje). De blauwe lijn geeft de contouren het onderzoeksgebied (Dijkwater valt daar buiten).

De huidige studie beperkt zich tot het gebied binnen de contouren van het Natura 2000-gebied Grevelingen, zonder het Dijkwater (blauwe lijn Figuur 4). Op basis van de habitatkaart 2020 is voor ieder habitatype het areaal berekend binnen het onderzoeksgebied (Tabel 1 en Figuur 5). Hierbij is rekening gehouden met de bedekkingsgraad van het betreffende habitatype binnen ieder polygoon. De meest voorkomende habitattypen zijn zilte pionierbegroeiingen (zeekraal), schorren en zilte graslanden (binnendijks) en vochtige duinvalleien (kalkrijk). De habitattypen zilte pionierbegroeiingen (zevetmuur) en ruigten en zomen (harig wilgenroosje) zijn in oppervlakte beperkt.

Tabel 1

Overzicht van de Natura 2000 habitattypen in het Grevelingenmeer. Het areaal (ha) is het gewogen areaal binnen de contouren van het Natura 2000 gebied Grevelingen, zonder het Dijkwater

Habitatype	Areaal (ha)
H1310A - Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal)	142
H1310B - Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuur)	<0.5
H1330B - Schorren en zilte graslanden (binnendijks)	256
H2130A - Grijze duinen (kalkrijk)	56
H2160 - Duindoornstruwelen	92
H2170 - Kruipwilgstruwelen	74
H2190B - Vochtige duinvalleien (kalkrijk)	519
H6430B - Ruigten en zomen (harig wilgenroosje)	11

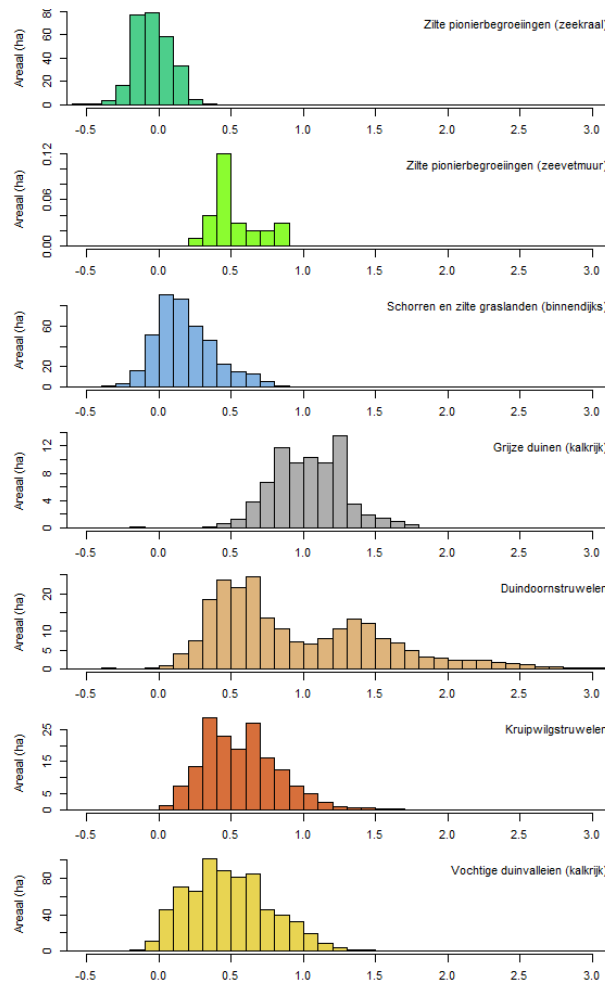


Figuur 5: Arealen (ha) habitattypen H1310A - Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal); H1310B - Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuur); H1330B - Schorren en zilte graslanden (binnendijks); H2130A - Grijze duinen (kalkrijk); H2160 - Duindoornstruwelen; H2170 - Kruipwilgstruwelen; H2190B - Vochtige duinvalleien (kalkrijk) en H6430B - Ruigten en zomen (harig wilgenroosje) in het Grevelingenmeer, gebaseerd op de Habitatkaart 2020 (zonder Dijkwater).

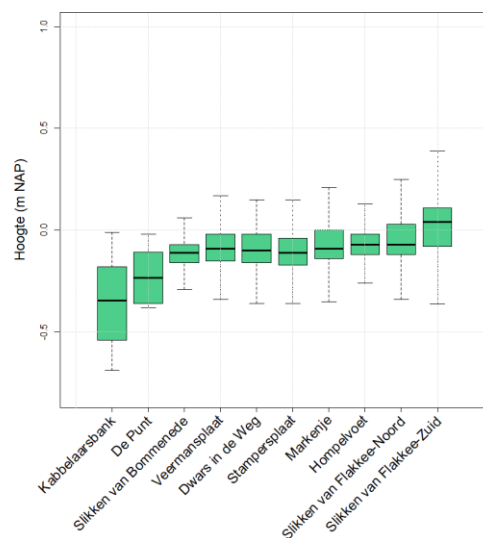
2.3.1.1 Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal) (H1310A)

Het habitatype zilte pionierbegroeiingen (H1310) betreft pionierbegroeiingen op zilte gronden in het kustgebied, zowel buiten- als binnendijks. Zilte pionierbegroeiingen komen voor op plekken waar overstroming met zout water zorgt voor dynamische en open standplaatsen. Het betreft enerzijds pioniergemeenschappen met vooral zeekraalsoorten (H1310A) en anderzijds pioniergemeenschappen met zeevetmuur (H1310B, zie verderop). De begroeiingen ontwikkelen zich ieder jaar opnieuw op een kale, 's zomers opdrogende, zilte bodem. Beide begroeiingen komen veelal in dezelfde gebieden voor. Toch is de ecologie zeer verschillend. Ze worden daarom als twee subtypen beschouwd. Verschillen in overstromingsfrequentie, zout- en vochtgehalte zijn bepalend voor het onderscheid tussen deze subtypen. De begroeiingen van subtype H1310A (zeekraal) komen voor op hooggelegen slikken, lage schorren en kwelders, laaggelegen, sterk uitdrogende delen van hogere schorren en kwelders en als binnendijkse begroeiingen van zoute standplaatsen. Het gaat om dagelijks met zeewater overstromde of langdurig natte plekken (Ministerie van LNV, 2008).

In het Grevelingenmeer is er momenteel geen sprake van een natuurlijk getij. Wel zijn er waterstandfluctuaties als gevolg van wateruitwisseling, golven, windopzet en periodieke peilverhoging waardoor het habitattype (on)regelmatig onder water komt te staan. Dit leidt tot gunstige omstandigheden voor de ontwikkeling van dit habitattype. Het habitattype ligt langs de randen van de schorren en eilanden, waar nog sprake is van invloed door opzetten van het water en opwaaiing (Bijlage 1). Vanwege de afhankelijkheid van zout water komt dit habitattype voornamelijk voor in de laagste delen, tussen -30 cm NAP en +20 cm NAP (Figuur 6). In Figuur 7 is te zien dat de hoogteligging van dit habitattype tevens afhankelijk is van de locatie en oriëntatie in het Grevelingenmeer. Bij de Kabbelaarsbank en De Punt, in het westen van het Grevelingenmeer ligt dit habitattype lager dan de Slikken van Flakkee Noord en Zuid, die een aan de westzijde sterk zijn geëxponeerd en daarmee onder invloed staan van scheefstand, golven en zoutspray. Het totaal areaal aan zilte pionierbegroeiingen (zeekraal) binnen de contouren van het Natura 2000-gebied Grevelingen (zonder Dijkwater) is 142 ha (gecorrigeerd voor het bedekkingspercentage).



Figuur 6: Hoogteligging van de verschillende habitattypen in het Grevelingenmeer. Op de x-as staat de hoogte (m NAP) in klassen van 0.1 m. Op de y-as staat het areaal van het betreffende habitat dat binnen de betreffende hoogteklaas valt.



Figuur 7: Hoogteligging van habitattype H1310A (zeekraal) over de verschillende gebieden in het Grevelingenmeer.

2.3.1.2 Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuur) (H1310B)

De begroeiingen van subtype H1310B (zeevetmuur) komen voor op achterduinse strandvlaktes, in de overgangszone tussen kwelders en duinen, en op ingedijkte zandplaten. De bodem blijft zilt door incidentele overstroming met zout water, maar is minder zout en minder voedselrijk dan die van subtype H1310A (Ministerie van LNV, 2008).

Het habitattype is zeer beperkt aanwezig in het Grevelingenmeer op zandige plekken waar incidenteel zout water overheen komt. Op de Habitatkaart 2020 is er alleen nog maar een klein plukje aanwezig (0.13 ha) bij Bommenede (Figuur 53 in Bijlage 1).

2.3.1.3 Schorren en zilte graslanden (binnendijks) (H1330B)

Dit habitattype betreft de binnendijkse schorren en andere zilte graslanden in het kustgebied. Het habitattype bestaat uit verschillende plantengemeenschappen en (dier)soorten die gezoneerd voorkomen op een bepaalde hoogteligging (gerelateerd aan de inundatieduur en -frequentie), de daaraan (deels) gerelateerde vochthuishouding, de grondsoort (van zandig tot kleiig), het zoutgehalte (brak tot zout), leeftijd (successiestadium) en mate van begrazing. Het is dan ook gewenst allerlei vormen en successiestadia te behouden, wat onder andere noodzakelijk is voor het behoud van het grote aantal typische soorten (maar ook voor veel soorten die daarvoor niet geselecteerd zijn, bijvoorbeeld de talrijke ongewervelde diersoorten die sterk afhankelijk zijn van met name de lage en jonge kwelders) (Ministerie van LNV, 2008).

In het Grevelingenmeer is geen sprake van een natuurlijke overstromingsfrequentie door getij, maar het zoute water wordt wel periodiek opgezet. Door het rigide peil ligt het habitattype aan de randen van schorren en eilanden met een directe zoute invloed van het Grevelingenmeer en is de variatie binnen het habitattype relatief beperkt. In Figuur 53 (Bijlage 1) is te zien dat dit habitattype voornamelijk voorkomt op de overgang van de zilte pionierbegroeiingen naar de hoger gelegen delen op de eilanden en de Slikken van Flakkee. Het totale areaal van dit habitattype (gewogen naar bedekkingsgraad) is 256 ha.

2.3.1.4 Grijze duinen (kalkrijk) (H2130A)

Het habitattype Grijze duinen (kalkrijk) betreft de min of meer droge graslanden van het duingebied (en vergelijkbare plaatsen in aangrenzende delen van het kustgebied). Het gaat hierbij om soortenrijke begroeiingen met dominantie van laagblijvende grassen, kruiden, mossen en/of korstmossen. Dynamiek in de vorm van lichte overstuiving, hellingprocessen (dynamiek door neerslag) en begrazing door konijnen zorgt van nature voor de instandhouding van het type. De hoge soortenrijkdom is voor een belangrijk deel karakteristiek voor de grazige vegetaties zelf, maar een deel van de soorten is juist (mede) afhankelijk van onbegroeide delen (blauwvleugelsprinkhaan),

konijnenholen (tapuit) of bloemrijke zomen (duin- en grote parelmoervlinder). De ecologische variatie van het habitatype is groot, wat samenhangt met onder andere het kalkgehalte (in de top laag van de bodem) en de dikte van de humuslaag. Op grond hiervan worden drie subtypen onderscheiden, waarvan H2130A Grijs duinen (kalkrijk) in het Grevelingenmeer (Ministerie van LNV, 2008).

Voor de Grevelingen geldt dat er geen sprake is van een natuurlijk systeem. Duinen ontbreken vrijwel volledig in het systeem en van dynamiek die leidt tot duinvorming is geen sprake; witte duinen en stuifplekken ontbreken. De aanwezige duingraslanden zijn een relict uit het verleden (ten tijde van de afsluiting van de Grevelingen waren er op de Hompelvoet lage duintjes aanwezig) die door de huidige omstandigheden en het beheer in stand zijn gebleven. Grijs duinen (kalkrijk) zijn voornamelijk te vinden op het eiland de Hompelvoet (Figuur 53 in Bijlage 1). De soortensamenstelling zit op het grensvlak van de subtypen H2130A, H2130B en H2130C, zodat een toedeling in subtypen niet heel duidelijk is. Het totale areaal is 56 ha.

2.3.1.5 Duindoornstruwelen (H2160)

Dit habitatype betreft door duindoorn (*Hippophae rhamnoides*) gedomineerde duinen (en vergelijkbare plaatsen elders in het kustgebied). Naast duindoorn kunnen ook andere struiken met hoge bedekkingen voorkomen, waaronder gewone vlier (*Sambucus nigra*), wilde liguster (*Ligustrum vulgare*) en eenstijlige meidoorn (*Crataegus monogyna*). Duindoorn is voor kieming en vestiging gebonden aan humusarm, kalkrijk zand met een lage indringingsweerstand. Goed ontwikkelde jonge duindoornstruwelen komen dan ook vooral voor na een sterk stuivende fase met helm (habitatype Witte duinen, H2120), waarbij de relatief kalkrijke bodem ontsloten is. In zeer kalkrijke duinen kunnen deze struwelen enkele eeuwen oud worden.

In het Grevelingenmeer is geen sprake van duinvorming. De duindoornstruwelen zijn hier ontstaan als tijdelijk successiestadium op hogere delen van zandige platen en wijken af van de "typische" struwelen door de aanwezigheid van ruigtesoorten van voedselrijkere omstandigheden. Er treedt nauwelijks verjonging op en de duindoornstruwelen ontwikkelen zich in rap tempo richting soortenrijker en hoger struweel en laag bos, waarbij duindoorn een onderschikte rol gaat spelen. In de Grevelingen komt het type vooral voor op de Slikken van Flakkee, Hompelvoet en de Punt (Figuur 53 in Bijlage 1). Het totaal areaal is 92 ha.

2.3.1.6 Kruipwilgstruwelen (H2170)

Het habitatype betreft door kruipwilg (*Salix repens*) gedomineerde begroeiingen in de duinen (of verwante plaatsen in het kustgebied), op vochtige of natte plaatsen. Ze vormen een successiestadium dat volgt op vegetaties die behoren tot de vochtige duinvalleien (H2190). Ze ontwikkelen zich op plaatsen waar zich een laag ruwe humus heeft weten op te bouwen. Rond en klein wintergroen zijn kenmerkende plantensoorten. De soortenrijkste struwelen zijn te vinden op plekken die niet te zeer ontkalkt zijn.

In het Grevelingenmeer komt dit habitatype voornamelijk voor op het zuidelijk deel van de Slikken van Flakkee, op relatief wat lutumrijkere (kleiige) zandplaten (Figuur 53 in Bijlage 1). Het totaal areaal van dit habitatype is 74 ha.

2.3.1.7 Vochtige duinvalleien (kalkrijk) (H2190B)

Het habitatype vochtige duinvalleien (H2190) is veelomvattend: het betreft open water, vochtige graslanden, lage moerasvegetaties en rietlanden, alle voor zover voorkomend in (min of meer natuurlijke) laagten in de duinen. Buiten de duinen worden in het overige kustgebied alleen de min of meer grazige vormen van subtype B en C tot het habitatype gerekend. Met name op kalkrijke en voedselarme bodem is het aantal kenmerkende soorten zeer groot. Vochtige duinvalleien kunnen van nature op twee manieren ontstaan, als primaire duinvalleien op strandvlakten en als secundaire duinvalleien in het kielzog van mobiele duinen, die uitstuiven tot op het grondwatervniveau.

In het Grevelingenmeer is echter geen sprake van natuurlijke dynamiek of duinvorming. Duinvalleien als landschapsvorm zijn niet aanwezig in de Grevelingen, maar het habitatype komt hier voor op kalkrijke, voedselarme zandplaten met invloed van zoet grondwater. Het gaat om aanzienlijke oppervlaktes op de eilanden en de Slikken van Flakkee Zuid (Figuur 54 in Bijlage 1), relatief meer dan in de natuurlijke duinvalleien. De verspreiding van de groenknolorchis ligt vrijwel geheel binnen het

habitattype, maar wel specifiek op locaties waar sprake is van een stabiele aanvoer van kalkrijke kwel. Het totaal areaal van het habitattype vochtige duinvalleien (kalkrijk) is 519 ha.

2.3.1.8 Ruigten en zomen (harig wilgenroosje) (H6430B)

Dit habitattype betreft enerzijds natte, veel biomassa producerende strooiselruigten op voedselrijke standplaatsen en anderzijds zomen langs vochtige tot droge bossen. Daarbij gaat het alleen om relatief soortenrijke ruigten met bijzondere soorten (soortenarme ruigten met uitsluitend zeer algemene soorten vallen buiten de definitie van het habitattype). Natte, soortenrijke ruigte met harig wilgenroosje (*Epilobium hirsutum*) en moerasmelkdistel (*Sonchus palustris*) (subtype H6430B) worden aangetroffen op veen- en kleibodems, binnen het overstromingsbereik van rivierwater of brak boezemwater. De vormen van goede kwaliteit betreffen gemeenschappen met bijvoorbeeld rivierkruiskruid (*Senecio fluviatilis*) en zoetwatergetijdensoorten zoals spindotterbloem (*Caltha palustris* subsp. *araneosa*) en zomerklokje (*Leucojum aestivum*). Opmerkelijk zijn ook ruigtebegroeiingen van (zwak) brakke omstandigheden met als bijzonderheden heemst (*Althaea officinalis*), echt lepelblad (*Cochlearia officinalis* subsp. *officinalis*), dodemansvingers (*Oenanthe crocata*), zilt torkruid (*Oenanthe lachenalii*) en selderij (*Apium graveolens*) (Ministerie van LNV, 2008).

De Grevelingen is een zoutwatermilieu, waarvan de landbiotopen langs de randen langzaam verzoeten. Ruigtes ontstaan op die locaties waar dynamiek beperkt is en ook geen sprake is van intensief beheer. Voor de Grevelingen geldt dat het habitattype voornamelijk op de voormalige schorren is ontstaan in een klein oppervlakte en ook lokaal langs dammen en dijken voorkomt, op plekken waar strooisel aanspoelt. Kenmerkend is het voorkomen van brakke soorten (heemst, selderij), maar ook worden zoetere vormen met moerasmelkdistel aangetroffen. Het totale areaal van het habitattype H6430B in het Grevelingenmeer is slechts 11 ha en het habitattype is voornamelijk te vinden op de Slikken van Flakkee Noord en bij de Punt (Figuur 54 in Bijlage 1).

2.3.2 Habitatsoorten

Het Grevelingenmeer is definitief aangewezen voor de habitatsoorten groenknolorchis en de noordse woelmuis (Tabel 2). In het ontwerp aanwijzingsbesluit zijn ook de grijze zeehond en de gewone zeehond aangewezen als habitatsoort.

Tabel 2

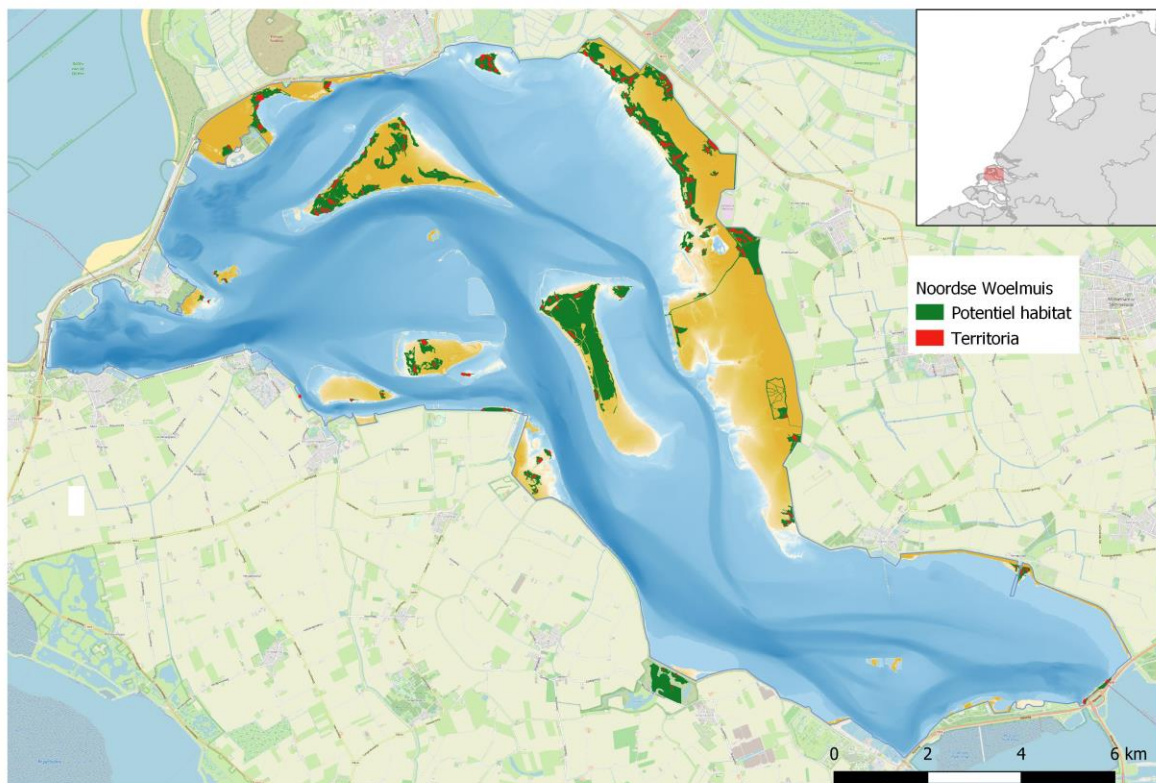
Overzicht van de Natura 2000 habitatsoorten in het Grevelingenmeer

Habitatsoorten	Status
HS1340* - Noordse woelmuis	Definitief
HS1364 - Grijze zeehond	Ontwerp
HS1365 - Gewone zeehond	Ontwerp
HS1903 - Groenknolorchis	Definitief

2.3.2.1 Noordse woelmuis (HS1340)

De noordse woelmuis (*Alexandromys oeconomicus*) is een vrij forse woelmuis met een bruine tot zwarte vacht en een relatief lange staart. De achterpoten zijn fors en donker, vaak met contrasterende witte nagels. De soort is kenmerkend voor vochtige tot uitgesproken natte vegetaties in laagveen en kleigebieden (Ministerie van LNV, 2008). De noordse woelmuis leeft in relatief ruige, vochtige delen van de platen en eilanden, maar niet in opgaand struweel of bos, en ook niet op heel kort beheerd grasland. Het meest geschikt zijn ruigtes en iets hogere graslanden, maar ook de randen van struwelen zijn geschikt. De soort ondervindt concurrentie van aarmuis en veldmuis. Doordat de soort goed kan zwemmen zijn de eilanden een geschikt leefgebied om te kunnen ontsnappen aan concurrenten en predatoren. Van belang voor behoud van de soort in de Grevelingen is dat er niet onbedoeld concurrerende muizen meekomen met schepen (bijvoorbeeld met hooi of bouwmaterialen). De grootste populatie komt voor aan de noordkant van de Slikken van Flakkee (niet beheerd) en Markenje (geklepeld, en daardoor ruig). Kleinere populaties komen voor op de Punt van Goeree, de inlagen langs de Grevelingendijk, rond de Haven Battenoord en op de Hompelvoet en Veermansplaat (Ministerie van Infrastructuur en Milieu | Rijkswaterstaat, 2016). Op de Veermansplaat heeft het centraal gelegen, natte deel aan de noordkant hoge dichtheden.

In Figuur 8 is de verspreiding van het potentieel habitat van de noordse woelmuis in het Grevelingenmeer weergegeven. Het potentieel habitat is gebaseerd op de ligging van de geschikte habitattypen voor de noordse woelmuis (Figuur 4). Niet al deze typen zijn even geschikt omdat vooral de structuur binnen het habitatype belangrijk is. De noordse woelmuis leeft graag in een vrij ruige vegetatie, maar dit zal niet door moeten slaan naar struweel. Daarom is het leefgebied van de noordse woelmuis beperkt tot een relatief smalle band in de overgang van korte vochtige duinvalleivegetatie naar een verder successiestadium. De belangrijkste gebieden zijn dus de ruigten en zomen van vegetaties binnen habitatype H6430B. De potentiële leefgebieden bevinden zich op de overgangen tussen de vochtige duinvalleigraslanden en Riet-en ruigtevegetatie en de Zilte graslanden (H1330B) en de randjes van kruipwilg en duindoornstruweel. Dit zijn deels ruim begrensde gebieden, waarbij op sommige eilanden alleen de randen tussen struweel en open grasland geschikt zijn. In de figuur zijn ook de huidige territoria met rood aangegeven. Het totaal areaal aan potentieel habitat is ingeschat op 539 ha.



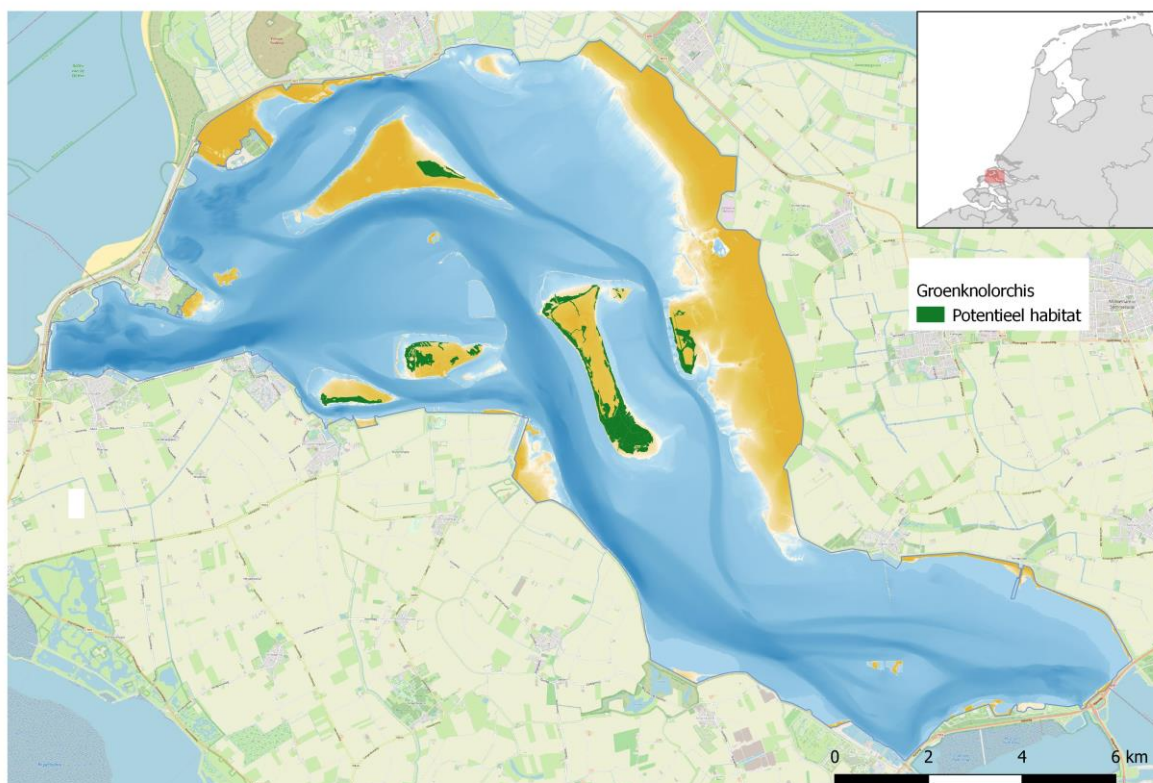
Figuur 8: Potentieel habitat en territoria noordse woelmuis in het Grevelingenmeer. Ligging van de potentiële habitats is gebaseerd op de habitatkaart (Figuur 4).

2.3.2.2 Groenknolorchis (HS1903)

De groenknolorchis (*Liparis loeselii*) is een laagblijvende, geelgroene orchidee met een ijle tros van vier tot acht weinig opvallende bloemen. De stengel draagt aan de voet twee breed langwerpige bladeren. De stengelvoet is verdikt tot een knol (Ministerie van LNV, 2008). De groenknolorchis is in 1990 voor het eerst ontdekt in het Grevelingenmeer op de Stampersplaat. De groenknolorchis populatie op de Veermansplaat is momenteel één van de grootste van Nederland, al is de populatie inmiddels over de top heen. Ook op de Stampersplaat is de soort in grote aantallen aanwezig. Verder wordt de groenknolorchis aangetroffen op de Hompelvoet, Dwars in de Weg en de Slikken van Flakkee. De soort wordt aangetroffen in vochtige duinvalleien op voedselarme grond met invloed van basenrijk grondwater. In de winter staan de groeiplaatsen vaak ondiep onder water. Actief maaibeheer is een voorwaarde voor langdurig behoud van de soort. In Figuur 9 is de verspreiding van het potentieel habitat van de groenknolorchis weergegeven. Dit potentieel habitat is gebaseerd op de verspreiding van de habitattypen in de habitatkaart 2020. Voor de groenknolorchis gaat het om open gebieden. De soort komt met name voor in open vochtige duinvalleien (H2190 B). Hier gaat het vaak om de overgang van de schorrenvegetaties naar vochtige duinvalleien. Het potentieel habitat bevindt zich voornamelijk op de Veermansplaat, maar ook op de eilanden Dwars in de weg, Hompelvoet,

Stampersplaat en op de zandige delen van de Slikken van Flakkee bevindt zich potentieel habitat voor de groenknolorchis. Het totaal areaal aan potentieel habitat bedraagt 192 ha.

Figuur 9: Potentieel habitat groenknolorchis in het Grevelingenmeer. Ligging van de potentiële



habitats is gebaseerd op de habitatkaart (Figuur 4).

2.3.3 Broedvogels en niet-broedvogels

Voor een groot aantal vogelsoorten zijn instandhoudingsdoelen opgenomen in het Natura 2000 beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu | Rijkswaterstaat, 2016). Deze zijn grofweg onder te verdelen in broedvogels en niet-broedvogels (Tabel 3).

2.3.3.1 Broedvogels

De broedvogels zijn onder te verdelen in viseters, benthoseters en moerasbroedvogels (Tabel 3). De viseters en benthoseters zijn allen broedvogels van schaars begroeide oevers en pioniervegetaties. Voor alle kustbroedvogels, met uitzondering van de noordse stern, zijn regiodoelstellingen geformuleerd in het Natura 2000 Beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) voor het gehele Deltagebied. Dit zijn doelen waaraan de Deltawateren samen moeten voldoen zonder dat bij voorbaat vast staat welk van de gebieden de gewenste aantallen moet herbergen. Dit is gedaan omdat kustbroedvogels afhankelijk zijn van dynamische milieus en daarom van nature mobiel zijn. Jaarlijks kunnen ze gebruik maken van andere gebieden en vaak broeden ze in een gebied en foerageren in een ander gebied. Om de regiodoelen te kunnen behalen zullen in alle gebieden in het Deltagebied maatregelen getroffen moeten worden. Voor bontbekplevier, kluut, strandplevier en visdief geldt er binnen het Grevelingenmeer een uitbreidingsdoel en/of een verbeterdoel van de kwaliteit van het broedgebied.

De kale of schaars begroeide gronden van met name de Slikken van Flakkee, Hompelvoet en Stampersplaat vormen een belangrijk broedhabitat voor een aantal kustbroedvogels zoals sterns, kluten en plevieren (Van Donk et al., 2021). Daarnaast zijn de rietvegetaties bij de Punt en de moerassige ruigten zoals op de Stampersplaat een belangrijk broedgebied voor de moerasbroedvogel, de bruine kiekendief. Er worden diverse beheermaatregelen uitgevoerd die met name gericht zijn op kustbroedvogels. Zo wordt in de winterperiode het waterpeil in het Grevelingenmeer verhoogd om successie tegen te gaan. Staatsbosbeheer houdt met begrazing en actief maaibeheer de

vegetatiesuccessie tegen en heeft op diverse locaties schelpenstrandjes aangelegd om het broedvogelhabitat te verbeteren (Tangelder et al., 2019).

Tabel 3

Vogelsoorten in de instandhoudingsdoelen voor het Grevelingenmeer (Ministerie van Infrastructuur en Milieu | Rijkswaterstaat, 2016)

Groep	Cluster	Instandhoudingsdoelstelling
Broedvogels	Viseters	Dwergstern (A195)
		Grote stern (A191)
		Visdief (A193)
	Benthoseters	Kluut (A132)
		Bontbekplevier (A137)
		Strandplevier (A138)
	Moerasbroedvogels	Bruine kiekendief (A081)
Niet-broedvogels	Benthoseters	Bergeend (A048)
		Bontbekplevier (A137)
		Bonte strandloper (A149)
		Brilduiker (A067)
		Goudplevier (A140)
		Kluut (A132)
		Rosse grutto (A157)
		Scholekster (A130)
		Steenloper (A169)
		Strandplevier (A138)
		Tureluur (A162)
		Wulp (A160)
		Zilverplevier (A141)
	Viseters	Aalscholver (A017)
		Dodaars (A004)
		Fuut (A005)
		Geoorde fuut (A008)
		Kleine zilverreiger (A026)
		Kuifduiker (A007)
		Lepelaar (A034)
		Middelste zaagbek (A069)
	Planteneters	Brandgans (A045)
		Gauwe gans (A043)
		Kleine zwaan (A037)
		Kolgans (A041)
		Krakeend (A051)
		Meerkoet (A125)
		Pijlstaart (A054)
		Rotgans (A046)
		Slobeend (A056)
		Smient (A050)
		Wilde eend (A053)
		Wintertaling (A052)
	Roofvogels	Slechtvalk (A103)

2.3.3.2 Niet-broedvogels

De niet-broedvogels zijn onder te verdelen in benthoseters, viseters, planteneters en roofvogels (Tabel 3). Soms gaat het hier om vogels die afhankelijk zijn van het voedsel in het Grevelingenmeer, maar soms gaat het hier om vogels die het Grevelingenmeer gebruiken als hoogwatervluchtplaats, bijvoorbeeld tijdens hoogwater in de Oosterschelde (Arts et al., 2019). De kluut, bontbekplevier en strandplevier zijn aangewezen als broedvogel en niet-broedvogel. Voor scholekster, fuut, kuifduiker en brilduiker liggen de aantallen onder het gewenste niveau. Er kan niet worden uitgesloten dat dit door verslechtering van het leefgebied komt (Ministerie van Infrastructuur en Milieu | Rijkswaterstaat, 2016).

Soorten als rosse grutto, scholekster en steenloper zijn jaarrond in het Grevelingenmeer aanwezig en andere soorten als bonte strandloper en goudplevier alleen in een bepaald seizoen. Veel vogels zoals kanoet, bonte strandloper, bontbekplevier, rosse grutto, scholekster, wulp en zilverplevier, foerageren in de Oosterschelde en vliegen tijdens hoogwater naar hoogwatervluchtplaatsen in het Grevelingenmeer. De grootste aantallen overtuigen aan de zuidpunt van de Slikken van Flakkee, dit zijn met name kanoeten, bonte strandlopers, rosse grutto's, en zilverplevieren.

Tijdens de maandelijkse watervogeltellingen worden de aantallen van deze soorten op enkele specifieke locaties in de Grevelingen (hoogwatervluchtplaatsen) juist geteld als het hoogwater is in de Oosterschelde. Deze aantallen worden vervolgens gelabeld als "toebehorend aan de Oosterschelde" zoals beschreven in de rapportages voor Rijkswaterstaat (e.g. Arts et al., 2019, Hoekstein et al., 2022). In de bepaling van de Natura 2000 instandhoudingsdoelstellingen is destijds dezelfde indeling gehanteerd. Dit is zo gedaan omdat in deze indeling de vogels worden toegekend aan het watersysteem waar zij foerageren. Dat betekent dat de vaak hoge aantallen getijdesteltlopers op met name de zuidpunt van de Slikken van Flakkee niet tot de populatie van de Grevelingen worden gerekend. De aantallen van deze soorten die in de Natura 2000 beheerplannen en rapportages voor Rijkswaterstaat voor de Grevelingen worden genoemd betreffen dus vogels die elders in de Grevelingen verblijven. Hetzelfde geldt voor de aantallen die in deze rapportage genoemd worden.

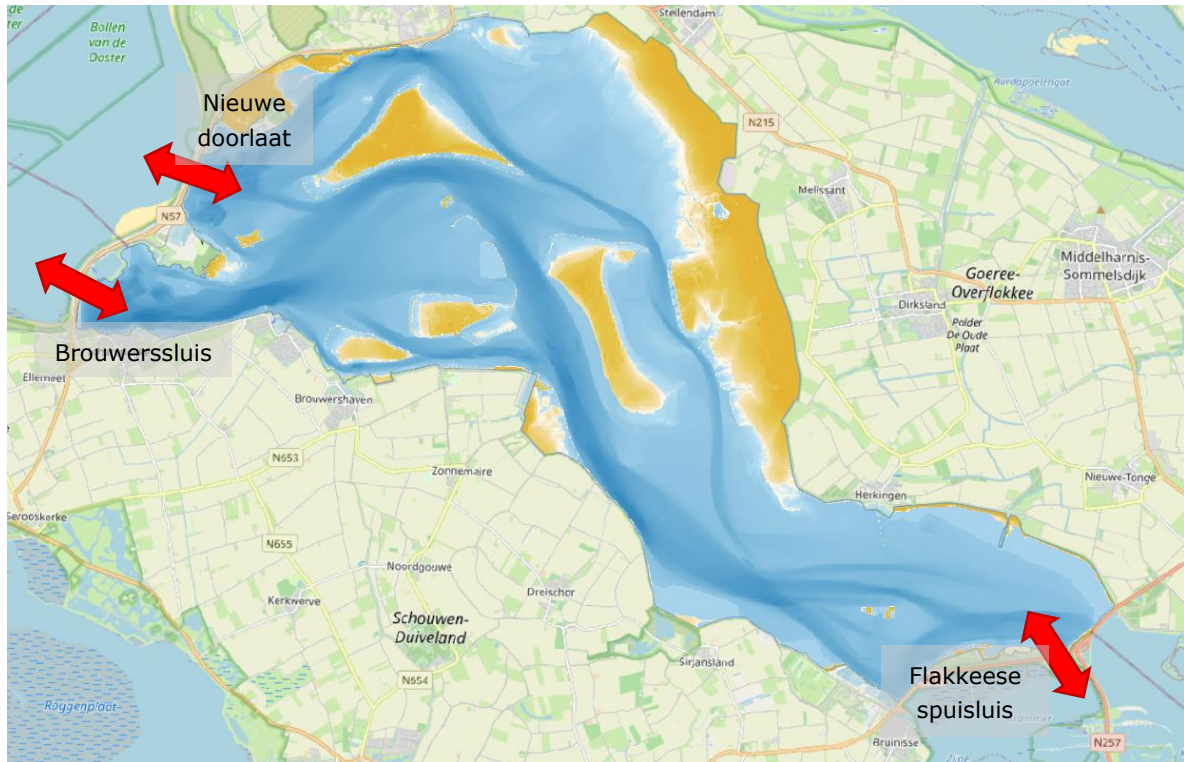
Van de viseters als de geoorde fuut en middelste zaagbek bevindt regelmatig meer dan 50 procent van de landelijke populatie zich in de Grevelingen. De soorten dodaars, fuut, kuifduiker, aalscholver en middelste zaagbek foerageren duikend op (kleine) vis in het open water van de Grevelingen. Lepelaar en kleine zilverreiger foerageren in ondiepe zones. Viseters, met name de fuut, geoorde fuut en middelste zaagbek nemen de laatste jaren in aantallen af (Van Donk et al., 2021). De eenden, ganzen en zwanen zijn voornamelijk doortrekkende en overwinterende vogels die vooral aanwezig zijn tussen september en maart. Het open water en de oevers van het Grevelingenmeer worden als slaap/rustplek en foerageergebied gebruikt. Voor het voedsel zijn ze afhankelijk van waterplanten en wieren, bodemfauna en voedselrijke graslanden (Ministerie van Infrastructuur en Milieu | Rijkswaterstaat, 2016).

3 Peilbeheervarianten

3.1 Stuurknoppen peilbeheer

Er zijn verschillende knoppen waarmee het peilbeheer in het Grevelingenmeer in de toekomst kan worden geregeld (Figuur 10):

- Brouwerssluis;
- Flakkeese spuisluis;
- Nieuw aan te leggen doorlaatmiddel in Brouwersdam.



Figuur 10: Overzicht van de mogelijke stuurknoppen waarmee het peilbeheer in het Grevelingenmeer de toekomst kan worden geregeld.

3.2 Varianten

Vanuit de Taskforce Getij Grevelingen zijn er zes varianten gedefinieerd (Tabel 4) (Paulus, 2022) waarvan er in deze studies negen situaties zijn doorgerekend. Bij variant A0 is alleen de Brouwerssluis in werking. De Flakkeese spuisluis is bij deze variant buiten gebruik. Bij varianten A1 en A3 wordt het peil op het Grevelingenmeer bepaald door een combinatie van de Brouwerssluis en de Flakkeese spuisluis. De varianten A0 en A1 geven de "huidige" situatie weer respectievelijk vóór en ná inwerkingstelling van de Flakkeese spuisluis. De A3 variant levert zoveel mogelijk dynamiek via de bestaande kunstwerken (Flakkeese spuisluis en Brouwerssluis). De kosten zullen hierbij vooral gaan zitten in de mitigerende en compenserende maatregelen. Varianten B1, B2 en B3 gaan uit van een nieuw aan te leggen doorlaatmiddel in de Brouwersdam waarbij het peil in het Grevelingenmeer wordt geregeld door de combinatie Brouwerssluis, Flakkeese spuisluis en het nieuwe doorlaatmiddel. Het doorlaatmiddel van de varianten B1 en B2 is kleiner (en daarmee goedkoper) dan de doorlaatmiddelen die zijn doorgerekend in eerdere studies (Tangelder et al., 2021).

Tabel 4

Overzicht van de verschillende varianten. FSS: gebruik van de Flakkeese spuisluis; Nieuwe doorlaat: gebruik van nieuw aan te leggen doorlaatmiddel in Brouwersdam; Peilbeheer: Huidig peilbeheer is het huidige peilbesluit Grevelingenmeer (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013). Voor de B varianten is een aangepast peilbeheer waarbij zijn respectievelijk de beoogde getijslag (cm) en het middenpeil (cm NAP) zijn aangegeven. Bij adaptatie is aangegeven of het peilbesluit wordt aangepast met zeespiegelstijging

Variant	FSS	Nieuwe doorlaat	Peilbeheer	Verlaging peil broedseizoen	Peilopzet winter	Adaptatie
A0	Nee	Nee	Huidig	Ja	Ja	Geen
A1	Ja	Nee	Huidig	Ja	Ja	Geen
A3	Ja	Nee	Geen	Nee	Nee	Meestijgen
B1	Ja	Ja	20/-25	Ja	Nee	Geen/Meestijgen
B2	Ja	Ja	30/-25	Ja	Nee	Geen/Meestijgen
B3	Ja	Ja	40/-30	Ja	Nee	Geen/Meestijgen

Voor de varianten A0 en A1 zijn er geen natuurmaatregelen nodig vanuit het project Getij Grevelingen omdat er sprake is van voortzetting van het huidige beheer en is er geen ingreep of aanpassing van beleid. Voor de varianten A3, B1, B2 en B3 zijn er wel natuurmaatregelen nodig om het verlies van Natura 2000 instandhoudingsdoelen als gevolg van de ingreep (aanpassing peilbeheer en/of aanleg van het nieuwe doorlaatmiddel in de Brouwersdam) te compenseren. Bij de varianten A0 en A1 is er, als onderdeel van het huidige peilbeheer, sprake van periodieke peilopzet buiten het broedseizoen om successie van de vegetatie tegen te gaan en het broedsucces te verhogen.

Uitgangspunt is dat het nieuwe peilbeheer ingaat in 2030 en in ieder geval gedurende 50 jaar (tot 2080) wordt uitgevoerd en functioneel is. Het peilbeheer zal worden gerealiseerd door uitwisseling van water tussen Grevelingen en Noordzee en Grevelingen en Oosterschelde tijdens eb en vloed door vrij verval. De waterstanden op de Noordzee en Oosterschelde zijn daarmee in hoge mate bepalend voor de volumes die kunnen worden uitgewisseld. Zeespiegelstijging zal daarmee effect hebben op de uitwisselingsmogelijkheden en om de effectiviteit in 2080 te kunnen bepalen dient dus rekening te worden gehouden met de te verwachte zeespiegelstijging. Doordat alle varianten (m.u.v. variant A3) zo zijn gekozen dat het maximum peil in 2030 overeenkomt het maximum peil bij het huidige peilbeheer (NAP -0.10 m) zullen de directe effecten door periodieke overstrooming van de terrestrische habitattypen beperkt zijn.

De zeespiegelstijging kan er toe leiden dat er in de toekomst onvoldoende water kan worden uitgewisseld met de Noordzee en de Oosterschelde waardoor de (ecologische) effectiviteit is afgenomen tot een ongewenst niveau (Boeters, 2022a). Het is mogelijk dat er dan adaptatiestappen in het peilbeheer dienen te worden genomen waarbij het middenpeil in het Grevelingenmeer in stapjes van 10 cm wordt verhoogd. Bij de adaptatie meestijgen van de varianten B1, B2 en B3 zal de bovengrens (alsmede de ondergrens en de gemiddelde waterstand) meestijgen als gevolg van de zeespiegelstijging. In de situaties die zijn doorgerekend in de huidige studie is géén rekening gehouden met eventuele adaptatiestappen in het peilbeheer. Ook is er niet gekeken naar de effecten van maatregelen die worden genomen om te compenseren voor het verlies aan Natura 2000 habitattypen en -soorten.

Om de effecten van zeespiegelstijging mee te nemen is het van belang om een goede inschatting te hebben van de zeespiegelstijging op de Noordzee (en in de Oosterschelde) in 2030 en 2080. In Boeters (2022b) zijn de klimaatscenario's die zijn gebruikt in deze studie vastgelegd. Er wordt uitgegaan van zeespiegelstijging volgens het G-klimaatscenario (gematigde opwarming) van KNMI 2014. Voor 2030 betekent dit een gemiddelde waterstand op de Noordzee van NAP +0.10 m. Voor 2080 is er een gemiddelde waterstand aangehouden van NAP +0.38 m (Boeters, 2022b).

In Tabel 5 is er een overzicht gegeven van de varianten en situaties die in deze studie zijn doorgerekend.

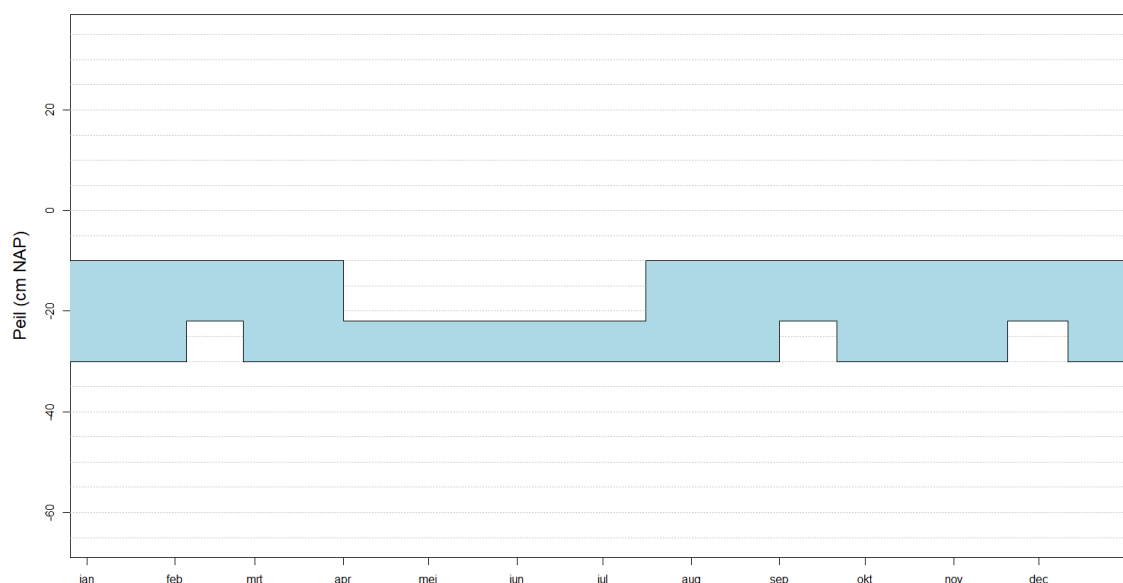
Tabel 5

Omschrijving van de varianten en situaties die zijn doorgerekend in deze studie

Variant	Omschrijving	Situaties
A0	Uitwisseling met alleen Brouwerssluis, vasthouden aan huidig peilbesluit	A0 2030
A1	Uitwisseling met Brouwerssluis en Flakkeese spuisluis, vasthouden aan peilgrenzen uit 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. 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

3.2.1 Variant A0

In variant A0 is de Flakkeese spuisluis niet in gebruik en kan alleen worden gestuurd met de Brouwerssluis. Om zoveel mogelijk water uit te wisselen laat de Brouwerssluis twee keer per dag water in en uit met twee van de beschikbare kokers. Om het peil binnen de gestelde peilgrenzen te houden dient de Brouwerssluis af en toe (gedeeltelijk) gesloten te worden (Paulus, 2022). Bij de variant A0 geldt het huidig peilbeheer dat is vastgelegd in het peilbesluit Grevelingenmeer (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013). Hierbij varieert het peil tussen maximaal NAP -0.10 m en NAP -0.30 m (gemeten op de locatie Bommenede 1) waarbij het middenpeil zoveel mogelijk op NAP -0.20 m wordt gehouden (Figuur 11). Tijdens het broedseizoen (1 april tot en met 15 juli) wordt het peil in het Grevelingenmeer verlaagd en gestuurd op een middenpeil van NAP -0.26 m en varieert het peil tussen NAP -0.22m en NAP -0.30m. In de periode september – februari wordt het middenpeil drie keer verhoogd naar NAP -0.16 m voor een periode van 3 weken. Het maximale peil blijft daarbij op -0.10 m NAP. Deze verhoging van het middenpeil heeft als doel om de verruiging en ontzilting van de oevervegetatie tegen te gaan en daarmee de zoute vegetatie te stimuleren. Om de peilgrenzen van het peilbesluit te kunnen behouden dient de Brouwerssluis af en toe te worden gesloten. Van de variant A0 is in deze studie de situatie 2030 doorgerekend.



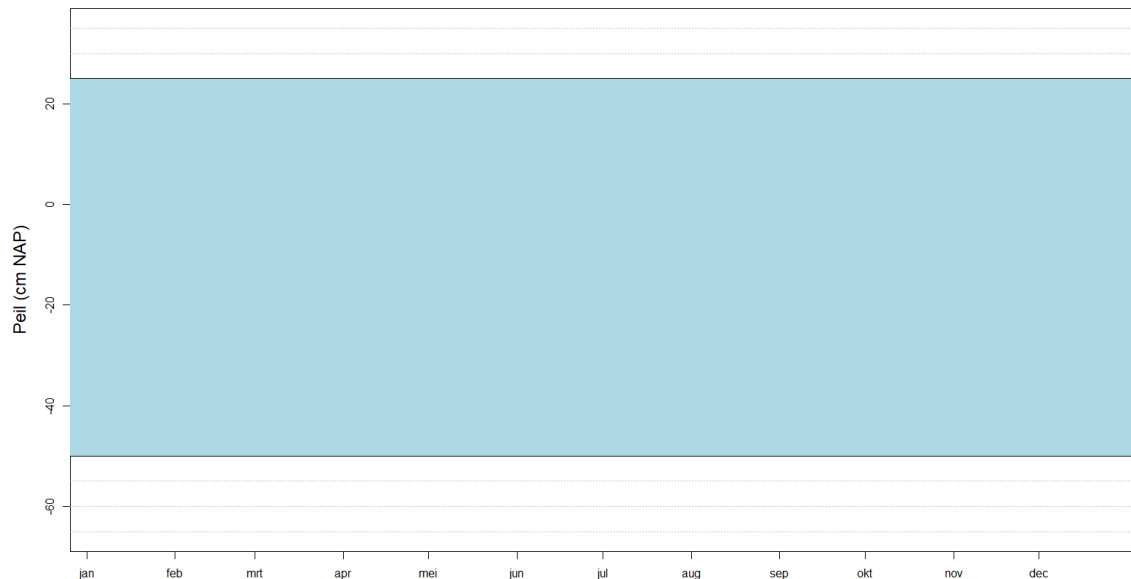
Figuur 11: Schematisch overzicht van het huidige peilbeheer (Varianten A0 en A1), met een verlaagd middenpeil in de broedperiode en 3 perioden van peilopzet in de winter.

3.2.2 Variant A1

Bij variant A1 wordt het hetzelfde peilbeheer als bij variant A0 (Figuur 11), zoals vastgelegd in het peilbesluit Grevelingenmeer (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013), uitgevoerd met een combinatie van de Brouwerssluis en de Flakkeese spuisluis. Van belang hierbij is dat er een faseverschil zit tussen het getij op de Noordzee bij de Brouwersdam en in de Oosterschelde bij de Flakkeese spuisluis van ongeveer een uur. Hierdoor kan er door de Brouwerssluis een uur eerder water worden ingelaten dan bij de Flakkeese spuisluis. Onder normale omstandigheden staan de Brouwerssluis en de Flakkeese spuisluis zoveel mogelijk (ca. 90% van de tijd) open met alle beschikbare kokers. Om tijdens het broedseizoen het lagere peil te kunnen handhaven wordt er met de helft van de kokers (1 van de 2 in de Brouwerssluis en 3 van de 6 in de Flakkeese spuisluis) gewerkt. Ook bij variant A1 wordt het middenpeil in de winterperiode periodiek verhoogd om verruiging en ontzilting van de oevervegetatie tegen te gaan. Van de variant A1 zijn in deze studie de situaties 2030 en 2080 doorgerekend, waarbij de situatie A1 2030 kan worden beschouwd als de "huidige situatie" en de situatie A1 2080 als de autonome ontwikkeling.

3.2.3 Variant A3

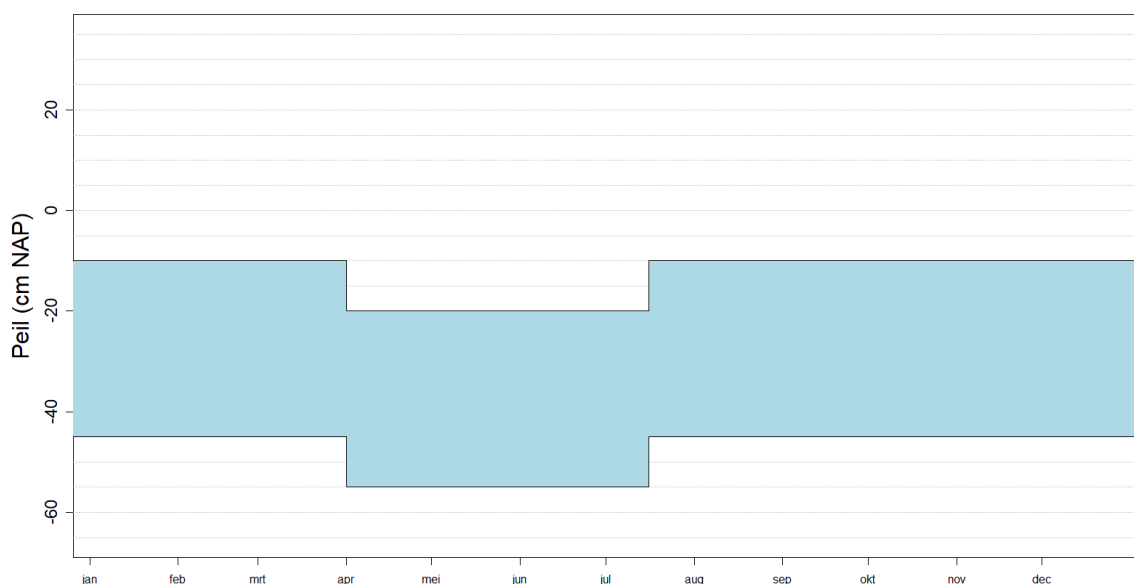
Bij variant A3 wordt er zo weinig mogelijk aan peilbeheer gedaan en worden de Brouwerssluis en de Flakkeese spuisluis zoveel mogelijk opengezet. Bij deze variant is er beperkt sprake van een dagelijks getij, maar er is wel sprake van een sterke seizoensdynamiek. Er wordt een maximaal peil opgegeven (NAP +0.25 m, voor locatie Bommenede 1) om overstroming van buitendijks gebied te voorkomen en een minimaal peil (NAP -0.50 m) om vaardieptes te garanderen. De consequentie hiervan is dat het middenpeil in het Grevelingenmeer nagenoeg gelijk zal zijn aan de gemiddelde waterstand aan de Noordzee zijde van de Brouwersdam. Het middenpeil in het Grevelingenmeer zal dan ook geleidelijk meestijgen met de zeespiegelstijging op de Noordzee. Bij deze variant is er dus geen sprake van een verlaagd middenpeil tijdens het broedseizoen en periodieke peilopzet tijdens de winter. Van de variant A3 is in deze studie de situatie 2030 doorgerekend.



Figuur 12: Schematisch overzicht van het peilbeheer van variant A3 waar er zo weinig mogelijk aan peilbeheer wordt gedaan. Er is alleen een maximaal en minimaal peil (respectievelijk NAP +0.25 m en NAP -0.50 m).

3.2.4 Variant B1

Bij deze variant is er sprake van een extra doorlaatmiddel in de Brouwersdam waarmee een gemiddelde getijslag wordt gerealiseerd van ca. 20 cm. Het peil in het Grevelingenmeer zal buiten het broedseizoen fluctueren tussen maximaal NAP -0.10 m en minimaal NAP -0.45 m (Figuur 13). Het middenpeil is dan ca. NAP -0.25 m (streefwaarde). Tijdens het broedseizoen zal het middenpeil ca. 10 cm worden verlaagd waardoor het peil zal fluctueren tussen maximaal NAP -0.20 m en minimaal NAP -0.55 m. Er is bij deze variant geen sprake van periodieke peilopzet tijdens de winterperiode. Het peilbeheer in het Grevelingenmeer zal worden gereguleerd door een combinatie van het nieuwe doorlaatmiddel in de Brouwersdam, de Brouwerssluis en de Flakkeese spuisluis. Van de variant B1 zijn in deze studie de situaties 2030 en 2080 doorgerekend.



Figuur 13: Schematisch overzicht van het peilbeheer van varianten B1 en B2. Het peil in het Grevelingenmeer zal daarbij buiten het broedseizoen fluctueren tussen maximaal NAP -0.10 m en minimaal NAP -0.45 m. Tijdens het broedseizoen zal het middenpeil ca. 10 cm worden verlaagd.

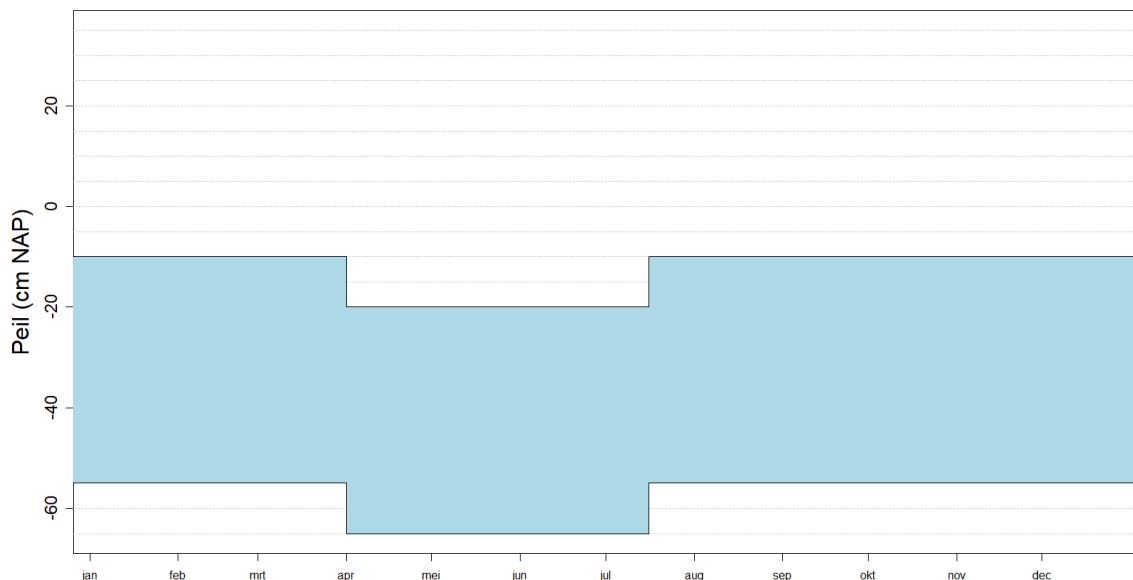
Vanwege de zeespiegelstijging zal in de toekomst het gewenste getij in combinatie met het peilbeheer niet meer mogelijk zijn. Er zijn twee manieren van adaptatie voorgesteld voor deze variant: "geen" en "meestijgen". Bij adaptatie "geen" worden de voorgestelde peilbeheergrenzen behouden tot 2080. De consequentie hiervan is dat de doorlaatmiddelen (nieuw aan te leggen doorlaatmiddel in de Brouwersdam, Brouwerssluis en Flakkeese spuisluis) op een gegeven moment steeds vaker dicht moeten waardoor de getijslag zal afnemen. Bij adaptatie "meestijgen" worden de peilbeheergrenzen, indien nodig, steeds in stapjes van 10 cm verhoogd zodat de getijslag van 20 cm tot 2080 kan worden behouden. De adaptatie "meestijgen" is in deze studie niet meegenomen.

3.2.5 Variant B2

Bij variant B2 wordt ook een nieuw doorlaatmiddel in de Brouwersdam aangelegd waarmee een gemiddelde getijslag in het Grevelingenmeer kan worden gerealiseerd van ca. 30 cm. Het middenpeil is dan ca. NAP -0.25 m (streefwaarde). Tijdens het broedseizoen zal het middenpeil ca. 10 cm worden verlaagd waardoor het peil zal fluctueren tussen maximaal NAP -0.20 m en minimaal NAP -0.55 m. Er is bij deze variant geen sprake van periodieke peilopzet tijdens de winterperiode. Het peilbeheer van deze variant is daarmee gelijk aan het peilbeheer van variant B1 (Figuur 13). De variant B2 zijn in deze studie de situaties 2030 en 2080 doorgerekend. Bij adaptatie "meestijgen" worden de peilbeheergrenzen, indien nodig, steeds in stapjes van 10 cm verhoogd zodat de getijslag van 30 cm tot 2080 kan worden behouden. De adaptatie "meestijgen" is in deze studie niet meegenomen.

3.2.6 Variant B3

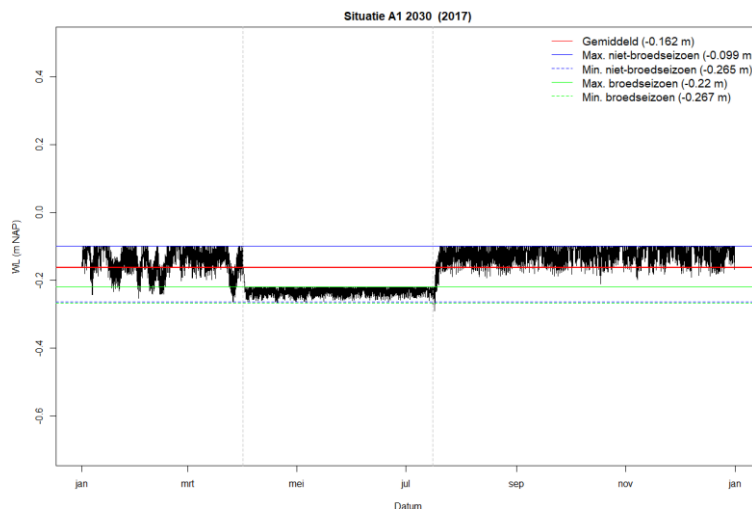
Bij variant B3 wordt ook een nieuw doorlaatmiddel in de Brouwersdam aangelegd waarmee een gemiddelde getijslag in het Grevelingenmeer kan worden gerealiseerd van ca. 40 cm. Het peil in het Grevelingenmeer zal buiten het broedseizoen fluctueren tussen maximaal NAP -0.10 m en minimaal NAP -0.55 m (Figuur 14). Het middenpeil is dan ca. NAP -0.30 m (streefwaarde). Tijdens het broedseizoen zal het middenpeil ca. 10 cm worden verlaagd waardoor het peil zal fluctueren tussen maximaal NAP -0.20 m en minimaal NAP -0.65 m. Er is bij deze variant ook geen sprake van periodieke peilopzet tijdens de winterperiode. Het peilbeheer in het Grevelingenmeer zal worden gereguleerd door een combinatie van het nieuwe doorlaatmiddel in de Brouwersdam, de Brouwerssluis en de Flakkeese spuisluis. De variant B3 is in deze studie enkel doorgerekend voor de situatie 2030.



Figuur 14: Schematisch overzicht van het peilbeheer van variant B3. Het peil in het Grevelingenmeer zal daarbij buiten het broedseizoen fluctueren tussen maximaal NAP -0.10 m en minimaal NAP -0.55 m. Tijdens het broedseizoen zal het middenpeil ca. 10 cm worden verlaagd.

4 Waterstanden Grevelingenmeer 0D model

Door Deltares zijn voor iedere situatie de verwachte waterstanden in het Grevelingenmeer berekend over de periode 2010 – 2018 met behulp van een 0D model (Kleissen et al., 2022). De waterstanden op de Noordzee (Brouwershavensche gat 08) en de Oosterschelde (Krammersluizen West) zijn daarbij berekend uit de gemeten waterstanden waarbij gecorrigeerd is voor de zeespiegelstijging. In deze analyse wordt gebruik gemaakt van berekende waterstanden in het Grevelingenmeer voor het jaar 2017, gebaseerd op de (geprojecteerde) waterstanden uit 2017. Bij de berekeningen van varianten A0 en A1 is, in afwijking op het peilbesluit, gekozen om te sturen op een maximale uitwisseling en niet te sturen op het middenpeil. Hierdoor is het middenpeil in de berekeningen iets hoger dan in de metingen van locatie Bommenede in het jaar 2017 (zie ook Figuur 49). In Figuur 15 staan de door het model berekende waterstanden in het Grevelingenmeer voor variant A1 in het jaar 2030 wat kan worden gezien als de "huidige situatie". De resultaten voor de overige situaties zijn te vinden in Bijlage 2. In Figuur 15 is duidelijk te zien dat de waterstanden tijdens het broedseizoen lager zijn. Dit wordt gedaan om ruimte te creëren voor vogels om te broeden. De periodieke peilopzet buiten het broedseizoen om successie tegen te gaan is niet duidelijk zichtbaar in de figuur. Dit komt omdat er bij de peilopzet wordt gestuurd op een middenpeil van NAP -0.16 m (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013) en dat is met het maximum peil van NAP -0.1 m en een minimumpeil van NAP -0.22 m reeds het geval. In de figuur is ook te zien dat de waterstandfluctuaties, zoals berekend met het model, buiten het broedseizoen grilliger zijn dan gedurende het broedseizoen. Waar tijdens het broedseizoen een groot deel regelmatig (vaak tweemaal-daags) wordt overstroomd zijn de perioden van afwisseling tussen droogval en overstroming buiten het broedseizoen vaak langer (weken tot maanden).



Figuur 15: Berekende (0D) waterstandfluctuaties in het Grevelingenmeer voor de variant A1 in het jaar 2030. De rode lijn geeft de overall gemiddelde waterstand. Tevens zijn de maximale en minimale waterstanden buiten (blauwe lijnen) en tijdens (groene lijnen) het broedseizoen weergegeven, waarbij het broedseizoen loopt van 1 april tot en met 15 juli.

De variant A0 in 2030 (Figuur 56 in Bijlage 2) laat beperktere waterstandsfluctuaties zien dan de variant A1 in 2030. Dit is het gevolg van de mindere uitwisselingsmogelijkheden met alleen de Brouwerssluis (variant A0) in vergelijking tot de uitwisseling met zowel de Brouwerssluis als de Flakkeese spuisluis (variant A1). Opvallend zijn de relatief lage waterstanden half februari die worden veroorzaakt door de relatief lage waterstanden op de Noordzee in het jaar 2017. Als gevolg van de zeespiegelstijging neemt ook de getijfluctuatie van variant A1 af in 2080 (Figuur 57 in Bijlage 2). Omdat er in de modelberekeningen wordt vastgehouden aan de maximale waterstanden van het

peilbesluit kan er, in combinatie met de hogere waterstanden op de Noordzee en Oosterschelde minder water worden ingelaten. Als gevolg hiervan zal het gemiddeld peil zeer beperkt toenemen van NAP -0.16 m in 2030 naar NAP -0.15 m in 2080.

De variant A3, waar het peil in het Grevelingenmeer wordt vrijgelaten (Figuur 58 in Bijlage 2), laat een sterke dynamiek zien als direct gevolg van het dagelijks getij en de dynamiek van de gemiddelde waterstanden op de Noordzee (en Oosterschelde) als gevolg van de meteorologische condities. Omdat het model is afgeleid van de gemeten waterstanden wordt het patroon sterk bepaald door de gemeten waterstanden in de Voordelta en de Oosterschelde in het jaar 2017. In deze variant wordt enkel gestuurd op een maximale waterstand van NAP +0.25 m en een minimale waterstand van NAP -0.50 m. De laagste waterstand (NAP -0.29 m) wordt bereikt half februari. Opvallend zijn de grote fluctuaties in het voorjaar (januari tot maart). Aan het begin van het broedseizoen (april tot half mei) is de waterstand relatief laag, maar in een ander jaar hoeft dat niet per se het geval te zijn. Later in het broedseizoen loopt de waterstand op waardoor nesten kunnen wegspoelen. De waterstanden variëren tussen NAP -0.29 m en NAP +0.25 m. De tijdsduur van droogval en inundatie is vaak meerdere weken tot maanden. De gemiddelde waterstand bij deze variant is NAP +0.08 m.

In het jaar 2080 (Figuur 59 in Bijlage 2) is de variatie in waterstanden bij variant A3 aanzienlijk minder geworden (NAP +0.04 m tot +0.25 m NAP). Dit is het gevolg van de zeespiegelstijging en het vaste bovenpeil van NAP +0.25 m dat wordt vastgehouden. Als gevolg hiervan zijn de watervolumes die kunnen worden uitgewisseld aanzienlijk afgenomen. De gemiddelde waterstand is toegenomen naar NAP +0.20 m.

De variant met een extra doorlaatmiddel in de Brouwersdam (B1) laat voor 2030 een sterke getijdendynamiek zien (Figuur 60 in Bijlage 2), waarbij de waterstand buiten het broedseizoen varieert tussen NAP -0.45 m en NAP -0.10 m en tijdens het broedseizoen tussen de NAP -0.49 m en NAP -0.20 m. Het gemiddelde peil ligt op NAP -0.23 m. Voor het jaar 2080 nemen de getijverschillen af (Figuur 61 in Bijlage 2) omdat het moeilijker wordt om water af te voeren. Het gemiddelde peil stijgt daardoor naar NAP -0.19 m.

Met een groter doorlaatmiddel in de Brouwersdam (B2) neemt de getijdendynamiek in 2030 toe (Figuur 62 in Bijlage 2). Buiten het broedseizoen fluctueren de waterstanden tussen NAP -0.45 m en NAP -0.10 m en tijdens het broedseizoen fluctueren ze tussen de NAP -0.55 m en NAP -0.2 m. Dit wordt veroorzaakt doordat deze onder- en bovengrenzen zijn opgelegd. De gemiddelde waterstand is NAP -0.28 m. De waterstanden in 2080 verschillen niet veel met die van 2030, alleen worden de laagste waterstanden in 2080 minder vaak bereikt (Figuur 63 in Bijlage 2). De gemiddelde waterstand neemt daardoor iets toe naar NAP -0.24 m.

Vanzelfsprekend worden de grootste getijfluctuaties bereikt bij de variant met het grootste doorlaatmiddel in de Brouwersdam (B3, Figuur 64 in Bijlage 2). Buiten het broedseizoen fluctueren de waterstanden tussen NAP -0.55 m en NAP -0.10 m en tijdens het broedseizoen fluctueren ze tussen de NAP -0.65 m en NAP -0.2 m. Ook hier wordt dit veroorzaakt doordat deze onder- en bovengrenzen zijn opgelegd. De gemiddelde waterstand is NAP -0.34 m.

5 Impact op ecotopen

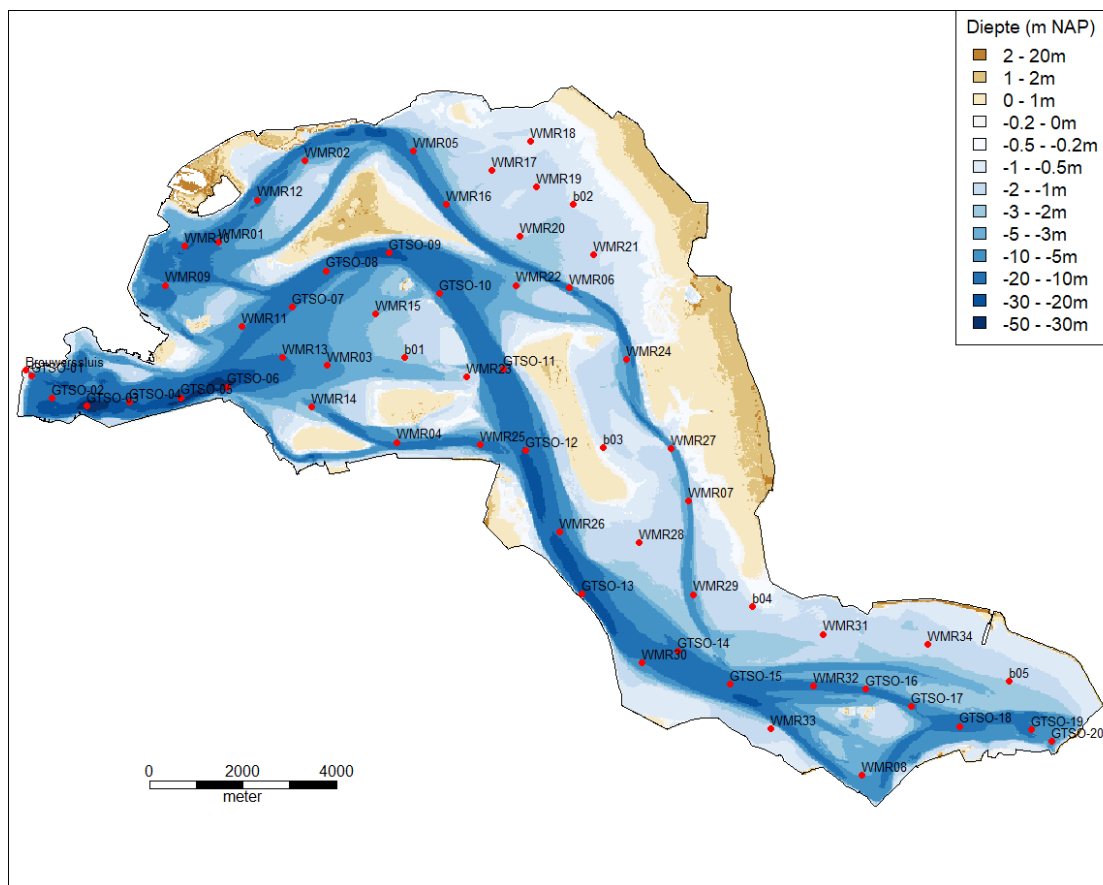
5.1 Achtergrond

Door verandering in het waterbeheer en daarmee de waterstanden in het Grevelingenmeer zullen er veranderingen optreden in de terrestrische en mariene ecotopen. De huidige terrestrische habitattypen kunnen tijdelijk of permanent onder water komen te staan, waardoor het type ecotoop zal veranderen. Ook kunnen er verschuivingen optreden in het areaal dat tijdens het broedseizoen droogvalt en buiten het broedseizoen wordt overspoeld met zoutwater en wat daarmee een potentieel geschikt gebied is voor broedvogels om te nestelen. Om zicht te krijgen in deze veranderingen zijn er ecotopenkaarten gemaakt voor de verschillende situaties. Deze kunnen inzicht geven in de mogelijkheden en onmogelijkheden voor vegetatie om zich te ontwikkelen en voor vogels om te kunnen broeden.

5.2 Aanpak

Door Deltares zijn 3D berekeningen uitgevoerd voor het jaar 2017 met behulp van het D-HYDRO model (Van Der Heijden en Nolte, 2022). Uit de tijdreeksen van de waterstanden zijn voor iedere gridcel van het model een aantal percentielen berekend over het jaar 2017. Het n -percentiel ($P_{n,i}$, m NAP) voor een specifieke gridcel (i) is gedefinieerd als de waterstand waarbij $n\%$ van de berekende waterstanden onder deze waarde ($P_{n,i}$) liggen. Als de hoogteligging van gridcel i op de bathymetriekaart dus hoger ligt dan de $P_{90,i}$ wordt deze locatie minder dan 10% van de tijd overstroomd. Met het model zijn de volgende percentielen berekend: $P_{1,i}$, $P_{5,i}$, $P_{7,i}$, $P_{25,i}$, $P_{50,i}$, $P_{75,i}$, $P_{93,i}$, $P_{95,i}$, $P_{99,i}$ en $P_{99,99,i}$. Deze zijn berekend voor het volledige jaar (2017) ($P_{n,i,jaar}$), een periode binnen het broedseizoen (5 april 2017 – 15 juli 2017) ($P_{n,i,bs}$) en de perioden buiten het broedseizoen (1 jan 2017 – 1 april 2017 en 20 juli 2017 – 31 december 2017) ($P_{n,i,nb}$). De ecotopen zijn berekend door de percentielen van de waterstanden die zijn berekend met het 3D model (D-HYDRO) te projecteren op de bathymetriekaart van het Grevelingenmeer (Figuur 2).

Voor deze studie zijn 60 monitoringslocaties gedefinieerd over het gehele Grevelingenmeer (Figuur 16), waarvan 34 locaties dezelfde zijn als gebruikt in vorige studies (Tangelder et al., 2018, Tangelder et al., 2019). De locaties WMR09 tot en met WMR34 zijn voor de huidige studie extra toegevoegd om een betere dekking te krijgen over het hele Grevelingenmeer. De waarden van de percentielen van de 60 monitoringslocaties zijn geïnterpoleerd over het hele Grevelingenmeer (inverse distance weighting (idw), in R) en geprojecteerd op hetzelfde raster als de bathymetriekaart (10 m x 10 m).



Figuur 16: Overzicht van de ligging van de (60) monitoringslocaties in het Grevelingenmeer die zijn gebruikt om de door het model berekende statistieken van de waterstanden te interpoleren.

Door de berekende (percentielen) van de waterstanden te koppelen aan de bathymetrie zijn de ecotopen berekend. Er zijn hierbij 5 verschillende ecotopen gedefinieerd (Tabel 6). Het ecotoop "Diep water" betreft het gebied waar de bodem dieper ligt dan 5 meter beneden de minimale waterstand buiten het broedseizoen. De laatste is hierbij gedefinieerd als het 5-percentiel van de waterstanden buiten het broedseizoen ($P_{5,i,nb}$). "Ondiep water" betreft het gebied dat ondieper ligt dan het diep water, maar buiten het broedseizoen niet droogvalt. De bovengrens van dit gebied wordt gedefinieerd door het 5-percentiel van de waterstanden buiten het broedseizoen ($P_{5,i,nb}$). Als het middenpeil tijdens het broedseizoen wordt verlaagd kan een deel van het ondiep water door het getij periodiek droogvallen. Het ecotoop "Regelmatig overstroomd" overstroomd gedurende het hele jaar door de peilfluctuaties en/of getijwerking. De bodem in dit gebied ligt hoger dan de minimale waterstand (5-percentiel) buiten het broedseizoen ($P_{5,i,nb}$) en de maximale waterstand (99-percentiel) tijdens het broedseizoen ($P_{99,i,bs}$). In getijdewateren zoals de Oosterschelde en de Westerschelde zijn dit de (tweemaal-daags) droogvallende slikken en platen waar vogels in grote getale foerageren op de aanwezige bodemdieren. De kwaliteit van dit ecotoop voor bodemdieren, en daarmee voor foeragerende steltlopers, is wel afhankelijk van de frequentie en duur van droogval en inundatie. Het ecotoop "Droog in broedseizoen" is het gebied dat droog is tijdens het broedseizoen, maar wat periodiek onder water staat buiten het broedseizoen. Door dit laatste wordt de ontwikkeling van vegetatie tegen gegaan waardoor het gebied in potentie geschikt blijft als broedgebied voor kale grond broeders. Dit ecotoop ligt hoger dan de maximale waterstand (99-percentiel) tijdens het broedseizoen ($P_{99,i,bs}$). De bovengrens van het ecotoop ligt bij de maximale waterstand (99-percentiel) buiten het broedseizoen ($P_{99,i,nb}$). Het ecotoop "Terrestrisch" ligt hoger dan de maximale waterstand (99-percentiel) buiten het broedseizoen ($P_{99,i,nb}$). Dit gebied wordt dus niet overspoeld waardoor de (zoete of zilte) vegetatie zich kan ontwikkelen.

Tabel 6

Overzicht van de verschillende ecotopen die zijn berekend

Ecotoop	Beschrijving
Diep water	Het gebied waar het water dieper is dan 5 meter tijdens de minimale waterstand (5-percentiel) buiten het broedseizoen ($P_{5,i,nb}$).
Ondiep water	Het gebied waar de bodem dieper is dan de minimale waterstand (5-percentiel) buiten het broedseizoen ($P_{5,i,nb}$) tot 5 meter hieronder.
Regelmatig overstroomd	Het gebied waar de bodem hoger ligt dan de minimale waterstand (5-percentiel) buiten het broedseizoen ($P_{5,i,nb}$) en beneden de maximale waterstand (99-percentiel) gedurende het broedseizoen ($P_{99,i,bs}$).
Droog in broedseizoen	Het gebied tussen de maximale waterstand (99-percentiel) gedurende het broedseizoen ($P_{99,i,bs}$) en de maximale waterstand (99-percentiel) buiten het broedseizoen ($P_{99,i,nb}$).
Terrestrisch	Gebied boven de maximale waterstand buiten het broedseizoen ($P_{99,i,nb}$).

De totale arealen (ha) zijn berekend door het totaal aantal gridcellen binnen de verschillende ecotoopklassen te tellen en te vermenigvuldigen met 0.01 ha (oppervlakte van 1 gridcel).

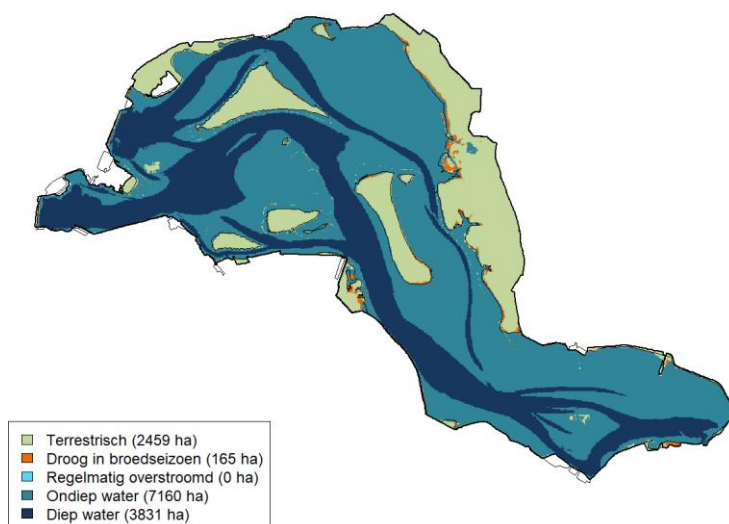
5.3 Resultaten

In Figuur 17 is de ruimtelijke verdeling van de ecotopen voor de variant A1 in 2030 gepresenteerd. Het overgrote deel van het Grevelingenmeer bestaat uit water (diep water 3831 ha en ondiep water 7160 ha). Ongeveer 165 ha valt droog in het broedseizoen en is daarmee een potentieel geschikt gebied voor broedvogels om te nestelen. Het grootste deel hiervan bevindt zich aan de westkant van de Slikken van Flakkee noord. Er is voor deze variant geen gebied dat gedurende het hele jaar regelmatig overstroomd. Dit komt doordat er in deze situatie vrijwel geen overlap is tussen het maximale en minimale peil tijdens het broedseizoen en het maximale en minimale peil buiten het broedseizoen (Figuur 15).

De verspreiding van de ecotopen van de overige situaties is weergegeven in Bijlage 3. De totale arealen zijn weergegeven in Tabel 7 en Figuur 18. Te zien is dat de situaties A0 2030, A1 2030 en A1 2080 erg op elkaar lijken. In alle drie de varianten is er vrijwel geen gebied dat regelmatig overstroomd gedurende het hele jaar. Het areaal droog in broedseizoen is het hoogste bij variant B3 in 2030 (192 ha).

In de variant A3 in 2030 en de B varianten in 2030 en 2080 is er een gebied ontstaan dat regelmatig overstroomd variërend van 78 ha voor de variant B1 in 2080 tot 562 ha voor de variant B3 in 2030. In de B varianten lijkt dit heel erg op een intergetijdengebied dat tweemaal-daags onder water komt te staan. Echter de droogvalduur tijdens het broedseizoen zal anders zijn dan buiten het broedseizoen omdat het middenpeil buiten het broedseizoen 10 cm hoger ligt. Bij de variant A3 in 2030 is dit geen typisch intergetijdengebied omdat de perioden van droogval en inundatie dagen tot soms maanden kunnen duren. Daarmee zal de kwaliteit van dit areaal als leefgebied voor bodemdieren en daarmee als foerageergebied voor steltlopers beperkt zijn in de variant A3. Mogelijk heeft dit gebied wel potentie voor de ontwikkeling van zilte vegetaties. Het areaal droog in broedseizoen is bij de variant A3 in 2030 afgenomen tot nog maar 86 ha, maar dit areaal is sterk afhankelijk van de wind-gedreven waterstanden op de Noordzee en de Oosterschelde en kan daardoor van jaar tot jaar sterk verschillen.

Ecotopen: Situatie A1 2030

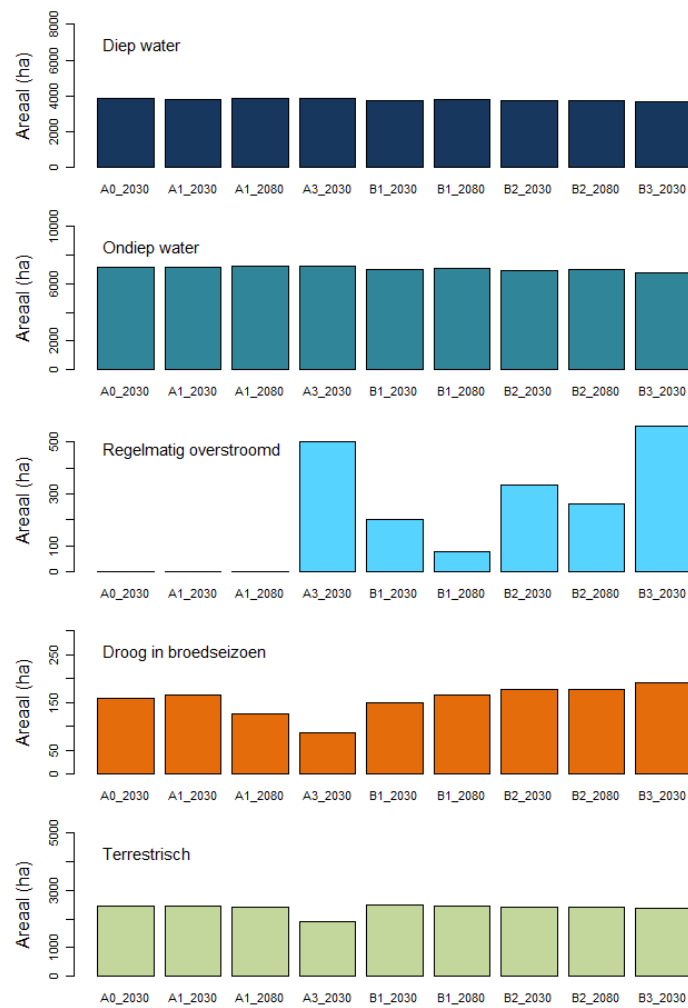


Figuur 17: Verspreiding van de ecotopen binnen het Natura 2000 gebied Grevelingenmeer voor de variant A1 in het jaar 2030. De figuren voor de overige varianten en situaties zijn te vinden in Bijlage 3.

Tabel 7

Arealen (ha) van de ecotopen voor de verschillende varianten in de jaren 2030 en 2080

Ecotoop	A0	A1		A3	B1		B2		B3
	2030	2030	2080	2030	2030	2080	2030	2080	2030
Diep water	3840	3831	3859	3869	3755	3794	3735	3746	3691
Ondiep water	7171	7160	7211	7249	7027	7120	6961	7003	6803
Regelmatig overstroomd	0	0	0	502	200	78	334	260	562
Droog in broedseizoen	158	165	126	86	150	165	177	176	192
Terrestrisch	2445	2459	2420	1908	2483	2457	2408	2429	2367



Figuur 18: Totale arealen (ha) van de ecotopen voor de verschillende situaties.

6 Geschiktheidsindex bodemetende- en filtrerende bodemdieren

6.1 Bodemdieren

De bodemdiergemeenschap (biomassa, samenstelling) wordt algemeen gezien als een belangrijk systeemkenmerk en daarmee in potentie een geschikte indicator voor de kwaliteit van het systeem. Bodemdieren zijn relatief sessiele organismen en zijn direct afhankelijk van de kwaliteit van het water waarin zij zich bevinden en de aanvoer van voedsel. Perioden van slechte waterkwaliteit (bijvoorbeeld door zuurstofloosheid) zijn mogelijk terug te zien in de bodemdiergemeenschap. Ook is de bodemdiergemeenschap afhankelijk van de kwaliteit en de hoeveelheid voedsel die wordt aangevoerd (algen in de waterkolom en detritus dat naar de bodem zakt).

Bodemdieren kunnen grofweg worden ingedeeld in twee functionele groepen: filtrerende- en bodemetende bodemdieren. De eerste groep bevat onder andere schelpdieren zoals mosselen en oesters, maar ook zakpijpen en sponzen. Deze groep filtert het voedsel uit het water. Het voedsel van filtrerende bodemdieren bestaat voornamelijk uit algen en zoöplankton, maar ook detritus (dood organisch materiaal) kan worden gebruikt als voedsel. De tweede groep bestaat onder andere uit mariene wormen zoals wadpieren en slangpieren. Deze groep leeft van het organisch materiaal dat naar de bodem is gezonken en dat op ("surface deposit feeders") of in ("deposit feeders") de bodem zit. Het is mogelijk dat filtrerende bodemdieren en bodemetende bodemdieren – vanwege dit verschil in voedselvergaring - anders reageren op de veranderingen als gevolg van de ingreep en het is daarom goed om ze afzonderlijk te beschouwen.

In dit hoofdstuk zijn de indicatoren geschiktheid voor filtrerende bodemdieren en geschiktheid voor bodemetende bodemdieren verder uitgewerkt. Als introductie zijn in paragraaf 6.2 de verschillen tussen filtrerende en bodemetende bodemdieren en hun rol in het functioneren van het ecosysteem toegelicht. Ook is de relatie van bodemdieren met zuurstof en voedsel verder uitgewerkt op basis van bestaande literatuur. In paragraaf 6.3 is verder toegelicht hoe de indicatoren geschiktheid voor filtrerende en bodemetende bodemdieren kunnen worden gebruikt. In de paragrafen 6.4 en 6.5 is aangegeven hoe de kennisregels zijn opgesteld op basis van de resultaten van de modelberekeningen met het D-HYDRO model door Deltares (Van Der Heijden en Nolte, 2022).

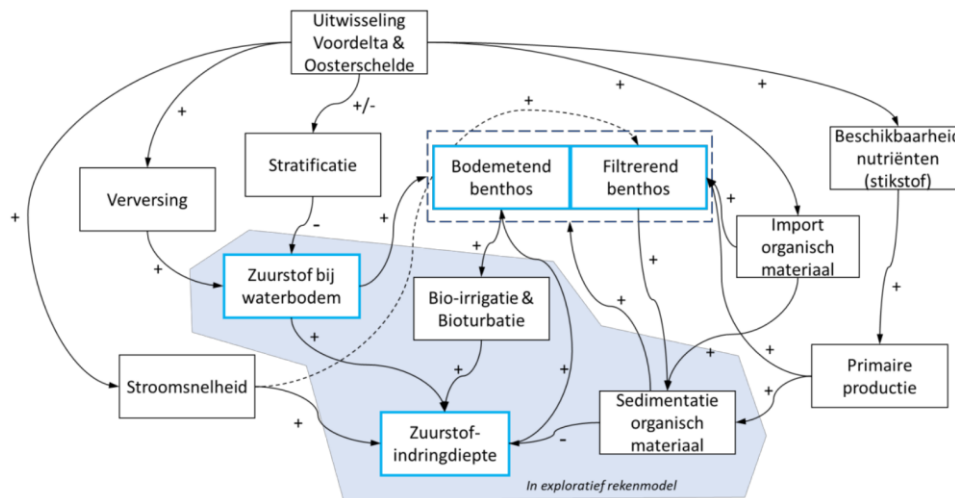
6.2 Relatie met de omgeving

6.2.1 Filtrerende versus bodemetende bodemdieren

Vanwege de verschillende leefwijzen van deze twee functionele groepen is het mogelijk dat ze anders reageren op veranderingen in het ecosysteem, zoals de verandering van de wateruitwisseling tussen het Grevelingenmeer aan de ene kant en de Noordzee en Oosterschelde aan de andere kant (Figuur 19). Uit de figuur is af te leiden dat de beschikbaarheid van voedsel (primaire productie, organisch materiaal en stroomsnelheid) en zuurstofcondities (zuurstof bij waterbodem en zuurstof indringdiepte) de belangrijkste factoren zijn die effect kunnen hebben op de geschiktheid voor bodemdieren in de huidige en toekomstige situatie binnen het Grevelingenmeer. In de paragrafen 6.2.2 en 6.2.3 worden deze twee factoren verder uitgewerkt op basis van beschikbare literatuur.

Er zijn duidelijke verschillen tussen filtrerende en bodemetende bodemdieren in de eisen aan de omgeving. Zo zijn filtrerende bodemdieren meer afhankelijk van algen die met de waterbeweging worden aangevoerd, terwijl bodemetende bodemdieren meer afhankelijk zijn van detritus dat vanuit de waterkolom op de bodem bezinkt. Filtrerende bodemdieren steken vaak boven de bodem uit waardoor ze minder "last" hebben van zuurstofloosheid direct nabij de bodem, terwijl vooral de

bodemmetende bodemdieren het zuurstof soms actief de bodem in moeten werken (bio-irrigatie). Daarnaast kunnen er verschillen zitten in tolerantie voor zuurstofarme perioden en herstelcapaciteit na een event van zuurstofarme condities. Van filtererende schelpdieren is het bijvoorbeeld bekend dat ze kunnen overschakelen op anaerobe metabolisme (De Zwaan en Wijsman, 1976).



Figuur 19: Een schematische weergave van de relaties van filterende en bodemetende bodemdieren met hun omgeving (Nolte et al., 2021). De vakjes met een blauw kader zijn gebruikt in dit onderzoek als indicator om de ecologische toestand van verschillende varianten in peilbeheer nader te duiden.

Bodemdieren hebben ook een belangrijke rol in het ecosysteem zoals het filteren van het water, regeneratie van nutriënten, bioturbatie en bio-irrigatie, habitat voor overige organismen en voedsel voor hogere trofische niveaus (vissen, vogels). De rol van bodemetende bodemdieren verschilt van die van filtererende bodemdieren. Over het algemeen leiden filtererende bodemdieren tot meer helderheid van het water en snellere teruglevering van nutriënten waardoor de primaire productie kan worden gestimuleerd. Daarnaast creëren sommige soorten (o.a. oesters en mosselen) hardsubstraat habitats (schelpdierriffen) voor andere organismen. Bodemetende bodemdieren kunnen de bodem omwoelen en organisch materiaal en zuurstof de bodem inwerken.

6.2.2 Voedselbeschikbaarheid

Het voedsel van filtererende bodemdieren bestaat hoofdzakelijk uit microalgen (fytoplankton) maar ook dood organisch materiaal (detritus) wordt uit het water gefilterd en gegeten (Wijsman en Smaal, 2011). Chlorofyl-*a*, is een veelgebruikte maat voor voedselconcentratie voor filtererende schelpdieren (Wijsman en Jansen, 2020). De concentratie van chlorofyl wordt bepaald door complexe interacties tussen primaire productie (toename van microalgen), verversing (aanvoer van microalgen) en de graasdruk (consumptie van microalgen door schelpdieren) (Wijsman en Jansen, 2020). Detritus wordt – weliswaar in mindere mate – ook gegeten door filtererende bodemdieren en bestaat uit dood organisch materiaal (veelal dode microalgen). Verder is de waterbeweging (uitgedrukt in stroomsnelheid) van belang voor de aanvoer van fytoplankton en detritus voor filtererende bodemdieren. Naast de beschikbaarheid van voedsel is ook de concentratie anorganisch materiaal (slib) in het water van belang voor filtererende bodemdieren. Met de algen wordt door filtererende bodemdieren ook het slib uit het water gefilterd. Hoe hoger de concentratie van anorganisch materiaal hoe ongunstiger, omdat het filtererende bodemdieren energie kost om het materiaal te verwerken en minder voeding binnen krijgt (Prins et al., 1991, Troost et al., 2010). Filtererende bodemdieren domineren de biomassa in het Grevelingenmeer (Mulder et al., 2019). De meest dominante filtererende soorten in biomassa zijn de slak het muiltje (*Crepidula fornicata*), de tweekleppige tapijtscelp (*Venerupis corragata*), mossel (*Mytilus edulis*) en de Japanse - (*Crassostrea gigas*) en platte oester (*Ostrea edulis*) (Bijlage 1). Het muiltje is verreweg de meest dominante soort en draagt gemiddeld 58.4% bij aan de totale biomassa (studieperiode 1990-2016), maar de soort vertoont een significante afname tussen 1993 en 2013 (aandeel: 64% in 1993 en 29% in 2010) en de laatste jaren is de Japanse Oester (*Crassostrea gigas*) qua biomassa in belang toegenomen (aandeel: 0% in 1993 en

31% in 2010). Recentelijk is ook de Filipijnse tapijtshell (*Ruditapes philippinarum*) in het Grevelingenmeer geïntroduceerd en na een succesvolle broedval in 2019 explosief toegenomen (Troost et al., 2022). De korfshell (*Corbula gibba*) en de vlokreeft *Microdeutopus gryllotalpa* en het tweetandshell (*Kurtiella bidentata*) zijn filtrerende soorten die domineren in dichtheden. De borstelworm *Spio martinensis* is ook een filtrerende soort en is over het hele Grevelingenmeer vaak aangetroffen in bemonsteringen. Literatuuronderzoek naar relaties van filtrerende soorten met voedsel variabelen heeft het volgende opgeleverd:

- Voor mosselen is aangetoond dat de opname van Chl-*a* (ingestie) afneemt naarmate de concentratie anorganisch materiaal in de waterkolom toeneemt (Prins et al., 1991). Dit komt omdat de mossel meer anorganisch materiaal te verwerken krijgt en het relatieve voedsel aandeel daalt.
- Het zwevend stof dat bestaat uit zowel anorganisch materiaal (niet eetbaar voorscheldieren) als detritus (deels eetbaar voor schelpdieren) die beiden in suspensie voorkomen in het water (Wijsman en Smaal, 2011).
- De primaire productie bepaalt de toename van het aantal microalgen en daarmee de mate waarin chlorofyl beschikbaar is voor schelpdieren (Wijsman en Jansen, 2020).
- Stroomsnelheid is bepalend voor de aanvoer van chlorofyl (voedsel in de vorm van microalgen) voor filtrerende soorten. Voedsel opname van schelpdieren stijgt bij een toenemende stroomsnelheid totdat verzadiging optreedt (Troost, 2009). Stroomsnelheid is ook bepalend voor de distributie van zwevend stof.

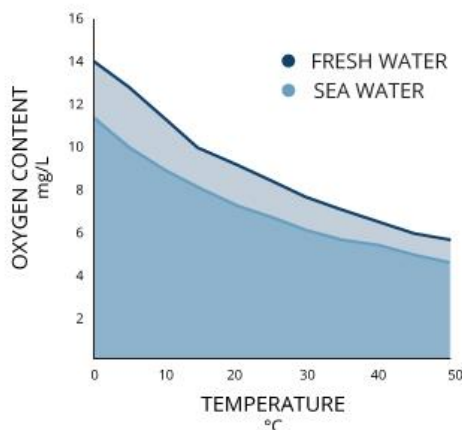
Bodemmetende bodemdieren worden niet (direct) beïnvloed door fytoplankton omdat ze detritus eten en meer afhankelijk zijn van de flux van detritus naar de bodem. Bodemetende bodemdieren bewegen zich over het bodem oppervlak of graven door het sediment en nemen zowel sediment als organismen (microben) en/of organisch materiaal op dat ze verteren (Lopez en Levinton, 2011). Het sediment wat ze consumeren bestaat gemiddeld voor meer dan 95% uit anorganisch materiaal en wordt weer uitgescheiden. Desalniettemin kunnen ze goed overleven en groeien op deze voedselbron (Lopez en Levinton, 1987). Bodemetende bodemdieren is een diverse groep van organismen die verschillende technieken gebruiken voor hun voedselvergaring en soms ook van techniek kunnen switchen. Voorbeelden zijn het begrazen van het oppervlak van de bodem (bv. vlokreeften), het opeten van de oppervlakte laag (bv. sommige wormen en bodembewonende schelpdieren door gebruik van de syphon), het ingraven in de bodem en daarbij consumeren van het sediment (bv. (borstel)wormen) (Lopez en Levinton, 1987). De borstelworm *Spio martinensis* voedt zich door begrazing van het bodemoppervlak maar kan bij hogere chlorofyl concentraties in het water ook switchen naar filtratie (Gittenberger en Van Loon, 2013). Bodemetende bodemdieren domineren vooral in dichtheden en abundantie in het Grevelingenmeer. De dominantste soorten zijn wormen (o.a. *Oligochaeta*, *Capitella*, *Polydora*, *Heteromastus filiformis*, *Scoloplos armiger*), en de vlokreeft *Monocorophium insidiosum*.

6.2.3 Zuurstof

De geschiktheid van de leefomgeving voor bodemdieren in het Grevelingenmeer wordt in belangrijke mate bepaald door de zuurstofconcentratie. In voorgaand onderzoek is aangetoond dat de zuurstofconcentratie in het water boven de bodem met name in de zomer kan dalen (Maarse et al., 2019). In diepere delen van het meer daalt de zuurstofconcentratie zelfs onder de 3 mg O₂ l⁻¹ over een bodemoppervlak fluctuerend van 800-1600 hectare (uitgaande van een zuurstofconcentratie van <3 mg O₂ l⁻¹ voor langer dan 7 dagen) (Maarse et al., 2019). Het vermoeden is dat dit een rol speelt in de afname van de biomassa aan bodemdieren in het Grevelingenmeer, maar niet de enige reden is (Tangelder et al., 2019). De watertemperatuur haakt ook in op de zuurstofconcentratie: hoe warmer het water, hoe minder zuurstof het water kan vasthouden en temperatuurverschillen versterken stratificatie (Pörtner, 2014) (Figuur 20). Daarnaast neemt bij stijgende temperaturen ook de respiratie en dus het zuurstofverbruik van bodemdieren toe. Uit de studie van Steckbauer et al. (2011) komt naar voren dat de gevoeligheid voor lage zuurstofgehalten kan variëren met temperatuur. Dit wijst erop dat grenswaarden in de loop der tijd kunnen verschuiven. Bij een stijgende temperatuur schuiven de grenswaarden op naar boven. Door Smaal en Wijsman (2015) is aan de hand van een literatuurstudie onderzoek gedaan naar de minimum zuurstof concentratie voor bodemdieren in het Grevelingenmeer. Hieruit komt naar voren dat kreeftachtigen het meest gevoelig zijn en relatief snel afsterven bij lage zuurstofgehalten en sublethale effecten optreden bij vissen (bv. verhoogde ventilatie

snelheid), echter hebben deze soorten soms ook de mogelijkheid om zich te verplaatsen naar zuurstofrijker water. Schelpdieren kunnen overgaan op anaerobe ademhaling waardoor ze langer bestand zijn tegen lage zuurstof concentraties. Ook wordt aangegeven dat het goed is om onderscheid te maken tussen 'Letal Concentration' (LC), 'Sublethal Concentration' (SLC) en 'Lethal Time' (LT) en daarbij een range aan te geven. In Tabel 8 is een overzicht gegeven van de tolerantiegrenzen voor zuurstofconcentratie van een aantal filtrerende en bodemetende bodemdieren met focus op de soorten uit Bijlage 1. Een aantal kanttekeningen zijn dat:

- De watertemperatuur zeer bepalend is voor de LC, SLC en de LT van soorten (Figuur 20). Bij sommige bronnen is temperatuur niet gespecificeerd;
- Bacteriële activiteit een rol speelt in overleving. Zo lieten mosselen een grotere overleving zien bij een lagere pH (minder gunstig voor bacteriën) (Babarro en De Zwaan, 2002);
- Schelpdieren in het larvale stadium veel kwetsbaarder zijn en minder tolerant zijn voor lage zuurstofconcentraties (Wang en Widdows, 1991).



Figuur 20: Maximale zuurstofverzadiging van zoetwater en zeewater in relatie tot temperatuur.

Tabel 8

Overzicht zuurstoftoleranties bodemdieren. LC = Letal Concentration; SLC = Sublethal Concentration en LT = Lethal Time

	LC (mg l ⁻¹ of %)	SLC (mg l ⁻¹)	LT (uur)	Referentie	Opmerking
Tweekleppigen	LC ₅₀ : 1.42 LC ₉₀ : 3.43	SLC ₅₀ : 1.99	LT ₅₀ : 412	(Vaquer-Sunyer en Duarte, 2008)	
<i>Mytilus edulis</i>	LC ₂₀ : 0.7-0.8		LT ₅₀ : 235-307 (anoxic) LT ₂₀ : 384	(Babarro en De Zwaan, 2002, Li et al., 2022)	T = 10 °C, zout water
<i>Crassostrea gigas</i>	LC ₅₀ : 0-1.5 LC ₁₀₀ : <0.07	1.5 (groei)	LT ₅₀ : 84-336 LT ₁₀₀ : 24 LT ₅₀ : 156	(Baker en Mann, 1992, Meng et al., 2018)	T = 25 °C, waarden van <i>Crassostrea virginica</i> ; <i>Crassostrea gigas</i> (LT 50)
Wormen		1.2		(Vaquer-Sunyer en Duarte, 2008)	
Polychaeten	LC ₁₀₀ : 2.4-3.3			(Kanaya et al., 2018)	
<i>Capitella capitata</i>	LC ₁₀₀ : 1.12-1.26	0.06-2.1 (groei)		(Forbes en Lopez, 1990)	
<i>Alitta succinea</i>	LC ₁₀₀ : 10-16%			(Kersey Sturdivant et al., 2015)	Key bioturbator, oxyregulator. 25-30°C

6.3 Filtrerende en bodemetende en bodemdieren als indicatoren

In deze studie wordt de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren en bodemetende bodemdieren gebruikt als indicator om de verschillen tussen de onderzochte situaties te kunnen kwantificeren. De term geschiktheid behoeft hierbij nog wel nadere toelichting. Bodemdieren zijn een zeer diverse groep variërend van specialisten tot generalisten. Als gevolg hiervan zijn deze wijdverspreid en komen vrijwel overal voor, zij het in variërende samenstelling afhankelijk van de omgevingscondities. Ook in het Grevelingenmeer komen filtrerende bodemdieren en bodemetende bodemdieren waarschijnlijk in potentie overal voor en deze zullen in de toekomst in potentie ook weer overal kunnen voorkomen en is het hele meer daarmee per definitie "geschikt" voor filtrerende en bodemetende bodemdieren. Zelfs in de diepe delen van het Grevelingenmeer, die in de zomer zuurstofloos zijn, kunnen geschikt zijn voor filtrerende- en bodemetende bodemdieren als opportunistische soorten uit deze groepen het gebied (tijdelijk) kunnen koloniseren als de zuurstofcondities zijn verbeterd in het najaar.

Geschiktheid voor bodemdieren kan zich uiten in diverse grootheden zoals aan- of afwezigheid van soorten, biomassa, dichtheid, diversiteit of het voorkomen van specifieke kenmerkende soorten. Als een gebied ongeschikt is voor een bepaalde soort zal men deze specifieke soort er niet aantreffen. Als een gebied wél geschikt is voor deze soort is er een mogelijkheid (maar geen zekerheid) dat men de soort kan aantreffen. Hoe geschikter een gebied, hoe hoger de biomassa of dichtheid die kan worden verwacht van een bepaalde soort. Geschiktheid kan zich echter ook vertalen in het aantal soorten dat er kan voorkomen oftewel de biodiversiteit. Over het algemeen wordt de biomassa positief beïnvloed door de voedselbeschikbaarheid. Dichtheid wordt voornamelijk bepaald door (grootte)samenstelling van de bodemdiergemeenschap en processen als rekrutering en mortaliteit. Diversiteit is een kenmerk van de bodemdiergemeenschap en is voor een belangrijk deel afhankelijk van de (diversiteit in) habitats die wordt bepaald door de (dynamiek in) omgevingscondities, substraat, enz. Deze grootheden hoeven niet (positief) aan elkaar te zijn gecorreleerd. Bijvoorbeeld, als het hele Grevelingenmeer optimaal geschikt is voor Japanse oesters zal dit leiden tot een hoge biomassa, maar niet per se tot een hoge biodiversiteit en ook niet tot hoge dichtheden. In deze studie is er voor gekozen om geschiktheid te relateren aan de biomassa omdat deze grootheid een relatie heeft met het functioneren binnen het ecosysteem (filtratie capaciteit, bioturbatie/bioirrigatie, habitat, voedsel voor hogere trofische niveaus).

Het is de verwachting dat de verandering in peilbeheer bij de verschillende varianten effect hebben op de bodemdiergemeenschap in zowel de diepe (>10 meter) delen als in de ondiepe delen (<10 meter) (Van Donk et al., 2021) die samen zo'n 80% van het totale oppervlak van het meer beslaan (Figuur 3). Ook de hoeveelheid voedsel in de vorm van microalgen zal door de aanvoer van nutriëntenrijk water uit de Noordzee zal toenemen waardoor de biomassa aan bodemdieren kan toenemen. De bodemdiergemeenschap is echter ook afhankelijk van de zuurstofcondities in en nabij de bodem. Het optreden en de dikte van een zuurstofloze laag in het water bij de bodem is afhankelijk van de zuurstofvraag van de bodem als gevolg van de afbraakprocessen (afname zuurstof) en het zuurstofaanvoer door de turbulente menging (toename zuurstof).

6.4 Aanpak

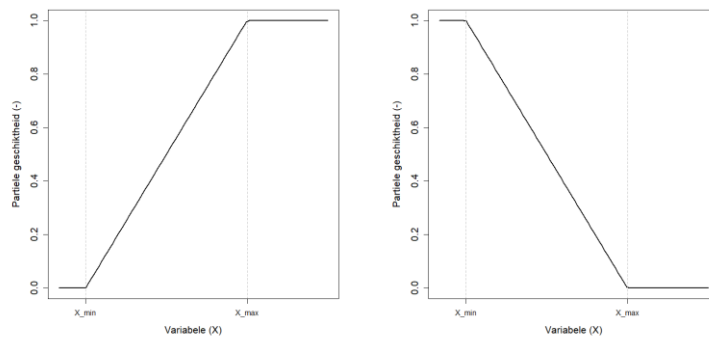
Om voor deze studie tot bruikbare geschiktheidsindices te komen voor filtrerende en bodemetende bodemdieren moeten ze voldoen aan een aantal criteria:

1. Ze moeten gevoelig zijn voor de te verwachte veranderingen in het Grevelingenmeer door de varianten;
2. Ze moeten relevant (indicatief) zijn voor respectievelijk de filtrerende en bodemetende bodemdieren;
3. Ze moeten te voorspellen zijn vanuit de modelberekeningen die worden uitgevoerd met het D-HYDRO model van Deltares;
4. Ze moeten kunnen worden uitgedrukt in (liefst) 1 getal, waardoor verschillende situaties met elkaar te vergelijken zijn.

De geschiktheidsindices voor filtrerende- en bodemetende bodemdieren zijn afgeleid uit de resultaten van de 3D waterkwaliteitsberekeningen van Deltares (D-HYDRO)(Van Der Heijden en Nolte, 2022). De focus is daarbij gelegd op variabelen uit het model die een relatie hebben met de voedselbeschikbaarheid en de zuurstofcondities. Voor iedere variabele zijn er eenvoudige kennisregels opgesteld die de partiële geschiktheid weergeven als functie van de waarde van de variabele:

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

Waarbij $GI_{FF,X_{j,i}}$ is de partiële geschiktheidsindex (GI) van in dit geval filtrerende bodemdieren (filterfeeders, FF) in gridcel (i) als functie van de variabele X_j . De functie $f(X_{j,i})$ is een eenvoudige lineaire relatie (stijgend of dalend), binnen het interval $[X_{j,min}; X_{j,max}]$, met een minimale waarde van 0 en een maximale waarde van 1 (Figuur 21). De kennisregels betreffen uitsluitend het bereik van de waarden van de variabelen X_j die voorkomen in de uitgevoerde berekeningen in deze studie, en zijn daardoor dus niet zondermeer te gebruiken in andere situaties. De interpretatie van deze kennisregels is dat een geschiktheidsindex van 0 het minst geschikt is en een geschiktheidsindex van 1 is het meest geschikt binnen de range van waarden van de betreffende variabele over alle gemodelleerde situaties. Dit betekent dus niet dat een geschiktheidsindex van 0 ongeschikt is maar alleen dat het de laagste geschiktheid heeft en dat alle andere locaties even- of beter geschikt zijn.



Figuur 21: Theoretische kennisregels voor de partiële geschiktheidsindex als functie van een variabele (X). In de linker figuur neemt de geschiktheidsindex toe met de waarde van variabele X en in de rechter figuur neemt de partiële geschiktheidsindex af met de waarde van variabele X.

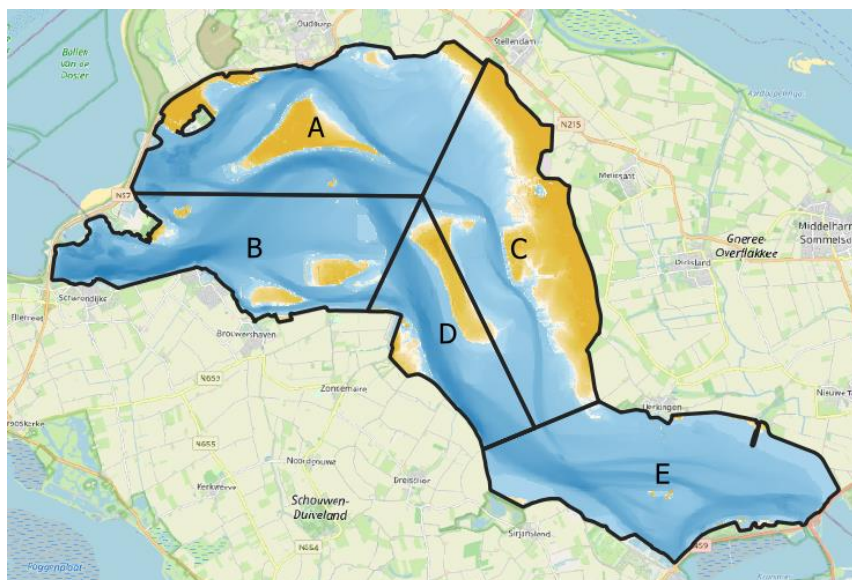
De overall geschiktheidsindex ($GI_{FF,i}$) voor filterfeeders (FF) in gridcel (i) is berekend door de (N) partiële geschiktheid indices te middelen binnen iedere gridcel die dieper is dan NAP -0.5 m. De gridcellen die ondieper liggen zijn buiten beschouwing gelaten in de berekeningen:

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

De overall geschiktheidsindex (GI_{FF}) ten slotte voor het hele Grevelingenmeer (of een deelgebied hiervan) is berekend uit het gewogen gemiddelde van de geschiktheidsindices van alle (n) gridcellen binnen het onderzoeksgebied, waarbij er is gewogen voor het oppervlakte van iedere gridcel (Opp_i):

$$GI_{FF} = \frac{\sum_{i=1}^n GI_{FF,i} * Opp_i}{\sum_{i=1}^n Opp_i}$$

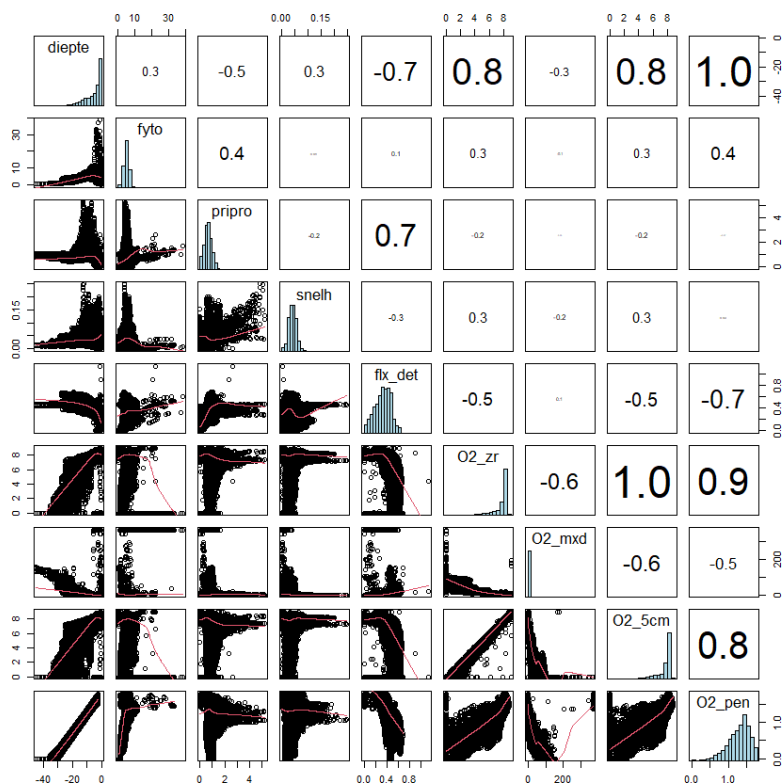
De geschiktheidsindices zijn berekend voor filtrerende bodemdieren (GI_{FF}) en bodemetende bodemdieren (GI_{DF}) voor het gehele Grevelingenmeer en voor deelgebieden. Er is hierbij een ruimtelijke indeling gemaakt waarbij het Grevelingenmeer is opgedeeld in vijf deelgebieden (A, B, C, D en E) met een indeling van West naar Oost en van Noord naar Zuid (Figuur 22). Ook is er een indeling gemaakt op basis van diepteligging waarbij de volgende diepteklassen zijn gebruikt: <-10 m; -10 tot -6 m; -6 tot -2 m; -2 tot -0.5 m).



Figuur 22: Ruimtelijke indeling van het Grevelingenmeer in 5 deelgebieden, waarbij er een opdeling is van West naar Oost en van Noord naar Zuid.

6.5 Resultaten modelberekeningen

Met het 3D model van Deltares is uitvoer gegenereerd van een groot aantal variabelen voor een totaal van 44796 gridcellen. Hiervan zijn alleen de 27695 gridcellen geselecteerd die binnen het onderzoeksgebied lagen (Natura 2000 Grevelingen, Figuur 2) en die dieper lagen dan NAP -0.5 m. Een aantal van deze variabelen zijn sterk aan elkaar gecorreleerd (Figuur 23), zoals de jaargemiddelde detritus flux naar de bodem (*flx_det*) en de jaargemiddelde primaire productie (*pripro*) en de zomergemiddelde zuurstofconcentratie in de onderste waterlaag (*O2_zr*) en 5 cm boven de bodem (*O2_5cm*). Veel van de variabelen laten een duidelijke correlatie zien met de waterdiepte. In het bijzonder de detritusflux (*flux_det*) vertoont een sterke correlatie (correlatie coëfficiënt = 0.8) met de jaargemiddelde primaire productie (*pripro*). Hoe meer algen er worden geproduceerd, hoe meer organisch materiaal er naar de bodem kan zinken. De sterke relatie tussen de zuurstofindringdiepte (*O2_pen*) en de waterdiepte (hoe dieper, hoe minder de indringdiepte) kan worden verklaard doordat de zuurstofindringdiepte direct uit de waterdiepte is berekend door middel van lineaire regressie, waarbij de regressieparameters per modelrun is bepaald (Van Der Heijden en Nolte, 2022).



Figuur 23: Scatterplots (onder de diagonaal) met de relaties tussen verschillende modelvariabelen: *diepte*: Diepte (m NAP); *fyto*: jaargemiddelde fytoplankton concentratie bij bodem ($\mu\text{g l}^{-1}$); *pripro*: jaargemiddelde primaire productie over waterkolom ($\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$); *snelh*: jaargemiddelde stroomsnelheid bij de bodem (m s^{-1}); *flx_det*: jaargemiddelde detritus flux naar de bodem ($\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$); *O2_zr*: zomergemiddelde zuurstofconcentratie bij de bodem ($\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$); *O2_mx_d*: maximum aantal aaneengesloten dagen zuurstofconcentratie bij bodem $< 3 \text{ mg O}_2 \text{l}^{-1}$ (d); *O2_5cm*: zomergemiddelde zuurstofconcentratie 5 cm boven de bodem ($\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$); *O2_pen*: zuurstof indringdiepte (mm). Op de diagonaal histogrammen met de verdeling van de waarden. Boven de diagonaal de correlatiecoëfficiënt tussen de betreffende variabelen.

Voor de berekening van de geschiktheidsindex voor filtrerende bodemdieren is gebruik gemaakt van de volgende variabelen uit de modelberekeningen:

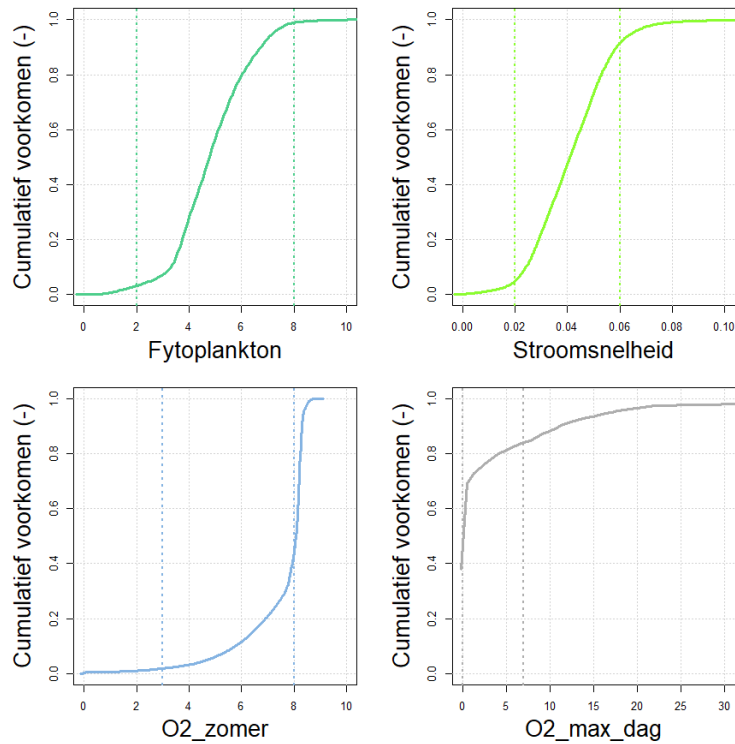
- Jaargemiddelde concentratie Chl-a (*fyto*, $\mu\text{g l}^{-1}$) in de onderste waterlaag (bij de bodem). Dit is een indicator voor het voedsel dat uit het water gefilterd kan worden door filtrerende bodemdieren. Over het algemeen kan voor de situatie van het Grevelingenmeer worden gesteld dat de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren toeneemt met de hoeveelheid fytoplankton (Chl-a) in het water.
- Jaargemiddelde stroomsnelheid (*snelh*, m s^{-1}) in de onderste waterlaag. Waterbeweging zorgt ervoor dat er nieuwe aanvoer is van voedsel voor filtrerende bodemdieren. Over het algemeen kan worden gesteld dat, zeker in het Grevelingenmeer waar de waterbeweging beperkt is, de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren toeneemt met de stroomsnelheid.
- Zomergemiddelde zuurstofconcentratie (*O2_zr*, $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$) in de onderste waterlaag. De zomerperiode is hierbij gedefinieerd als de periode tussen 1 april en 30 september. Dit is een indicator voor de waterkwaliteit. Over het algemeen kan worden gesteld dat de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren toeneemt met een hogere zuurstofconcentratie.
- Maximum aantal aaneengesloten dagen dat de zuurstofconcentratie in de onderste waterlaag minder is dan $3 \text{ mg O}_2 \text{l}^{-1}$ (*O2_mx_d*, d). Dit is ook een indicator voor de waterkwaliteit. Over het algemeen kan worden gesteld dat hoe meer aaneengesloten dagen de zuurstofconcentratie beneden de $3 \text{ mg O}_2 \text{l}^{-1}$ is, hoe minder geschikt het is voor filtrerende bodemdieren.

Voor de berekening van de geschiktheidsindex voor bodemetende bodemdieren is gebruik gemaakt van de volgende variabelen uit de modelberekeningen:

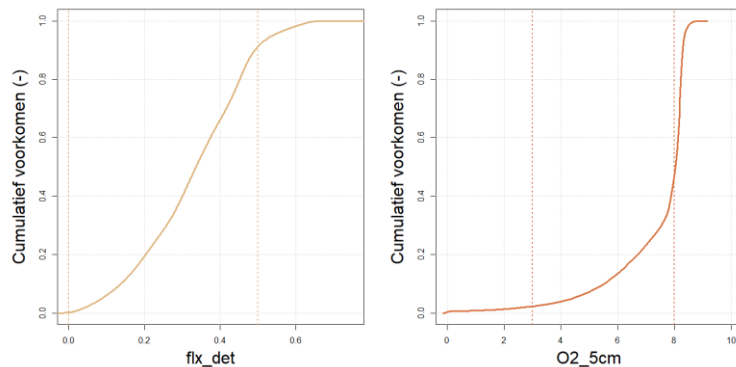
- Jaargemiddelde flux van detritus naar de bodem (flx_{det} , $gC\ m^{-2}\ d^{-1}$). Bodemetende bodemdieren zijn afhankelijk van het voedsel dat bezinkt op de bodem. Over het algemeen kan voor de situatie van het Grevelingenmeer worden gesteld dat de geschiktheid voor bodemetende bodemdieren toeneemt met de hoeveelheid detritus dat bezinkt op de bodem.
- Zomergemiddelde zuurstofconcentratie ($O2_{5cm}$, $mg\ O_2\ l^{-1}$) 5 cm boven de bodem. De zomerperiode is hierbij gedefinieerd als de periode tussen 1 april en 30 september. Omdat bodemetende bodemdieren vaak in de bodem zitten zijn deze meer afhankelijk van het zuurstof vlak boven de bodem. Over het algemeen kan worden gesteld dat de geschiktheid voor bodemetende bodemdieren toeneemt met een hogere zuurstofconcentratie 5 cm boven de bodem.

Van de variabelen die zijn gebruikt voor de indicator filtrerende bodemdieren ($fyto$, $snelh$, $O2_{zr}$ en $O2_{mx_d}$) zijn alleen de laatste twee relatief sterk (negatief) aan elkaar gecorreleerd (correlatie coëfficiënt = -0.6) (Figuur 23). De variabelen die zijn gebruikt voor de indicator bodemetende bodemdieren (flx_{det} en $O2_{5cm}$) zijn in iets mindere mate aan elkaar gecorreleerd (correlatie coëfficiënt = -0.5).

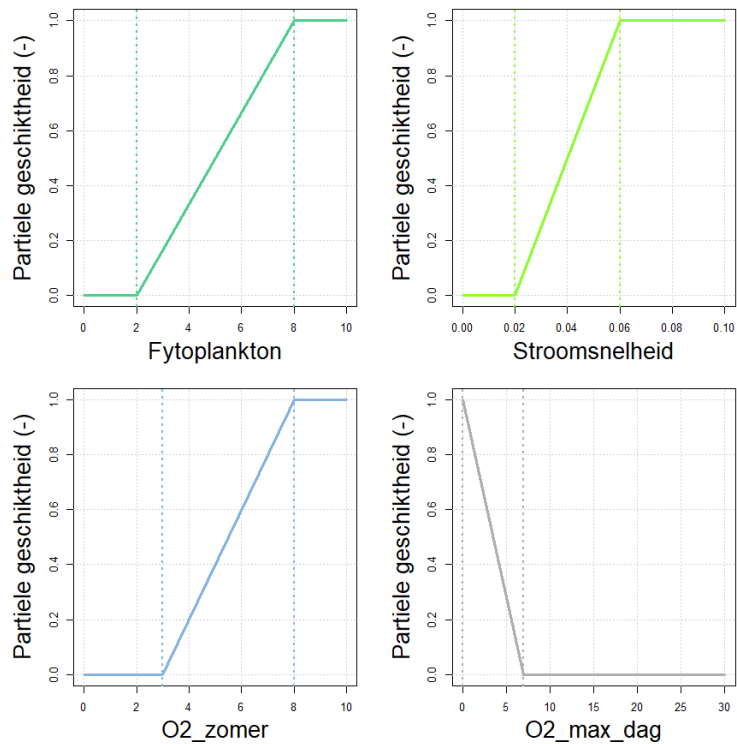
In Figuur 24 en Figuur 25 is het cumulatieve voorkomen van de verschillende waarden van de modelvariabelen die zijn gebruikt voor het berekenen van de geschiktheidsindex voor respectievelijk filtrerende bodemdieren en bodemetende bodemdieren weergegeven. Voor de figuren zijn de resultaten van de modelberekeningen voor alle negen situaties meegenomen (A0 2030, A1 2030, A1 2080, A3 2030, B1 2030, B1 2080, B2 2030, B2 2080 en B3 2030). Modelberekeningen buiten het onderzoeksgebied en ondieper dan NAP -0.5 m zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. Voor de berekeningen van het cumulatieve voorkomen is gewogen voor de oppervlaktes van de individuele gridcellen. De verticale stippellijnen in Figuur 24 en Figuur 25 geven de ondergrens (X_{min}) en bovengrens (X_{max}) aan van het interval waarbinnen minimaal ongeveer 80% van de door het model berekende waarden van betreffende variabele vallen over alle situaties. Voor de zuurstofconcentraties ($O2_{zr}$ en $O2_{5cm}$) waar de curve aan het eind er stijl omhoog gaat is de bovengrens bij 8 $mg\ O_2\ l^{-1}$ gelegd. Deze onder- en bovengrens zijn gebruikt voor de kennisregels (Figuur 26 en Figuur 27). Voor de jaargemiddelde fytoplankton concentratie is het interval [2;8] $\mu g\ Chl-a\ l^{-1}$, hoe hoger de fytoplankton concentratie hoe hoger de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren. Het interval voor gemiddelde stroomsnelheid is [0.02;0.06] $m\ s^{-1}$. Over het algemeen zijn de berekende stroomsnelheden in alle situaties zeer laag voor estuariene- en kustwateren. Binnen het genoemde interval geldt zeker: hoe hoger de stroomsnelheid, hoe hoger de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren. Hogere stroomsnelheden ($>0.06\ m\ s^{-1}$) zullen de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren nog verder doen toenemen, maar dat is niet relevant in de huidige studie omdat dergelijke stroomsnelheden niet voorkomen in de onderzochte varianten. Het interval voor de zomergemiddelde zuurstofconcentratie in de bodemlaag en 5 cm boven de bodem is [3;8] $mg\ O_2\ l^{-1}$, hoe hoger de zuurstofconcentratie hoe hoger de geschiktheid voor respectievelijk filtrerende en bodemetende bodemdieren. Het interval voor het maximum aantal dagen met een zuurstofconcentratie minder dan 3 $mg\ O_2\ l^{-1}$ is [0;7] dagen. Hoe groter het aantal dagen met lage zuurstofconcentratie hoe ongeschikter het is voor filtrerende bodemdieren, dus vandaar de dalende lijn. Voor de detritus flux naar de bodem ten slotte is het interval [0;0.5] $gC\ m^{-2}\ d^{-1}$, en ook hiervoor geldt hoe hoger de flux van detritus binnen dit interval, hoe hoger de geschiktheid voor bodemetende bodemdieren.



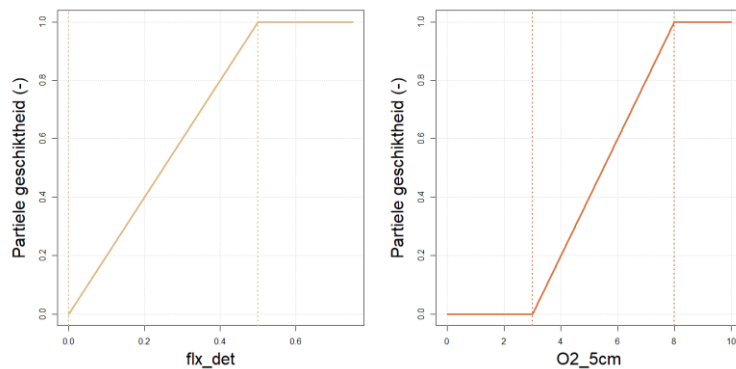
Figuur 24: Cumulatieve verdeling van waarden van de verschillende variabelen (jaargemiddelde fytoplankton concentratie bij de bodem ($\mu\text{g Chl-a l}^{-1}$), jaargemiddelde stroomsnelheid (m s^{-1}), zomergemiddelde zuurstofconcentratie bij de bodem ($\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$) en het maximum aantal aaneengesloten dagen (d) dat de zuurstofconcentratie bij de bodem minder is dan $3 \text{ mg O}_2 \text{l}^{-1}$) die zijn gebruikt voor het berekenen van de geschiktheidsindex voor filterende bodemdieren. De verticale stippellijnen geven de onder en bovengrens aan die zijn gebruikt voor de kennisregels.



Figuur 25: Cumulatieve verdeling van waarden van de verschillende variabelen (jaargemiddelde flux detritus naar de bodem ($\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en zomergemiddelde zuurstofconcentratie 5 cm boven de bodem ($\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$)) die zijn gebruikt voor het berekenen van de geschiktheidsindex voor bodemetende bodemdieren. De verticale stippellijnen geven de onder en bovengrens aan die zijn gebruikt voor de kennisregels.



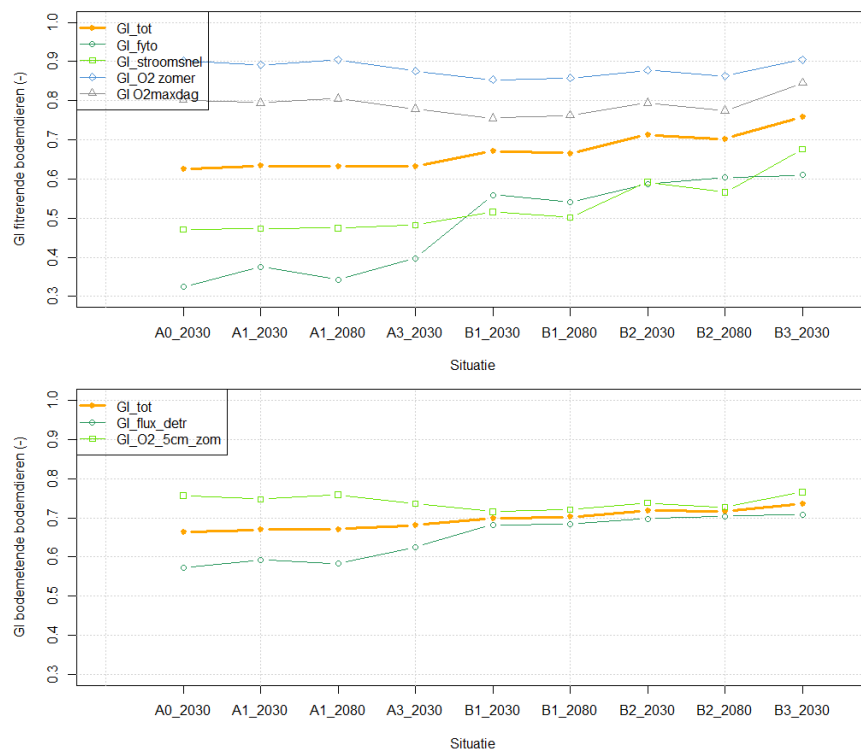
Figuur 26: Kennisregels partiële geschiktheden voor filtrerende bodemdieren (-) als functie van de verschillende variabelen (jaargemiddelde fytoplankton concentratie ($\mu\text{g Chl-a l}^{-1}$), jaargemiddelde stroomsnelheid (m s^{-1}), zomergemiddelde zuurstofconcentratie bij de bodem ($\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$) en het maximum aantal aaneengesloten dagen (d) dat de zuurstofconcentratie bij de bodem minder is dan 3 mg l^{-1}).



Figuur 27: Kennisregels partiële geschiktheden voor bodemetende bodemdieren (-) als functie van de verschillende variabelen (jaargemiddelde flux detritus naar de bodem ($\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en zomergemiddelde zuurstofconcentratie 5 cm boven de bodem ($\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$)).

6.6 Resultaten geschiktheden

Over het algemeen is er weinig verschil in de geschiktheidsindices voor filtrerende en bodemetende bodemdieren voor de verschillende situaties (Figuur 28). De geschiktheidsindex voor filtrerende bodemdieren (GI_{FF}) varieert van 0.625 voor de variant A0 in 2030 tot 0.759 voor de variant B3 in 2030. Er is duidelijk te zien dat de geschiktheidsindex toeneemt met de toenemende wateruitwisseling. De geschiktheidsindex voor bodemetende bodemdieren (GI_{DF}) varieert van 0.664 bij de variant A0 2030 tot 0.738 bij de variant B3 in 2030 (Tabel 9). Als we kijken naar de partiële geschiktheden (Figuur 28) dan zien we grotere verschillen waarbij voor de filtrerende bodemdieren de partiële geschiktheden van fytoplankton concentratie en in mindere mate de stroomsnelheid hoger zijn voor de B-varianten ten opzichte van de A-varianten. Het doorlaatmiddel leidt duidelijk tot een betere voedselbeschikbaarheid voor filtrerende bodemdieren. De geschiktheid voor filtrerende bodemdieren neemt daarentegen wel iets af doordat de zuurstofcondities afnemen in de B-varianten ten opzichte van de A-varianten. In de variant met de meeste uitwisseling (variant B3 2030) lijkt het erop dat de zuurstofcondities voor filtrerende bodemdieren weer toenemen en zelfs iets beter zijn dan in de A-varianten. Hetzelfde is te zien bij de bodemetende bodemdieren waar de hogere voedselaanvoer bij de B-varianten (en in mindere mate de A3 2030 variant) een positief effect heeft, maar de verminderde zuurstofcondities nabij de bodem er toe leiden dat de geschiktheid slechts beperkt toeneemt. Ook hier lijken de zuurstofcondities in de B-variant met de meeste doorstroming (B3 2030) zich te herstellen naar het niveau van de A-varianten. Het lijkt erop dat de beperkte verbeterde uitwisseling weliswaar leidt tot meer voedsel voor zowel filtrerende als bodemetende bodemdieren, maar dat tegelijkertijd de zuurstofcondities afnemen waardoor de geschiktheid weer iets afneemt. Bij de variant met de meeste uitwisseling (variant B3 2030) is verversing zo ver toegenomen dat de zuurstofcondities weer op het niveau van de A-varianten zit.



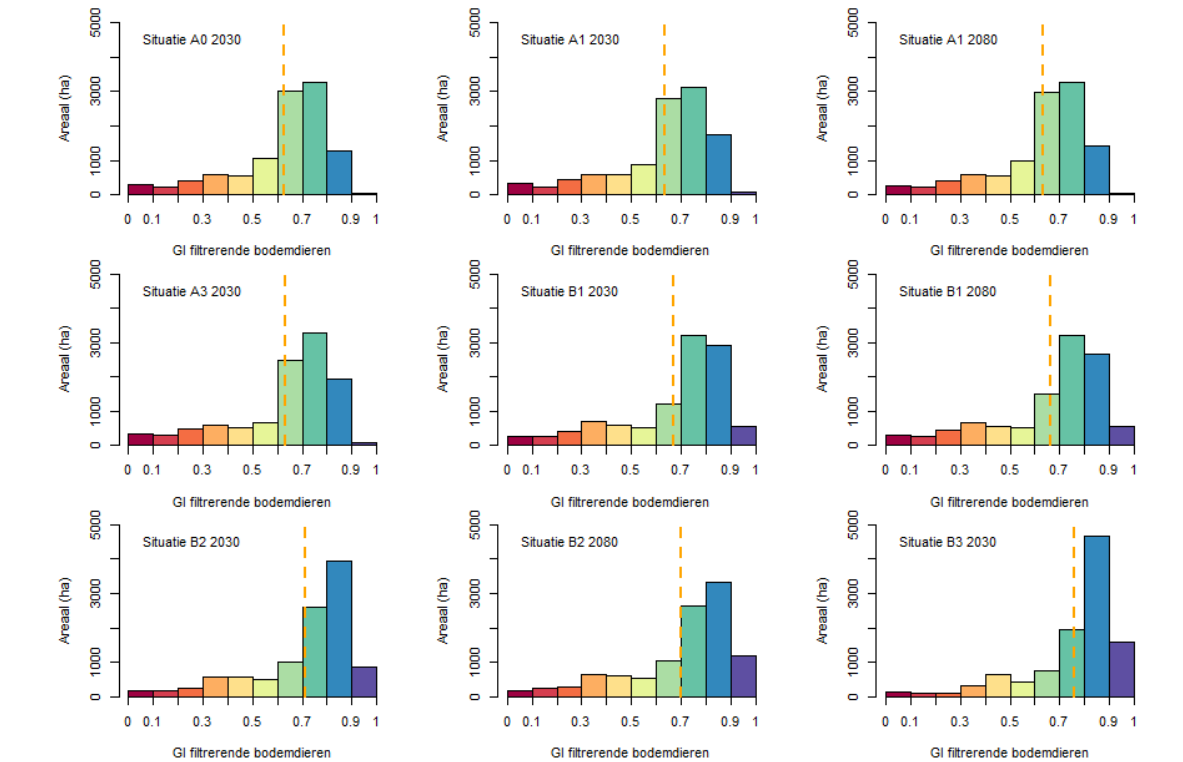
Figuur 28: Gemiddelde totale geschiktheidsindices (dikke oranje lijn) en partiële geschiktheden (overige lijnen) voor filtrerende bodemdieren (boven) en bodemetende bodemdieren (onder) voor het hele Grevelingenmeer dieper dan NAP -0.5 m voor de verschillende situaties.

Tabel 9 en Figuur 29 laten zien dat er maar weinig verschil in de overall geschiktheidsindex (GI_{FF}) voor filtrerende bodemdieren en de verdeling van deze geschiktheidsindex over de verschillende klassen. De B-varianten laten een toename zien van de geschiktheidsindices binnen de klassen tussen de 0.8 en 1. De overall gewogen gemiddelde geschiktheidsindex voor filtrerende bodemdieren is dan ook iets hoger bij de B-varianten (met extra doorlaatmiddel) in vergelijking met de A-varianten (Tabel 9).

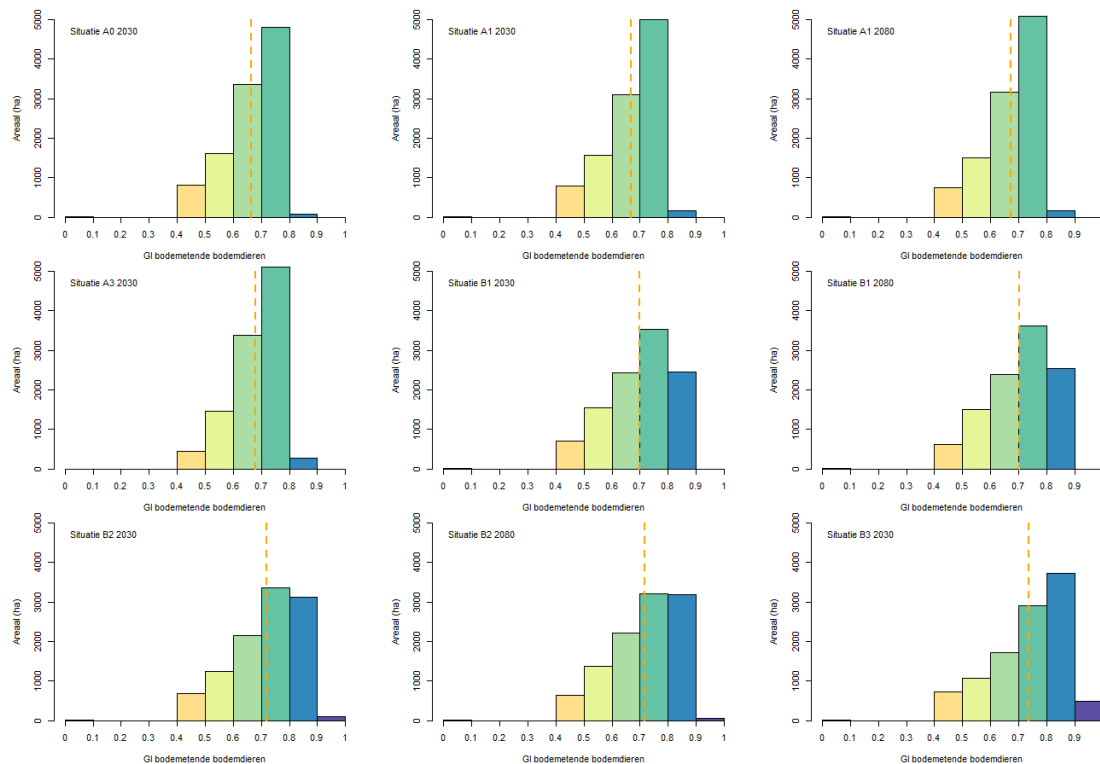
Tabel 9

Gewogen gemiddelde geschiktheidsindex van het gehele Grevelingenmeer (< NAP -0.5 m) voor filtrerende en bodemetende bodemdieren voor de verschillende varianten in 2030 en 2080

Variant	A0	A1		A3	B1		B2		B3
Jaar	2030	2030	2080	2030	2030	2080	2030	2080	2030
Geschiktheid filtrerende bodemdieren (GI_{FF})	0.625	0.634	0.632	0.633	0.671	0.666	0.713	0.702	0.759
Geschiktheid bodemetende bodemdieren (GI_{DF})	0.664	0.670	0.671	0.681	0.699	0.702	0.718	0.716	0.736

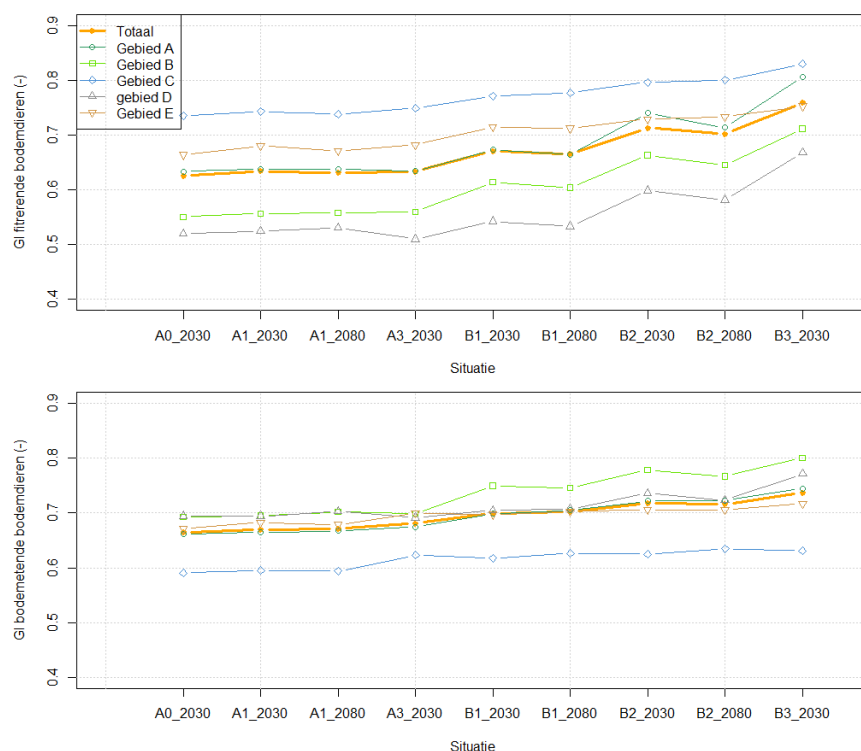


Figuur 29: Verdeling van de totale arealen (ha) van de geschiktheidsindices voor filtrerende bodemdieren opgedeeld in klassen met een grootte van 0.1 eenheden. Kleuren van de klassen komen overeen met de kleuren in Figuur 33. Gebroken oranje lijn geeft de overall gewogen gemiddelde waarde weer (Tabel 9).



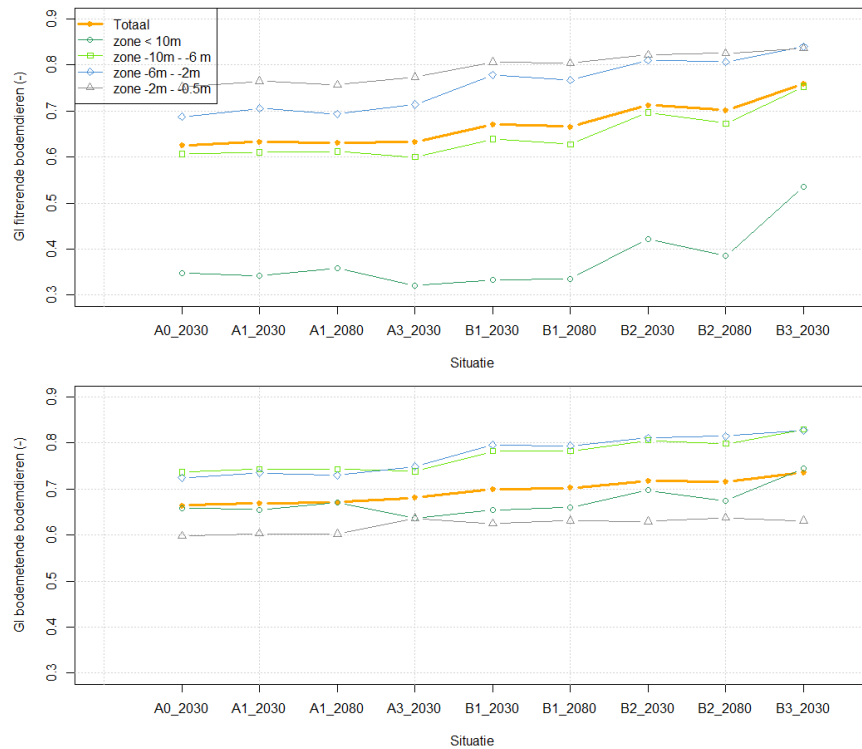
Figuur 30: Verdeling van de totale arealen (ha) van de geschiktheidsindices voor bodemetende bodemdieren opgedeeld in klassen met een grootte van 0.1 eenheden. Kleuren van de klassen komen overeen met de kleuren in Figuur 34. Gebroken oranje lijn geeft de overall gewogen gemiddelde waarde weer (Tabel 9).

Er zit een duidelijk verschil in geschiktheid tussen de verschillende deelgebieden, in het bijzonder voor de filtrerende bodemdieren (Figuur 31). De meest geschikte gebieden voor filtrerende bodemdieren zijn deelgebied C (langs de Slikken van Flakkee) en deelgebied E (oostelijk deel) voor alle varianten. De deelgebieden B (zuidelijk deel Brouwersdam) en D (tussen Veermansplaat en Schouwen Duiveland) zijn het minst geschikt voor filtrerende bodemdieren, maar vooral in deelgebied B is een verbetering te zien bij de variant B1. Voor bodemetende bodemdieren is deelgebied C (in de buurt van de Slikken van Flakkee) relatief juist minder geschikt en deelgebied B geschikter. Dit komt voornamelijk door de relatief lage flux van detritus in deelgebied C bij de Slikken van Flakkee. De varianten B2 en B3 in 2030 leiden vooral tot een verbetering voor filtrerende bodemdieren in deelgebieden A, B en D en in mindere mate in deelgebied E bij de Grevelingendam.



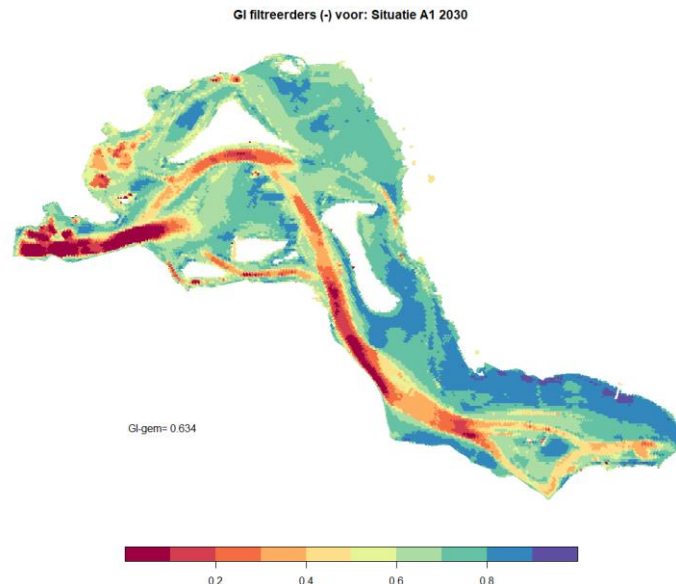
Figuur 31: Gemiddelde totale geschiktheidsindices voor het hele Grevelingenmeer (dikke oranje lijn) de verschillende deelgebieden voor filtrerende bodemdieren (boven) en bodemetende bodemdieren (onder) voor de verschillende situaties.

Er is ook een duidelijk verschil in geschiktheid met de diepte (Figuur 32). Voor filtrerende bodemdieren zijn vooral de ondiepe zones (ondieper dan NAP -6 m) het meest geschikt. De diepe zone (< NAP -10 m) is het minst geschikt en, vooral in de situaties A3 2030, B1 2030 en B1 2080 nog minder geschikt door de toegenomen productiviteit. Deze zone wordt wel geschikter voor bodemetende bodemdieren in de situaties met de meeste wateruitwisseling (B2 2030 en B3 2030). In de diepere delen is minder voedsel beschikbaar voor filtrerende bodemdieren en zijn ook de zuurstofcondities minder geschikt. Voor bodemetende bodemdieren is de ondiepe zone (NAP -2 m tot NAP -0.5 m) juist niet geschikt omdat er in deze zone de flux van detritus uit de waterkolom naar de bodem juist laag is (lage primaire productie) waardoor er minder voedsel beschikbaar is.



Figuur 32: 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 NAP -0.5 m voor de verschillende situaties.

In Figuur 33 is te zien dat voor de variant A1 in 2030 voornamelijk de ondiepe delen in het oostelijk deel van het Grevelingenmeer geschikt zijn voor filtrerende bodemdieren. Dit is mogelijk een effect van de Flakkeese spuisluis en heeft te maken met de relatief hoge concentraties fytoplankton en de relatief hoge zuurstofconcentraties. De diepere geulen zijn minder geschikt voor filtrerende bodemdieren. Dit heeft te maken met de lage zuurstofconcentraties en de lange perioden met lage zuurstofconcentraties ($<3 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$). Ook zijn de geulen minder geschikt vanwege de lage concentraties fytoplankton en de lage stroomsnelheden. De ruimtelijke verdeling van de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren voor de overige situaties zijn te vinden in Bijlage 5.



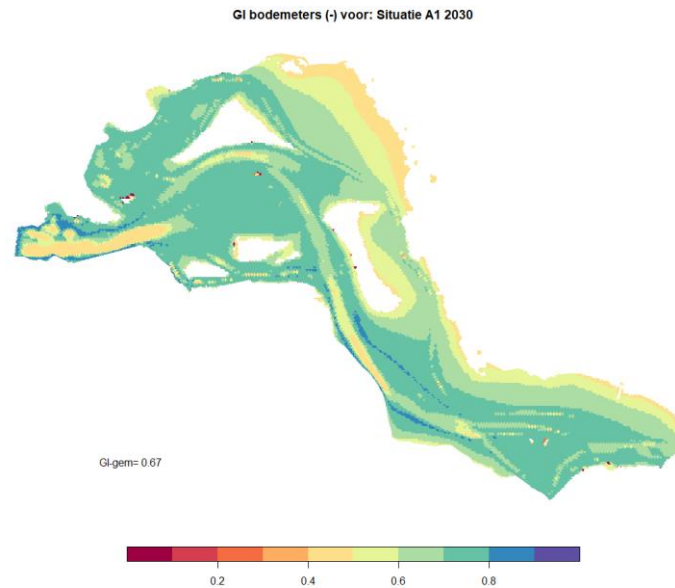
Figuur 33: Ruimtelijke verdeling habitat geschiktheid filtrerende bodemdieren ($GI_{FF,i}$) voor de variant A1 in 2030. De (gewogen) gemiddelde geschiktheid van het hele Grevelingenmeer (GI_{DF}) voor filtrerende bodemdieren is 0.63.

In Bijlage 6 (Figuur 71 en Figuur 72) zijn de ruimtelijke verschillen van de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren ten opzichte van de "huidige" situatie (A1 in 2030) weergegeven. De positieve waarden geven een toename en de negatieve waarden geven een afname in geschiktheid ten opzichte van de variant A1 in 2030. De verschillen tussen de A-varianten zijn beperkt. Bij de variant B1 in 2030 neemt de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren toe nabij het doorlaatmiddel in het westelijk deel van het Grevelingenmeer. Ook in de ondiepe delen is er sprake van een (beperkte) verbetering. In de in de geul van het Springersdiep, ten noorden van de Hompelvoet, is er sprake van een vermindering van de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren als gevolg van de verminderde zuurstofcondities. In de diepere delen van het oostelijk deel van het Grevelingenmeer is er in de variant B1 in 2030 sprake van een beperkt verminderde geschiktheid voor filtrerende bodemdieren ten opzichte van de variant A1 in 2030. Bij de variant B2 in 2030 en 2080 neemt de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren in een groter gebied rond de Brouwersdam toe ten opzichte van de variant A1 in 2030. De geschiktheid voor filtrerende bodemdieren geul van het Springersdiep neemt iets toe ten opzichte van de variant B1 in 2030. Bij de variant B3 in 2030 neemt de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren ook toe ten opzichte van de variant A1 in 2030 in de geulen en is er vrijwel in het hele Grevelingenmeer sprake van een toename van de geschiktheid voor filtrerende bodemdieren ten opzichte van de variant A1 in 2030.

In Figuur 75 (Bijlage 7) zijn de verschillen in geschiktheid voor filtrerende bodemdieren van de situaties B1 2080 en B2 2080 ten opzichte van de variant A1 in 2080 weergegeven. In deze figuren is te zien dat ook in 2080 de variant B1 over het algemeen leidt tot een verslechtering in de diepere delen van het Grevelingenmeer ten opzichte van de variant A1. Alleen op een aantal locaties in het westelijk deel, nabij de Brouwersdam, en in het oostelijk deel nabij de Flakkeese spuisluis is er sprake van een lichte verbetering. In de variant B2, waarbij er een grotere uitwisseling is met de Noordzee, is er over het algemeen sprake van een verbetering in geschiktheid voor bodemetende bodemdieren ten opzichte van de variant A1 in 2080. Alleen in de geul van het Springersdiep en, in mindere mate, de geulen in het oostelijk deel van het Grevelingenmeer is er sprake van een verslechtering van de geschiktheidsindex voor bodemetende bodemdieren.

Voor bodemetende bodemdieren is het verschil in geschiktheid tussen de ondiepe delen en de diepere delen minder groot (Figuur 34). Dit komt omdat de voedselsituatie voor bodemetende bodemdieren in de diepere geulen juist beter is vanwege de grotere flux van detritus die groter is in de diepere delen vanwege de hogere primaire productie (Figuur 23). De ondiepe delen langs de eilanden en de Slikken van Flakkee hebben een relatief lage geschiktheid voor bodemetende bodemdieren vanwege de lagere

flux van detritus naar de bodem. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt doordat dit gebied relatief ver van de geul af ligt en er daardoor minder aanvoer van nutriënten is. Ook voor de bodemetende bodemdieren is er sprake van een beperkt betere geschiktheid bij de B-varianten (Tabel 9) wat ook te zien is in een toename van het areaal met een geschiktheidsindex van meer dan 0.8 (Figuur 30).



Figuur 34: Ruimtelijke verdeling habitat geschiktheid bodemetende bodemdieren ($GI_{DF,i}$) voor de variant A1 in 2030. De (gewogen) gemiddelde geschiktheid van het hele Grevelingenmeer (GI_{DF}) voor bodemetende bodemdieren is 0.67.

In Bijlage 6, Figuur 73 en Figuur 74 zijn de ruimtelijke verschillen de geschiktheid voor bodemetende bodemdieren ten opzichte van de "huidige" situatie (A1 in 2030) weergegeven. De positieve waarden geven een toename en de negatieve waarden geven een afname in geschiktheid ten opzichte van de variant A1 in 2030. Ook hier zijn de verschillen tussen de A-varianten beperkt. De variant B1 in 2030 laat een beperkte toename van de geschiktheid zien in de ondiepe delen van het meer en op enige afstand van het doorlaatmiddel. Meer in de buurt van het doorlaatmiddel is er (lokaal) juist sprake van een vermindering van de geschiktheid voor bodemetende bodemdieren. In de diepere geul bij het Dijkwater neemt de geschiktheid af als gevolg van de verminderde zuurstofconcentraties nabij de bodem. De varianten B2 en vooral B3 laten een toename zien van de geschiktheid voor bodemetende bodemdieren in vooral het westelijk deel van het meer. In de variant B3 zijn ook de diepere delen in de geul bij Dijkwater ongeveer even geschikt voor bodemetende bodemdieren als in de variant A1 in 2030.

In Figuur 76 (Bijlage 7) zijn de verschillen in geschiktheid voor bodemetende bodemdieren van de situaties B1 2080 en B2 2080 ten opzichte van de variant A1 in 2080 weergegeven. In de variant B1 is er voornamelijk sprake van een vermindering in geschiktheid voor bodemetende bodemdieren in de diepe geulen in het midden en oostelijk deel van het Grevelingenmeer. Bij een grotere doorlaat (B2) is er sprake van een verbetering in geschiktheid in het westelijk deel van het Grevelingenmeer. De diepere delen in het oostelijk deel van het Grevelingenmeer blijven een afname vertonen in geschiktheid voor bodemetende bodemdieren ten opzichte van de variant A1 in 2080.

7 Effecten op broedvogels en niet-broedvogels

7.1 Achtergrond

De aanpassingen van het waterbeheer en de verbeterde uitwisseling van water tussen het Grevelingenmeer en de Noordzee kunnen effecten hebben op de instandhoudingsdoelen voor broedvogels en niet-broedvogels in het Grevelingenmeer. De veranderde peilfluctuaties kunnen effect hebben op het beschikbare areaal en de kwaliteit van het broedgebied en het foerageergebied voor steltlopers en daarmee ook op de draagkracht van het gebied. De verbeterde uitwisseling met de Noordzee en de Oosterschelde kan ook effect hebben op de voedselbeschikbaarheid (vissen, bodemdieren, plankton) in het Grevelingenmeer. Op basis van expert inschatting zijn de effecten van de verschillende varianten op de broedvogels en niet-broedvogels gekwantificeerd.

7.2 Autonome ontwikkelingen

Ook zonder ingreep zullen er ontwikkelingen zijn van de vogelpopulaties in het Grevelingenmeer als gevolg van externe en interne processen (autonome ontwikkelingen). In deze paragraaf worden de autonome ontwikkelingen beschreven tot het jaar 2080. Deze autonome ontwikkelingen zoals beschreven in deze paragraaf zijn grotendeels gebaseerd op Hoekstein (2022).

Bij de inschatting van autonome ontwikkelingen moet naast veranderingen in waterkwaliteit en klimaat ook rekening worden gehouden met te verwachten ontwikkelingen in recreatief medegebruik, visserij, beheer van landgebieden in het Grevelingenmeer, planologische ontwikkelingen en landelijke en internationale trends van vogelpopulaties. Voorspellingen over een periode van bijna 60 jaar zijn complex omdat ook rekening moet worden gehouden met mogelijke vestiging van nieuwe – en het verdwijnen van bestaande plant- en diersoorten. Klimaatverandering zal daarin een grote, en deels nog onbekende, rol gaan spelen. De ecologische samenhang van al deze soorten zal, naast verandering in abiotische factoren, de trends gaan bepalen van de hier besproken soorten.

Uitgangspunt voor autonome ontwikkeling is een zout Grevelingenmeer, voortzetting van het huidige peilbeheer met de Brouwerssluis en Flakkeese spuisluis en rekening houdend met klimaatverandering. Hierbij wordt uitgegaan van het WH Klimaatscenario (zie website van het KNMI) met 2 graden Celsius opwarming en 38 cm zeespiegelstijging op de Noordzee (Boeters, 2022b). De verwachting is dat milde winters en hete zomers vaker zullen optreden, dat het groeiseizoen van de vegetatie eerder in het jaar begint en dat neerslagpatronen gaan veranderen. Verder behoren bij de autonome ontwikkeling alle natuurlijke en kunstmatige ontwikkelingen en activiteiten die redelijkerwijs verwacht kunnen worden.

De verwachte klimaatontwikkelingen zullen de aantallen vogels op diverse manieren beïnvloeden. Populaties van diverse soorten die in het Arctisch gebied broeden, zoals ganzen en steltlopers, zullen de komende jaren in omvang veranderen. Met name voor hoog Arctische soorten zoals zilverplevier zal de verwachte opwarming negatief uitpakken door het inkrimpen van het broedhabitat (Rehfish en Crick, 2003). Ook de voedselsituatie voor diverse soorten kan door klimaatverandering worden beïnvloed. Zo hebben de warme zomers van 2019 en 2020 tot grote sterfte onder kokkels in de Oosterschelde geleid en daardoor voor een verslechterende voedselsituatie voor onder andere scholeksters (Van den Bogaart et al., 2021).

In de huidige situatie is de bodemdiergemeenschap in het Grevelingenmeer verarmd ten opzichte van de jaren '90 (Mulder et al., 2019). De bodemdiergemeenschap in het Grevelingenmeer is niet stabiel en verandert nog steeds sinds de afsluiting. De bodemdiergemeenschap in het Grevelingenmeer worden sterk beïnvloed door de aanwezigheid van exoten zoals het muiltje, de Japanse oester en de

Filipijnse tapijtscHELP. De laatste twee lijken de laatste jaren toe te nemen in het Grevelingenmeer (Van der Pool et al., 2020). De Japanse oester is een rifvormende soort en vormt mogelijk een nieuw habitat voor andere soorten. Zowel de Japanse oester als de Filipijnse tapijtscHELPen zijn filterfeeders die algen uit het water filteren en daarmee concurreren met inheemse soorten die ook afhankelijk zijn van deze algen. De ontwikkeling van deze exoten heeft mogelijk invloed op het ecologisch functioneren van het Grevelingenmeer. Ook nieuwe exoten kunnen zich in de toekomst vestigen en uitbreiden, wat het voorspellen van toekomstige ontwikkelingen lastig maakt.

Een andere belangrijke factor in het voorspellen van aantallen vogels is het beheer van de terrestrische gebieden. Staatsbosbeheer is de belangrijkste beheerder van de drooggevalle gronden (voormalig slikken en platen) in het Grevelingenmeer. Grote delen hiervan zijn natuurgebied, daarnaast zijn een aantal eilanden en oevers in gebruik als recreatieterrein. Door middel van maaien en begrazing wordt over grote oppervlaktes het terrein open gehouden. Dit resulteert in een geschikt biotoop voor onder andere bepaalde plantensoorten, noordse woelmuizen en broedende weidevogels en kustbroedvogels. Ook zijn dergelijke open gebieden van groot belang als foerageer- en rustgebied voor diverse soorten watervogels. In de voorspelling van de autonome ontwikkeling van Natura 2000 soorten wordt er vanuit gegaan dat dit beheer op een zelfde manier wordt voortgezet. Naast regulier beheer zijn er af en toe grotere en kleinere projecten om bepaalde terreinen geschikt(er) te maken, bijvoorbeeld als habitat voor planten of broedgebied voor vogels. Er wordt hier vanuit gegaan dat dergelijke eenmalige ingrepen in vergelijkbare frequentie zullen plaatsvinden als in de voorbije jaren.

7.2.1 Broedvogels

Bij de broedvogels gaat het naast de bruine kiekendief vooral om zogenaamde "kustbroedvogels". Deze kustbroedvogels zijn allemaal broedvogels van schaars begroeide oevers en pioniervegetaties. Sinds de afsluiting van het Grevelingenmeer is een proces van vegetatiesuccessie op gang gekomen. Deze is snel gegaan op de hoogste delen van de voormalige schorren en slikken die snel verzoet zijn. Op de lagere delen gaat dit veel langzamer en is verzoeting nog steeds gaande. In grazige vegetaties komen her en der struikjes op (duindoorn, wilg en kruipwilg), zodat op lange termijn hier dicht struikgewas en uiteindelijk bos ontstaat. Zonder ingrepen zal de grens van deze opgaande vegetatie steeds dichtër naar het water kruipen. Voor kustbroedvogels is dit nadelig omdat bos en struikgewas een verblijfplaats en uitvalsbasis vormt voor predatoren. Deze ontwikkeling wordt door de beheerder reeds op veel plaatsen tegengegaan door maaien en begrazing en soms door het klepelen van struikgewas. Daarnaast zijn afgelopen jaren door de beheerder (Staatsbosbeheer), met wisselend succes, eilandjes aangelegd om kwetsbare kustbroedvogels een plek te geven. Een ongewenste ontwikkeling daarbij is de vestiging van zilver- en kleine mantelmeeuwen op een deel van deze eilandjes, waardoor ze minder geschikt zijn voor de meer kwetsbare Natura 2000 soorten van de kustbroedvogels. Ook de vos maakt een opmars door in het Deltagebied en het is te verwachten dat deze zich op termijn definitief gaat vestigen langs het Grevelingenmeer. Hetzelfde geldt op langere termijn voor de in Nederland oprukkende boommarter (Hoekstein, 2022).

Bij autonome ontwikkeling is over het algemeen voor het Grevelingenmeer een afname van kustbroedvogels te verwachten. De mate waarin hangt sterk af van de inspanningen van de beheerder. Elders in het Deltagebied zijn bijvoorbeeld geëlektrificeerde rasters geplaatst om vossen uit de terreinen te houden, een maatregel die ook toegepast zou kunnen worden wanneer de vos zich rond het Grevelingenmeer vestigt. Ook is er discussie over het 'overnemen' van kustbroedvogeleilandjes – die vaak speciaal aangelegd zijn voor sterns en plevieren – door grote meeuwen zoals kleine mantelmeeuw en zilvermeeuw. Terreinbeheerders elders maken plannen om de grote meeuwen als broedvogel te weren van dergelijke locaties, waarbij voor deze soorten tegelijkertijd in andere terreinen geschikt broedhabitat aangeboden wordt.

Tabel 10

Huidige aantallen (gemiddelde van de jaren 2017-2021), verwachte autonome ontwikkeling in het jaar 2080 en de Natura 2000 instandhoudingsdoelstelling (ISHD) in het Deltagebied en het beoogd doelaantal in het Grevelingenmeer van de broedvogels

Cluster	Soort	Huidige aantal (gemiddelde 2017 – 2021)	Autonome ontwikkeling 2080	ISHD Deltagebied *	Beoogd doelaantal *
Viseters	Dwergstern (A195)	222	50-300	300	190
	Grote stern (A191)	0	0-1000	6000	989
	Visdief (A193)	751	200-1500	6500	2700
Benthoseters	Kluut (A132)	230	50-250	2000	410
	Bontbekplevier (A137)	13	5-20	105	28
	Strandplevier (A138)	54	0-150	220	110
Moerasbroedvogels	Bruine kiekendief (A081)	16**	2-10	n.v.t.	20

*(Ministerie van Infrastructuur en Milieu | Rijkswaterstaat, 2016)

**Alleen 2017

Voor een verdere toelichting per soort wordt verwezen naar (Hoekstein, 2022).

7.2.2 Niet-broedvogels

De groep van watervogels is divers, evenals hun ecologie. De huidige ontwikkelingen verschillen daarom sterk per soort en soortgroep. Ook verandering van peilbeheer zal voor elke soort weer andere gevolgen hebben. Enkele soorten watervogels komen vooral in het Grevelingenmeer voor omdat ze er ook broeden, te weten kluut en strandplevier (Hoekstein, 2022).

De viseters, de groep waarvoor het Grevelingenmeer van groot belang is, zijn volledig afhankelijk van een goede visstand. Hun aantal zal variëren al naargelang de stand van de verschillende vissoorten. In de afgelopen decennia zijn er in het Grevelingenmeer zeer sterke toe- en afnames geweest van belangrijke soorten als fuut, kleine zilverreiger, dodaars en geoorde fuut. De mechanismen hierachter worden niet geheel begrepen omdat informatie over hun voedselbronnen (kleine vis en kreeftachtigen) grotendeels ontbreekt (Hoekstein, 2022).

De meeste soorten planteneters zijn minder afhankelijk van het onderwaterleven omdat ze (deels) al grazend op het land hun voedsel bemachtigen. De trends van deze groep in het Grevelingenmeer wijken in de meeste gevallen niet af van regionale of internationale trends. Een uitzondering hierop is de meerkoet, die foerageert op de wieren in het Grevelingenmeer (Hoekstein, 2022).

Tabel 11

Huidige aantallen (jaargemiddeldes van de seizoenen 2016/2017-2020/2021), verwachte autonome ontwikkeling in het jaar 2080 en de Natura 2000 instandhoudingsdoelstelling (ISHD) in het Grevelingenmeer van de niet-broedvogels

Cluster	Soort	Huidige aantal (gemiddelde 2017 - 2021)	Autonome ontwikkeling 2080	ISHD Grevelingen- meer
Benthoseters	Bergeend (A048)	2679	2000-5000	700
	Bontbekplevier (A137)	97	30-250	50
	Bonte strandloper (A149)	826	400-1500	650
	Brilduiker (A067)	131	10-100	620
	Goudplevier (A140)	1422	800-1500	2600
	Kluut (A132)	78	15-70	80
	Rosse grutto (A157)	25	10-50	30
	Scholekster (A130)	287	80-250	560
	Steenloper (A169)	30	10-50	30
	Strandplevier (A138)	17	0-40	20
	Tureluur (A162)	139	75-200	170
	Wulp (A160)	801	300-1200	440
	Zilverplevier (A141)	204	100-400	130
Viseters	Aalscholver (A017)	602	400-2000	310
	Dodaars (A004)	51	10-60	70
	Fuut (A005)	195	50-600	1600
	Geoorde fuut (A008)	168	30-300	1500
	Kleine zilverreiger (A026)	9	10-25	50
	Kuifduiker (A007)	1	0-5	20
	Lepelaar (A034)	32	50-100	70
	Middelste zaagbek (A069)	1155	700-3500	1900
Planteneters	Brandgans (A045)	3209	3000-6000	1900
	Grauwe gans (A043)	2384	1000-4000	630
	Kleine zwaan (A037)	20	0-10	4
	Kolgans (A041)	166	40-150	140
	Krakeend (A051)	216	100-400	320
	Meerkoet (A125)	989	500-1500	2000
	Pijlstaart (A054)	236	200-500	60
	Rotgans (A046)	2495	1000-3000	1700
	Slobeend (A056)	143	100-300	50
	Smient (A050)	2871	700-1200	4500
Roofvogels	Wilde eend (A053)	2216	800-2000	2900
	Wintertaling (A052)	636	600-1200	510
	Slechtvalk (A103)	11	5-15	10 (max)

Voor een verdere toelichting per soort wordt verwezen naar (Hoekstein, 2022).

7.3 Effecten varianten

De variant A1 in 2030 kan worden beschouwd als de “huidige situatie” vertaald naar het jaar 2030 en de variant A1 in 2080 als de verwachte “autonome ontwikkeling” voor het jaar 2080. In onderstaande tabellen zijn de aantallen broedvogels, niet-broedvogels en zeehonden in deze situaties als uitgangspunt genomen.

Voor vogels is het verschil tussen de varianten A1 (huidig peilbeheer) en A0 (idem zonder Flakkeese spuisluis) gering, daar bovenop komt de onzekerheid omtrent de effecten van het in gebruik nemen van de Flakkeese spuisluis omdat de situatie nog maar kort bestaat. De in Tabel 10 en Tabel 11 beschreven ‘huidige aantallen’ betreffen de jaargemiddeldes van de seizoenen 2016/2017-2020/2021. Het peilbeheer in deze jaren bestond uit een afwisseling van peilbeheer A0 en A1 (zie paragraaf 2.1). De voorspelde aantallen in 2030 bij variant A0 wijken daarom niet af van die van variant A1.

Vanwege de grote mobiliteit van vogels vormen de lokale omstandigheden in het Grevelingenmeer slechts een deel van de sturende factoren. Bij sommige vogelsoorten is sprake van een regionale of internationale trend. In die gevallen kan een positief of negatief effect van invoering van gedempt getij die trend versterken, afzwakken of zelfs omkeren. Zo kennen momenteel de aantallen van de scholekster, smient, dodaars, kuifduiker en brilduiker een afname, daarentegen nemen lepelaar en krakeend regionaal en internationaal in aantallen toe. Deze trends hebben nog weinig effect op de voorspellingen in 2030 maar maken de onzekerheid voor de periode tot 2080 groter.

7.3.1 Broedvogels

Bij de broedvogels gaat het naast de moerasvogel bruine kiekendief om zes soorten kustbroedvogels, onderverdeeld in broedvogels viseters (drie soorten sterns) en broedvogels benthoseters (de steltlopers kluut, bontbekplevier en strandplevier) (Tabel 12).

De variant A3 zal negatief uitpakken voor alle kustbroedvogels; deze soorten broeden van nature op schaars begroeide plaatsen vlak aan het water en deze hebben grote kans om weg te spoelen bij hoge waterstanden. Alleen kluut en visdief zijn iets toleranter wat betreft hun broedhabitat en zullen waarschijnlijk nog in kleine aantallen in het gebied blijven broeden op de hoger gelegen gebieden.

7.3.1.1 Viseters

De verwachte aantallen in 2030 bij de varianten B1, B2 en B3 zullen voor de visetende broedvogels nauwelijks verschillen van de aantallen bij de variant A1 omdat er ook in de B-varianten sprake is van een verlaging van het maximum peil tijdens het broedseizoen. Op langere termijn kunnen ontwikkelingen in de visstand positief uitpakken voor de sterns, als een verhoogde primaire productie en voldoende zuurstof in de waterkolom leiden tot toename van visbiomassa. Onzekerheid omtrent de samenstelling van de visstand maken voorspellingen lastig.

Al een aantal jaren broeden er geen grote sterns meer in de Grevelingen, maar een terugkeer is wel degelijk mogelijk. De recente uitbraak van vogelgriep heeft echter tientallen procenten van de Nederlandse populatie in één keer weggevaagd. Of de soort zich regionaal en internationaal kan herstellen of nog verder achteruit zal gaan is op dit moment nog onzeker.

7.3.1.2 Benthoseters

Voor de benthosetende broedvogels wordt een positief effect verwacht van instellen van een beperkt getij (varianten B1, B2 en B3) waardoor er nieuw potentieel foerageergebied beschikbaar komt. Het voortbestaan van de strandplevier is echter ongewis. De soort was in Nederland op weg naar uitsterven begin deze eeuw, maar vertoont, dankzij beschermingsmaatregelen, de laatste paar jaar tekenen van stabilisatie op een laag peil. De populatie is door de geringe omvang nog wel erg kwetsbaar.

7.3.1.3 Moerasbroedvogels

De bruine kiekendief, de enige aangewezen moerasbroedvogel, zal niet direct veel merken van een veranderd peilbeheer in de geschetste situaties. De soort broedt in riet en laag struikgewas en kan zelfs in riet dat in het water staat een nest bouwen. Het jachtgebied is vele kilometers groot en de

vogels jagen, behalve boven de grazige vegetaties in de Grevelingen, vaak in de polders er om heen. Eventueel kan een verandering in prooiaanbod (vooral muizen) in overstroomde gebieden bij variant A3 een klein effect hebben. Op lange termijn wordt een kleiner broedbestand verwacht vanwege toename van grondpredatoren als vos en boommarter.

Tabel 12

Prognose ontwikkeling van de aantallen paren broedvogels in de instandhoudingsdoelen bij de verschillende situaties. Met in de derde kolom de "huidige situatie" (variant A1 in 2030), in de vierde kolom een schatting van de "autonome ontwikkeling" (A1 in 2080) en in de andere kolommen de overige varianten voor het jaar 2030 en 2080 (A1, B1 en B2). Groen: mogelijke toename ten opzichte van variant A1 in 2030. Zalm: mogelijke afname ten opzichte van variant A1 in 2030. De niet gekleurde cellen: geen eenduidige afwijking ten opzichte van de variant A1 in 2030

Soort	A0 2030	A1 2030	A1 2080	A3 2030	B1 2030	B1 2080	B2 2030	B2 2080	B3 2030
Viseters									
Dwergstern (A195)	150-300	150-300	50-300	0	150-320	50-300	150-320	50-300	150-320
Grote stern (A191)	0-1000	0-1000	0-1000	0	0-1000	0-1000	0-1000	0-1000	0-1000
Visdief (A193)	600-900	600-900	200-1500	20-100	600-1100	200-1500	600-1100	200-1500	600-1100
Benthoseters									
Kluut (A132)	100-300	100-300	50-250	5-50	150-400	50-400	150-400	50-400	150-400
Bontbekplevier (A137)	10-20	10-20	10-20	0	15-25	10-20	15-25	10-20	15-25
Strandplevier (A138)	20-80	20-80	0-150	0	30-90	0-200	30-90	0-200	30-90
Moerasbroedvogels									
Bruine kiekendief (A081)	5-15	5-15	2-10	5-15	5-15	2-10	5-15	2-10	5-15

7.3.2 Niet-broedvogels

7.3.2.1 Benthoseters

De verwachte veranderingen van aantallen zijn het grootst bij benthoseters, met name de steltlopers en de bergeend (Tabel 13). Deze krijgen door instellen van getij bij de varianten B1, B2 en B3 dagelijks toegang tot droogvallende slikken waar zij bodemdieren kunnen bemachtigen (zie Bijlage 2). Het gaat daarbij niet alleen om de aanwezigheid van bodemdieren, maar vooral om het beschikbaar komen daarvan. Deze bereikbaarheid speelt voor de vogels een belangrijke rol en zal een veel sterker effect genereren dan beperkte veranderingen in de biomassa van bodemdieren.

Bij de variant A3 neemt de productiviteit dan wel toe, maar het is niet waarschijnlijk dat zich op de droogvallende slikken een bodemdiergemeenschap zal ontwikkelen die een interessante voedselbron kan zijn voor steltlopers. De perioden van droogval en inundatie zijn te onregelmatig en duren te lang waardoor het moeilijk zal zijn voor bodemdieren om zich te ontwikkelen. Hierdoor zal de kwaliteit van dit areaal als leefgebied voor bodemdieren en daarmee als foerageergebied voor steltlopers beperkt zijn. In het Veerse Meer is 's winters ook sprake van een langdurige droogval als het peil gedurende vijf maanden 20 cm wordt verlaagd. Jaarlijks levert dat wel een relatief groot areaal aan foerageergebied op. Steltlopers foerageren daar na het verlagen van het peil maandenlang, al nemen de aantallen wel af in de loop van de winter (Arts en Hoekstein, 2015). (Arts & Hoekstein 2015). Omdat benthosetende vogels zeer mobiel en opportunistisch zijn kunnen ze van onverwacht voedselaanbod profiteren. Daarom wordt ook verwacht dat de variant A3 een (onregelmatig) verhoogd voedselaanbod oplevert voor benthosetende vogels.

Door de zeespiegelstijging zal het dagelijks droogvallende oppervlak in de varianten B1, B2 en B3, als er geen adaptatiestappen worden genomen, in 2080 afnemen en derhalve zal tegen die tijd ook de mogelijkheid voor benthoseters om daarop te foerageren afnemen. Sommige benthoseters foerageren met name langs de vloedlijn, daar waar bodemdieren in het zeer ondiepe water korte tijd beschikbaar zijn. Het gaat hierbij om bijvoorbeeld de tureluur en de rosse grutto. Voor deze soorten neemt de voedselbeschikbaarheid relatief weinig toe bij grotere droogvallende oppervlaktes bij varianten B2 en B3 ten opzichte van variant B1. Steltlopers die gedurende de droogvalperiode het hele slik gebruiken om te foerageren, zoals scholekster, bonte strandloper, bontbekplevier en zilverplevier profiteren

meer naarmate er meer slik droogvalt. Deze steltlopers profiteren dus bij variant B2 meer dan bij variant B1 en het meest bij variant B3. Dit geldt in iets mindere mate ook voor de wulp.

De goudplevier foerageert net als de kievit in kort grasland en zal weinig beïnvloed worden door de varianten B1, B2 en B3. In geval van de variant A3 echter zal veel van zijn huidige foerageergebied verdwijnen en deze soort zal daarom als een van de weinige benthoseters afnemen bij deze variant.

De enige benthoseter die in dieper water zijn voedsel zoekt, de brilduiker, neemt sterk af mede doordat overwinteringsgebieden wijzigen ten gevolge van milde winters. Derhalve zal een beperkt positief effect van de voorgestelde varianten op het bodemleven niet leiden tot een toename van deze soort. Voor andere soorten die door externe oorzaken afnemen zoals de scholekster zou de invoering van een beperkt getij wel van belang kunnen zijn voor de aantallen in de Grevelingen. Voor de meeste steltlopers en de bergeend worden dan ook hogere aantallen verwacht bij zowel de varianten A3 als B1, B2 en B3, waarbij in 2080 het positieve effect verminderd kan zijn door afname van de oppervlaktes droogvallend slik.

Voor de strandplevier geldt dat de varianten met een nieuw doorlaatmiddel (B1, B2 en B3) gunstig kunnen uitpakken, maar de broedpopulatie is zo kwetsbaar dat evenzeer met het geheel verdwijnen van de soort rekening moet worden gehouden. Evenals de kluut zijn in de Grevelingen de aantallen strandplevieren geheel afhankelijk van de lokale broedpopulatie. Bij variant A3 zal het broedgebied geheel onder water verdwijnen en daarmee ook alle strandplevieren. Kluten blijven mogelijk nog in kleine aantallen foerageren in het gebied.

7.3.2.2 Viseters

Viseters zijn sterk afhankelijk van de samenstelling en biomassa van de visstand. De meeste viseters eten eveneens zwemmende kreeftachtigen (garnalen) en wormen als die beschikbaar zijn. Precieze inschattingen van de visstand zijn lastig te maken omdat vissen in de autonome ontwikkeling zullen worden blootgesteld aan vele veranderingen die onder andere weer gerelateerd zijn aan klimaatverandering en het daaraan gekoppelde sluisbeheer. Veranderingen in vispopulaties in de Voordelta zijn mede bepalend door uitwisseling van bepaalde soorten met het Grevelingenmeer.

Bij de variant A3 en de varianten met een nieuw doorlaatmiddel (B1, B2 en B3) zal de productiviteit van het systeem toenemen. Bij voldoende uitwisseling (B3 en iets mindere mate B2) zullen ook de zuurstofcondities verbeteren waardoor het aannemelijk is dat de visstand in de waterkolom zal toenemen. Daarom wordt voor de viseters van open water fuut, middelste zaagbek en aalscholver een licht positief effect verwacht van deze varianten. De dodaars, geoorde fuut en kuifduiker vertonen momenteel een negatieve trend die naar verwachting nog doorzet. Of veranderd peilbeheer daar verandering in brengt is de vraag.

Binnen de groep viseters foerageren twee soorten langs de oevers in (zeer) ondiep water: de lepelaar en de kleine zilverreiger. Zij zullen naar verwachting profiteren van droogvallende slikken bij een dagelijks getij doordat kleine vissen en kreeftachtigen achterblijven in poeltjes en geulen. Op lange termijn wordt van deze soorten een verdere toename van (inter)nationale populaties verwacht, maar door de zeespiegelstijging zal de droogval verminderen en daarmee de voedselbeschikbaarheid in de Grevelingen. Daarom wordt netto geen verdere toename van de aantallen voor 2080 voorzien. Variant A3 zal naar verwachting ook een voordeel opleveren voor lepelaar en kleine zilverreiger ten opzichte van de autonome ontwikkeling (A1 in 2080), maar de onzekerheid is groter dan bij de B-varianten met een nieuwe doorlaat.

7.3.2.3 Planteneters

De meeste planteneters (ganzen, kleine zwaan, wilde eend, smient) zullen naar verwachting weinig effect vertonen van de invoering beperkt getij bij de varianten A3, B1, B2 en B3, omdat zij vooral op grasland of akkers buiten de Grevelingen foerageren. Daarom is ook het verschil in verwachte aantallen tussen verschillende varianten voor deze herbivoren minimaal. De verschillen zullen meer bepaald worden door regionale en/of internationale ontwikkelingen.

De rotgans en de meerkoet foerageren naast grazige vegetaties ook op wieren in de getijdegebieden. Hiervan zal door de getijdebewegingen bij de B varianten (B1, B2 en B3) wel een groter aandeel beschikbaar komen. Deze soorten zullen dan ook licht gaan toenemen. Dit geldt in iets mindere mate ook voor de variant A3. De rotgans neemt momenteel echter af in de Grevelingen, vandaar dat de balans op langere termijn onduidelijk is. Ook de pijlstaart foerageert wel in getijdegebieden, deels op plantaardig materiaal en deels op benthos; derhalve wordt ook voor deze soort een licht positief effect verwacht van de varianten B1, B2 en B3 en A3.

7.3.2.4 Roofvogels

Recent ondervindt de tot voor enkele jaren groeiende populatie van de slechtvalk terugval door de vogelgriep; waarschijnlijk tientallen procenten van de populatie zijn door besmetting geveld. Het is mogelijk dat dit proces zich nog voortzet, maar op lange termijn wordt wel weer herstel verwacht. Peilbeheer zal geen directe effecten hebben op de aantallen slechtvalken. De prooibeschikbaarheid (vooral watervogels) en een open landschap zijn meer bepalend voor deze soort.

Tabel 13

Prognose ontwikkeling van de jaargemiddelde aantallen niet-broedvogels in de instandhoudingsdoelen bij de verschillende situaties. Met in de derde kolom de "huidige situatie" (variant A1 in 2030), in de vierde kolom een schatting van de "autonome ontwikkeling" (A1 in 2080) en in de andere kolommen de overige varianten voor het jaar 2030 en 2080 (A1, B1 en B2). Groen: mogelijke toename ten opzichte van variant A1 in 2030. Zalm: mogelijke afname ten opzichte van variant A1 in 2030. De niet gekleurde cellen: geen eenduidige afwijking ten opzichte van de variant A1 in 2030

Soort	A0	A1		A3	B1		B2		B3
	2030	2030	2080	2030	2030	2080	2030	2080	2030
Benthoseters									
Bergeend (A048)	2000-4000	2000-4000	2000-5000	2000-6000	3000-5000	2500-4500	3000-5000	3000-4500	3000-6000
Bontbekplevier (A137)	50-150	50-150	30-250	50-400	80-400	50-300	100-400	50-350	100-400
Bonte strandloper (A149)	600-1500	600-1500	400-1500	800-4000	800-2500	800-2000	1000-3000	1000-2500	1200-3500
Brilduiker (A067)	60-150	60-150	10-100	60-150	60-150	10-100	60-150	10-100	60-150
Goudplevier (A140)	800-1500	800-1500	800-1500	600-1200	800-1500	800-1500	800-1500	800-1500	800-1500
Kluut (A132)	45-70	45-70	15-70	0-10	60-100	40-100	60-100	40-100	60-100
Rosse grutto (A157)	20-50	20-50	10-50	50-300	50-300	50-300	50-300	50-300	50-300
Scholekster (A130)	200-300	200-300	80-250	250-750	300-600	300-600	300-700	300-700	300-800
Steenloper (A169)	20-30	20-30	10-50	40-60	40-60	40-60	50-80	50-80	60-100
Strandplevier (A138)	10-25	10-25	0-40	0	10-25	0-60	10-25	0-60	10-25
Tureluur (A162)	100-150	100-150	75-200	100-200	100-250	75-250	100-250	75-250	100-250
Wulp (A160)	600-900	600-900	300-1200	600-1000	600-1100	300-1000	600-1200	300-1000	700-1200
Zilverplevier (A141)	150-250	150-250	100-400	200-500	200-400	250-500	250-500	250-500	300-600
Viseters									
Aalscholver (A017)	500-1200	500-1200	400-2000	600-1500	600-1500	400-2000	600-1500	400-2000	600-1500
Dodaars (A004)	30-60	30-60	10-60	30-60	30-60	10-80	30-60	10-80	30-60
Fuut (A005)	150-400	150-400	50-600	150-600	150-800	50-600	150-800	50-600	150-800
Geoorde fuut (A008)	40-150	40-150	30-300	30-150	30-150	30-600	30-150	30-600	30-150
Kleine zilverreiger (A026)	5-15	5-15	10-25	10-60	20-60	20-60	30-70	30-70	40-100
Kuifduiker (A007)	0-3	0-3	0-5	0-15	0-3	0-15	0-3	0-15	0-3
Lepelaar (A034)	25-100	25-100	50-100	40-250	100-300	100-300	100-400	100-400	120-300
Middelste zaagbek (A069)	1000-2000	1000-2000	700-3500	1000-2500	1000-2500	700-3500	1000-2500	700-3500	1000-2500
Planteneters									
Brandgans (A045)	3000-5000	3000-5000	3000-6000	3000-5000	3000-5000	3000-6000	3000-5000	3000-6000	3000-5000
Grauwe gans (A043)	2500-4000	2500-4000	1000-4000	2500-4000	2500-4000	1000-4000	2500-4000	1000-4000	2500-4000
Kleine zwaan (A037)	5-20	5-20	0-10	5-20	5-20	0-10	5-20	0-10	5-20
Kolgans (A041)	100-250	100-250	40-150	100-250	100-250	40-150	100-250	40-150	100-250
Krakeend (A051)	150-250	150-250	100-400	100-250	150-250	100-400	150-250	100-400	150-250
Meerkoet (A125)	800-1300	800-1300	500-1500	600-2000	800-2000	600-1800	800-2300	600-2000	800-2500
Pijlstaart (A054)	200-300	200-300	200-500	200-400	200-500	200-500	200-500	200-500	200-500
Rotgans (A046)	1500-2500	1500-2500	1000-3000	1000-3500	1500-3500	1000-3500	1500-3500	1000-3500	1500-3500
Slobeend (A056)	100-200	100-200	100-300	70-300	100-200	100-300	100-200	100-300	100-200
Smient (A050)	1500-2500	1500-2500	700-1200	1500-2500	1500-2500	700-1200	1500-2500	700-1200	1500-2500
Wilde eend (A053)	1500-2500	1500-2500	800-2000	1500-2500	1500-2500	800-2000	1500-2500	800-2000	1500-2500
Wintertaling (A052)	600-800	600-800	600-1200	600-800	600-800	600-1200	600-800	600-1200	600-800
Roofvogels									
Slechtvalk (A103)	5-12	5-12	5-15	5-12	5-12	5-15	5-12	5-15	5-12

8 Effecten op zeezoogdieren

8.1 Achtergrond

De gewone (*Phoca vitulina*) en de grijze zeehond (*Halichoerus grypus*) waren in eerste instantie niet opgenomen als aanwijfssoort in het Natura 2000 beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu | Rijkswaterstaat, 2016) omdat zij ten tijde van het opstellen daarvan nog nauwelijks in het Grevelingenmeer voorkwamen. Wel zijn beide soorten voor het Grevelingenmeer opgenomen in het Ontwerp-wijzigingsbesluit (Ministerie LNV, 2018), maar er zijn geen numerieke instandhoudingsdoelstellingen vastgesteld.

8.2 Autonome ontwikkelingen

De groep van zeehonden komen tot nu toe via de Brouwerssluis in het Grevelingenmeer terecht. Een veilige doorgang voor zeehonden moet wel gegarandeerd zijn voor de verwachte autonome ontwikkeling (Hoekstein, 2022).

8.2.1 Gewone zeehond

De trend in het Grevelingenmeer volgt die van het Deltagebied; het aandeel van de gewone zeehonden is ca. 5% van dat in het hele Deltagebied. Gezien de sterk positieve trend in het Deltagebied wordt voorsnog een verdere toename verwacht, al is onduidelijk hoe lang deze toename nog kan doorgaan. Daarbij wordt er vanuit gegaan dat de visstand en mogelijk recreatie uiteindelijk beperkend zullen zijn (Hoekstein, 2022).

8.2.2 Grijze zeehond

De trend in het Grevelingenmeer volgt net als bij de gewone zeehond die van het Deltagebied. De aantallen zijn zowel relatief als absoluut veel kleiner, nog niet 1% van die in het Deltagebied. De groei is wel veel trager dan in de Voordelta, waar veruit de grootste aantallen verblijven. Voor deze soort wordt een langzame verdere toename verwacht. Daarbij wordt er vanuit gegaan dat de visstand en mogelijk recreatie uiteindelijk beperkend zullen zijn. Grijze zeehonden komen waarschijnlijk regelmatig door de sluis in Brouwersdam dan gewone zeehonden, maar gaan er net zo snel weer uit.

Tabel 14

Huidige aantallen (jaargemiddeldes van de seizoenen 2016/2017 en 2020/2021) en verwachte autonome ontwikkeling in het jaar 2080 van zeehonden in het Grevelingenmeer. Er zijn geen doelaantallen voor het Grevelingenmeer

Soort	Huidige aantal (gemiddelde 2017 – 2021)	Autonome ontwikkeling 2080
Gewone zeehond (HS1365)	40	60-200
Grijze zeehond (HS1364)	2	10-30

8.3 Effecten varianten

De peilen en waterbewegingen zullen geen direct effect hebben op zeehonden of hun capaciteit om vis te bemachtigen. Wel worden de aantallen bepaald door de hoeveelheid vis in de Grevelingen. De ontwikkeling van de visstand is lastig in te schatten vanwege onzekerheden over de wisselende zuurstofarme arealen en effecten van klimaatverandering. Ook uitwisseling van vis met de Voordelta speelt een grote rol, ook daar vinden flinke verschuivingen plaats in de soortsaamenstelling en grootteverdeling. De passeerbaarheid van een eventueel doorlaatmiddel voor zeehonden kan ook van invloed zijn voor de geschiktheid van het Grevelingenmeer voor zeehonden.

8.3.1 Gewone zeehond

Gewone zeehonden gebruiken de vooroevers als ligplaatsen om uit te rusten en hun jongen te zogen. Variant A3 zal leiden tot overspoeling van de vooroevers, soms langere perioden achtereen. Daarmee is deze variant zeer ongunstig voor het verblijf van de soort. Verwacht wordt dat dieren nog wel de Grevelingen gebruiken om te foerageren en enige tijd te verblijven, maar het gebrek aan ligplaatsen zal hen toch vooral naar de Voordelta drijven. Indien er voor varianten met een nieuw doorlaatmiddel (B1, B2 en B3) geen grote veranderingen zijn in de visstand zullen de aantallen van de gewone zeehond weinig afwijken van de huidige situatie en de autonome ontwikkeling. Mogelijk is er sprake van een kleine toename door een hoger visaanbod.

8.3.2 Grijze zeehond

Grijze zeehonden gebruiken de Grevelingen vooral om voedsel te zoeken en zwemmen waarschijnlijk geregeld door de Brouwerssluis heen en weer. De aantallen in de Grevelingen zijn daarom een afspiegeling van die in de Voordelta. Wanneer er bij de varianten A3, B1, B2 en B3 geen grote veranderingen zijn in de visstand zullen de aantallen weinig afwijken van de huidige situatie en de autonome ontwikkeling. Mogelijk is er sprake van een kleine toename door een hoger visaanbod in verband met de hogere productiviteit.

Tabel 15

Prognose ontwikkeling gemiddelde aantallen zeehonden in het Grevelingenmeer bij de verschillende situaties. Met in de derde kolom de "huidige situatie" (variant A1 in 2030), in de vierde kolom een schatting van de "autonome ontwikkeling" (A1 in 2080) en in de andere kolommen de overige varianten voor het jaar 2030 en 2080 (A1, B1 en B2). Groen: mogelijke toename ten opzichte van variant A1 in 2030. Zalm: mogelijke afname ten opzichte van variant A1 in 2030. De niet gekleurde cellen: geen eenduidige afwijking ten opzichte van de variant A1 in 2030

Soort	A0	A1		A3	B1		B2		B3
	2030	2030	2080	2030	2030	2080	2030	2080	2030
Gewone zeehond (HS1365)	50-150	50-150	60-200	0-50	50-150	60-200	50-150	60-200	50-150
Grijze zeehond (HS1364)	5-10	5-10	10-30	5-10	5-10	10-30	5-10	10-30	5-10

9 Effecten varianten op Natura 2000 habitattypen en -soorten

9.1 Achtergrond

De veranderingen in waterstanden (middenpeil en getij) als gevolg van de varianten in peilbeheer hebben mogelijk effect op de huidige natuurwaarden op de eilanden en de voormalige slikken in het Grevelingenmeer. De habitattypen kunnen periodiek, met andere frequentie of duur, of permanent onder water komen te staan waardoor het habitat zal verdwijnen (directe effecten). Ook kan het habitat verdwijnen of de kwaliteit kan afnemen als gevolg van zoutspray of veranderingen van de zoetwaterbel (indirecte effecten). Ten slotte zouden habitattypen in de loop van tijd nog kunnen opschuiven in de zonering. In dit hoofdstuk worden de directe effecten kwantitatief berekend op basis van de voorspelde waterstanden en de ligging van de diverse habitattypen. Vervolgens zijn de indirecte effecten semi-kwantitatief beoordeeld op basis van expert kennis van het gebied en de voorkomende habitattypen.

9.2 Directe effecten

De directe effecten als gevolg van overspoelen van de verschillende varianten in peilbeheer op de Natura 2000 habitattypen en -soorten zijn gekwantificeerd op basis van de habitatkaart (Figuur 4), de dieptekaart (Figuur 2) en de berekende waterstanden. De indirecte effecten worden behandeld in paragraaf 9.3. In Tabel 1 zijn de huidige arealen van de verschillende habitattypen in de Grevelingen aangegeven.

9.2.1 Waterstanden

De waterstanden zijn afkomstig van het 3D model van Deltares (D-HYDRO). Met het model zijn de waterstanden berekend voor ieder van de 44796 gridcellen. Voor het rekenjaar (2017) zijn de tijdreeksen door Deltares geaggregeerd tot percentielen. De volgende percentielen van de waterstanden zijn gebruikt om de directe impact op de Natura 2000 habitattypen in kaart te brengen:

- $P_{75,bs}$: 75-percentiel gedurende het broedseizoen;
- $P_{99,bs}$: 99-percentiel gedurende het broedseizoen;
- $P_{93,nb}$: 93-percentiel buiten het broedseizoen;
- $P_{99.99,jaar}$: 99.99-percentiel over het hele jaar.

Het broedseizoen is hierbij gedefinieerd van 1 april tot en met 15 juli. Omdat de overgang van het zomerpeil naar het winterpeil een aantal dagen kan vergen is voor de berekening is voor de berekeningen het broedseizoen gedefinieerd als de periode 5 april 2017 – 15 juli 2017 en de perioden buiten het broedseizoen als 1 jan 2017 – 1 april 2017 en 20 juli 2017 – 31 december 2017.

Omdat de door het model berekende waterstanden in de droogvallende delen van het Grevelingenmeer niet bruikbaar zijn, zijn de percentielen van de waterstanden afgeleid door interpolaties van berekende percentielen op de 60 monitoringslocaties (zie paragraaf 5.2 en Figuur 16). De interpolaties zijn uitgevoerd met de functie `idw()` in R en geprojecteerd op hetzelfde raster als de bathymetriekaart (10 m x 10 m, 3 685 581 rastercellen).

9.2.2 Habitatkaarten

De habitatkaart 2020 (Figuur 4) is beschikbaar in de vorm van een shapefile met een groot aantal polygonen. Ieder polygoon kan bestaan uit één of meerdere (maximaal drie) habitattypen. Voor ieder habitatype is aangegeven welke fractie van het oppervlakte van de polygoon wordt ingenomen door het betreffende habitatype. Voor ieder habitatype is een rasterbestand (10m x 10m) gemaakt door de polygonen te projecteren op het raster van de bathymetriekaart. De waarden van de gridcellen van het raster komen daarbij overeen met de fractie van het oppervlakte van het polygoon dat toegewezen is aan het betreffende habitatype. De waarden van de rastercellen variëren daarmee tussen 0 (habitatype komt niet voor in betreffende gridcel) en 1 (habitatype is maximaal aanwezig, 100% bedekking, in gridcel).

9.2.3 Rekenregels

Om de directe effecten van de verschillende varianten op de verschillende habitattypen te berekenen zijn de rasterbestanden met habitattypen gerelateerd met de rasters van de bathymetrie en de geïnterpoleerde rasters met de statistieken van de waterstanden. Voor het habitatype Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal) (H1310A) is aangenomen dat het zal verdwijnen als het habitatype dieper ligt dan het 75-percentiel van de waterstanden gedurende het broedseizoen ($P_{75,bs}$) (Tangelder et al., 2019). Tijdens het broedseizoen mag dit type habitat dus maximaal 25% van de tijd onder water komen te staan en moet dus minimaal 75% van de tijd droogvallen. Buiten het broedseizoen kan dit habitatype dus langere tijd aaneengesloten onder water staan in het geval dat het winterpeil hoger is dan het zomerpeil.

Het habitatype Schorren en zilte graslanden (binnendijks) (H1330B) mag buiten het broedseizoen maximaal 7% van de tijd overspoelen (Tangelder et al., 2019). Tijdens het broedseizoen mag dit habitatype maar 1% van de tijd onder water komen te staan. Als het habitatype dieper ligt dan het 93-percentiel van de waterstanden buiten het broedseizoen ($P_{93,nb}$) of het 99-percentiel van de waterstanden tijdens het broedseizoen ($P_{99,bs}$) wordt verondersteld dat dit habitatype zal verdwijnen.

Voor alle overige habitattypen geldt dat deze verdwijnen als deze op enig moment worden overspoeld met zout water. De habitattypen moeten dus hoger liggen dan het 99.99-percentiel van de waterstanden gedurende het hele jaar ($P_{99,99,jaar}$).

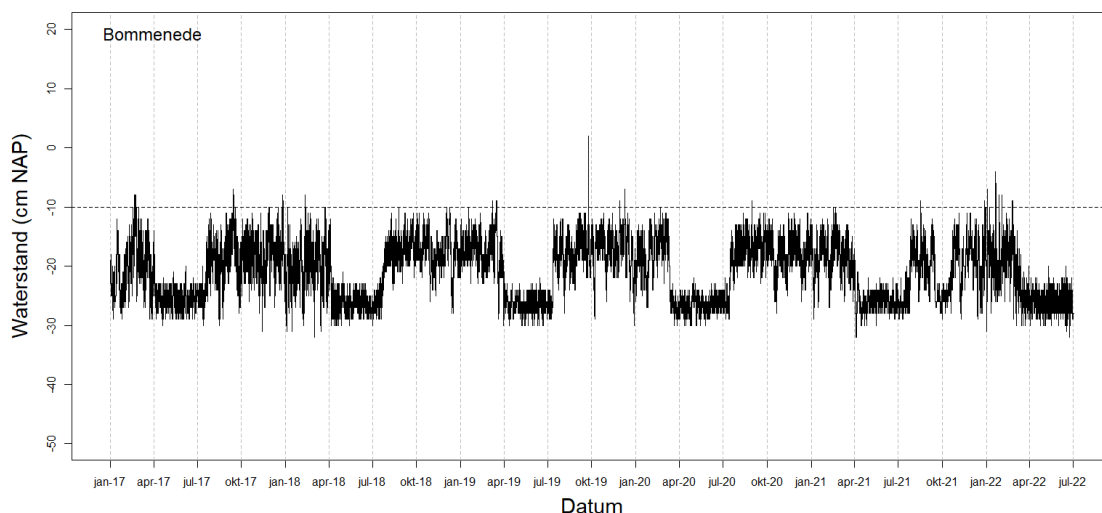
Voor iedere rastercel (totaal 3 685 581 stuks) waar een bepaald habitatype voorkomt is de hoogteligging vergeleken met de hoogte van de relevante percentielen (zie hierboven). Als de hoogteligging hoger is dan de hoogte van het relevante percentiel ($P_{75,bs}$ voor H1310A; $\max(P_{93,nb}, P_{99,bs})$ voor H1330B en $P_{99,99,jaar}$ voor de overige habitattypen) wordt aangenomen dat het habitat behouden blijft. Als de hoogteligging lager is dan het relevante percentiel wordt het habitatype (te vaak) overspoeld en wordt aangenomen dat het habitatype in de betreffende rastercel zal verdwijnen. Om de totale arealen te berekenen die verloren gaan zijn per habitatype de bedekkingsgraden van alle rastercellen die verloren gaan vermenigvuldigd met de oppervlakte van een rastercel (0.01 ha) en de resulterende waarden bij elkaar opgeteld:

$$L_j = \sum_{i=1}^n (f'_{i,j} \cdot A_i)$$

Waarbij L_j is het totale direct verlies (ha) van habitatype j door overspoeling, $f'_{i,j}$ is de fractie bedekking (-) van rastercel i met habitatype j en A_i is het oppervlakte (0.01 ha) van rastercel i .

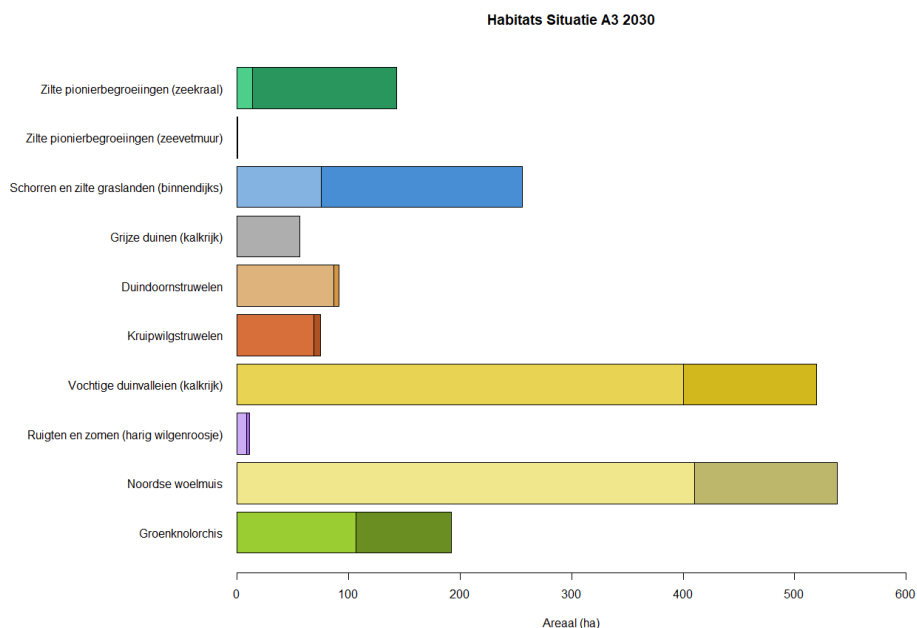
9.2.4 Resultaat

De directe effecten van het verdwijnen van habitattypen door overspoeling zijn weergegeven in en arealen (Figuur 36, Tabel 16 en Bijlage 9) en ruimtelijke beelden (Bijlage 8). Over het algemeen zit er, met uitzondering van de variant A3 in 2030, weinig verschil in het direct verlies aan habitattypen tussen de verschillende situaties. De verschillen met de huidige situatie (variant A1 2030) vallen binnen de modelonzekerheden. De geringe verschillen zijn het gevolg van keuze om bij deze varianten te sturen op een maximaal peil van NAP -0.10 m buiten het broedseizoen en NAP -0.20 m tijdens het broedseizoen, wat overeenkomt met de maximale peilen volgens het huidige peilbesluit (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013). Hierdoor is er maar een zeer beperkt verschil in directe effecten op de diverse habitattypen tussen de verschillende situaties (A0 2030, A1 2030, A1 2080, B1 2030, B1 2080, B2 2030, B2 2080 en B3 2030). In deze situaties laat het model wel zien dat er een klein deel (tot maximaal 5-10%) van de habitattypen H1310A (tussen de 5.1 en 9.3 ha) en H1330B (tussen de 5.8 en 8.2 ha) verdwijnt (Tabel 16). Dit is waarschijnlijk het gevolg van het feit dat in werkelijkheid de maximale waterstand van NAP -0.10 m bij Bommenede niet vaak wordt bereikt (Figuur 35), waardoor de gemeten waterstanden iets lager liggen dan de door het model berekende waterstanden. Voor het 75-percentiel gedurende het broedseizoen ($P_{75,bs}$) zijn deze verschillen echter beperkt. Het gemodelleerde gemiddelde $P_{75,bs}$ bij de variant A1 in 2030 is NAP -0.23 m terwijl de gemeten $P_{75,bs}$ bij Bommenede NAP -0.25 m is (Figuur 35). Ook kan het een indicatie zijn dat de habitattypen H1310A en H1330B langer overstroomd kunnen worden dan respectievelijk 25% van de tijd tijdens het broedseizoen en 7% van de tijd buiten het broedseizoen zoals in het model is aangenomen. Van de potentiële leefgebieden van de noordse woelmuis (HS1340) en de groenknolorchis (HS1903) verdwijnt in de variant A3 een aanzienlijk deel als gevolg van overstrooming. Doordat de noordse woelmuis zich voornamelijk ophoudt aan de randen van de aangegeven potentiële leefgebieden kan de directe impact voor deze soort zijn onder- of overschat.



Figuur 35: Gemeten waterstanden in het Grevelingenmeer bij Bommenede over de periode 1 jan 2017 tot en met 1 juli 2022 (www.waterinfo.rws.nl). Tot 1 feb 2021 was dit monitoringslocatie Grevelingen boei G22 en vanaf 1 feb 2021 is dit de locatie Bommenede 1.

De variant A3 in 2030 leidt wel tot aanzienlijke directe verliezen aan areaal van een aantal habitattypen. Vooral de laag gelegen zilte habitattypen (H1310A, H1330B) krijgen te maken met een aanzienlijk direct verlies door overstrooming onder variant A3. Ook de iets hoger gelegen habitattypen (H2160, H2170, H2190B en H6430B) zullen in areaal afnemen door overstrooming bij variant A3. Het habitatype H2130A ligt hoog genoeg en zal weinig (direct) effect ondervinden van overstrooming bij variant A3. Ook de potentiële leefgebieden van noordse woelmuis en groenknolorchis zullen in omvang afnemen bij variant A3.



Figuur 36: Areaal (ha) direct verlies (donkere delen van de balken) van de habitattypen door overspoeling voor variant A3 in 2030. De donkere en lichte delen van de balken samen geven het huidige areaal van de habitattypen in 2020 (Figuur 4, Figuur 8 en Figuur 9). De resultaten van de alle situaties zijn te vinden in Bijlage 9.

Tabel 16

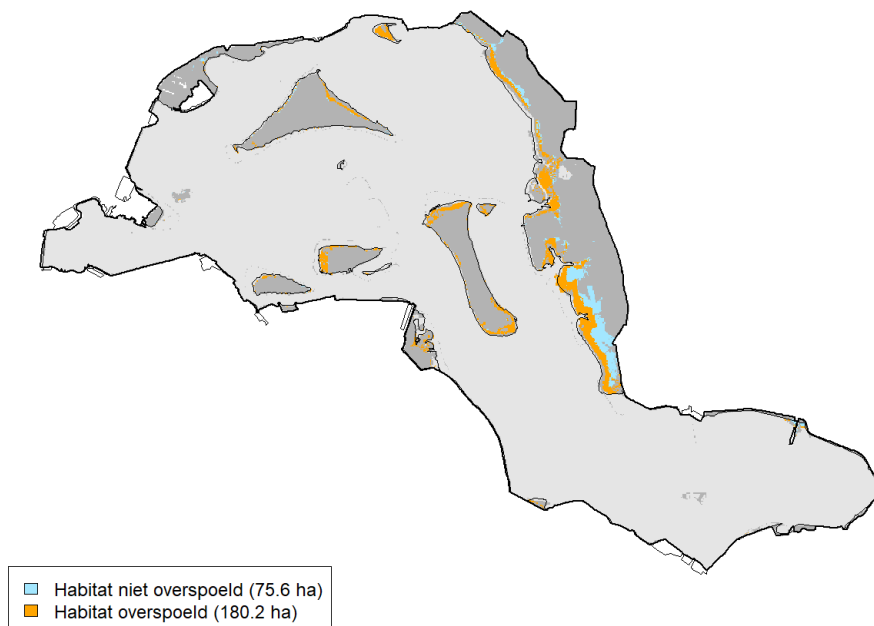
Direct verlies in areaal van de habitattypen en potentiële leefgebieden van noordse woelmuis en groenknolorchis voor de verschillende varianten voor het jaar 2030 en 2080 (A1, B1 en B2). In de laatste kolom is het areaal weergegeven van de habitatkaart 2022 (Figuur 4, Figuur 8 en Figuur 9). HS1340 betreft de noordse woelmuis, HS1903 de groenknolorchis

Habitattype	A0 2030	A1 2030	A1 2080	A3 2030	B1 2030	B1 2080	B2 2030	B2 2080	B3 2030	Huidig (ha)
H1310A	9.3	9.3	11.8	129.0	5.1	9.3	5.9	8.3	5.9	143
H1310B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.13
H1330B	8.2	7.3	10.1	180.2	5.7	7.5	9.6	9.3	13.6	256
H2130A	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	56
H2160	0.4	0.4	0.4	4.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	91
H2170	<0.1	<0.1	<0.1	6.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	75
H2190B	2.0	1.9	2.5	119.2	1.7	1.9	2.8	2.3	4.72	520
H6430B	0.2	0.2	0.2	2.8	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	11
HS1340	22.8	22.3	24.7	127.7	20.5	22.0	26.4	24.0	30.7	539
HS1903	1.1	0.9	1.4	85.7	0.8	1.0	1.6	1.3	3.4	192

Als voorbeeld van de ruimtelijke effecten is in Figuur 37 het effect van de variant A3 in 2030 voor habitattype H1330B (schorren en zilte graslanden binnendijks) weergegeven. De resultaten voor alle andere combinaties van habitattypen en varianten zijn weergegeven in de figuren van Bijlage 8. De oranje en blauwe gebieden geven aan waar het habitattype voorkomt op de habitatkaart 2020 (Figuur 4). De oranje gebieden zijn de gebieden die te laag liggen in deze situatie waardoor de overspoelingsduur te groot is voor het betreffende habitattype en het habitattype daar dus zal verdwijnen. In het blauwe gebied ligt het habitattype hoger en wordt het dus niet (te lang) overspoeld met het zoute water, zodat het habitattype blijft behouden. De opvallendste verschillen zijn te zien bij de variant A3, waarbij grote delen van de habitattypen H1310A (Slikken van Flakkee, Bommenede, Hompelvoet en Veermansplaat) en H1330B (Slikken van Flakkee, Stampersplaat, Veermansplaat en Markenje) verdwijnen (Bijlage 8). Ook verdwijnen er bij variant A3 aanzienlijke gebieden vochtige

duinvalleien (kalkrijk, H2190B) door overstroming, vooral op de Veersmansplaat, Stampersplaat, Dwars in de weg, Markenje en de Slikken van Flakkee Zuid (Figuur 89). Dit is het gevolg van de hogere waterstanden van de variant A3, ten opzichte van alle andere varianten. De directe effecten van de varianten A0, A1 (2030 en 2080) en B1 (2030 en 2080) leiden wat betreft de directe effecten tot weinig verlies voor alle habitattypen.

Schorren en zilte graslanden (binnendijs) (H1330B). Situatie A3 2030



Figuur 37: Directe effecten door overspoeling op habitattype H1330B (schorren en zilte graslanden, binnendijs) voor de variant A3 in 2030. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft. De resultaten voor alle overige habitattypen voor alle situaties zijn te vinden in Bijlage 8.

9.3 Indirecte effecten

Naast het verdwijnen van habitat door het (periodiek) overspoelen met zoutwater (directe effecten) kan er als gevolg van indirecte effecten aanvullend verlies of juist winst optreden in het areaal of de kwaliteit van de betreffende habitattypen. Deze indirecte effecten omvatten:

1. Veranderingen in de grondwaterstand en daarmee de zoetwaterlens;
2. Zoutspray;
3. Opschuiven van de vegetatie naar hoger gelegen delen;
4. Autonome ontwikkeling door successie van de vegetatie.

Hieronder worden de indirecte effecten besproken en semi-kwantitatief ingeschat voor de verschillende situaties.

9.3.1 Veranderingen grondwaterstand

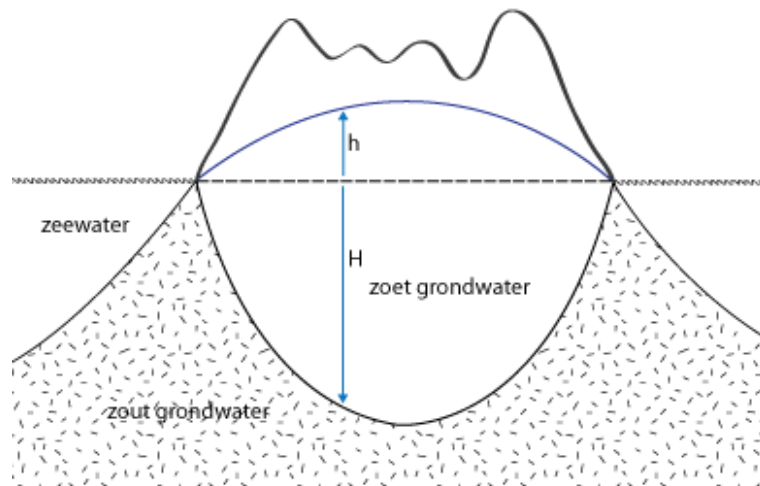
De veranderingen van de waterstand in het Grevelingenmeer kunnen van invloed zijn op de grondwaterstand in de terrestrische gebieden. Effecten van veranderende grondwaterstand zijn voornamelijk relevant voor de habitattypen H2190 (vochtige duinvalleien), H2170 (kruipwilgbegroeiingen) en daarmee het potentieel leefgebied van de groenknolorchis.

9.3.1.1 Effect bodem op de grondwaterstand

Bij eilanden en oevers met een zandige bodem vormt zich een zoetwaterlens (of -bel), die als het ware drijft op het (zwaardere) zoute water van het meer (Figuur 38). De vorm van de zoetwaterbel is afhankelijk van de morfologie (omvang, breedte, lengte) en hoogte (reliëf) van een eiland of voormalig slik. Bij grote hoogteverschillen kan deze bestaan uit een complex geheel van meerdere bellen met tussenliggende, natte valleien of duinmeren. In de breedte loopt de bel tot aan de

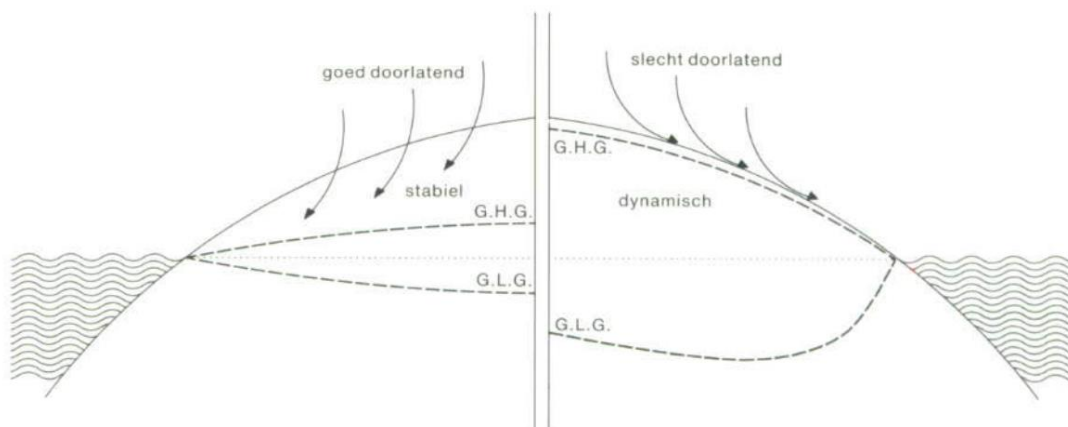
waterrand, waar het zoute water zich bevindt. Op de relatief vlakke zandplaten van het Grevelingenmeer zal de zoetwaterbel doorgaans niet heel hoog liggen (Figuur 39, links). Slager en Visser (1990) laten aan de hand van metingen zien dat de hoogste waterstanden niet heel ver boven het maaiveld komen, en de diepste niet ver wegzakken (Figuur 39, links).

De lens is aan de bovenzijde veel minder bol dan aan de onderzijde (Figuur 38). Theoretisch is de verhouding tussen de opbolling van de waterspiegel boven peilniveau en de diepte van de zoetwaterbel 1:40 (volgens het principe van Ghyben-Herzberg). Het duurt wel lange tijd voordat de lens de diepte bereikt van de evenwichtssituatie, afhankelijk van de hoeveelheid verdamping en neerslag en de samenstelling van de bodem (onderzoek Martin van der Weiden, Universiteit Utrecht).



Figuur 38: Schematische weergave van een zoetwaterbel in een zandig eiland.

Op plekken waar slecht doorlatende lagen in de bodem zitten (kleilagen of sliblaagjes) kan het water niet diep infiltreren in de bodem. Hier ontstaat geen zoetwaterbel, maar stagneert het zoete water op de slecht doorlaatbare laag en stroomt het af naar het meer (Figuur 39, rechts). Dit zijn locaties waar de grondwaterstand sterk zal fluctueren: bij veel neerslag staat het water tot boven maaiveld, terwijl het in droge tijden sterk kan uitdrogen en het water diep in de ondergrond zit (Figuur 39, rechts). Zulke plekken kunnen oppervlakkig verzuren door stagnatie van (zuur) regenwater.



Figuur 39: Schematische weergave van een zoetwaterbel op een zandige oever (links) en een oever met ondoorlaatbare klei- en sliblagen in de ondergrond (rechts). De jaarlijks gemiddeld hoogste waterstand (GHG) en gemiddeld laagste waterstand (GLG) zijn aangegeven (uit Slager en Visser, 1990).

Slager en Visser (1990) hebben een kaart gemaakt van de doorlaatbaarheid van de bodem in de Grevelingen, die – grofweg – overgezet is in een GIS-bestand (Figuur 40).

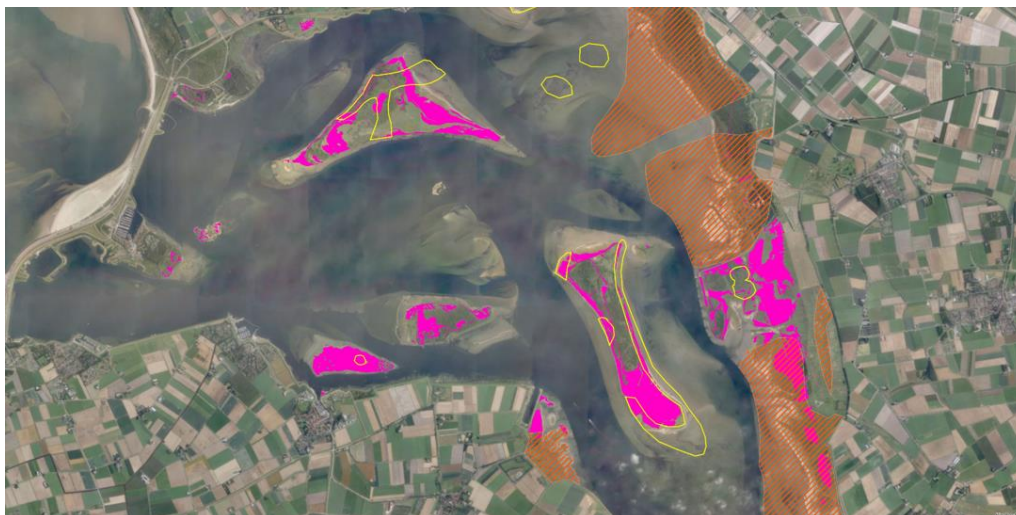


Figuur 40: Bodemopbouw in de Grevelingen. Slecht doorlatende lagen (rood gearceerd), gebieden met lokaal kleilaagjes binnen de eerste 2 meter diepte (geel omgrensd) en gebieden met een zandige bodem (geen grens / arcering).

Het blijkt dat groenknolorchis uitsluitend en vochtige duinvalleien (H2190B) overwegend voorkomt op de beter doorlaatbare bodems (respectievelijk Figuur 41 en Figuur 42). Overigens is dat ook het geval voor H2170 (Figuur 43). De ontwikkeling van kruipwilgstruwelen (H2170) (vanuit H2190B, door successie, oftewel bodemontwikkeling) is vooral gerelateerd aan beter doorlaatbare bodems met een iets hoger lutumgehalte (iets kleiiger), zie Figuur 44.



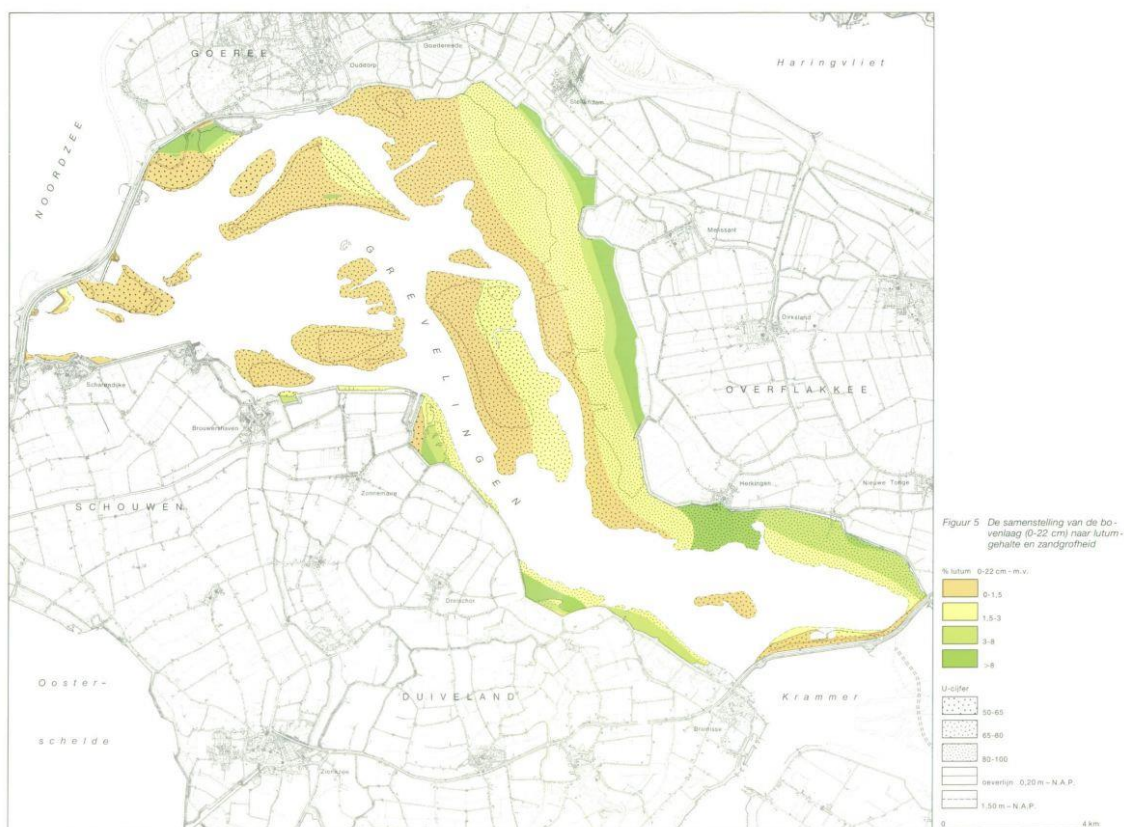
Figuur 41: Het voorkomen van de groenknolorchis (blauw) in relatie tot slecht doorlatende bodemlagen (rood-gearceerd), gebieden met lokaal kleilaagjes binnen de eerste 2 meter diepte (geel omgrensd) en gebieden met een zandige bodem (geen grens / arcering).



Figuur 42: Het voorkomen van vochtige duinvalleien (H2190B) als dominant habitattype (roze) in relatie tot slecht doorlatende bodemlagen (rood-gearceerd), gebieden met lokaal kleilaagjes binnen de eerste 2 meter diepte (geel omgrensd) en gebieden met een zandige bodem (geen grens / arcering).



Figuur 43: Het voorkomen van kruipwilgstruwelen (H2170) als dominant habitattype (paars) in relatie tot slecht doorlatende bodemlagen (rood-gearceerd), gebieden met lokaal kleilaagjes binnen de eerste 2 meter diepte (geel omgrensd) en gebieden met een zandige bodem (geen grens / arcering).



Figuur 44: Lutum-gehalte (%) in de bodem (0-22 cm) (uit Slager en Visser, 1990). Oranje: 0-1.5%, geel: 1.5 – 3%, lichtgroen 3-8% en donkergroen > 8%.

9.3.1.2 Effect van middenpeil op zoetwaterlens

Een hoger middenpeil zorgt voor een kleinere zone waar regenwater infiltreert, en daarmee (op termijn) voor een smallere en kleinere zoetwaterbel. Centraal op zandige eilanden kan vernatting optreden door hogere gemiddelde waterstanden (Tangelder et al., 2019). Een lager middenpeil zorgt juist voor een grotere (bredere) zoetwaterbel, en een lagere gemiddelde grondwaterstand. Dit effect speelt echter alleen op de platen en oevers met een relatief goed doorlatende bodem. Een stijging van het middenpeil leidt ook tot groei van de zoetwaterbel aan de onderkant: een veel dikkere zoetwaterlens. Geredeneerd vanuit de verhouding 1:40, kan bij een 20 cm hogere grondwaterstand de lens 8 meter dikker worden.

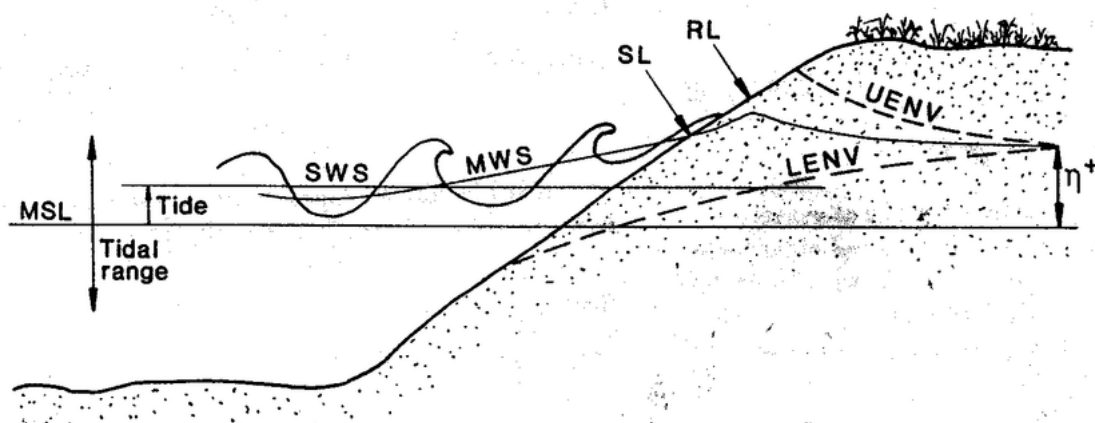
Het middenpeil gaat vooral bij variant A3 omhoog omdat het meestijgt met de zeespiegelstijging. Voor de zandige eilanden en platen leidt dat tot een verhoging van de grondwaterstand en een kleinere zoetwaterbel. De zone waarin H2190B, H2170 en groenknolorchis kunnen voorkomen kan in principe naar boven opschuiven (ca. 20 cm), mits daar een lage vegetatie aanwezig is, en niet te veel humusophoping heeft plaatsgevonden. Daar waar reeds hoge begroeiing aanwezig is (struweel, bos), is opschuiven niet mogelijk. In principe wordt de zoetwaterbel kleiner, maar of de zone met H2190B/H2170 ook kleiner wordt, is ook afhankelijk van de geomorfologie (het reliëf). Bij het opschuiven langs een relatief steile helling richting een plattere helling, hoeft het oppervlakte H2190B niet per se kleiner te worden. Ook voor H1310A en H1330B bestaat de mogelijkheid om met het peil mee op te schuiven. Zie hiervoor paragraaf 9.3.3.

9.3.1.3 Effect van getij

Bij een gelijkblijvend middenpeil zijn er twee mogelijkheden:

1. Als er geen overspoeling kan plaatsvinden zal het invoeren van getijde leiden tot een iets dunnere zoetwaterlens. Dit is alleen relevant op plekken waar bijvoorbeeld een dijkje op een eiland ligt, waardoor het zeewater niet kan binnendringen. In de praktijk zullen vrijwel alle zandige eilanden overspoeld worden, en speelt het volgende.

2. Bij invoering van getijde (en een gelijkblijvend peil) zal zeewater tijdens hoogwater over een plaat spoelen en infiltreren in de bodem. Het water kan echter makkelijker infiltreren dan draineren. Het water dat bij hoogwater in het zand is geïnfilteerd zal met vertraging (en daardoor niet volledig) wegstromen. Dit zorgt voor opstuwing van het water ("overheight"). De gemiddelde grondwaterstand ligt daarom met getij iets hoger dan het middenpeil. De hoogwaterlijn is gelijk aan de hoogste grondwaterstand, maar de laagste grondwaterstand ligt wat hoger dan het laagwaterpeil. Gemiddeld komt de zoetwaterlens dus iets hoger te liggen. Volgens Nielsen (1999) ligt dat in de orde van 10-30 cm hoger dan het middenpeil, afhankelijk van het getijverschil, de plaathelling, de omvang en hoogte van het achterland en eventuele windwerking (Figuur 45).



Figuur 45: Schematische weergave van de opstuwing van de grondwaterstand veroorzaakt door getij (uit: Nielsen, 1999). MWS = Mean Water Surface, SL = Shoreline, RL = Rump Limit, LENV en UENV = lower and upper bounds of the water table, + = opstuwing van de grondwaterstand.

Aangezien het bovenpeil bij de varianten B1, B2 en B3 gelijk wordt gehouden, maar er wel meer getijdeverschil optreedt, zullen deze varianten netto tot iets lagere gemiddelde (zoet)waterstanden kunnen leiden ten opzichte van de variant A1. Hierdoor zullen ze negatief uitpakken voor de habitattypen en soorten van relatief hoge (zoete) waterstanden: H2170, H2190B, noordse woelmuis en groenknolorchis.

9.3.2 Zoutspray

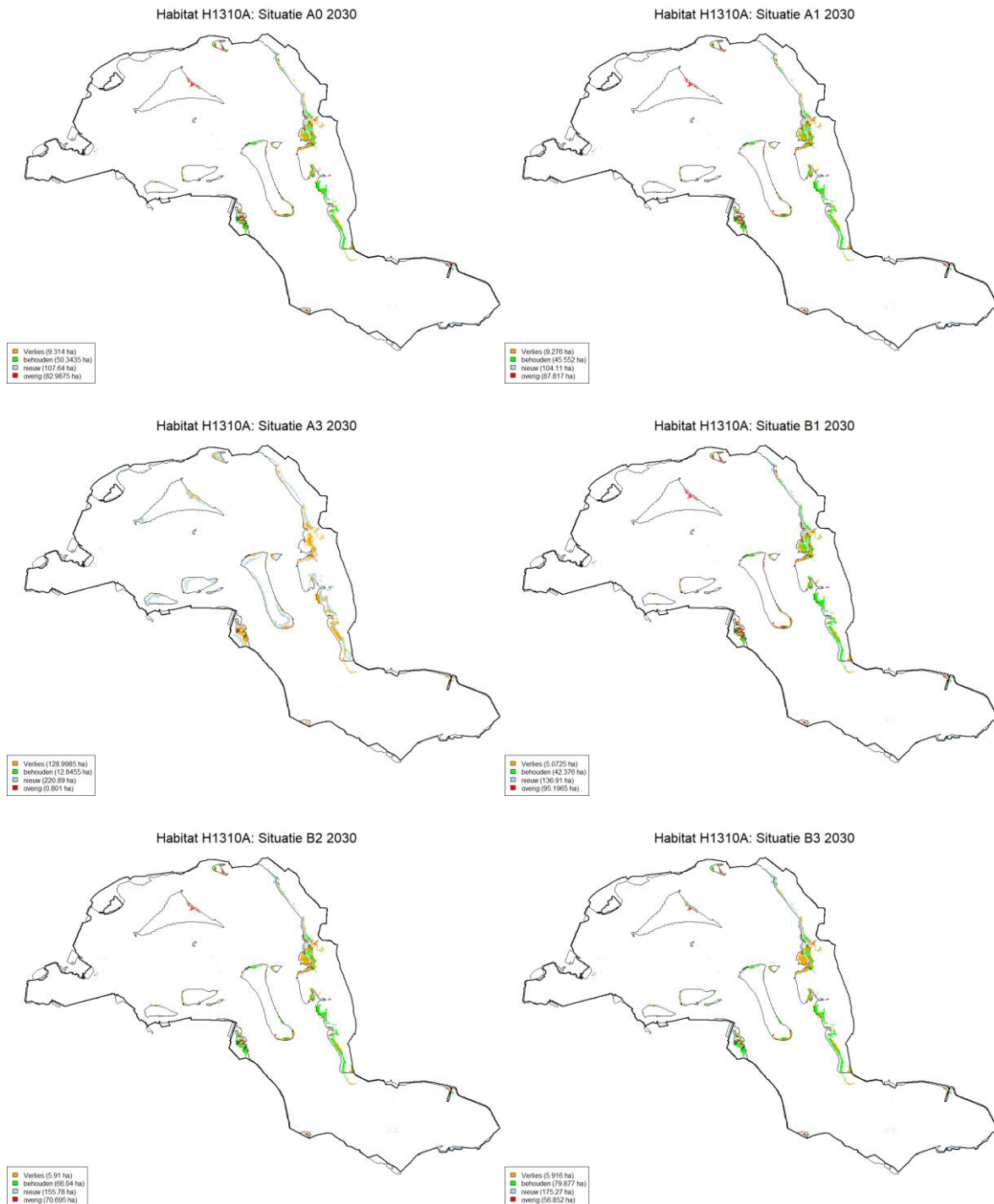
Een effect van inwaaien van zout speelt alleen bij groenknolorchis en dan alleen op plekken waar een stenen dam vóór de wind ligt (westzijde Veermansplaat). In een eerdere effectstudie (Tangelder et al., 2019) is aangegeven dat overspoeling met zout water tot schade aan de orchideeën kan leiden, met name als de zon schijnt en als het ware inbrandt op natte planten. Dit effect is marginaal, en bovendien is er ook sprake van een positief effect: enige inwaai van zout water vertraagt de successie van duinvalleien, en houdt daarmee mogelijk langere tijd een geschikt leefgebied voor groenknolorchis in stand.

Al met al beschouwen we dit effect als verwaarloosbaar binnen de natuurlijke fluctuaties en andere effecten van de varianten.

9.3.3 Opschuiven vegetatie

Er zijn verschillende begroeiingen binnen de habitattypen die kunnen opschuiven in de zonering naar hoger gelegen delen. Dit zijn de begroeiingen die afhankelijk zijn van overstroming met zout water (H1310A, H1330B) of afhankelijk van relatief hoge grondwaterstanden (H2190B, H2170). Bij die laatste groep komt ook het ruigtetype H6430B in aanmerking, maar daar speelt ook (ontbreken van) beheer een rol, in combinatie met ophoping van organisch materiaal. Het is een zeer lokaal voorkomend habitatype waarvan het de aanwezigheid lastig te voorspellen is op basis van de beschikbare modelgegevens.

Het opschuiven van H1310A is gemodelleerd op basis van waterstanden en een hoogtemodel. Dit is met name voor variant A3 relevant, waar een flinke peilverhoging wordt aangehouden (middenpeil +9cm NAP t.o.v. een middenpeil van -17 cm NAP bij variant A1 in 2030). Het resultaat voor de verschillende varianten in het jaar 2030 staat in Figuur 46. Voor habitatype H1310A is aangenomen dat het voorkomt in het gebied dat buiten het broedseizoen tussen de 1% en 25% van de tijd onder water staat. In deze figuur is in oranje aangegeven waar het habitatype voorkomt, maar waar de berekende overspoelingsduur in de betreffende situatie groter is dan 25%: voor dit gebied wordt aangenomen dat het habitatype zal gaan verdwijnen ("verlies") omdat het te lang onder water komt te staan. In groen is aangegeven waar het habitatype voorkomt en waar de overspoelingsduur buiten het broedseizoen tussen de 1% en 25% is ("behouden"). In lichtblauw is het gebied aangegeven dat een overspoelingsduur buiten het broedseizoen heeft tussen de 1% en 25%, maar waar het habitatype op dit moment niet voorkomt ("nieuw"). Dit is het potentieel nieuw gebied waar habitatype H1310A zich kan ontwikkelen. In rood tenslotte is het gebied aangegeven waar het habitatype H1310A voorkomt, maar wat een overspoelingsduur heeft van minder van 1% ("overig").



Figuur 46: Voorkomen van zilte pionierbegroeiingen (H1310A) in 2030 bij de varianten A0, A1, A3, B1, B2 en B3 in 2030.

Opmerkelijk is dat voor de variant A0 in 2030 een groot deel overig gebied (rood) is aangegeven: dit is een gebied waar het voorkomen van H1310A niet overeenkomt met de gemodelleerde overstroming. Dat betekent feitelijk dat het model niet goed werkt, mogelijk omdat het vooral is gebaseerd op de waterstanden in het meer, waarbij de waterstanden op de oevers, en in het bijzonder de oploop van de waterstanden aan de oevers (zie Figuur 45) minder goed worden gemodelleerd. Ook is het effect van golven niet meegenomen in het model, waardoor het zoute water bij harde wind makkelijk 25 tot 30 cm hoger kan komen dan de gemodelleerde middenstand. Zo kan aan de oostzijde van het meer door windwerking zout water verder en hoger voorkomen dan volgens het gebruikte model (zie ook Figuur 7). Ook kan door begrazing (betreding) de successie van zilte graslanden iets terug worden gezet, waardoor H1310A hoger voor kan komen dan volgens het model. Dit betekent wel dat bij de A3-variant nu feitelijk alleen de groene, oranje en lichtblauwe delen goed zijn gemodelleerd (ca. de helft van de totale oppervlakte). Het is dan ook waarschijnlijk dat er nog een

“rood” oppervlakte winst bij geteld moet worden, waardoor de winst/verlies verhouding een stuk gunstiger uitpakt voor H1310A in variant A3.

Voor H1330B is op dezelfde manier een model gedraaid om een inschatting te maken van het opschuiven van het habitatype in de zonering. Ook hier geven de getallen voor de variant A3 waarschijnlijk een sterke onderschatting van de uitbreidingsmogelijkheden.

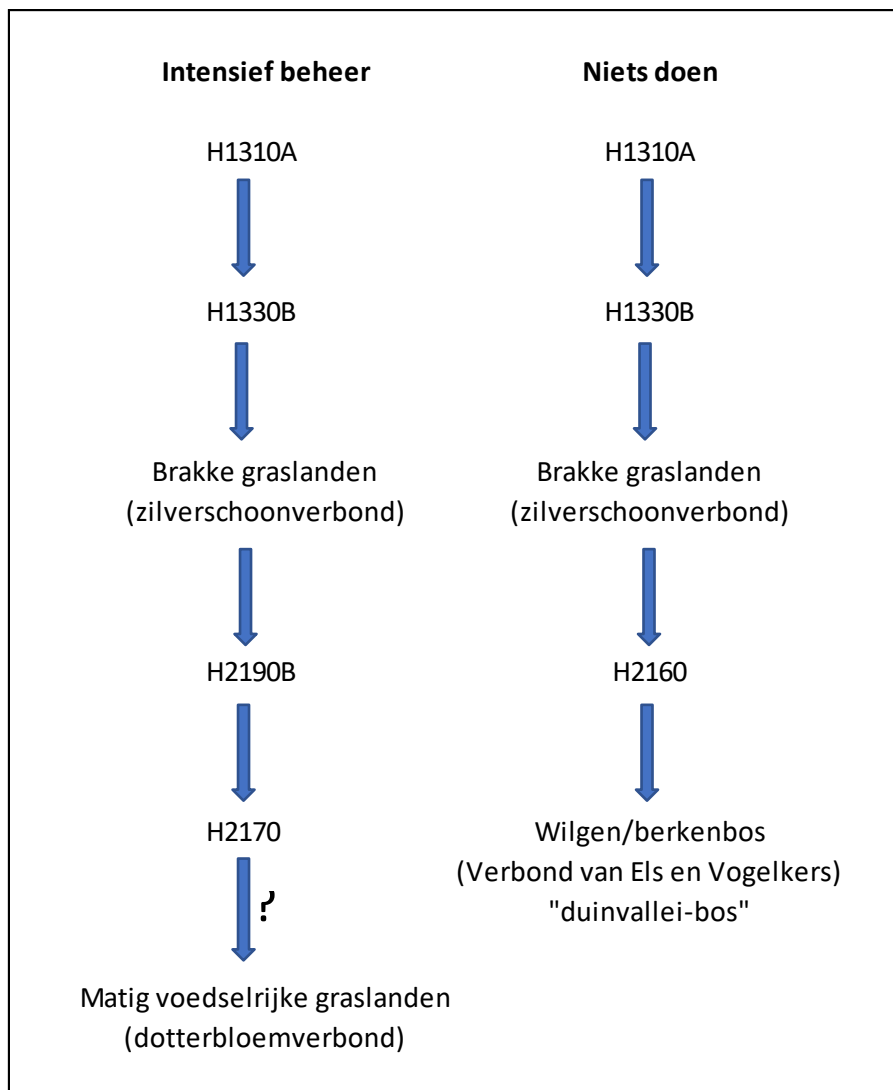
Een eenvoudiger model kan mogelijk gedraaid worden om de opschuiving te berekenen voor variant A3, door enkel en alleen naar de hoogteligging te kijken, telkens voor verschillende deelgebieden. Op die manier kan ook de verschuiving van H2190B worden doorgerekend, waarbij wel gecorrigeerd moet worden voor het niet kunnen opschuiven vanwege het begroeiingstype (struweel, bos) en het voorkomen op het bodemtype (Figuur 40).

9.3.4 Autonome ontwikkelingen

Het is duidelijk dat er nog steeds een autonome ontwikkeling van de vegetatie (successie) optreedt sinds de afsluiting van de Grevelingen in 1971. De belangrijkste factoren die de ontwikkeling van de vegetatie sturen zijn (i) uitgangssituatie (schor of drooggevalen plaat); (ii) beheer; (iii) hoogteligging (gerelateerd aan overstroming met zout water, invloed van zoet grondwater, en mate van ontzilting); (iv) en bodemsamenstelling (gerelateerd aan waterhuishouding (doorlaatbaarheid), ontziltingssnelheid en voedselrijkdom. De autonome ontwikkeling bepaalt, naast ingrepen in landbeheer en waterbeheer, in hoeverre habitattypen op langere termijn behouden en ontwikkeld kunnen worden.

De oorspronkelijke schorren worden hier buiten beschouwing gelaten: het betreft relatief kleine delen van de Grevelingen met ruigtevegetatie of bos die vrijwel nergens als habitatype kwalificeren. Ook de jaarlijks geïnundeerde lage platen worden buiten beschouwing gelaten: zout water is zo een overheersende factor dat daar alleen zilte begroeiingen voorkomen: H1310A zilte pionierbegroeiingen op lage, vaak geïnundeerde delen, en H1330B zilte graslanden op delen met enige, relatief lage inundatiefrequentie en -duur. H1310B (zevetmuurbegroeiingen) komt slechts zeer lokaal voor op duintjes waar incidenteel zeewater overheen gaat.

In Figuur 47 is aangegeven welke autonome ontwikkeling (successie) grofweg plaats heeft in de loop der tijd (sinds de afsluiting in 1971) op de laag gelegen, niet door zeewater geïnundeerde platen, bij respectievelijk intensief beheer en niets doen.



Figuur 47: Vereenvoudigd schema van de autonome ontwikkeling op lage, vochtige zandplaten in de Grevelingen bij intensief beheer en niets doen.

De hier aangegeven successie gaat niet overal even snel, maar is afhankelijk van de samenstelling van de bodem en eventuele verstoringen. Op de relatief zandige platen, waar grondwater dicht aan het maaiveld staat en weinig fluctueert gedurende het jaar (Figuur 39, links), kunnen kalkrijke duinvalleien (H2190B) en groenknolorchis het langst in stand worden gehouden door de vegetatie kort te houden (maaibeheer, begrazingsbeheer). Hoe duurzaam deze begroeiingen zijn hangt af van de snelheid waarmee de bodem opbouwt en eventueel ontkalking optreedt; hier is nog onvoldoende zicht op. Op de iets voedselrijkere bodems (hoger lutumgehalte) blijkt H2190 (vochtige duinvalleien) zich relatief snel te ontwikkelen naar kruipwilgvegetatie (H2170), wat ten koste gaat van de soortenrijkdom. Mogelijk treedt hier een ontwikkeling op naar schraallanden van het dotterbloemverbond, maar ook dit is nog onvoldoende bekend. Op plekken met stagnerend water zou ook verzuring en zelfs veenvorming kunnen plaatsvinden, waarbij H2190C (ontkalkte duinvalleien) ontstaan. Aanzet hiertoe wordt al gezien met o.a. het ontstaan van enkele veenmosbulten (algemene soorten) en het voorkomen van veenpluis. Bij geen beheer ontstaat uiteindelijk bos. Dit betekent dat de duindoornstruwelen (H2160) bij het huidige beheer uiteindelijk slechts zeer lokaal zullen voorkomen, aan randen van bos.

Los van dit alles heeft klimaatverandering mogelijk een effect, omdat het zorgt voor een langer groeiseizoen, en daardoor meer productie en bodemvorming. Vooralsnog is dit een nogal onvoorspelbare factor. Zo lijkt het erop dat in de afgelopen droge jaren de productie relatief laag is geweest, maar wel voedingsstoffen zijn opgehoopt in de bodem (versterkt door stikstofdepositie), waarna dit relatief nattere jaar (2022) een extra hoge productie optreedt. Het is onduidelijk of de

extra productie ook extra wordt afgevoerd door hooien. Ook is onduidelijk of dit fenomeen zowel bij begrazings- als maaibeheer speelt, en in hoeverre het speelt in verschillende (grasland) vegetaties en habitattypen. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig, dat buiten de scope van het getij Grevelingen onderzoek valt.

Het perspectief voor de lange termijn bij ongewijzigd peilbeheer en terreinbeheer is op basis van het voorgaande als volgt voor de nu aangewezen habitattypen:

- H1310A (zilte pionierbegroeiingen, zeekraal): behoud op lage, door zeewater met enige frequentie geïnvundeerde delen;
- H1310B (zilte pionierbegroeiingen, zeevetmuur): zeer lokaal behoud, mogelijk niet elk jaar;
- H1330B (schorren en zilte graslanden, binnendijks): behoud op delen met zeer lage frequentie van inundatie door zeewater, mogelijk nog iets verder afnemend in oppervlakte door ontzilting;
- H2130A (grijze duinen, kalkrijk): behoud, mogelijk wel ontkalking en daardoor overgang naar ander subtype;
- H2160 (duindoornstruwelen): sterke afname ten gunste van bosontwikkeling. Voor de landelijk gunstige staat van instandhouding is dit geen probleem: het habitatype is vooral gebonden aan dynamische duingebieden. In afgesloten zeearmen vormt het slechts een tijdelijke fase in de successie naar bos;
- H2170 (kruipwilgstruwelen): vooralsnog toenemend ten koste van H2190B, maar op langere termijn afname door ontwikkeling richting schraallanden (dotterbloemverbond, mogelijk heischrale graslanden H6230) of zuurdere valleien (H2190C);
- H2190B (vochtige duinvalleien, kalkrijk): afname, maar mogelijkheid voor duurzaam behoud in kleinere oppervlakte dan nu, met name aan de randen van zandige platen, waar kwelwater uittreedt; waarschijnlijk met een (kleinere) populatie groenknolorchis; deels nieuwe ontwikkeling van habitattypen, zoals H2190C (vochtige duinvalleien, ontkalkt) in verzuurde kommen met stagnerend water; daar mogelijk ook veenvorming en ontwikkeling natte duinheide of nat heischraal grasland (H6230);
- H6430B (ruigten en zomen, harig wilgenroosje): behoud op deels wisselende plekken, in kleine oppervlakte; van belang voor noordse woelmuis.

9.3.5 Overzicht indirecte effecten

In Tabel 17 is een samenvattende indicatie gegeven van de verwachte ontwikkelingen in de habitattypen en soorten als gevolg van indirecte effecten (verandering in zoetwaterbel en opschuiving) en autonome ontwikkelingen. Het effect van zoutspray is niet meegenomen omdat het verwaarloosbaar is. Voor het opstellen van de tabel is gebruik gemaakt van de informatie die elders in dit hoofdstuk is weergegeven. In de tweede kolom van de tabel zijn de autonome ontwikkelingen weergegeven. De kolommen A1 2080, B1 2080 en B2 2080 geven een indicatie van de veranderingen ten opzichte van de autonome ontwikkelingen.

Er is van uitgegaan dat de zilte habitattypen goed kunnen opschuiven bij hogere waterstanden (positieve trends bij variant A3), maar voor de habitatsoorten en -typen van zoete, natte, lage begroeiingen (H2170, H2190B, groenknolorchis) en de duingraslanden (H2130) hoger opgaande begroeiing het opschuiven deels in de weg zit (netto afname bij variant A3). Voor de noordse woelmuis is het effect van variant A3 voorzichtig positief ingeschat, aangezien de zilte graslanden (H1330B) geschikt leefgebied vormen voor deze soort.

De varianten B1, B2 en B3 leiden tot gemiddeld wat lagere waterstanden, en hebben door de drainerende werking naar verwachting negatieve indirecte effecten op soorten en typen van zoete, natte systemen (H2170, H2190B, groenknolorchis, noordse woelmuis). Op langere termijn (2080) zou de drainerende werking kunnen meevallen, omdat de zeespiegelstijging dan voor een hogere laagste waterstand zorgt (vandaar een indicatie -/0 bij B-varianten in 2080). Hoe groot het precieze effect van verdroging is, verschilt per locatie, afhankelijk van het reliëf (indien de lagere delen een flauwere helling hebben, is er mogelijk juist meer ruimte voor deze habitattypen en soort) en de bodem (hoe hoger het lutum-gehalte, hoe erger het effect van verdroging zal zijn), en de getijdeslag. Opschuiven van deze zoete typen naar een lagere zone is niet waarschijnlijk, omdat de hoogste waterstand nog steeds hetzelfde is, en die lagere delen dus enigszins zout blijven of mogelijk een niet zo gunstige

uitgangssituatie hebben (bodem met reeds veel humusopbouw). Het getij heeft ook nog invloed op de indirecte effecten van verdroging. Via het principe van "overheight" heeft getij een dempend effect op de verlaging van het middenpeil. Omdat bij de B-varianten een lager middenpeil telkens samen gaat met een groter getijverschil, zijn de effecten door verdroging voor de varianten B1, B2 en B3 even hoog ingeschat in Tabel 17. Vanwege het grotere gebied dat onder invloed komt van getij, is bij de B-varianten wel een uitbreiding te verwachten van de zilte habitattypen H1310A en H1330B.

De droger gelegen habitattypen (H2130, H2160) zullen in de meeste varianten weinig indirecte effecten ondervinden, hoogstens van de relatief hogere waterstanden bij variant A3. Al met al heeft de variant A3 naar verwachting de grootste effecten, zowel in positieve zin, als in negatieve zin. Los van deze effecten is de verwachting dat de duindoornstruwelen geleidelijk zullen afnemen (door successie naar bos), de duinvalleien en kruipwilgstruwelen zullen afnemen (door voortgaande humusopbouw en verzuring, en geleidelijk overgaan in andere vormen van duinvalleien of andere graslanden), de groenknolorchis hierbij mee afneemt, en de noordse woelmuis zal afnemen door oprukkende, concurrerende aardmuizen en veldmuizen. De successie van duinvalleien en kruipwilgstruwelen zal mogelijk versneld worden bij gemiddeld lagere grondwaterstanden (B-varianten).

Tabel 17

Indicatie van indirect verlies (-) en winst (+) in areaal van de habitattypen en potentiële leefgebieden van noordse woelmuis en groenknolorchis door autonome ontwikkeling (tweede kolom) en, los daarvan, bij de verschillende varianten door veranderingen in de (zoet)waterstand. De effecten van de varianten in het jaar 2080 zijn weergegeven ten opzichte van de autonome ontwikkelingen. De ingeschatte veranderingen zijn weergegeven met één plus of min (relatief klein) of twee plussen of minnen (relatief groot). Ingeschatte marginale veranderingen of geen veranderingen zijn met een 0 weergegeven

Habitatype	Autonome	A0			A1		A3		B1		B2		B3
	Ontwikkeling	2030	2030	2080	2030	2080	2030	2080	2030	2080	2030	2080	2030
H1310A	0	0	0	0	++	+	+	+	+	+	+	+	+
H1310B	0	0	0	0	++	+	+	+	+	+	+	+	+
H1330B	-	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+
H2130A	0	0	0	0	--	0	0	0	0	0	0	0	0
H2160	--	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
H2170	Eerst +, later -	0	0	0	-	-	0?	-	0?	-	0?	-	-
H2190B	--*	0	0	0	--	-	-/0	-	-/0	-	-/0	-	-
H6430B	0 (+?)	0	0	0	0?	0?	0?	0?	0?	0?	0?	0?	0?
HS1340	--**	0	0	0	++	-	-/0	-	-/0	-	-/0	-	-
HS1903	-	0	0	0	--	-	-/0	-	-/0	-	-/0	-	-

* zal deels overgaan in nieuw habitatype H2190C (vochtige duinvalleien, ont kalkt) en/of H6230 (heischrale graslanden).

** vooral als gevolg van concurrentie met andere woelmuizen.

10 Discussie en conclusies

In deze studie zijn de ecologische effecten van een veranderd peilbeheer in het Grevelingenmeer onderzocht middels een aantal indicatoren die indicatief zijn voor het functioneren van het ecosysteem (Nolte et al., 2021). De indicatoren zijn afgeleid uit de resultaten van modelberekeningen die zijn uitgevoerd door Deltares voor een zestal varianten in het jaar 2030. Voor drie varianten is ook de situatie in 2080 (varianten A1, B1 en B2) onderzocht

Vergelijk waterstanden OD versus 3D model

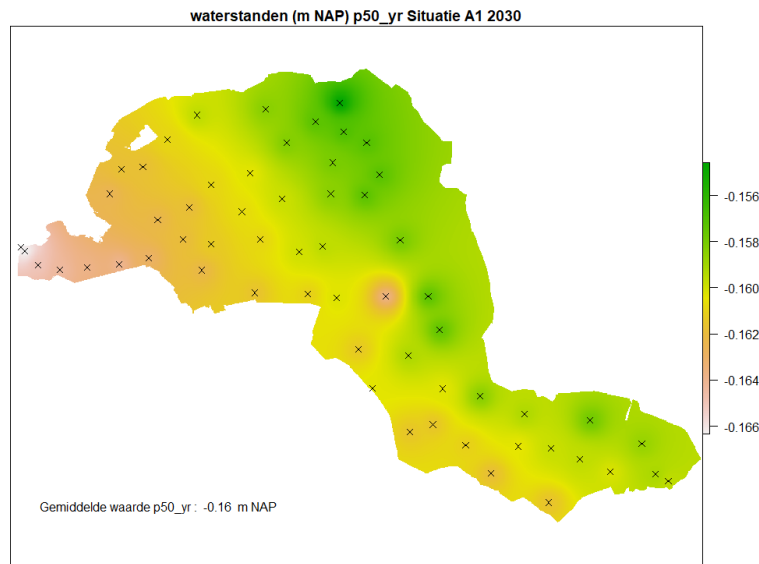
Door Deltares zijn de waterstanden berekend met een OD waterbalansmodel (Kleissen et al., 2022) en een 3D model (D-HYDRO, Van Der Heijden en Nolte, 2022). De berekeningen van de impact van de waterstanden zijn in voorliggende studie gebaseerd op de resultaten van het 3D (D-HYDRO) model (Van Der Heijden en Nolte, 2022). Dit is gedaan om rekening te houden met eventuele scheefstand van de waterstanden als gevolg van windopzet. De verschillen in (gemiddelde) mediane waterstanden tussen het OD waterbalansmodel en het 3D model zijn beperkt (Tabel 18). Voor de mediane waterstand varieert het verschil tussen 3.8 cm hogere en 1.2 cm lagere waterstanden in het OD model. Een analyse op basis van de waterstanden berekend met het OD model zouden daardoor in grote lijnen een gelijkwaardige inschatting geven van de effecten op de bovenwaternatuur als het 3D model.

Tabel 18

Gemiddelde en mediane waterstanden (m NAP) berekend door het OD model (in het modeljaar 2017) en de gemiddelde mediane waterstand van het 3D model (modeljaar 2017). De gemiddelde mediane waterstanden van het 3D model zijn gewogen naar de oppervlakten dan de gridcellen. In de laatste kolom staan de verschillen in mediane waterstanden (OD model – 3D model)

Situatie	OD model		3D model	Verskil
	Gemiddeld	Mediaan	Gem. mediaan	
A0 2030	-0.151	-0.120	-0.140	-0.020
A1 2030	-0.162	-0.148	-0.160	-0.012
A1 2080	-0.148	-0.124	-0.117	0.007
A3 2030	0.082	0.092	0.104	0.012
B1 2030	-0.230	-0.227	-0.265	-0.038
B1 2080	-0.190	-0.191	-0.208	-0.017
B2 2030	-0.282	-0.277	-0.292	-0.015
B2 2080	-0.238	-0.229	-0.254	-0.025
B3 2030	-0.343	-0.339	-0.355	-0.016

In de meeste gevallen is de gemiddelde waterstand in het OD model iets lager dan de mediane waterstand (Tabel 18). De verschillen tussen de mediane en de gemiddelde waterstand zijn veroorzaakt doordat de waterstanden niet-normaal zijn verdeeld en doordat bij de meeste situaties de waterstanden buiten het broedseizoen (die iets langer duurt) iets hoger liggen dan binnen het broedseizoen. Ook de effecten van windopzet zijn beperkt. In Figuur 48 is duidelijk te zien dat de mediane waterstanden bij de Slikken van Flakkee en in het oosten bij Battenoord weliswaar hoger zijn dan bij Scharendijke en de rest van de noordkust van Schouwen-Duiveland, echter de verschillen tussen de minimale en maximale waarde zijn slechts 1.2 cm en de overige percentielen laten gelijkwaardige patronen zien.

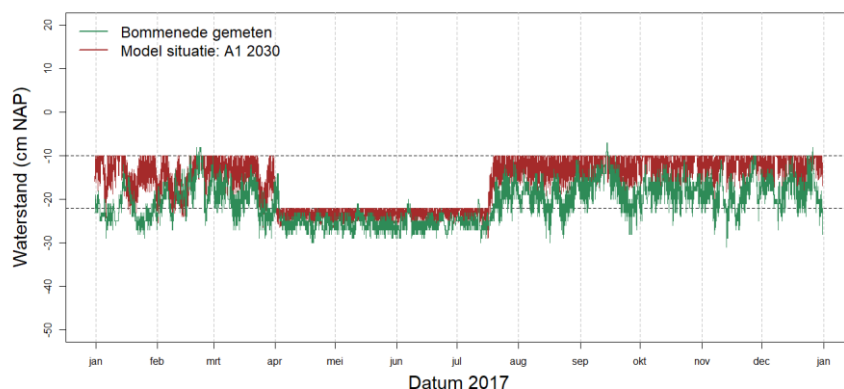


Figuur 48: Ruimtelijke verdeling van de mediane waterstand (m NAP) over het hele jaar voor de variant A1 in 2030. De kruisjes geven de monitoringslocaties die zijn gebruikt voor de interpolatie.

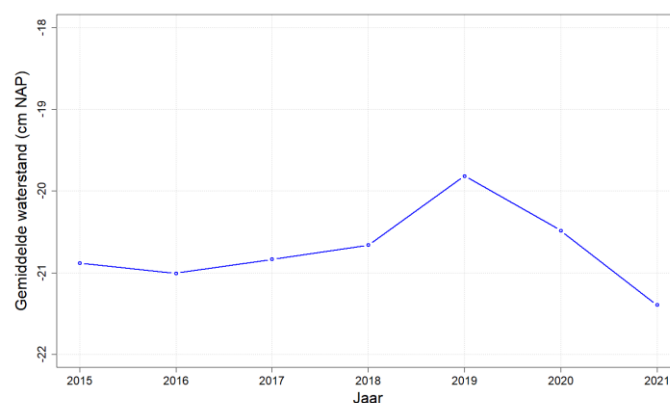
Bij de B-varianten is er sprake van een tweemaal-daags gedempt getij. Bij de varianten A0, A1 en A3 niet. Dit komt doordat er meer water kan worden in- en uitgelaten door het nieuwe doorlaatmiddel in combinatie met de Brouwerssluis en de Flakkeese spuisluis (Van Der Heijden en Nolte, 2022). De grotere getijamplitudes van de B-varianten leiden niet alleen tot grotere intergetijdengebieden die tweemaal-daags droogvallen maar ook tot lagere gemiddelde waterstanden die kunnen leiden tot een verlaging van de zoetwaterbel op de eilanden en de voormalige slikken. In de B1, B2 en B3 varianten zijn de gemiddelde mediane waterstanden in 2030 respectievelijk NAP -0.27 m, NAP -0.29 m en NAP -0.36 m. De gemiddelde mediane waterstanden in de situaties A0 2030, A1 2030 en A3 2030 zijn respectievelijk NAP -0.14 m, NAP -0.16 m en NAP +0.10 m (Tabel 18).

Gemodelleerde versus gemeten waterstanden

In de berekeningen van de waterstanden zijn als randvoorwaarden de weerscondities (o.a. windkracht en windrichting) en de gemeten waterstanden in de Voordelta en de Oosterschelde gebruikt uit het jaar 2017. De waterstanden in de Voordelta en Oosterschelde zijn daarbij gecorrigeerd voor de verwachte zeespiegelstijging in het jaar 2030 (Boeters, 2022b). De variant A1 in 2030 is te beschouwen als de "huidige" situatie, waarbij het huidig peilbeheer wordt gerealiseerd met behulp van de Flakkeese spuisluis en de Brouwerssluis. De waterstanden die met het 0D model zijn berekend voor de variant A1 in 2030 zijn vergeleken met de gemeten waterstanden bij Bommenede in het jaar 2017 (Figuur 49). In de figuur is te zien dat de gemeten waterstanden lager zijn dan de gemodelleerde waterstanden. Buiten het broedseizoen is de gemiddelde waterstand in de modelberekeningen NAP -0.13 m, terwijl de gemiddelde gemeten waterstand op NAP -0.19 m ligt. Gedurende het broedseizoen zijn de verschillen minder. De gemiddelde waterstand uit de modelberekeningen is dan NAP -0.23 m terwijl de gemiddelde gemeten waterstand dan NAP -0.26 m is. Over het hele jaar gezien is de gemiddelde waterstand in het model (NAP -0.16 m) ruim 4.5 cm hoger dan in de metingen (NAP -0.21 m). Deze gemeten gemiddelde waterstand in 2017 ligt in de buurt van het gemiddelde over de periode 2015 tot en met 2021 (Figuur 50).



Figuur 49: Gemodelleerde waterstanden (0D model) voor de variant A1 in 2030 (rood), samen met de gemeten waterstanden in 2017 (locatie Bommenede) voor het jaar 2017. De horizontale stippellijnen geven respectievelijk de waterstanden NAP -0.10 m en NAP -0.22 m aan.



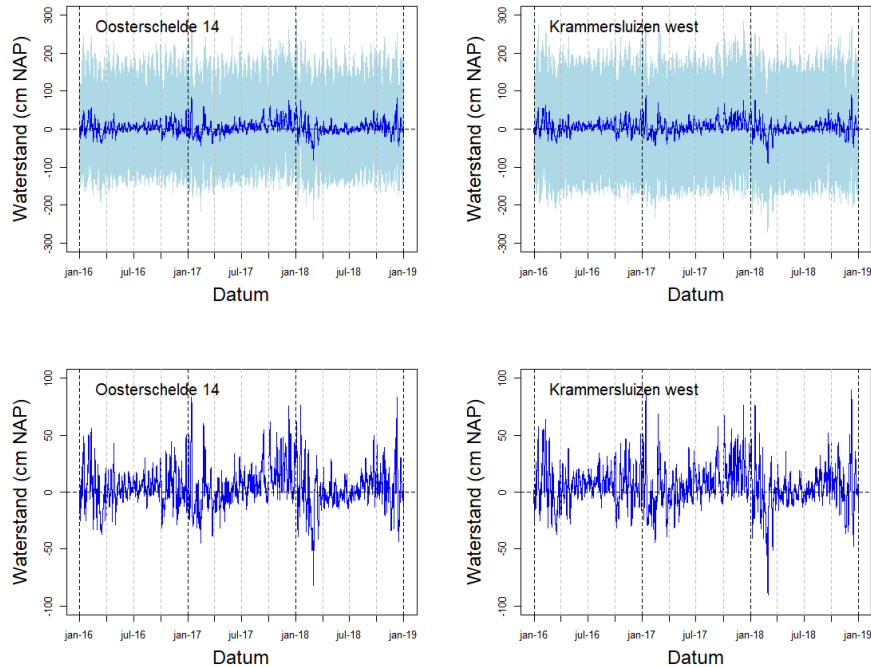
Figuur 50: Gemiddelde gemeten waterstanden (cm NAP) bij Bommenede over de jaren 2015 tot en met 2021 (gemiddeld NAP -0.21 m).

Een van de redenen voor de verschillen is dat er in de modelberekeningen is gestuurd op het maximale peil met zoveel mogelijk uitwisseling en minder op een middenpeil. In de praktijk wordt er wel gestuurd op een middenpeil van NAP -0.20 m buiten broedseizoenen en NAP -0.26 m tijdens broedseizoenen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013). De gemiddelde waterstanden voor de varianten A0 en A1 zijn hierdoor iets (ca. 4.5 cm) overschat door het model, wat zich mogelijk ook doorvertaalt naar de zoetwaterbel en daarmee de impact op de terrestrische habitattypen. Een kanttekening voor de vergelijking van deze tijdreeksen is dat de gemiddelde waterstanden op de Voordelta die gebruikt zijn voor het model niet hetzelfde zijn als ten tijde van de metingen (2017). Tijdens de metingen in 2017 was de gemiddelde waterstand op de Voordelta ongeveer NAP +0.03 m en voor 2030 (modelberekeningen) is de verwachte gemiddelde waterstand op de Voordelta ongeveer NAP +0.10 m (Boeters, 2022b) wat mogelijk effect heeft op de gemodelleerde waterstanden.

Jaarlijkse verschillen in waterstandfluctuaties

De analyses in voorliggende studie zijn gebaseerd op één modeljaar (2017). Voor de waterstanden in het Grevelingenmeer, in het bijzonder voor variant A3, zijn de gemeten waterstanden op de Noordzee en in de Oosterschelde sturend. De waterstanden op de Voordelta en in de Oosterschelde worden beïnvloed door de windrichting, kracht en duur. In Figuur 51 is te zien dat de gemiddelde waterstand (lopend gemiddelde over vier getijcycli, donker blauwe lijnen) fluctueert door het seizoen en over de jaren. De relatief lage waterstanden in februari bij variant A3 in 2030 (Figuur 58), en in mindere mate bij de andere varianten, worden veroorzaakt door de lage waterstanden op de Voordelta en in de Oosterschelde in het jaar 2017 (Figuur 51). De patronen van de waterstanden in het Grevelingenmeer

van variant A3 vertonen grote gelijkenis met de gemiddelde waterstanden in de Voordelta en Oosterschelde. Als de berekeningen zouden zijn uitgevoerd voor het jaar 2016 waren de lage waterstanden bij variant A3 in het eerste kwartaal niet opgetreden, en als er was gerekend met het jaar 2018 zouden de waterstanden nog lager zijn. Vooral het areaal geschikt broedgebied is bij variant A3 sterk afhankelijk van de gemiddelde waterstanden in de Voordelta en Oosterschelde en daarmee van het gekozen jaar.



Figuur 51: Gemeten waterstanden op de Voordelta (Oosterschelde 14) en de Oosterschelde (Krammersluizen west). In lichtblauw zijn de gemeten waterstanden (gemiddeld over 10 minuten). In donkerblauw het lopend gemiddelde over een periode van ± 12 uur en 50 minuten. In de onderste figuren is alleen de donkerblauwe lijn te zien, waarbij er is ingezoomd op de y-as. Bron: www.waterinfo.rws.nl.

Ecotooptype “regelmatig overstroomd” versus intergetijdengebied

Het ecotooptype “regelmatig overstroomd” kan voor de B-varianten worden beschouwd als een intergetijdengebied dat tweemaal-daags onder water komt te staan als gevolg van het getij met de kanttekening dat door het verschil in peilfluctuaties binnen en buiten het broedseizoen verschilt waardoor de droogvalperiode zal veranderen door het jaar. Bij de variant A3 is dit anders en zal het gebied niet tweemaal-daags onder water komen te staan. De perioden van droogvallen en inundatie zijn bij variant A3 veel langer en kunnen soms weken tot maanden zijn. Hoewel de fluctuaties extremer zijn bij variant A3, heeft het patroon overeenkomsten met de gemeten waterstanden in 2017 (Figuur 49). Door het onregelmatige karakter van de waterstanden zal de kwaliteit van dit ecotooptype voor bodemdieren bij variant A3 veel minder zijn dan bij de B-varianten. Als gevolg hiervan zal het ecotooptype ook een minder interessant gebied zijn voor foeragerende vogels.

Geschiktheid bodemdieren

Eén van de doelen van het nieuwe doorlaatmiddel is een verbetering van de waterkwaliteit en de onderwaternatuur in de ondiepe delen. Bodemdieren vormen een belangrijke schakel in het functioneren van de onderwaternatuur en zijn een goede indicator voor de waterkwaliteit. De indicatoren geschiktheid voor bodemetende- en filtrerende bodemdieren laten beperkte verschillen zien tussen de situaties die in voorliggende studie zijn doorgerekend. Dit komt doordat bij de varianten B1 en B2, waarbij er meer water wordt uitgewisseld met de Noordzee en de Oosterschelde (Van Der Heijden en Nolte, 2022), de voedselsituatie weliswaar verbetert, maar de zuurstofcondities verslechteren. Bij de variant met de grootste getijslag (B3) lijkt de uitwisseling weer voldoende te zijn om de zuurstofcondities weer te verbeteren. De verbetering van de voedselsituatie is het gevolg van

de import van organisch materiaal (algen en detritus) en nutriënten waardoor de primaire productie in het Grevelingenmeer toeneemt. Dit leidt volgens Van Der Heijden en Nolte (2022) tot hogere algenconcentraties (positief voor filtrerende bodemdieren) en een grotere flux van detritus naar de bodem (positief voor bodemetende bodemdieren). De toename in stroomsnelheden zijn maar beperkt en hebben beperkt effect op de verbetering van de voedselsituatie voor filtrerende bodemdieren. De verhoogde productiviteit in het Grevelingenmeer bij de B-varianten leidt echter ook tot een grotere zuurstofvraag, terwijl de toename in verversing en/of verticale menging bij variant B1 en B2 nog onvoldoende is om de zuurstofcondities te verbeteren (Van Der Heijden en Nolte, 2022). Het netto effect hiervan is dat de zuurstof-variabelen die gebruikt worden om de geschiktheid van filtrerende en bodemetende bodemdieren te berekenen ($O2_{zr}$, $O2_{5cm}$ en $O2_{mx_d}$) allemaal leiden tot een verslechtering. Bij 40 cm getij (variant B3) lijkt de uitwisseling voldoende te zijn om de zuurstofcondities te verbeteren. Doordat de overall geschiktheid wordt berekend uit het gemiddelde van de partiële geschiktheden van voedsel (verbetering in B1 variant) en zuurstof (verslechtering bij B1 variant) is het netto effect beperkt. Lokaal zijn er wel gebieden waar de verbetering groter is dan elders, zoals het oostelijk deel van de Grevelingen en gebieden waar er verslechtering optreedt, zoals de diepere geulen (zie Bijlage 6).

Voor de berekening van de (partiële) geschiktheidsindices voor bodemetende en filtrerende bodemdieren ($GI_{FF,X_{ji}}$ en $GI_{DF,X_{ji}}$) zijn eenvoudige rekenregels opgesteld die geldig zijn voor het domein $[X_{j,min}; X_{j,max}]$ van de waarden die voorkomen in de modelberekeningen (zie Figuur 24 en Figuur 25). Van belang hierbij is dat een waarde van 0 niet betekent dat dit ongeschikt is, maar dat het de minst geschikte situatie is wat betreft variabele X_j binnen alle voorkomende waarden in de modelberekeningen. Omgekeerd geldt ook dat een waarde van 1 niet betekent dat de geschiktheid optimaal is. Voor stroomsnelheid bijvoorbeeld is gesteld dat de partiële geschiktheid voor filtrerende bodemdieren boven 0.06 m s^{-1} de waarde van 1 heeft (Figuur 26). Het is aannemelijk dat de geschiktheid verder toe zal nemen bij stroomsnelheden boven 0.06 m s^{-1} . De waarde van 1 geeft aan dat de ca. 10% van de waarden uit de modelberekeningen die groter zijn dan 0.06 m s^{-1} (Figuur 25) het meest geschikt zijn wat betreft de stroomsnelheid. In de berekening van de overall geschiktheid (GI_{FF} en GI_{DF}) wordt geen weging toegepast. Alle partiële geschiktheden, inclusief de partiële geschiktheden voor de zuurstofconcentraties en de maximale periode van zuurstofarme condities, worden even zwaar meegewogen.

Voor de berekening van de geschiktheidsindicatoren voor filtrerende en bodemetende bodemdieren is gebruik gemaakt van respectievelijk vier ($O2_{zr}$, $O2_{mx_d}$ en $pripro$) en twee (flx_{det} en $O2_{5cm}$) variabelen die door het waterkwaliteitsmodel van Deltares zijn berekend. Het is bekend dat de leefomgeving van bodemdieren wordt bepaald door veel meer dan de variabelen die zijn meegenomen in deze studie. Een aantal belangrijke factoren zijn de aanwezigheid van substraat, sedimentsamenstelling, diepte, zoutgehalte, toxicanten en de watertemperatuur. Het is niet te verwachten dat de verschillende varianten een wezenlijk effect zullen hebben op deze factoren en daarom zijn deze factoren niet meegenomen in deze studie. Invloed van biotische factoren zoals concurrerende soorten en predatoren, bijvoorbeeld vis en vogels, zijn ook niet meegenomen omdat de verschillen tussen de varianten moeilijk zijn te voorspellen vanuit de modelberekeningen. De factoren die wel zijn gebruikt ($O2_{zr}$, $O2_{mx_d}$, $pripro$, flx_{det} en $O2_{5cm}$) zijn indicatief voor de voedselsituatie en de zuurstofcondities voor filtrerende en bodemetende bodemdieren, zijn te voorspellen met de modellen en hebben verschillende uitkomsten voor de varianten.

De geschiktheden voor filtrerende en bodemetende bodemdieren zijn indicatoren voor de situatie nabij de bodem en zijn dus niet *per se* representatief voor de situatie in de waterkolom. In het Grevelingenmeer worden sinds een aantal jaren met succes mosselen gekweekt in de nabijheid van de Brouwerssluis. Deze mosselen worden echter in de waterkolom gekweekt, waar voldoende zuurstof aanwezig is en door de aanvoer van algen vanuit de Noordzee is er ook voldoende voedsel aanwezig.

De berekende potentiële geschiktheidsindices zijn een indicator voor de te verwachten veranderingen in totale biomassa van de beide groepen en daardoor bruikbaar voor een eventuele doorvertaling verder in het voedselweb. De ontwikkeling van specifieke soorten of soortendiversiteit kunnen ook van belang zijn voor de "kwaliteit" van een ecosysteem, maar daarvoor zijn de indices niet ontwikkeld. De rekenregels die zijn ontwikkeld om de potentiële geschiktheden te bepalen zijn niet eerder gebruikt in

eerdere studies en het zou goed zijn om in een vervolgonderzoek de resultaten te valideren met beschikbare monitoringsgegevens.

Effecten op vogels en zeezoogdieren

Het verschil tussen de varianten A1 en A0 is zo gering dat er geen wezenlijke verschillen in de vogelstand worden ingeschat tussen deze varianten. Variant A3 heeft grote effecten voor de vogels, met name op de kustbroedvogels (viseters en benthoseters) die vrijwel al hun broedplaatsen zien verdwijnen door de grote en onvoorspelbare verschillen in waterstanden. Hun aantallen worden gedecimeerd en nieuw terrein zal nauwelijks beschikbaar komen. Daarmee zullen enkele van deze soorten ook verdwijnen als niet-broedvogel uit het Grevelingenmeer. De opportunistische benthosetende vogels kunnen soms periodes profiteren wanneer voedsel beschikbaar komt op tijdelijk droogvallende slikken. De varianten met een nieuw doorlaatmiddel (B1, B2 en B3) voorzien in stabielere situaties voor kustbroedvogels, waarvan de aantallen dan ook weinig zullen reageren op de peilverandering. Er is hierbij nog geen rekening gehouden met een eventuele adaptatie in het peilbeheer vanwege de zeespiegelstijging. Benthosetende broedvogels zullen profiteren van een verhoogd voedselaanbod als gevolg van de verhoogde productiviteit. Voor de meeste benthoseters onder de niet-broedvogels komen er met een toegenomen getijslag aanzienlijke oppervlakten potentieel foerageergebied bij. Bij de meeste soorten is er in de varianten met meer getij (B1, B2 en B3) dan ook sprake van een toename, al neemt deze weer wat af in de periode tot 2080. Voor enkele soorten is het positieve effect afwezig en/of speelt een internationale negatieve trend een dominante rol.

Bij de viseters is er van de varianten met het nieuwe doorlaatmiddel (B1, B2 en B3) een licht positief effect te verwachten door een toenemende visstand in de waterkolom. De regionale en internationale negatieve trends zijn in enkele gevallen echter van groter belang. Voor de meeste planteneters zullen de effecten van veranderd peilbeheer weinig effect sorteren. Meerkoet en bergeend profiteren wel van verhoogde voedselbeschikbaarheid in de vorm van droogvallende wieren. Andere planteneters volgen vooral internationale trends.

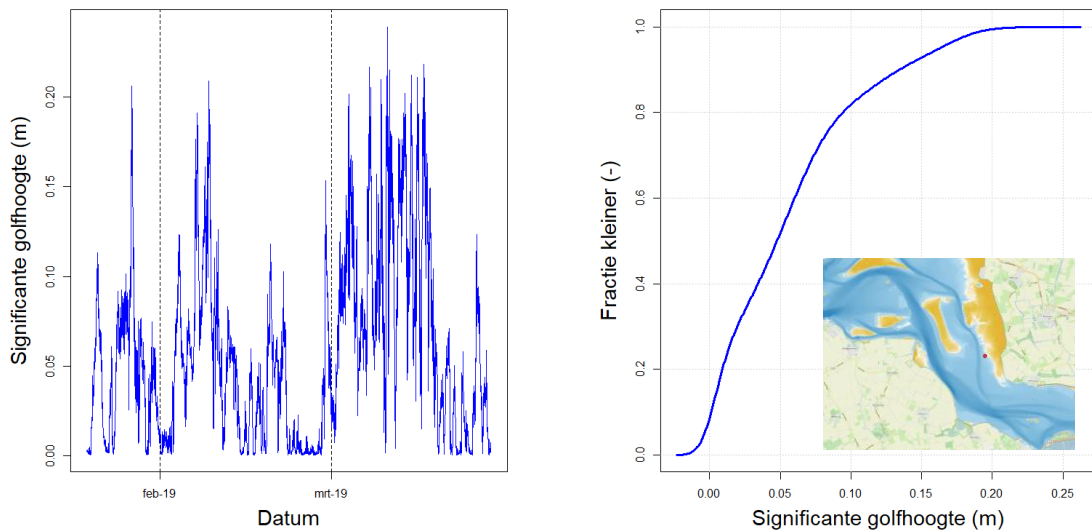
Voor zeehonden wordt weinig effect verwacht van de varianten B1, B2 en B3. Mogelijk zal er sprake zijn van een beperkte toename door een hoger visaanbod. De variant A3 kan een negatief effect hebben op de gewone zeehond omdat de vooroevers die de zeehonden gebruiken als ligplaatsen om uit te rusten en hun jongen te zogen onregelmatig voor langere tijd overspoelen.

Effecten op habitattypen en -soorten

De varianten A0 (2030), A1 (2030 en 2080), B1 (2030 en 2080), B2 (2030 en 2080) en B3 (2030) vertonen weinig verschillen als het gaat om de (directe) effecten van de veranderde waterstanden op de ecotopen en habitattypen. Dit komt doordat bij deze situaties de opgelegde maximale waterstanden min of meer gelijk zijn (ca. NAP -0.10 m buiten het broedseizoen en ca. NAP -0.22 m tijdens het broedseizoen). De verschillen tussen deze varianten zoals weergegeven in Tabel 16 zijn meer het gevolg van de gekozen modelaanpak dan dat het werkelijke verschillen zijn. Dit geldt niet voor de variant A3 die vanwege de hoge waterstanden wel degelijk leidt tot een grotere directe impact op de habitattypen en het areaal geschikt broedgebied voor vogels. Mogelijk zullen er in de toekomst, als gevolg van de zeespiegelstijging, adaptatiestappen moeten worden genomen in het peilbeheer van de B-varianten (B1, B2 en B3) (Tabel 4) om voldoende uitwisseling met de Noordzee en de Oosterschelde te behouden. In dat geval zal de directe impact als gevolg van overspoeling toenemen, met name voor de laaggelegen habitattypen. De effecten van deze adaptatiestappen zijn in de huidige studie niet meegenomen.

De directe impact op de Natura 2000 habitattypen gaat uit van de gemodelleerde waterstanden waarbij golven niet zijn meegenomen. Als gevolg van golven kunnen habitattypen die hoger liggen dan de gemodelleerde waterstand toch overspoeld worden met zout water. De relatief hoge ligging van het habitatype zilte pionierbegroeiingen (zeekraal) (H1310A) (Figuur 7) aan de geëxponeerde zijde van de Slikken van Flakkee kan hier een gevolg van zijn. De golfhoogte is afhankelijk van factoren als de windsnelheid, windrichting, strijklengte, bodemprofiel en aanwezigheid van vooroeververdedigingen. In het Grevelingenmeer komen golven met een significante golfhoogte van

10 – 20 cm regelmatig voor (Figuur 52). Een significante golfhoogte van 20 cm houdt in dat het water ongeveer 10 cm hoger komt dan de gemodelleerde waterstand.



Figuur 52: Metingen van de significante golfhoogten op een locatie aan de zuidzijde van de Slikken van Flakkee (rode stip op het kaartje) tussen 20 januari en 27 maart 2019 met een meetfrequentie van 15 minuten. In de rechterfiguur de cumulatieve verdeling van de meetwaarden. Data NIOZ, verzameld in het kader van het project "Spelen met Stroom(ing)".

De indirecte effecten van de veranderde waterstanden op de habitattypen zijn gebaseerd op expert inschatting waarbij vooral gekeken is naar de verandering in de zoetwaterbel als gevolg van het veranderende middenpeil en de mogelijkheden van opschuiving van habitattypen. Het effect van zoutspray is niet meegenomen omdat het verwaarloosbaar is. De variant A3, maar ook de B-varianten hebben een positief effect op de zilte habitattypen (H1310A, H1310B en H1330B). Voor de habitatsoorten en -typen van zoete, natte, lage begroeiingen (H2170, H2190B, groenknolorchis) en de duingraslanden (H2130) zit de hoger opgaande begroeiing (duindoorn, wilg) het opschuiven deels in de weg.

11 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

- Arts, F.A. en M.S.J. Hoekstein (2015). Watervogels in het Veerse Meer: habitatgebruik en trends. Delta Project Management. Rapport nummer: 2015-01. 54 paginas.
- Arts, F.A., M.S.J. Hoekstein en M. Sluijter (2019). Analyse en prognose trends vogels en zeehonden Grevelingenmeer. Delta ProjectManagement, Vlissingen. Rapport nummer: 2019-06. 75 paginas.
- Aurelie, F., J. Cyrielle, L. Margaux, G. Chloé, D. Nicolas en V. Sandrine (2020). Updated biological traits' scoring and protection status to calculate sensitivity to trawling on mega-epibenthic fauna.*in* SEANOE, editor.
- Babarro, J.M.F. en A. De Zwaan (2002). Influence of abiotic factors on bacterial proliferation and anoxic survival of the sea mussel *Mytilus edulis* L. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 273:33-49.
- Baker, S.M. en R. Mann (1992). Effects of Hypoxia and Anoxia on Larval Settlement, Juvenile Growth, and Juvenile Survival of the Oyster *Crassostrea virginica*. Biological Bulletin 182:265-269.
- Barillé, L., B. Cognie, P.G. Beninger, P. Decottignies en Y. Rincé (2006). Feeding responses of the gastropod *Crepidula fornicata* to changes in seston concentration. Marine Ecology Progress Series 322:169-178.
- Boeters, R. (2022a). Getij Grevelingen. Resultaten 0D-berekeningen: waterstanden, getij en adaptatiestappen. 17 paginas.
- Boeters, R. (2022b). Nota zeespiegelstijging scenario's KNMI 2014 G, W en o.b.v. actueel gemeten zeespiegelstijging; Zeespiegelstijging 2030 - 2080. 6 paginas.
- De Zwaan, A. en T.C.M. Wijsman (1976). Anaerobic metabolism in bivalvia (Mollusca). Characteristics of anaerobic metabolism. Comparative Biochemistry and Physiology 54B:313-324.
- Forbes, T.L. en G.R. Lopez (1990). The effect of food concentration, body size, and environmental oxygen tension on the growth of the deposit-feeding polychaete, *Capitella* species 1. Limnology and Oceanography 35:1535-1544.
- Gittenberger, A. en W.M.G.M. Van Loon (2013). Sensitivities of marine macrozoobenthos to environmental pressures in the Netherlands. Nederlandse Faunistische Mededelingen 41:79-111.
- Gogina, M., A. Darr en M. Zettler (2014). Approach to assess consequences of hypoxia disturbance events for benthic ecosystem functioning.
- Hoekstein, M.S.J. (2022). Prognose autonome trends vogels en zeehonden Grevelingenmeer tot 2080. Deltamilieu projecten.
- Hoekstein, M.S.J., M. Sluijter en K.D. Van Straalen (2022). Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta 2020/2021. Rapport nummer: BM 22.02. 144 paginas.
- Kanaya, G., Y. Nakamura en T. Koizumi (2018). Ecological thresholds of hypoxia and sedimentary H₂S in coastal soft-bottom habitats: A macroinvertebrate-based assessment. Marine Environmental Research 136:27-37.
- Kersey Sturdivant, K., M. Perchik, R.W. Brill en P.G. Bushnell (2015). Metabolic responses of the Nereid polychaete, *Alitta succinea*, to hypoxia at two different temperatures. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 473:161-168.
- Kleissen, F.M., A.J. Nolte en M. Maarse (2022). Optimalisatie Getij Grevelingen peilbeheerscenario's met het 0D waterbalansmodel. 69 paginas.
- Li, Q., F. Zhang en S. Sun (2022). The survival and responses of blue mussel *Mytilus edulis* to 16-day sustained hypoxia stress. Marine Environmental Research 176: 105601.
- Lopez, G.R. en J.S. Levinton (1987). Ecology of deposit-feeding animals in marine sediments. Quarterly Review of Biology 62:235-260.
- Lopez, G.R. en J.S. Levinton (2011). Particulate organic detritus and detritus feeders in coastal food webs. Treatise on Estuarine and Coastal Science 6:5-11.
- Maarse, M.J., A.J. Nolte, F.M. Kleissen en B.P.J. Becker (2019). Optimalisatie van peilbeheer Getij Grevelingen door aansturing van het doorlaatmiddel in de Brouwersdam. Deltares. 29 paginas.
- Meng, J., T. Wang, L. Li en G. Zhang (2018). Inducible variation in anaerobic energy metabolism reflects hypoxia tolerance across the intertidal and subtidal distribution of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). Marine Environmental Research 138:135-143.
- Ministerie LNV (2018). Ontwerp-wijzigingsbesluit Habitatrictlijngebieden vanwege aanwezige waarden. 329 paginas.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2013). Peilbelsluit Grevelingenmeer. 6 paginas.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016). Natura 2000 Deltawateren. Beheerplan 2016-2022. 105 paginas.

-
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu | Rijkswaterstaat (2016). Natura 2000 Deltawateren Beheerplan Grevelingen 2016-2022. 82 paginas.
- Ministerie van LNV (2008). <https://www.natura2000.nl/profielen/habitattypen>.
- 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.
- Murillo, F.J., B. Weigel, M.B. Marmen en E. Kenchington (2019). Marine epibenthic functional diversity on Flemish Cap (north-west Atlantic)—Identifying trait responses to the environment and mapping ecosystem functions. *Biodiversity Research* 26:460-478.
- Nielsen, P. (1999). Groundwater dynamics and salinity in coastal barriers. *Journal of Coastal Research* 15.
- Nienhuis, P.H. (1978). De Grevelingen, een afgesloten zeearm. Een overzicht van 10 jaar aquatisch oecologisch onderzoek. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke. Rapport nummer: 1978-3.
- 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.
- Paulus, P. (2022). Nota definitie peilbeheerscenario's. 12 paginas.
- Pörtner, H.-O. (2014). How and how not to investigate the oxygen and capacity limitation of thermal tolerance (OCLTT) and aerobic scope – remarks on the article by Gräns et al. *Journal of Experimental Biology* 217:4432-4435.
- Prins, T.C., A.C. Smaal en A. Pouwer (1991). Selective ingestion of phytoplankton by the bivalves *Mytilus edulis* L. and *Cerastoderma edule* (L.). *Hydrobiological Bulletin* 25:93-100.
- Rehfish, M.M. en H.Q.P. Crick (2003). Predicting the impact of climatic change on Arctic-breeding waders. *Wader Study Group Bull.* 100:86-95.
- Shojaei, M. (2016). Developments in German Bight benthic ecology driven by climate change and anthropogenic utilization, 151 pp.
- Slager, H. en J. Visser (1990). Abiotische kenmerken van drooggevallen gebieden in de Grevelingen. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat. 78 paginas.
- Smaal, A.C. en J.W.M. Wijsman (2015). Minimum zuurstofgehalte voor bodemdieren in het Grevelingenmeer. IMARES. Rapport nummer: C022/15. 21 paginas.
- Steckbauer, A., C.M. Duarte, J. Carstensen, R. Vaquer-Sunyer en D.J. Conley (2011). Ecosystem impacts of hypoxia: thresholds of hypoxia and pathways to recovery. *Environmental Research Letters* 6:12pp.
- Tangelder, M., A.J. Nolte, I.M. Mulder, J.W.M. Wijsman, J.A.M. Janssen en T.J.W. Ysebaert (2021). Grevelingen: van zout meer naar gedempt getij. Ontwikkeling van macrobenthos en inschatting gevolgen van gedempt getij. *Landschap* 2021:49-57.
- Tangelder, M., J.W.M. Wijsman, J. Janssen, A.J. Nolte, B. Walles en T. Ysebaert (2018). Scenariostudie natuurspectief Grevelingenmeer. Wageningen Marine Research. Rapport nummer: C021/18. 164 paginas.
- Tangelder, M., T. Ysebaert, J.W.M. Wijsman, J. Janssen, I. Mulder, A.J. Nolte, W. Stolte, N. Van Rooijen en L. Van den Bogaart (2019). Ecologisch onderzoek getij Grevelingen. Onderzoek naar de historische ontwikkeling van het watersysteem en inschatting van de autonome ontwikkeling vergeleken met getijscenari'o's en effecten op Natura 2000-soorten en habitats bij gedempt getij. Wageningen Marine Research. 230 paginas.
- Ten Cate, M., P.M.J. Herman, R. Jorissen, A.J. Nolte, N. Nijhuis en K. Oostermeijer (2021). Werkdocument Advies Getij Grevelingen. Nadere toelichting en onderbouwing Advies Getij Grevelingen. 57 paginas.
- Terlouw, S. en C. Lammerts (2021). Op weg naar de veerkrachtige delta van de toekomst. Natuurwinststrategie deltanatuur. Casus Grevelingen. 53 paginas.
- Törnroos, A., E. Bonsdorff, J. Bremner, M. Blomqvist, A.B. Josefson, C. Garcia en J. Warzocha (2015). Marine benthic ecological functioning over decreasing taxonomic richness. *Journal of Sea Research* 98:49-56.
- Troost, K. (2009). Pacific oysters in Dutch estuaries: Causes of success and consequences for native bivalves. University of Groningen, 255 pp.
- Troost, K., M. Van Asch, D. Van den Ende, Y. Van Es, K.J. Perdon, J. Van der Pool, W. Suykerbuyk, C. Van Zweeden en J. Van Zwol (2022). Schelpdierbestanden in de Nederlandse Kustzone, Waddenzee en zoute deltatwateren in 2021. Stichting Wageningen Research, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO). 92 paginas.
- Troost, T.A., J.W.M. Wijsman, S. Saraiva en V. Freitas (2010). Modelling shellfish growth with Dynamic Energy Budget models: an application for cockles and mussels in the Oosterschelde (SW Netherlands). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 365:3567-3577.

- Van den Bogaart, L., M. Van Asch, W. Suykerbuyk en K. Troost (2021). Metingen aan kokkelsterfte in de Oosterschelde in de zomer van 2019 en 2020. Wageningen Marine Research. Rapport nummer: C036/21. 28 paginas.
- 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 der Pool, J., K. Troost, M. Van Asch, C. Van Zweeden, J. Van Zwol en D. Van den Ende (2020). Schelpdieren in het Veerse meer en Grevelingenmeer in 2019. Centrum voor Visserijonderzoek (CVO). Rapport nummer: 19.023. 34 paginas.
- Van Donk, S.C., I. Tulp en M. Tangelder (2021). Ecologie van ondiepe oevers in zoute meren en baaien. Een quickscan van de ecologie van de ondiepe oevers in het Grevelingenmeer nu en bij gedempt getij. Wageningen Marine Research. Rapport nummer: C023/21. 43 paginas.
- Vaquer-Sunyer, R. en C.M. Duarte (2008). Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. PNAS 105:15452-15457.
- Wang, W.X. en J. Widdows (1991). Physiological responses of mussel larvae *Mytilus edulis* to environmental hypoxia and anoxia. Marine Ecology Progress Series 70:223-236.
- Wijsman, J.W.M., A. Gool en J. Van der Pool (2017). Monitoring mosselgroei Flakkeese spuisluis. Resultaten T₁ bemonstering 2017. Wageningen Marine Research, Yerseke. Rapport nummer: C106/17. 30 paginas.
- Wijsman, J.W.M., P.C. Goudswaard, M.J.J. Kotterman en A.C. Smaal (2014). Quick scan: Effecten zout getij Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer op visserij en aquacultuur. IMARES. Rapport nummer: C013/14. 52 paginas.
- Wijsman, J.W.M. en H. Jansen (2020). Draagkracht voor schelpdieren. Wageningen Marine Research.
- Wijsman, J.W.M. en A.C. Smaal (2011). Growth of cockles (*Cerastoderma edule*) in the Oosterschelde described by a Dynamic Energy Budget model. Journal of Sea Research 66:372-380.
- Wrede, A., J. Beermann, J. Dannheim, L. Gutow en T. Brey (2018). Organism functional traits and ecosystem supporting services – A novel approach to predict bioirrigation. Ecological Indicators 91:737-743.

Verantwoording

Rapport C066/22A
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. R.G. Jak
Marien ecoloog

Handtekening:



Datum: 17/11/2022

Akkoord: Dr. Ir. T.P. Bult
Director

Handtekening:



Datum: 17/11/2022

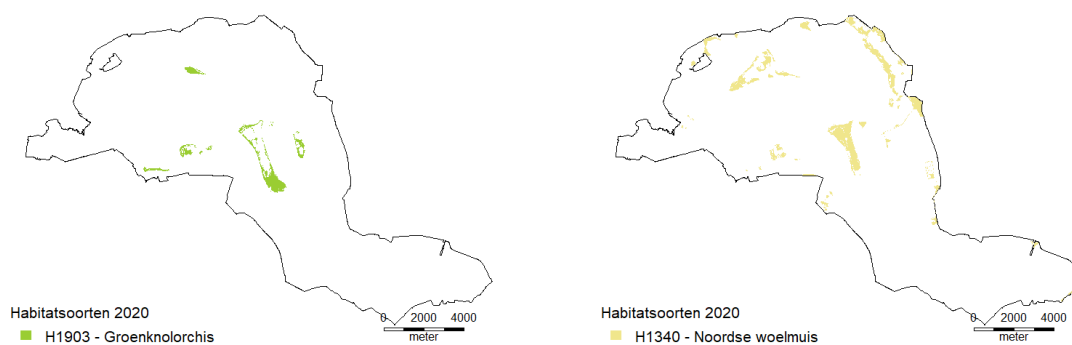
Bijlage 1 Natura 2000 Habitattypen en soorten 2020



Figuur 53: Verspreiding habitattypen H1310A - Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal); H1310B - Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuur); H1330B - Schorren en zilte graslanden (binnendijks); H2130A - Grijs duinen (kalkrijk); H2160 - Duindoornstruwelen; H2170 - Kruipwilgstruwelen op habitatkaart 2020.

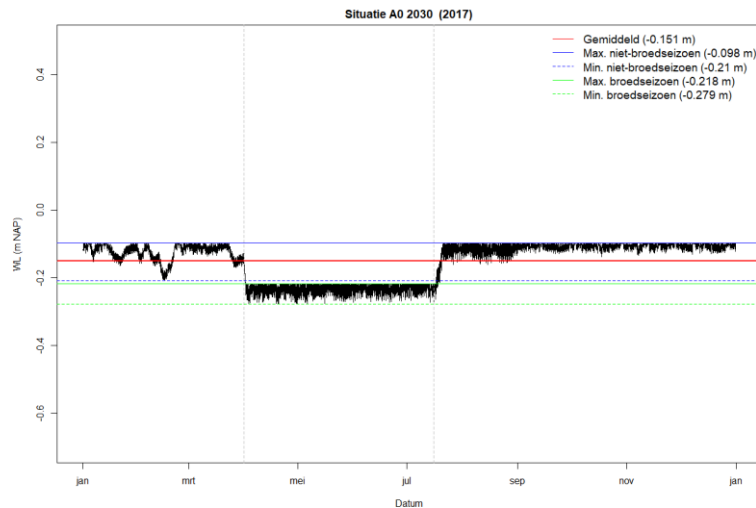


Figuur 54: Verspreiding habitattypen H2190B - Vochtige duinvalleien (kalkrijk) en H6430B - Ruigten en zomen (harig wilgenroosje) op habitatkaart 2020.

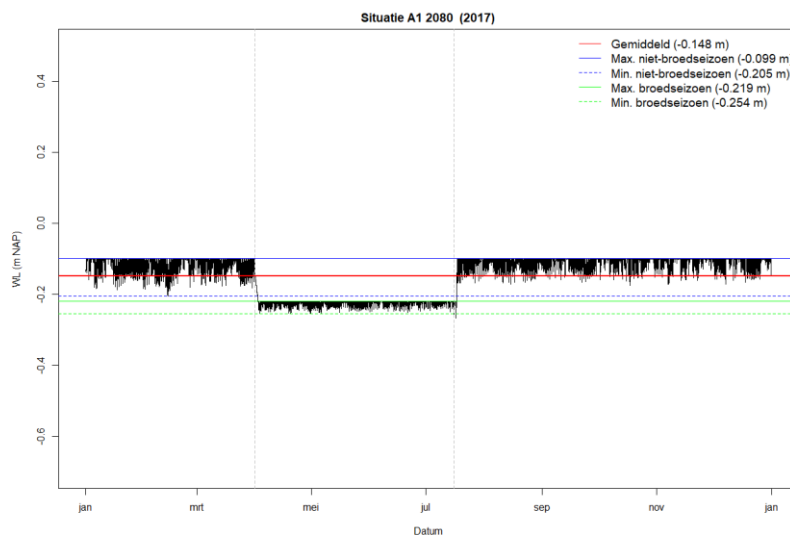


Figuur 55: Verspreiding potentieel leefgebied habitatsoorten HS1903 - groenknolorchis en HS1340 - noordse woelmuis op habitatkaart 2020.

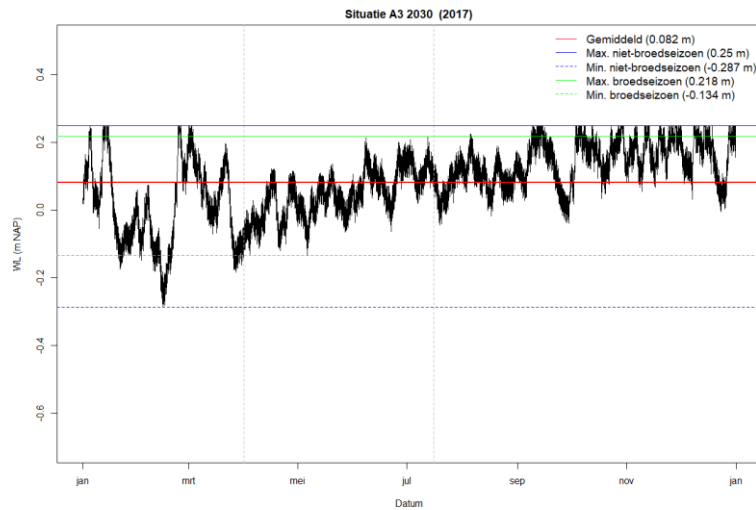
Bijlage 2 Berekende waterstanden 0D model



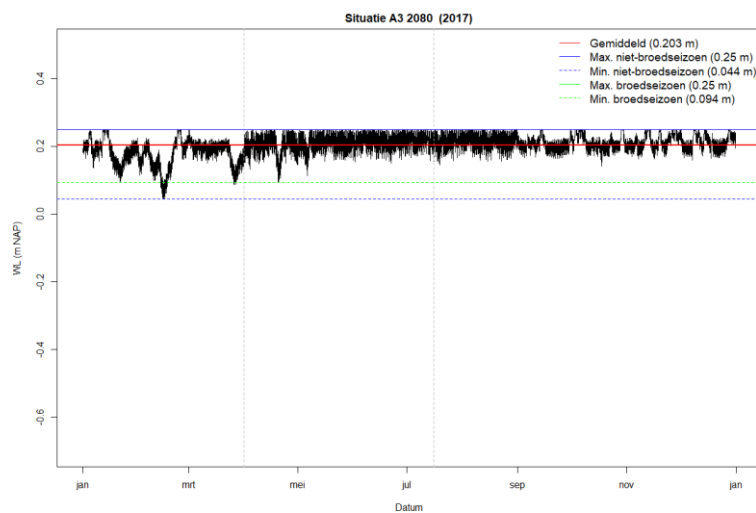
Figuur 56: Berekende (0D) waterstandfluctuaties in het Grevelingenmeer voor de variant A0 in het jaar 2030. De rode lijn geeft de overall gemiddelde waterstand. Tevens zijn de maximale en minimale waterstanden buiten (blauwe lijnen) en tijdens (groene lijnen) het broedseizoen weergegeven, waarbij het broedseizoen loopt van 1 april tot en met 15 juli.



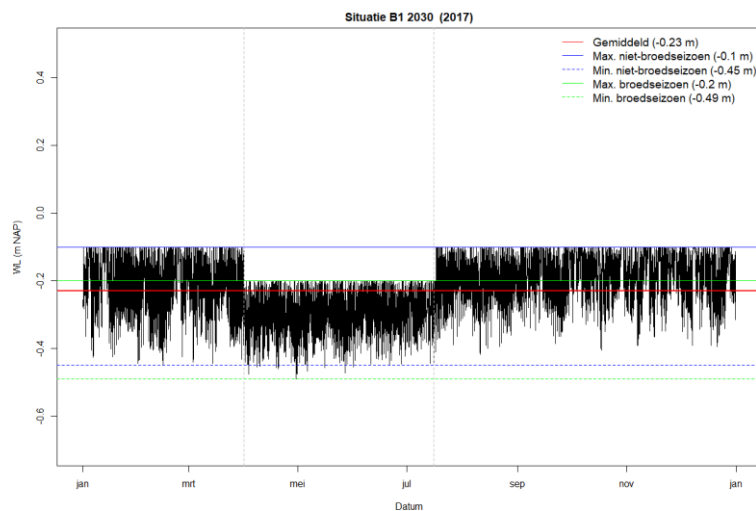
Figuur 57: Berekende (0D) waterstandfluctuaties in het Grevelingenmeer voor de variant A1 in het jaar 2080. De rode lijn geeft de overall gemiddelde waterstand. Tevens zijn de maximale en minimale waterstanden buiten (blauwe lijnen) en tijdens (groene lijnen) het broedseizoen weergegeven, waarbij het broedseizoen loopt van 1 april tot en met 15 juli.



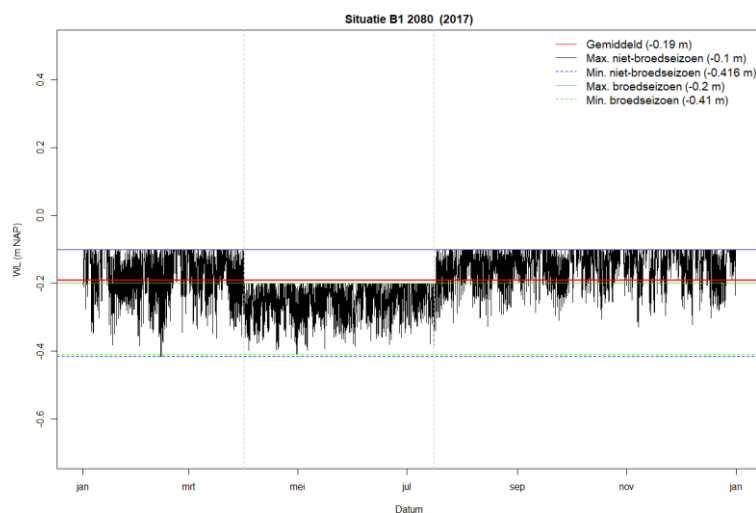
Figuur 58: Berekende (0D) waterstandfluctuaties in het Grevelingenmeer voor de variant A3 in het jaar 2030. De rode lijn geeft de overall gemiddelde waterstand. Tevens zijn de maximale en minimale waterstanden buiten (blauwe lijnen) en tijdens (groene lijnen) het broedseizoen weergegeven, waarbij het broedseizoen loopt van 1 april tot en met 15 juli.



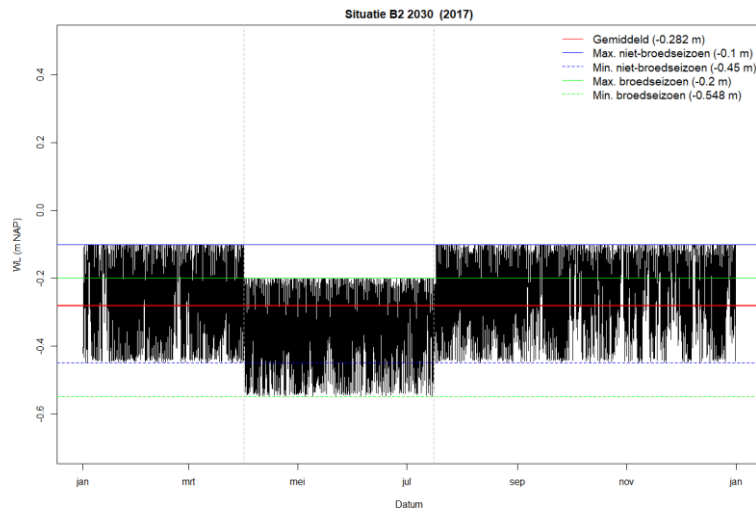
Figuur 59: Berekende (0D) waterstandfluctuaties in het Grevelingenmeer voor de variant A3 in het jaar 2080. De rode lijn geeft de overall gemiddelde waterstand. Tevens zijn de maximale en minimale waterstanden buiten (blauwe lijnen) en tijdens (groene lijnen) het broedseizoen weergegeven, waarbij het broedseizoen loopt van 1 april tot en met 15 juli.



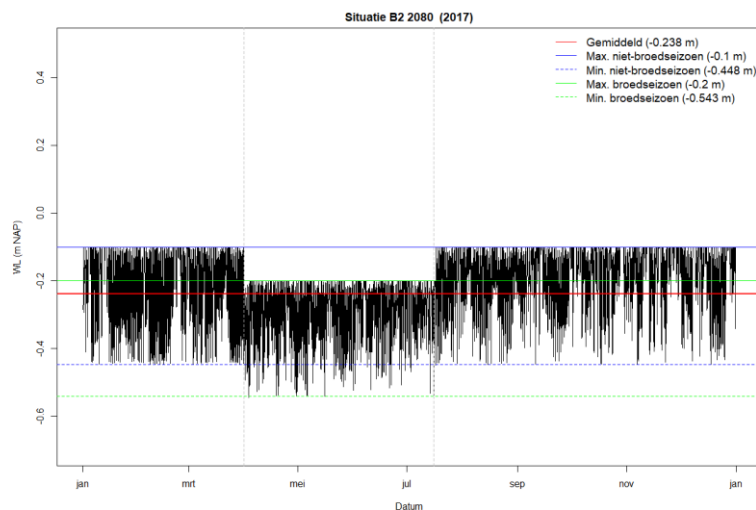
Figuur 60: Berekende (0D) waterstandfluctuaties in het Grevelingenmeer voor de variant B1 in het jaar 2030. De rode lijn geeft de overall gemiddelde waterstand. Tevens zijn de maximale en minimale waterstanden buiten (blauwe lijnen) en tijdens (groene lijnen) het broedseizoen weergegeven, waarbij het broedseizoen loopt van 1 april tot en met 15 juli.



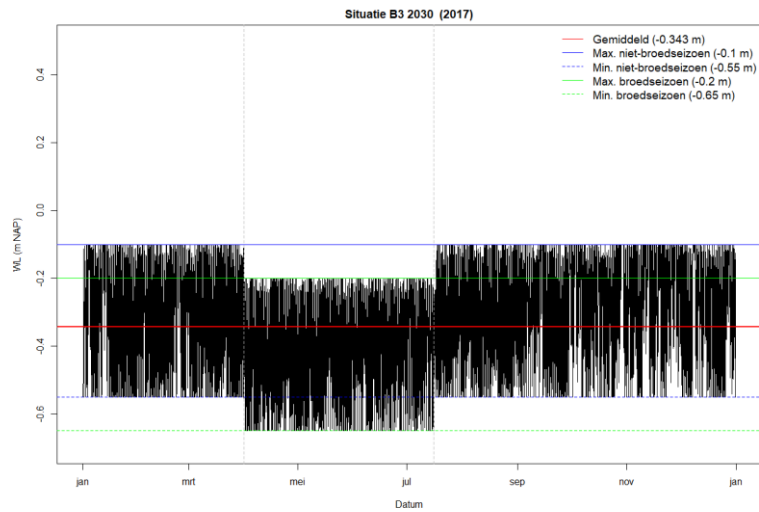
Figuur 61: Berekende (0D) waterstandfluctuaties in het Grevelingenmeer voor de variant B1 in het jaar 2080. De rode lijn geeft de overall gemiddelde waterstand. Tevens zijn de maximale en minimale waterstanden buiten (blauwe lijnen) en tijdens (groene lijnen) het broedseizoen weergegeven, waarbij het broedseizoen loopt van 1 april tot en met 15 juli.



Figuur 62: Berekende (0D) waterstandfluctuaties in het Grevelingenmeer voor de variant B2 in het jaar 2030. De rode lijn geeft de overall gemiddelde waterstand. Tevens zijn de maximale en minimale waterstanden buiten (blauwe lijnen) en tijdens (groene lijnen) het broedseizoen weergegeven, waarbij het broedseizoen loopt van 1 april tot en met 15 juli.

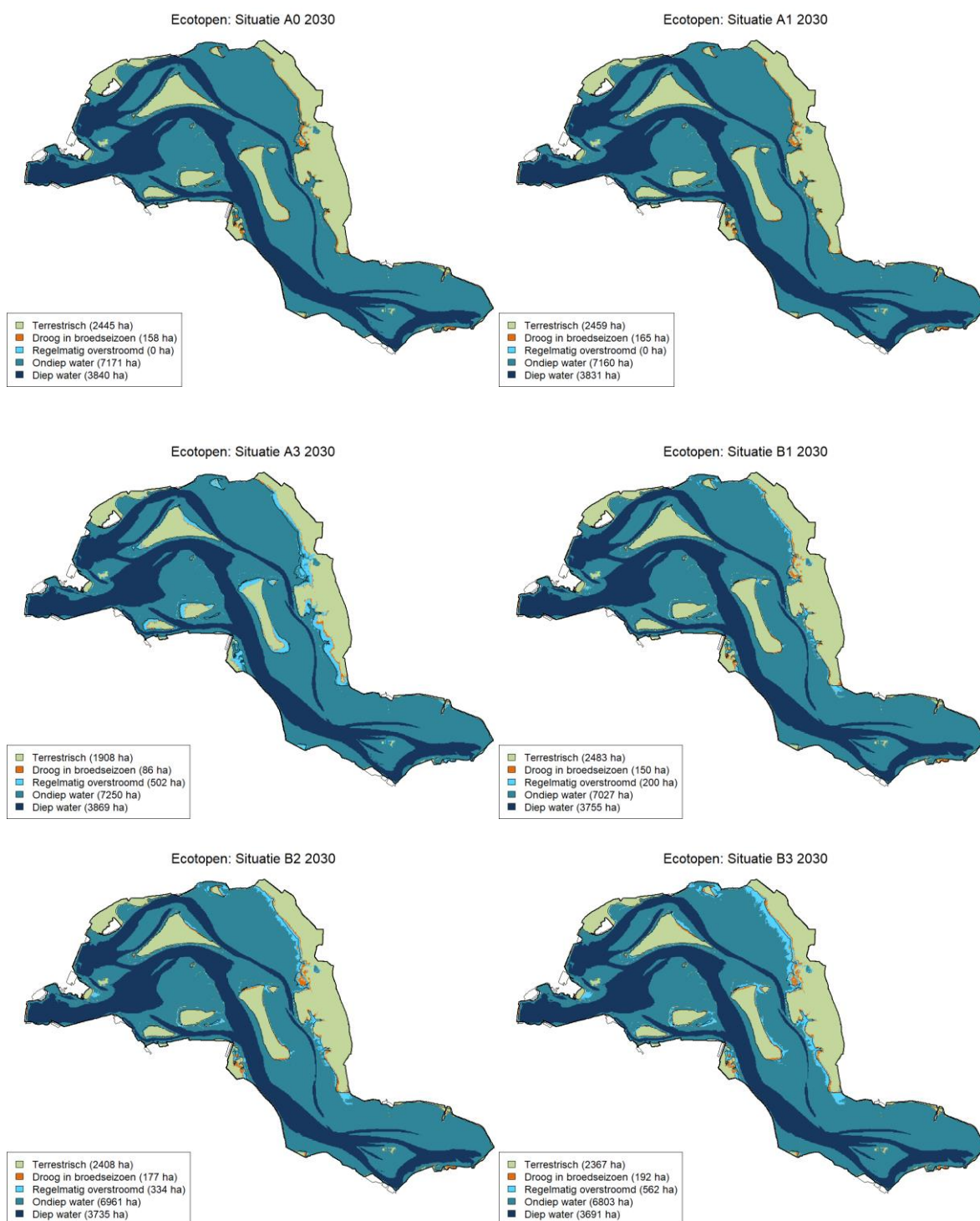


Figuur 63: Berekende (0D) waterstandfluctuaties in het Grevelingenmeer voor de variant B2 in het jaar 2080. De rode lijn geeft de overall gemiddelde waterstand. Tevens zijn de maximale en minimale waterstanden buiten (blauwe lijnen) en tijdens (groene lijnen) het broedseizoen weergegeven, waarbij het broedseizoen loopt van 1 april tot en met 15 juli.

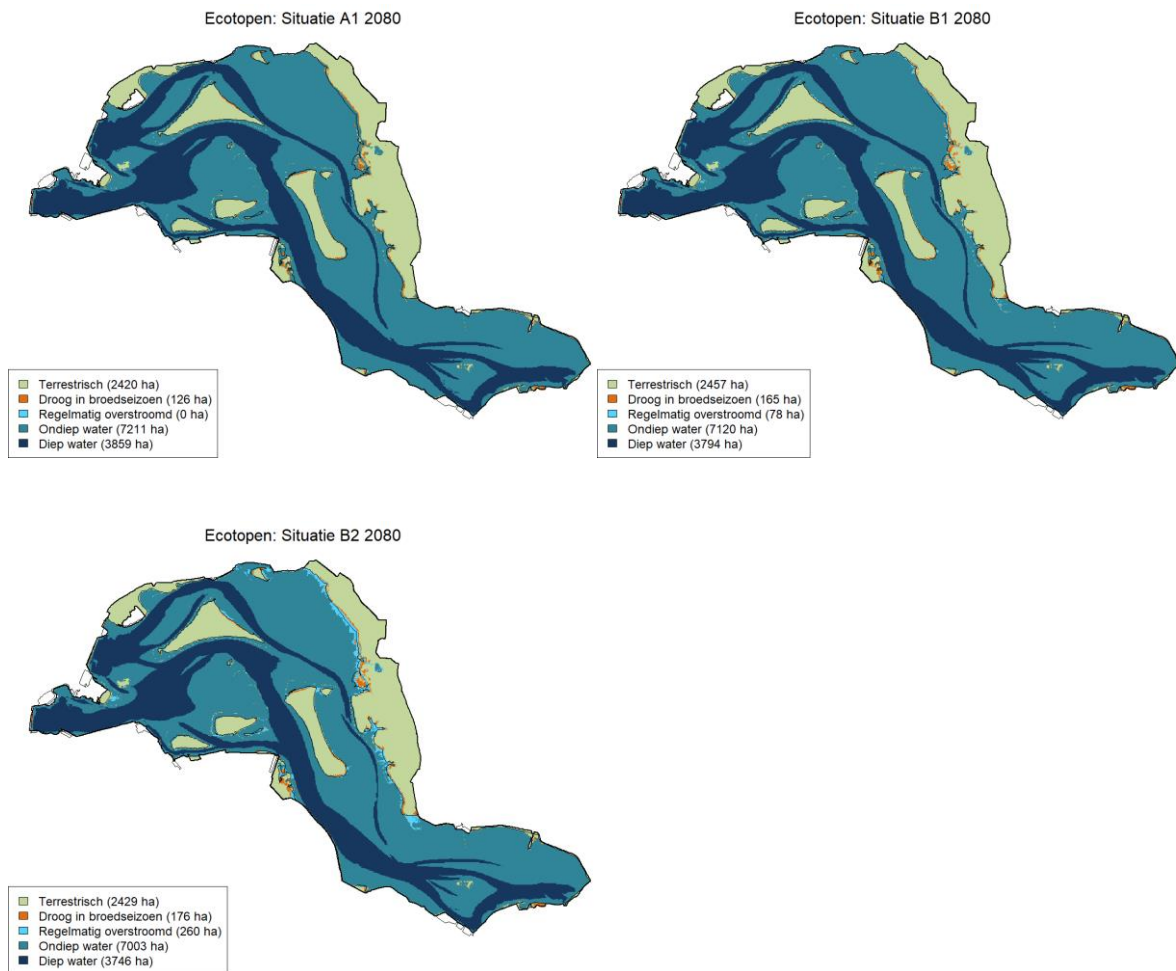


Figuur 64: Berekende (0D) waterstandfluctuaties in het Grevelingenmeer voor de variant B3 in het jaar 2030. De rode lijn geeft de overall gemiddelde waterstand. Tevens zijn de maximale en minimale waterstanden buiten (blauwe lijnen) en tijdens (groene lijnen) het broedseizoen weergegeven, waarbij het broedseizoen loopt van 1 april tot en met 15 juli.

Bijlage 3 Verspreiding ecotopen



Figuur 65: Verspreiding van de ecotopen binnen het Natura 2000 gebied Grevelingenmeer voor de verschillende varianten in 2030.



Figuur 66: Verspreiding van de ecotopen binnen het Natura 2000 gebied Grevelingenmeer voor de verschillende varianten in 2080.

Bijlage 4 Potentiële indicatorsoorten bodemdieren Grevelingenmeer

Tabel 19

Overzicht van mogelijke indicator soorten voor filtrerende en bodemetende soorten in het Grevelingenmeer. Op basis Mulder et al. (2019) zijn dominante/veelvoorkomende soorten geselecteerd. Met behulp van data van de ICES Benthos Ecology Working Group (ICES-BEWG) en daarin vermelde referenties aangevuld met literatuur wordt de wetenschappelijk bepaalde voedselgilde aangegeven. Voor een verklaring van de voedselgilde zie Tabel 19

Taxon	NL naam	Relevantie Grevelingen (Mulder et al., 2019)	Voedselgilde	Referentie
Actiniaria	Neteldieren	dominant in biomassa	filter/suspension feeder, predator (opportunistic/scavenger)	(Törnroos et al., 2015, Murillo et al., 2019)
Ascidacea	Zakpijpen	dominant in biomassa	filter/suspension feeder	(Aurelie et al., 2020)
<i>Asterias rubens</i>	Zeester	dominant in biomassa	sub-surface deposit feeder, predator (opportunistic/scavenger)	(Gittenberger en Van Loon, 2013, Wrede et al., 2018)
<i>Crassostrea gigas</i>	Japanse oester	dominant in biomassa	filter/suspension feeder	(Troost, 2009)
<i>Mytilus edulis</i>	Mossel	dominant in biomassa	filter/suspension feeder	(Gittenberger en Van Loon, 2013)
<i>Ostrea edulis</i>	Platte oester	dominant in biomassa	filter/suspension feeder	(Gittenberger en Van Loon, 2013)
<i>Venerupis corrugata</i>	Tapijtschelp	dominant in biomassa	filter/suspension feeder	(Gittenberger en Van Loon, 2013)
<i>Capitella capitata</i>	Slangpier	dominant in dichtheden	surface deposit feeder (incl. grazer), sub-surface deposit feeder	(Shojaei, 2016)
<i>Corbula gibba</i>	Korfschelp	dominant in dichtheden	filter/suspension feeder	(Gittenberger en Van Loon, 2013)
<i>Kurtiella bidentata</i>	Tweetandschelpje	dominant in dichtheden	surface deposit feeder (incl. grazer), filter/suspension feeder	AWI traits database, 2020
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	Vlokreeften	dominant in dichtheden	filter/suspension feeder	(Gogina et al., 2014)
<i>Monocorophium insidiosum</i>	Vlokreeften	dominant in dichtheden	surface deposit feeder (incl. grazer)	AWI traits database, 2020
Oligochaeta	Ringwormen	dominant in dichtheden	surface deposit feeder (incl. grazer)	NIVA traits database
Oligochaeta	Ringwormen	dominant in dichtheden	sub-surface deposit feeder, predator (opportunistic/scavenger)	(Gittenberger en Van Loon, 2013); NIVA traits database
Polydora spp.	Borstelworm	dominant in dichtheden	surface deposit feeder (incl. Grazer), filter/suspension feeder, predator (opportunistic/scavenger)	NIVA traits database;
<i>Crepidula fornicata</i>	Muiltje	dominant in dichtheden/biomassa	filter/suspension feeder	(Barillé et al., 2006)

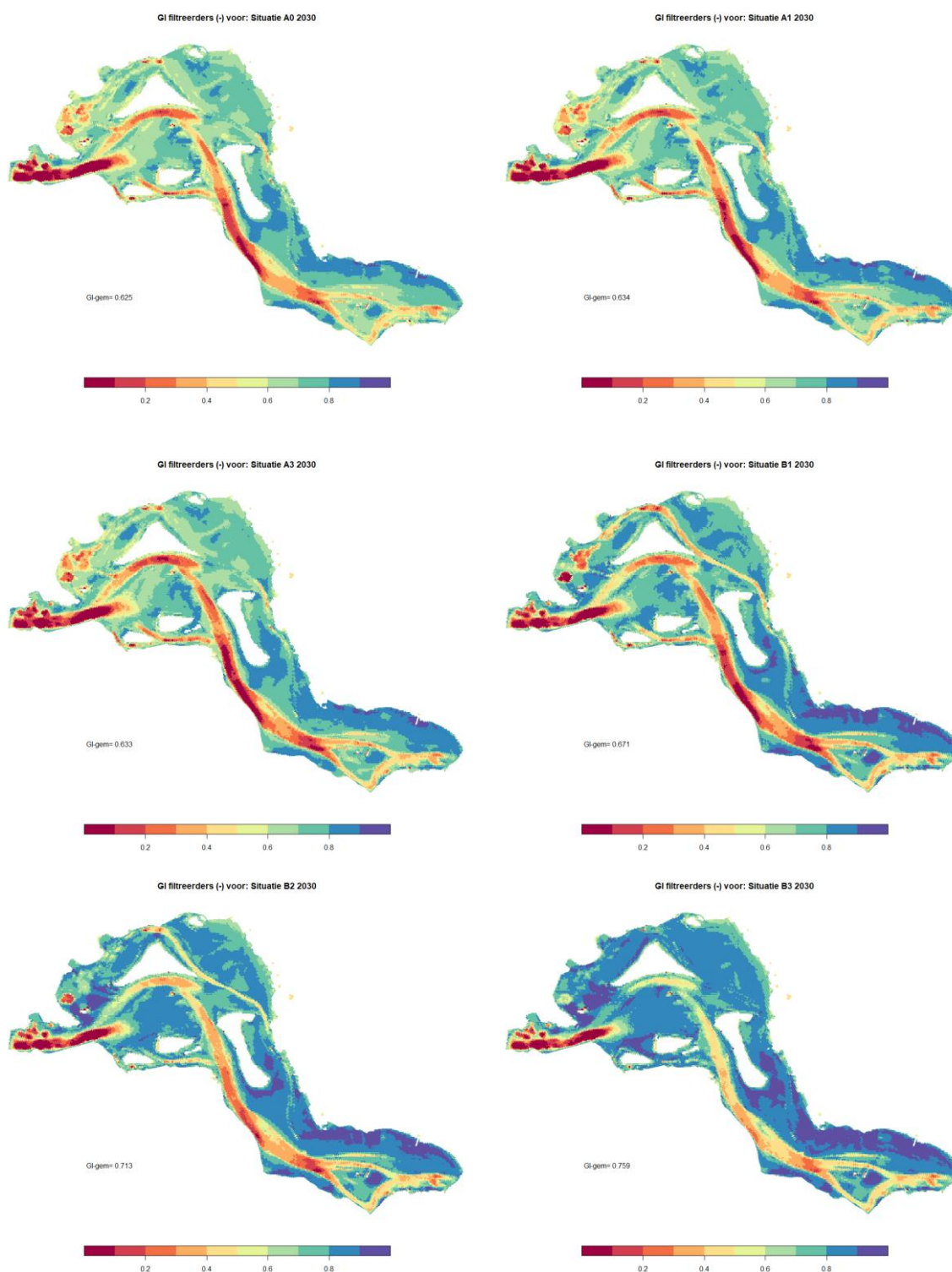
Taxon	NL naam	Relevantie Grevelingen (Mulder et al., 2019)	Voedselgilde	Referentie
<i>Alitta succinea</i>	Ambergele zeeduizendpoot	vaak aangetroffen in monsters	niet gevonden	
<i>Arenicola</i> spp.	Borstelworm	vaak aangetroffen in monsters	niet gevonden	
<i>Heteromastus filiformis</i>	Rode draadworm	vaak aangetroffen in monsters	sub-surface deposit feeder	(Shojaei, 2016)
<i>Platynereis dumerilii</i>	Borstelworm	vaak aangetroffen in monsters	niet gevonden	
<i>Scoloplos armiger</i>	Wapenworm	vaak aangetroffen in monsters	surface deposit feeder (incl. Grazer), sub-surface deposit feeder, deposit feeder	(Shojaei, 2016) Polytraits database
<i>Spio martinensis</i>	Borstelworm	vaak aangetroffen in monsters	surface deposit feeder (incl. Grazer), filter/suspension feeder	(Gittenberger en Van Loon, 2013); AWI traits database, 2020

Tabel 20

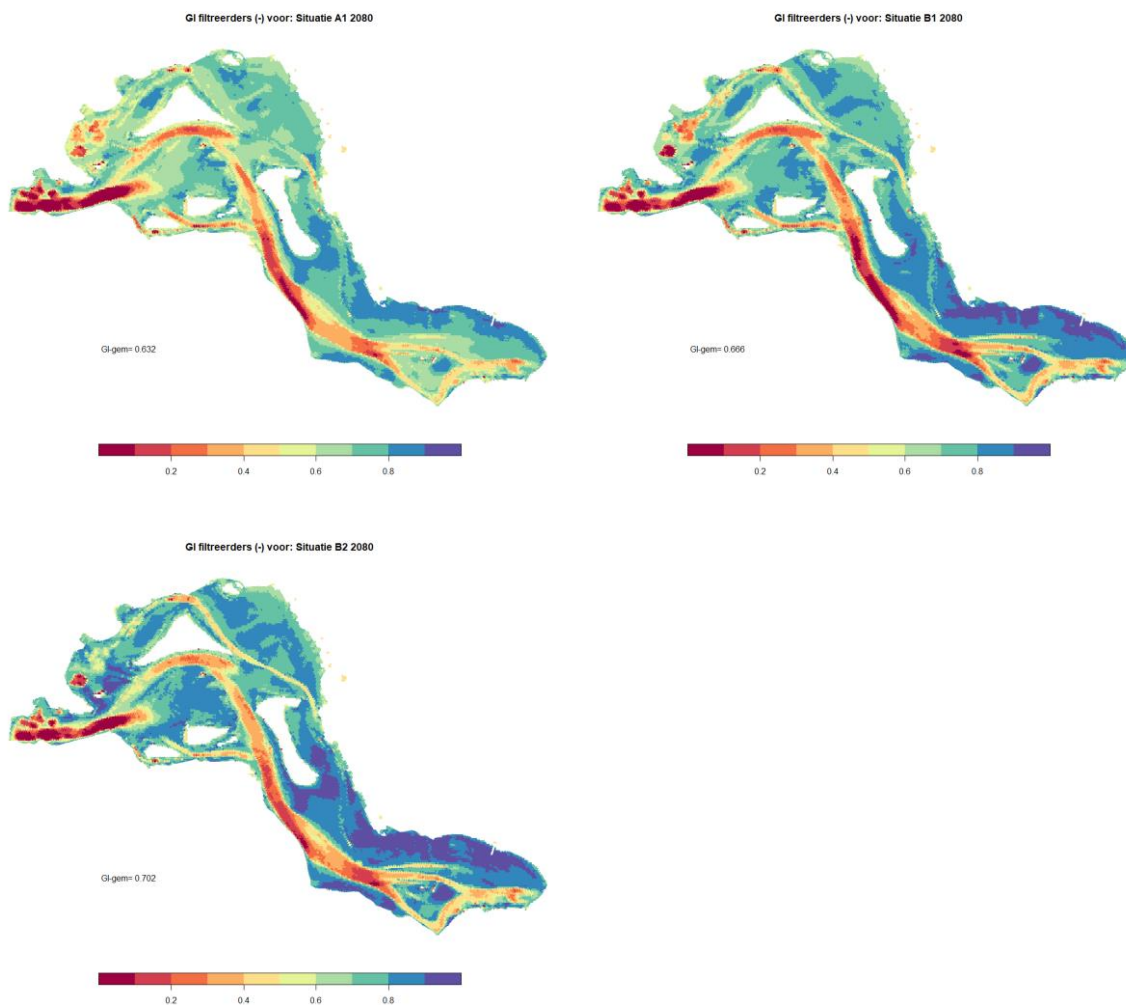
Voedselgilden van bodemdieren en beschrijving. Bron ICES Benthos Ecology Working Group. Ook wordt aangegeven of de voedselgilde bestaat uit filtrerende of bodemetende bodemdieren of allebei

Voedselgilde	Bodemetend of filtrerend	Beschrijving
surface deposit feeder (incl. Grazer)	Bodemetende en filtrerende bodemdieren	Active removal of detrital material from the sediment surface. Includes species which graze or scrape algal matter from surfaces.
sub-surface deposit feeder	Bodemetende bodemdieren	Removal of detrital material from within the sediment matrix (e.g. Echinocardium)
filter/suspension feeder	Filtrerende bodemdieren	Sponge, coral, hydrozoa, bivalves
predator (opportunistic/scavenger)	-	An organism that feeds by preying on other organisms (e.g. starfish) or that can use different types of food sources/an organism that feeds on dead organic material (e.g. crabs, whelks)
parasite (commensal, symbiotic)	-	An organism that lives in or on another living organism (the host), from which it obtains food and other requirements; or an organism containing symbionts.

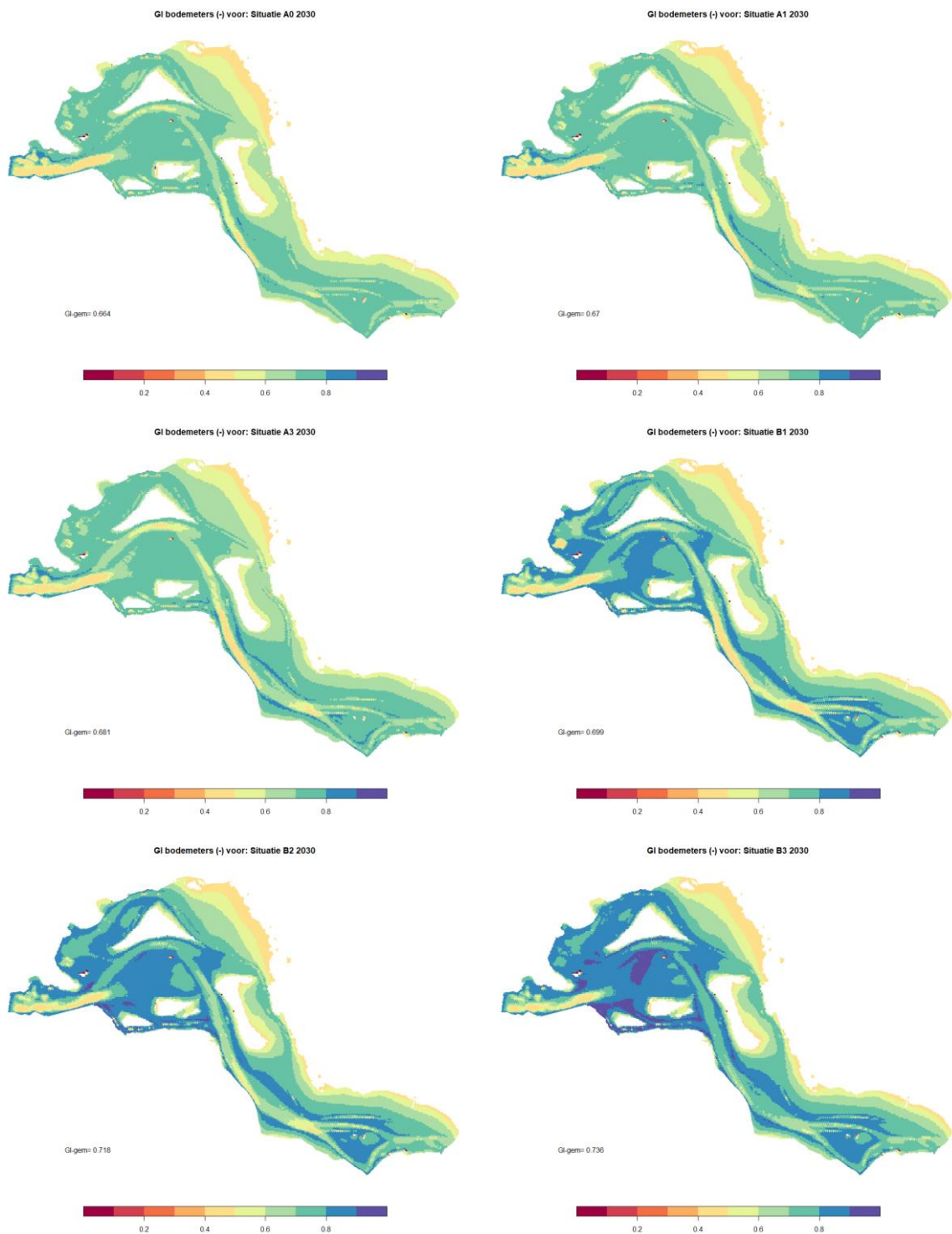
Bijlage 5 Geschiktheidsindices filtrerende en bodemetende bodemdieren



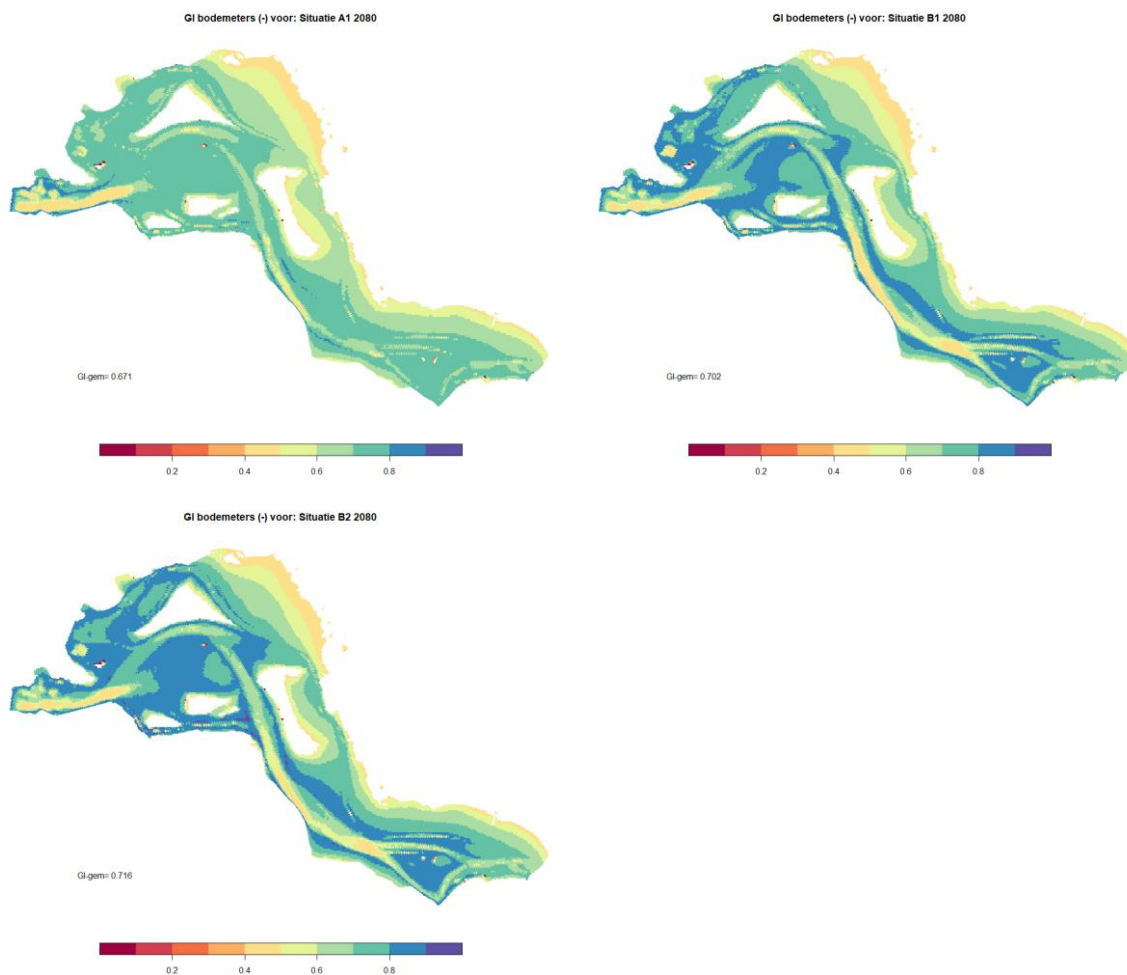
Figuur 67: Ruimtelijke verspreiding geschiktheid voor filtrerende bodemdieren voor de verschillende varianten in 2030.



Figuur 68: Ruimtelijke verspreiding geschiktheid voor filtrerende bodemdieren voor de verschillende varianten in 2080.

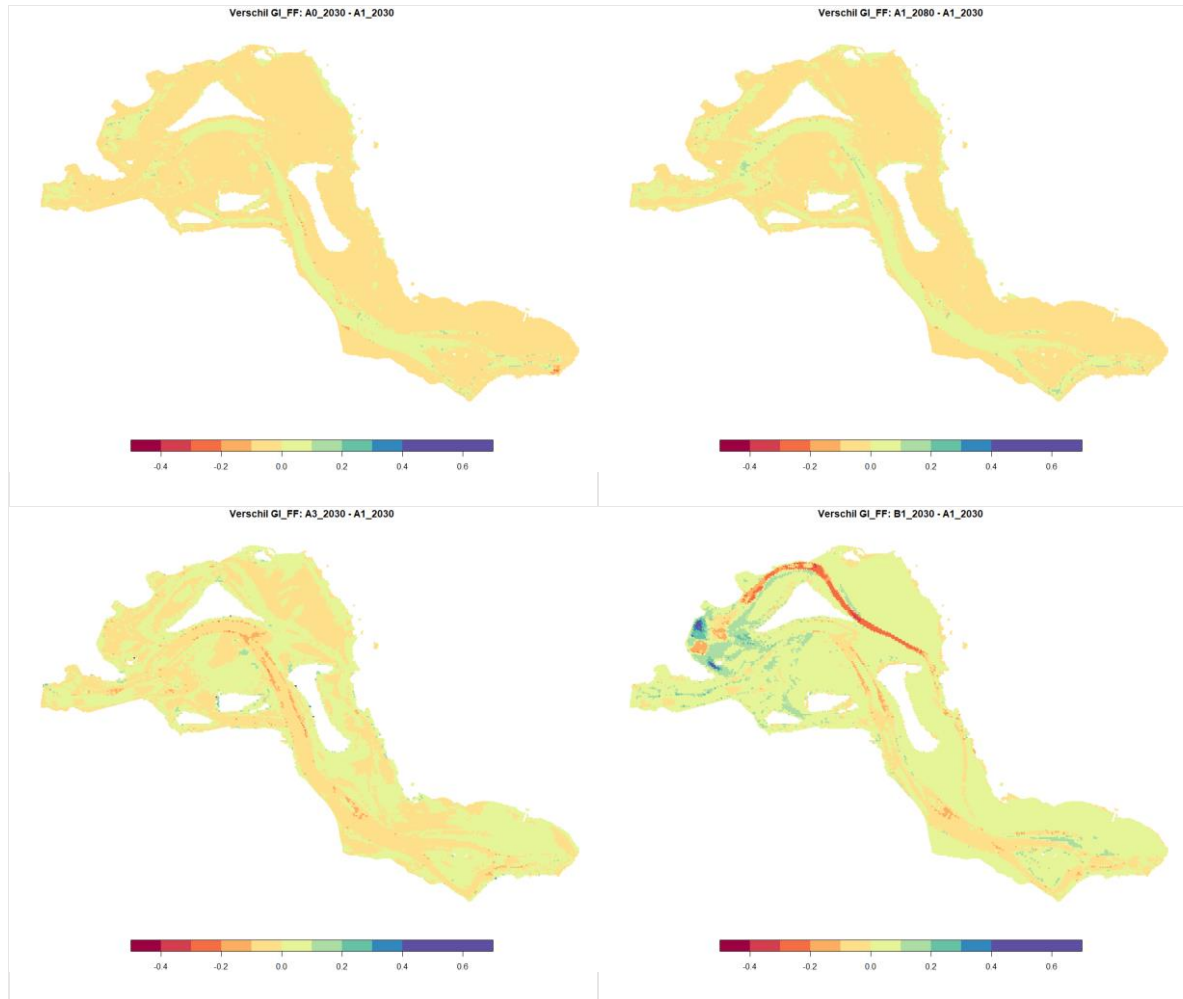


Figuur 69: Ruimtelijke verspreiding geschiktheid voor bodemetende bodemdieren voor de verschillende varianten in 2030.

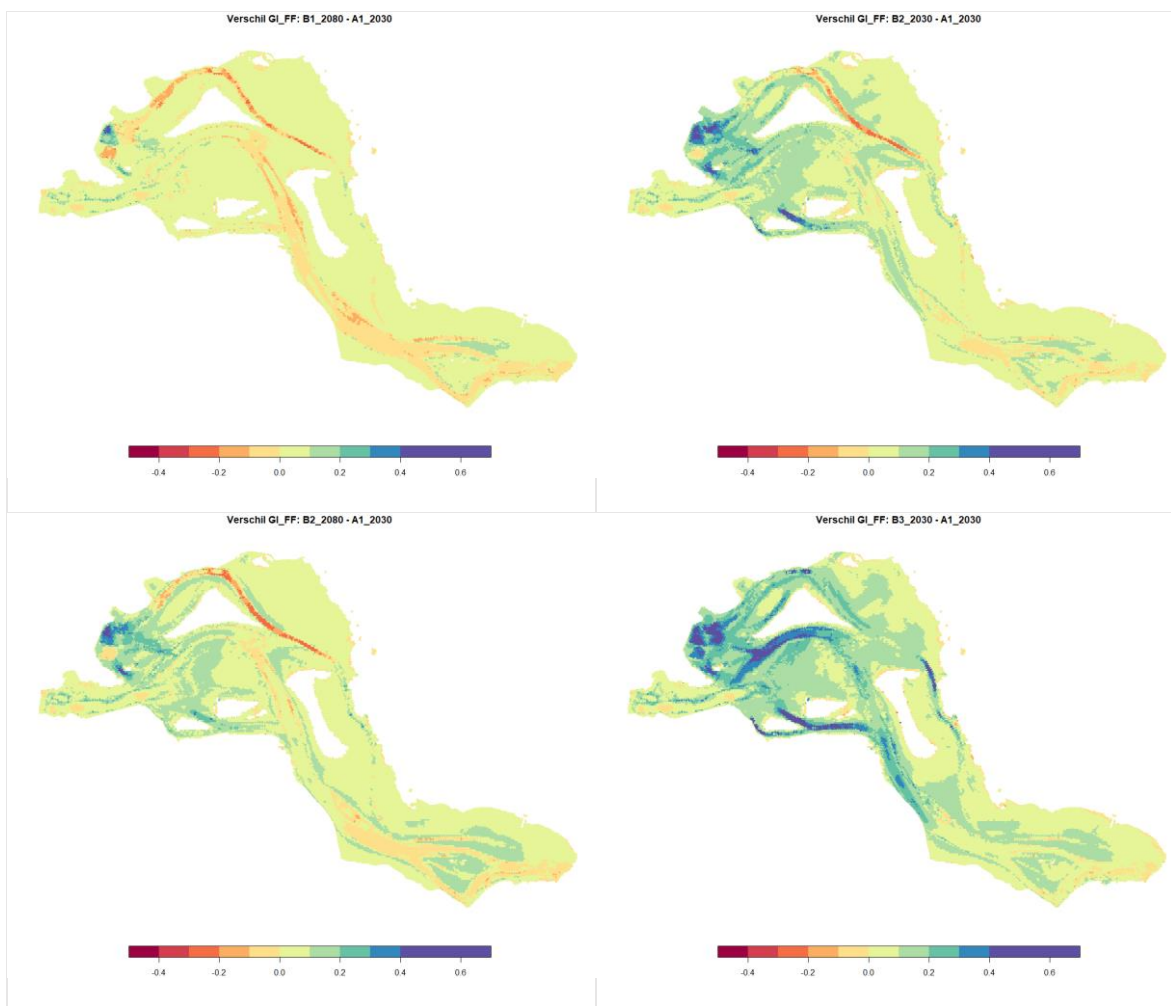


Figuur 70: Ruimtelijke verspreiding geschiktheid voor bodemetende bodemdieren voor de verschillende varianten in 2080.

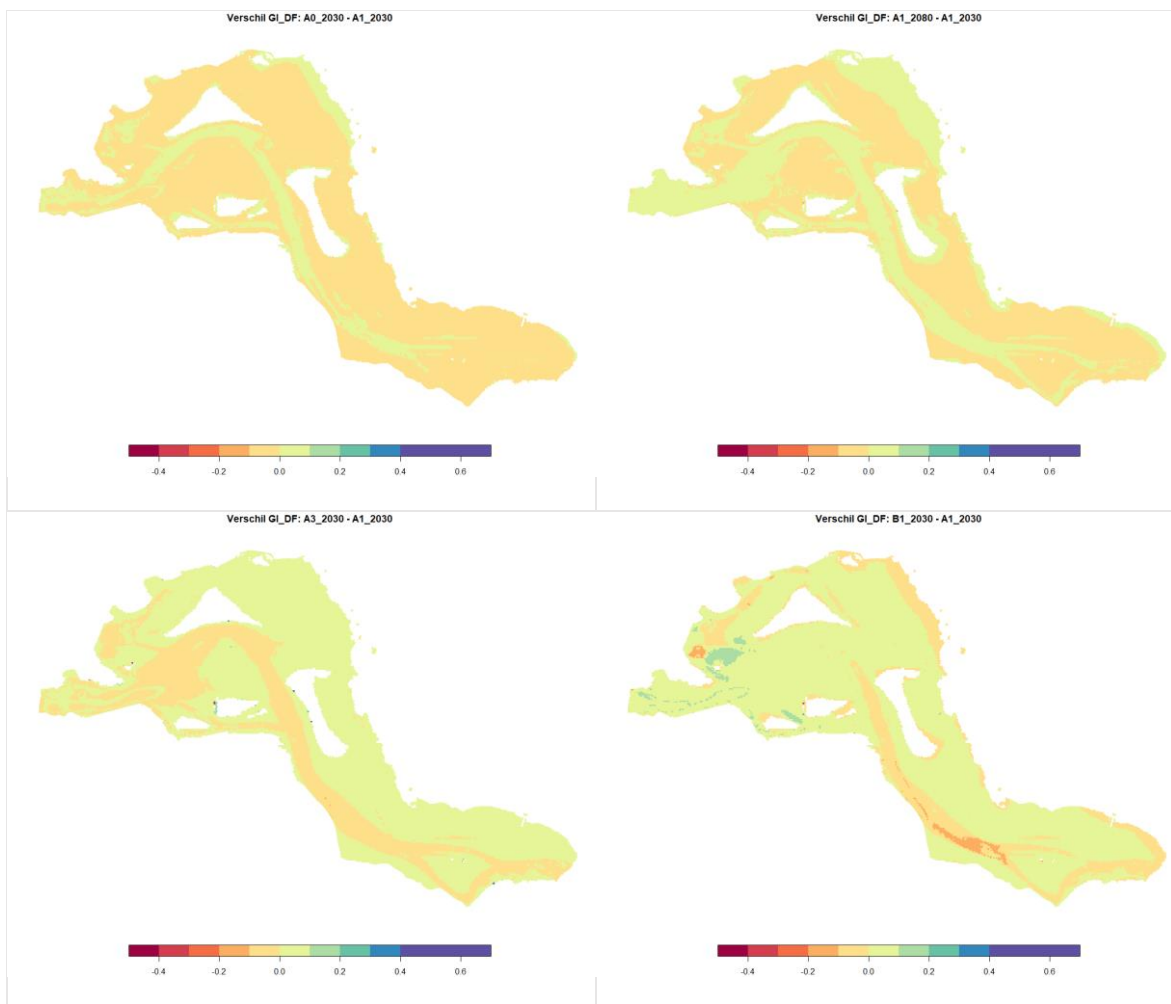
Bijlage 6 Veranderingen geschiktheids-indices ten opzichte van A1 in 2030



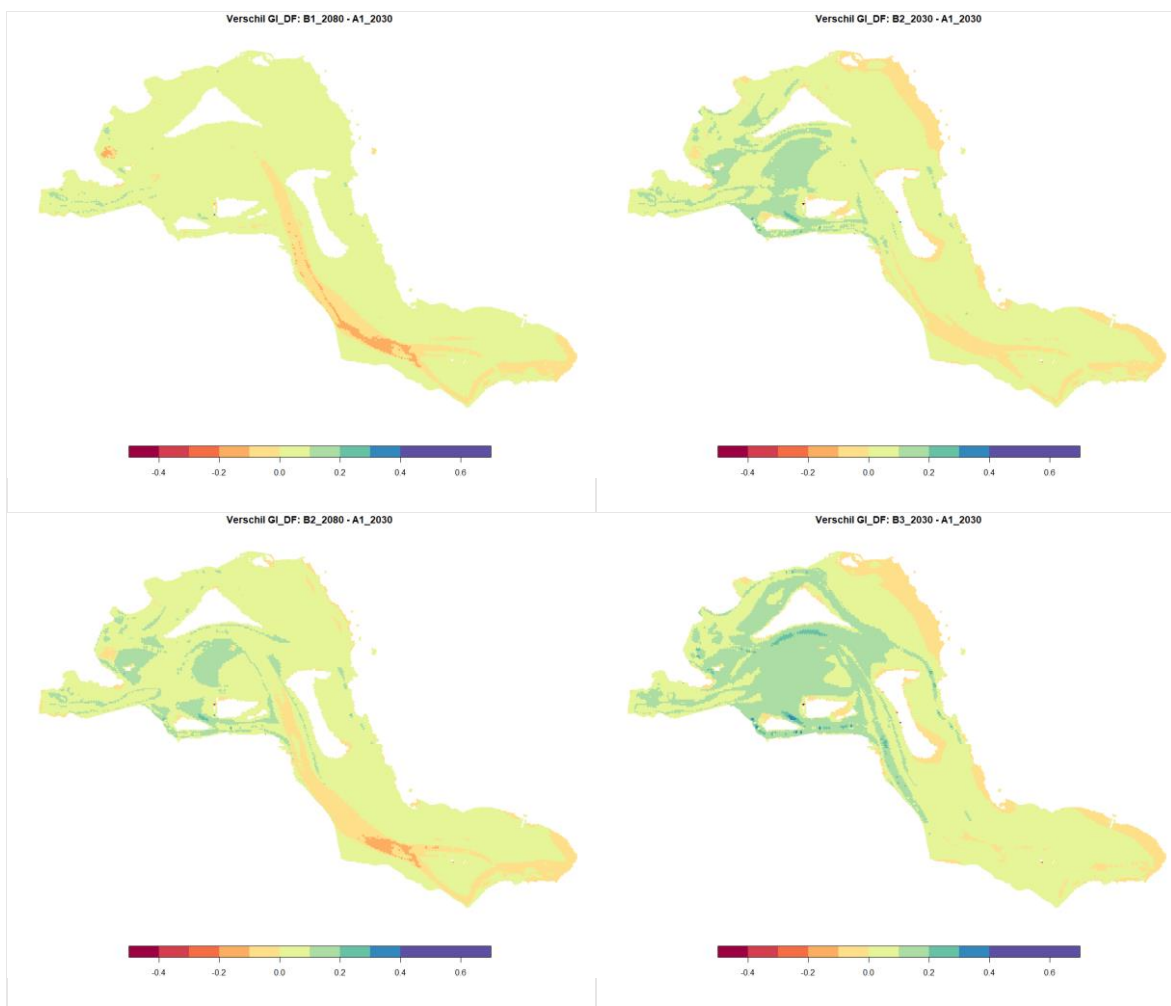
Figuur 71: Ruimtelijke verspreiding van de verschillen in geschiktheid voor filtrerende bodemdieren voor de situaties A0 2030, A1 2080, A3 2030 en B1 2030 ten opzichte van de variant A1 in 2030. Positieve waarden zijn een toename en negatieve waarden zijn een afname in geschiktheid ten opzichte van de variant A1 in 2030.



Figuur 72: Ruimtelijke verspreiding van de verschillen in geschiktheid voor filterende bodemdieren voor de situaties B1 2080, B2 2030, B2 2080 en B3 2030 ten opzichte van de variant A1 in 2030. Positieve waarden zijn een toename en negatieve waarden zijn een afname in geschiktheid ten opzichte van de variant A1 in 2030.

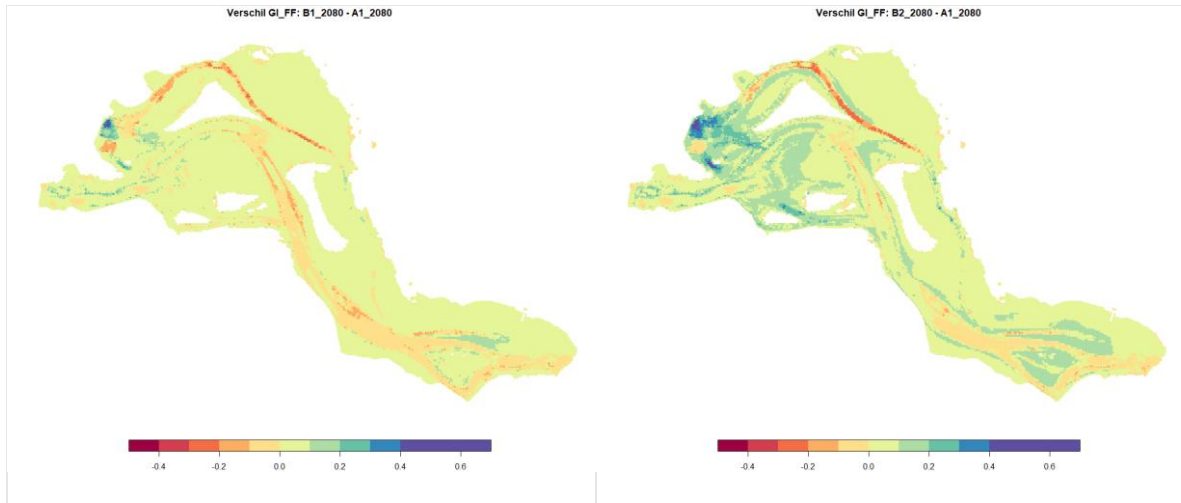


Figuur 73: Ruimtelijke verspreiding van de verschillen in geschiktheid voor bodemetende bodemdieren voor de situaties A0 2030, A1 2080, A3 2030 en B1 2030 ten opzichte van de variant A1 in 2030. Positieve waarden zijn een toename en negatieve waarden zijn een afname in geschiktheid ten opzichte van de variant A1 in 2030.

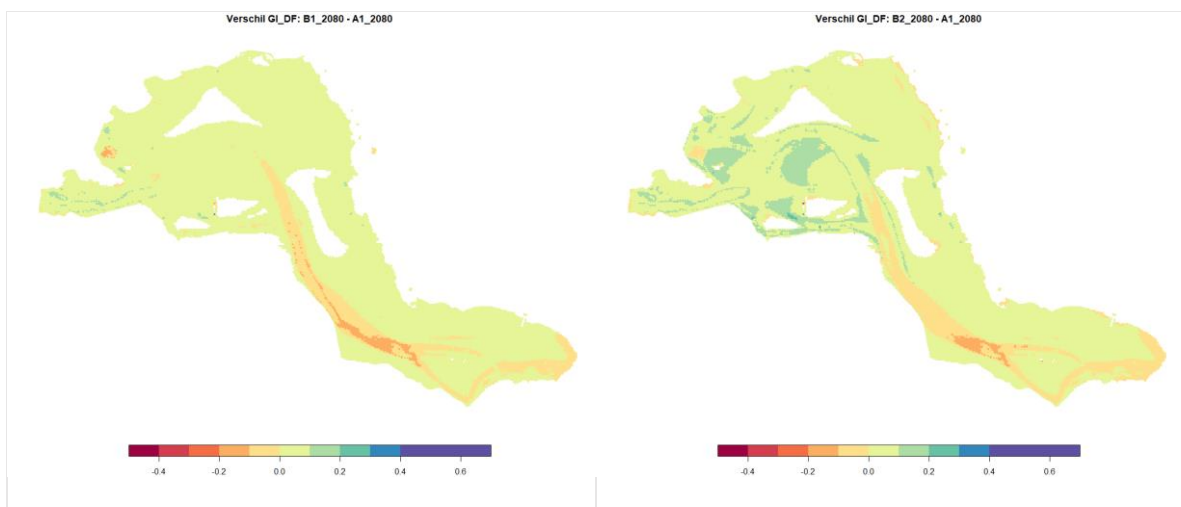


Figuur 74: Ruimtelijke verspreiding van de verschillen in geschiktheid voor bodemetende bodemdieren voor de situaties B1 2080, B2 2030, B2 2080 en B3 2030 ten opzichte van de variant A1 in 2030. Positieve waarden zijn een toename en negatieve waarden zijn een afname in geschiktheid ten opzichte van de variant A1 in 2030.

Bijlage 7 Veranderingen geschiktheids-indices ten opzichte van A1 in 2080

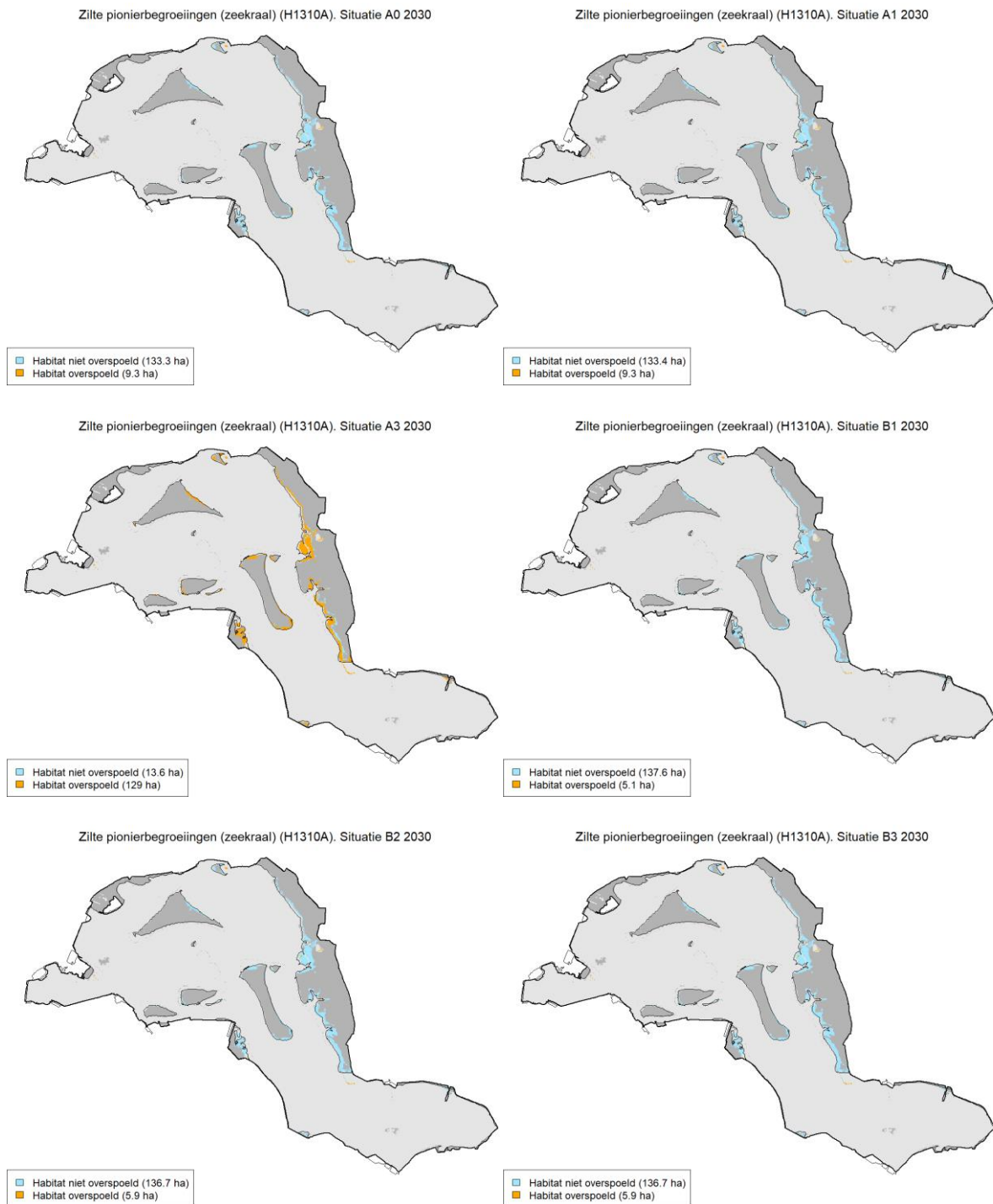


Figuur 75: Ruimtelijke verspreiding van de verschillen in geschiktheid voor filterende bodemdieren voor de situaties B1 2080 en B2 2080 ten opzichte van de variant A1 in 2080. Positieve waarden zijn een toename en negatieve waarden zijn een afname in geschiktheid ten opzichte van de variant A1 in 2080.

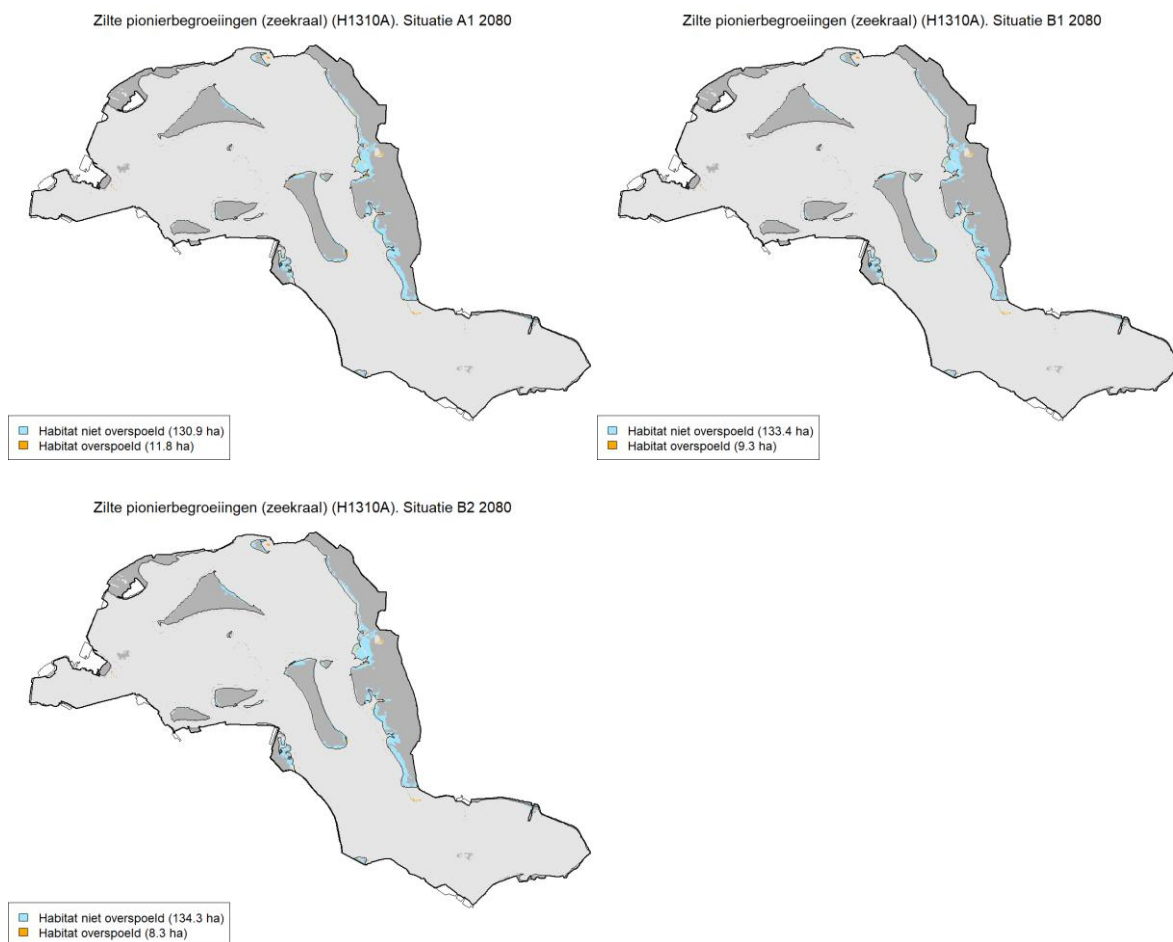


Figuur 76: Ruimtelijke verspreiding van de verschillen in geschiktheid voor bodemetende bodemdieren voor de situaties B1 2080 en B2 2080 ten opzichte van de variant A1 in 2080. Positieve waarden zijn een toename en negatieve waarden zijn een afname in geschiktheid ten opzichte van de variant A1 in 2080.

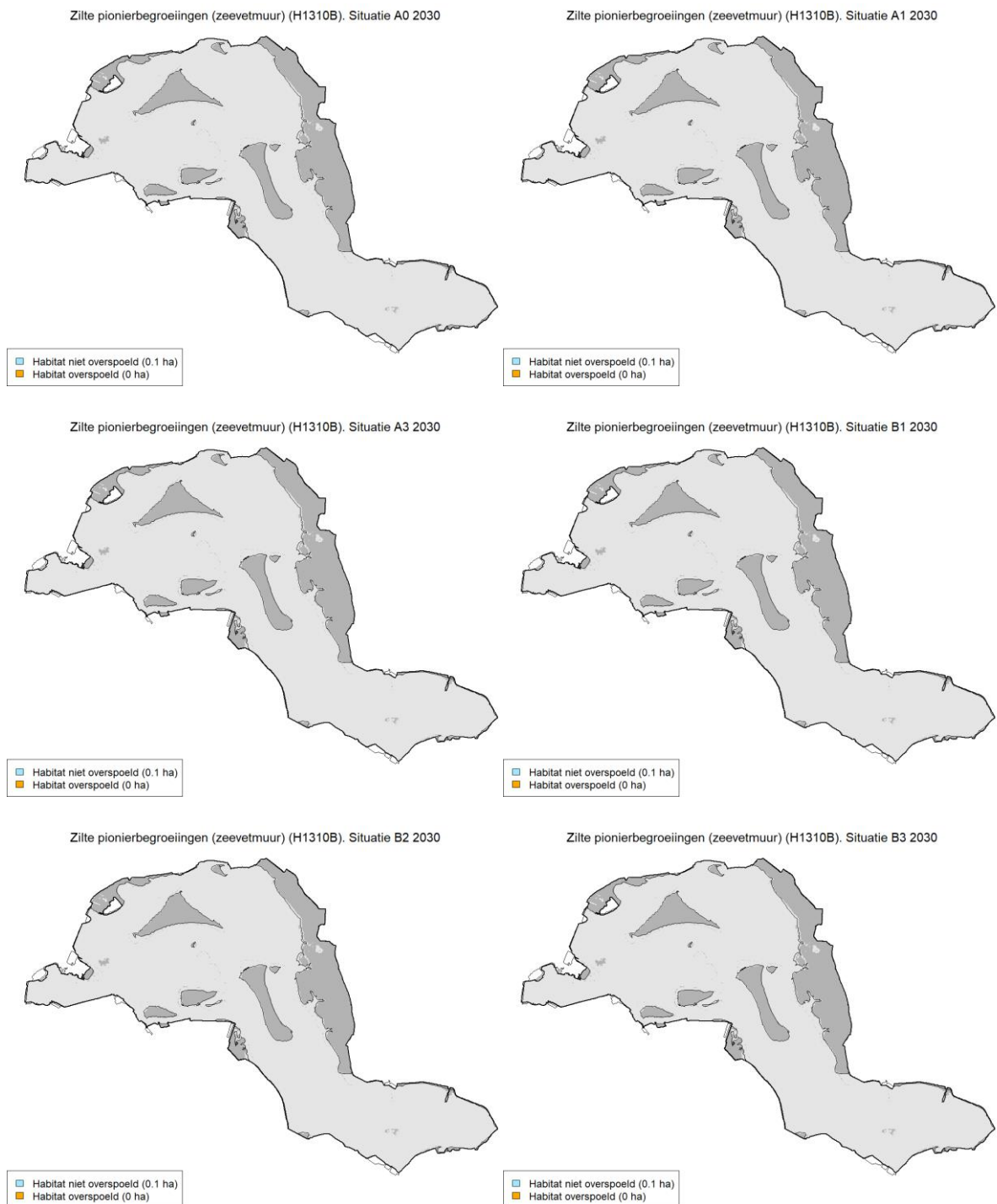
Bijlage 8 Directe effecten habitattypen



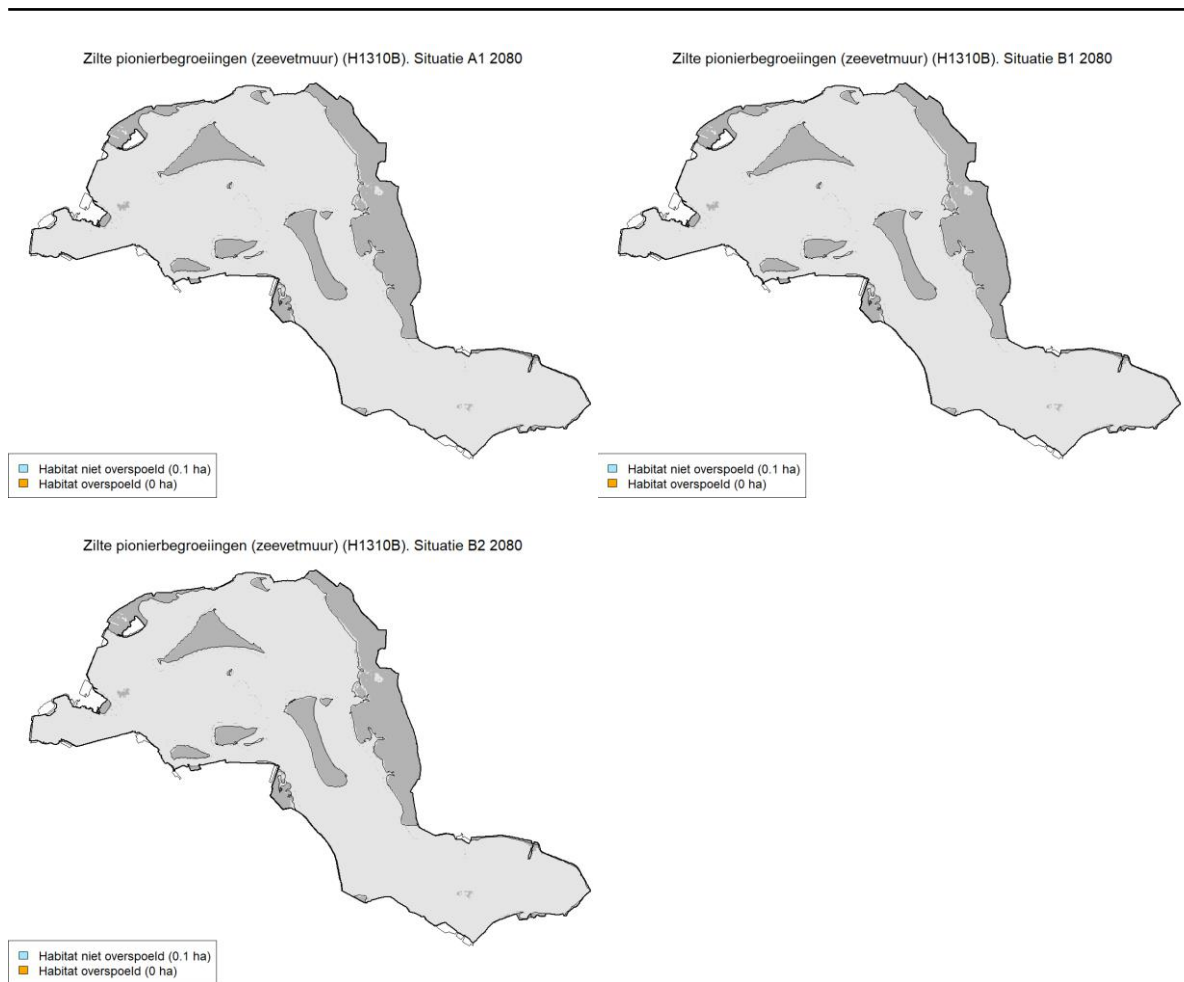
Figuur 77: Directe effecten door overspoeling op habitattype H1310A (zilte pionierbegroeiingen, zeekraal) voor de verschillende varianten in 2030. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



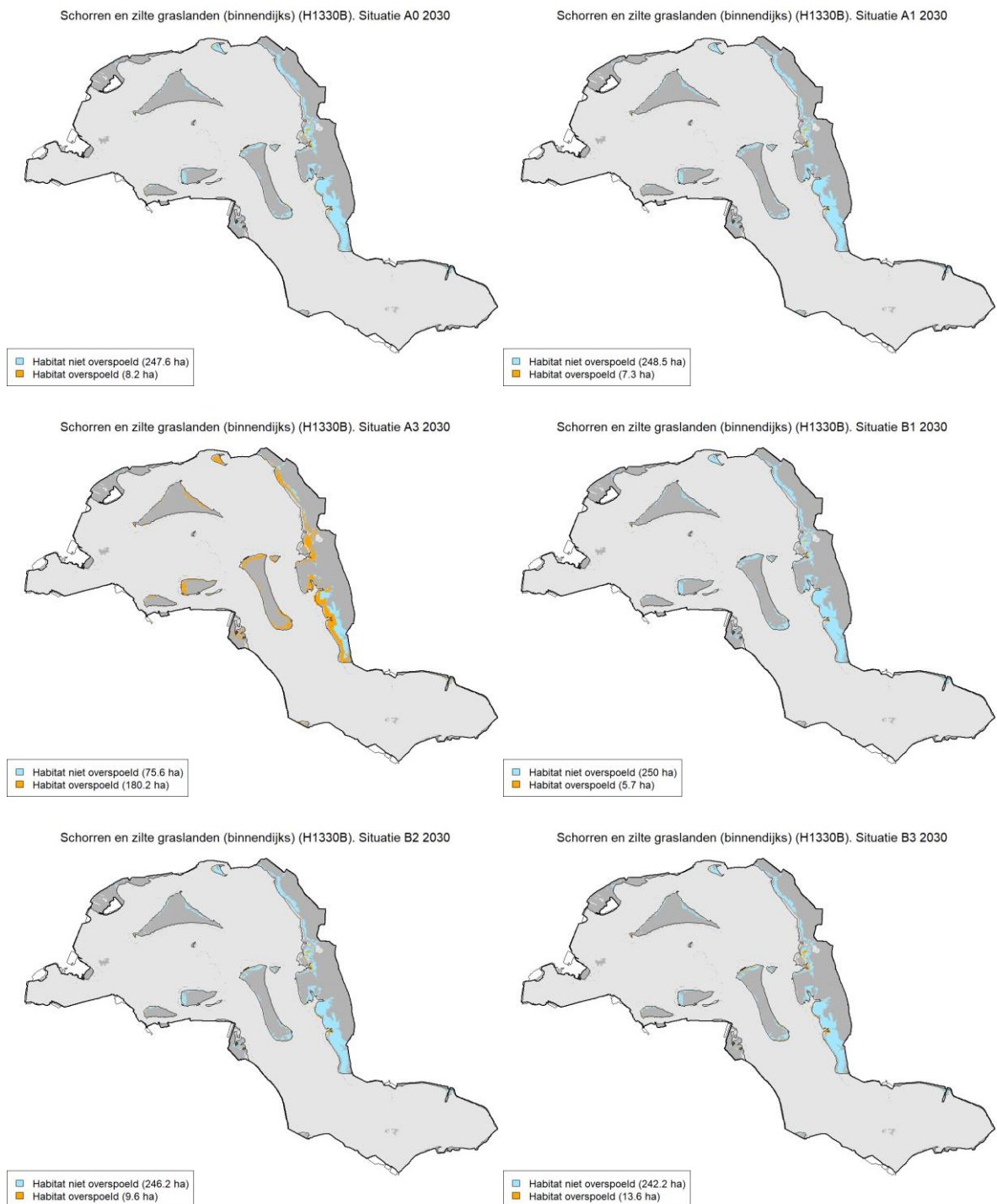
Figuur 78: Directe effecten door overspoeling op habitattype H1310A (zilte pionierbegroeiingen, zeekraal) voor de verschillende varianten in 2080. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



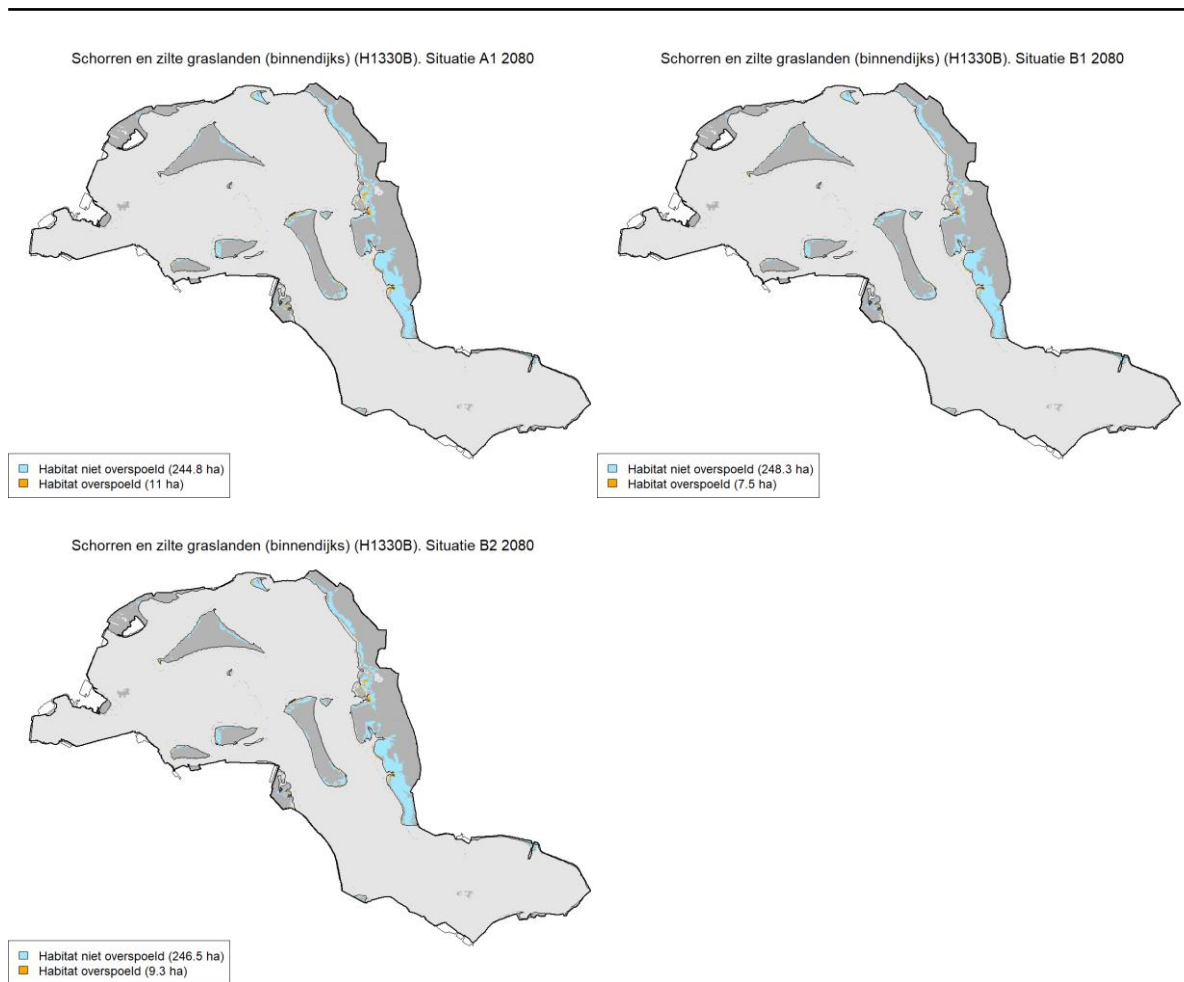
Figuur 79: Directe effecten door overspoeling op habitattype H1310B (zilte pionierbegroeiingen, zeevetmuur) voor de verschillende varianten in 2030. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



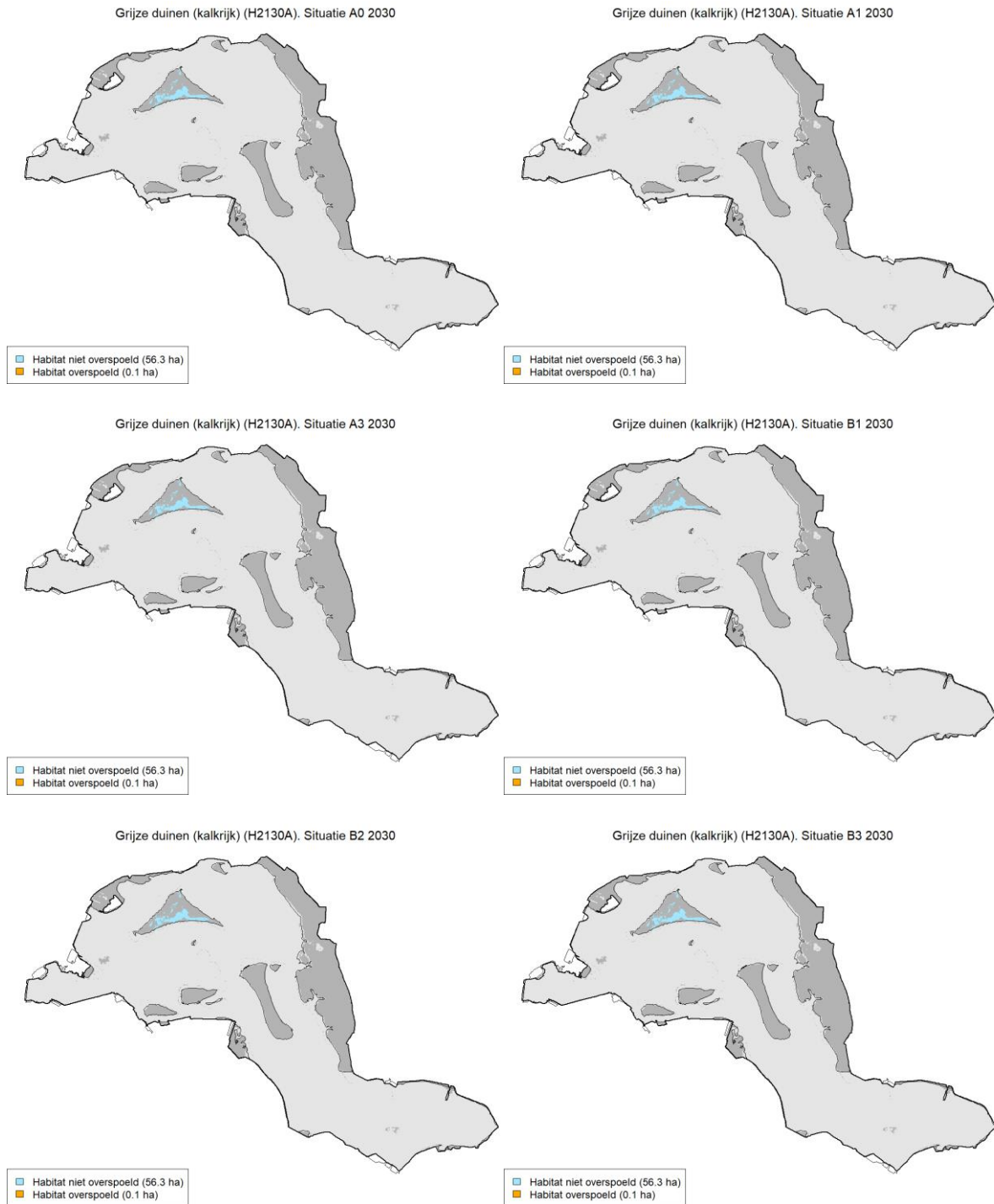
Figuur 80: Directe effecten door overspoeling op habitattype H1310B (zilte pionierbegroeiingen, zeevetmuur) voor de verschillende varianten in 2080. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



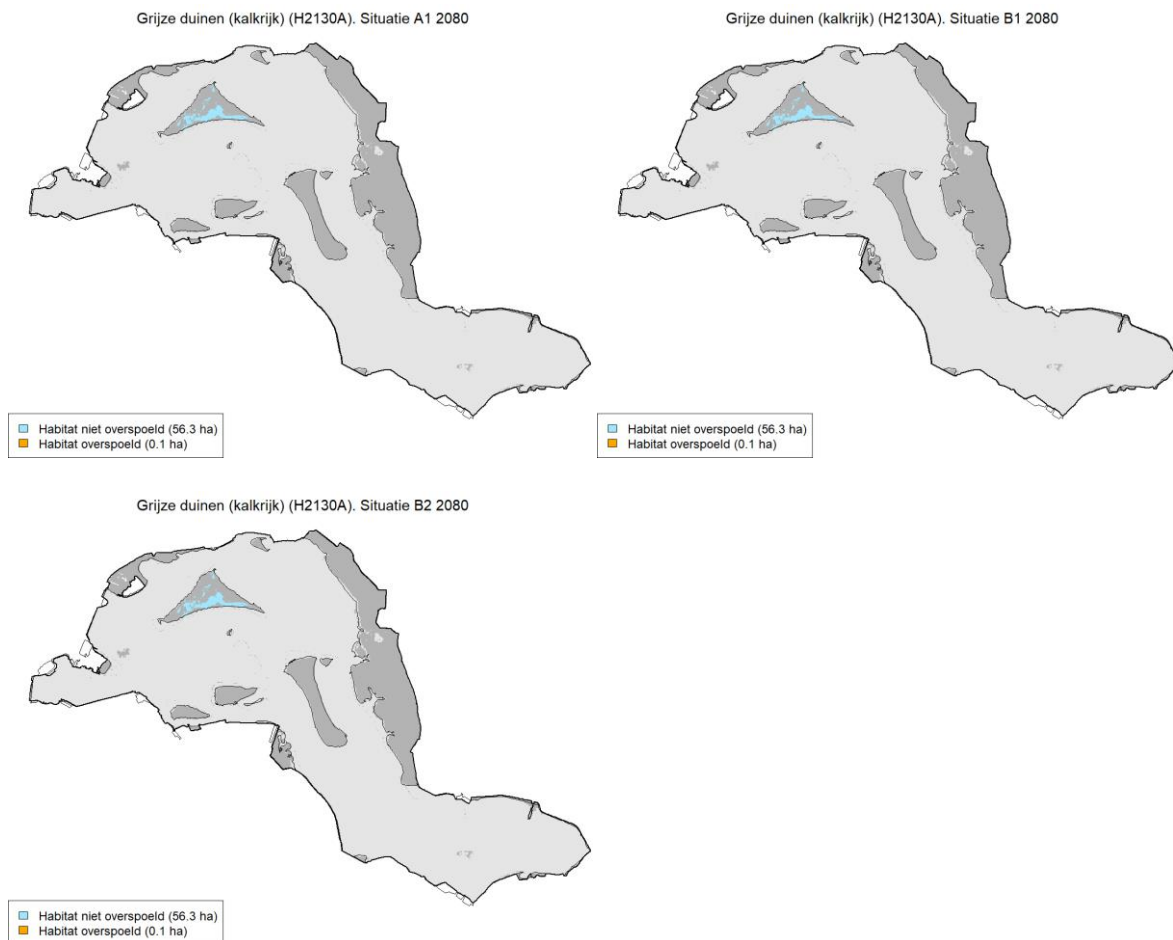
Figuur 81: Directe effecten door overspoeling op habitattype H1330B (schorren en zilte graslanden, binnendijks) voor de verschillende varianten in 2030. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



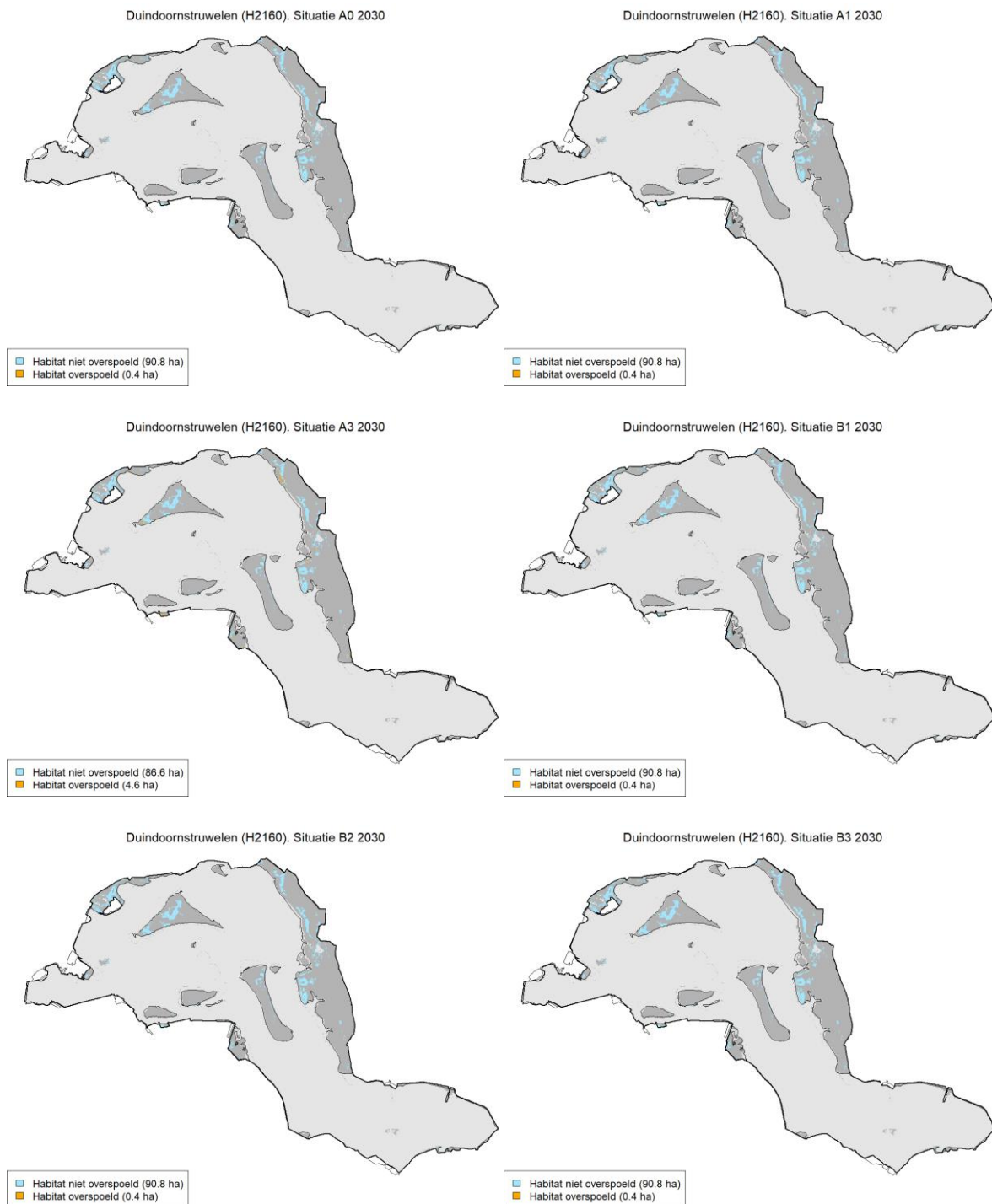
Figuur 82: Directe effecten door overspoeling op habitattype H1330B (schorren en zilte graslanden, binnendijks) voor de verschillende varianten in 2080. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



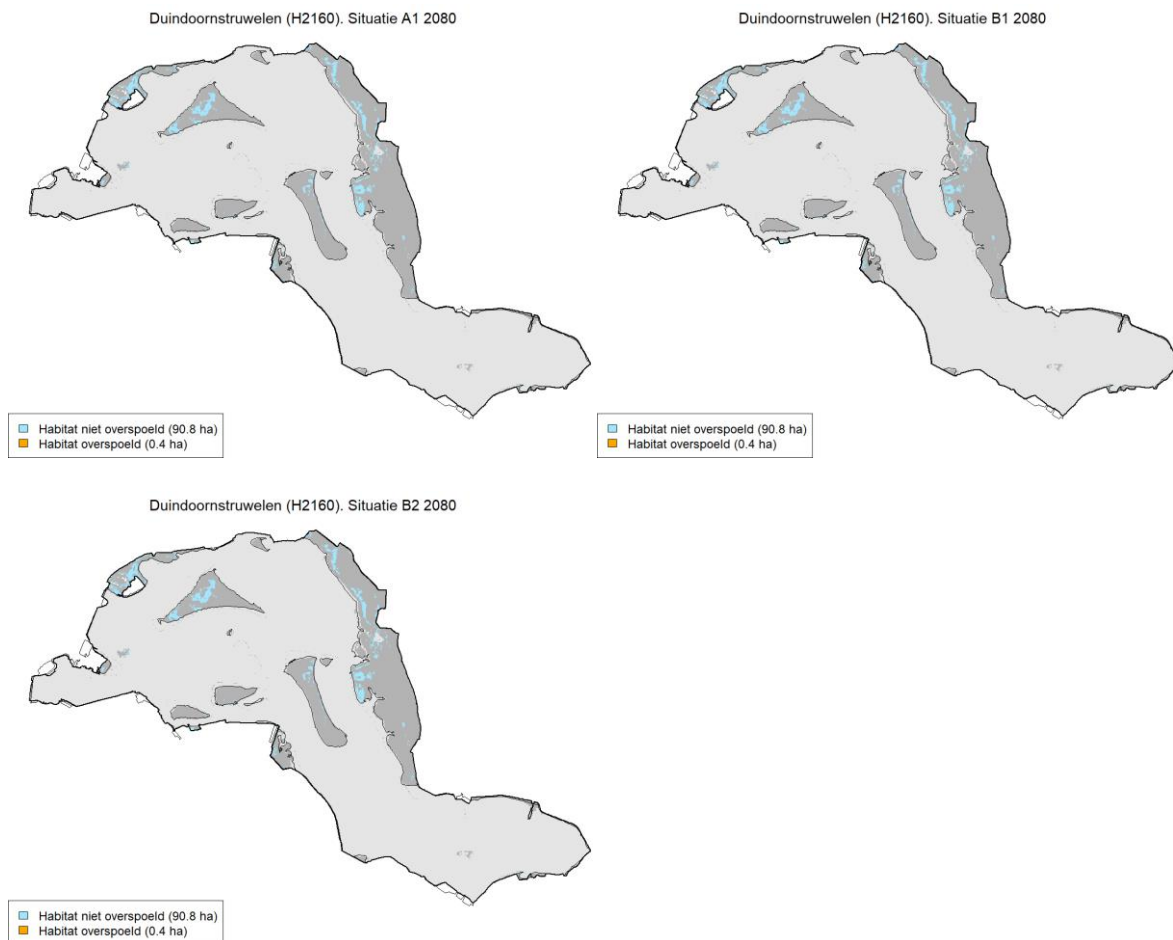
Figuur 83: Directe effecten door overspoeling op habitattype H2130A (grijze duinen, kalkrijk) voor de verschillende varianten in 2030. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



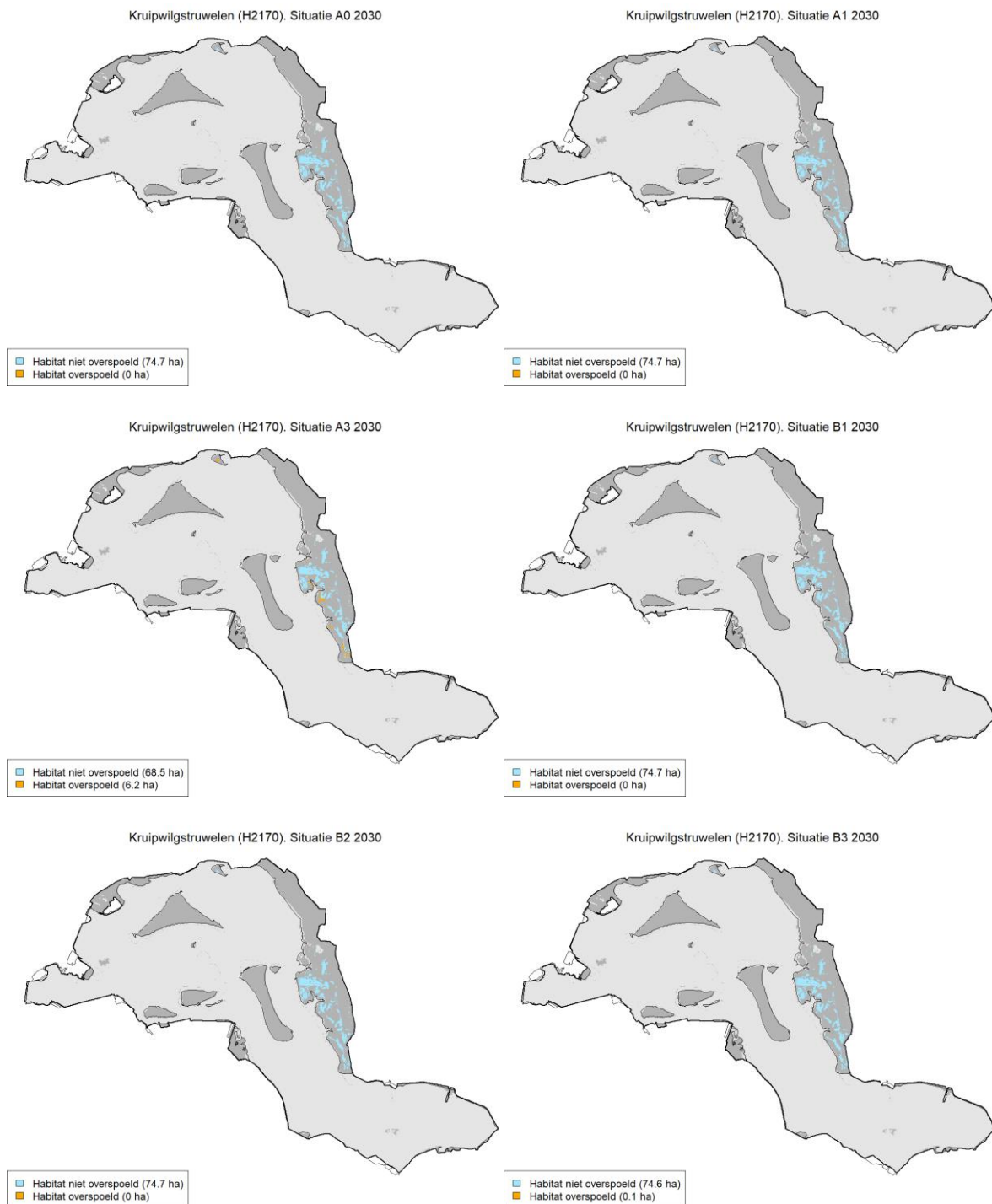
Figuur 84: Directe effecten door overspoeling op habitattype H2130A (grijze duinen, kalkrijk) voor de verschillende varianten in 2080. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



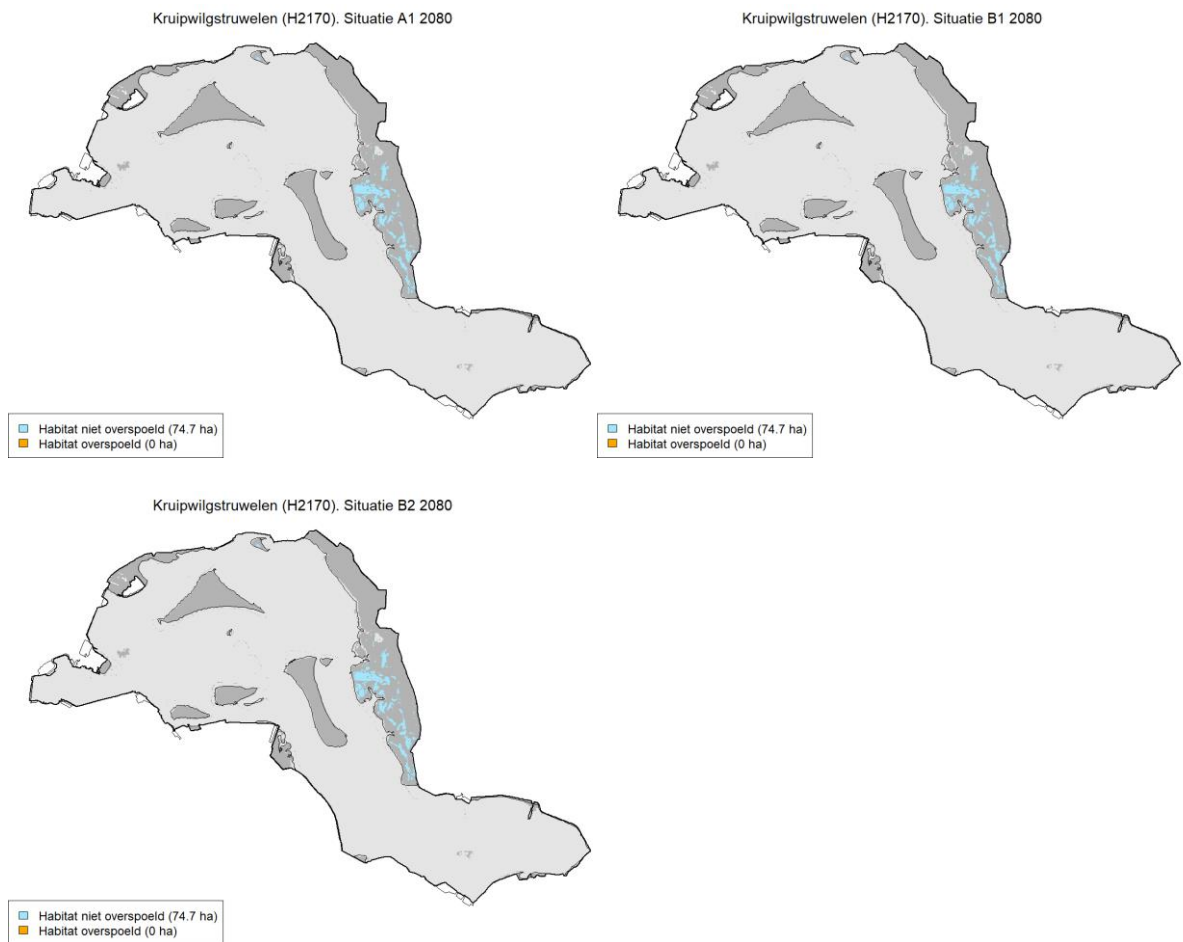
Figuur 85: Directe effecten door overspoeling op habitattype H2160 (duindoornstruwelen) voor de verschillende varianten in 2030. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



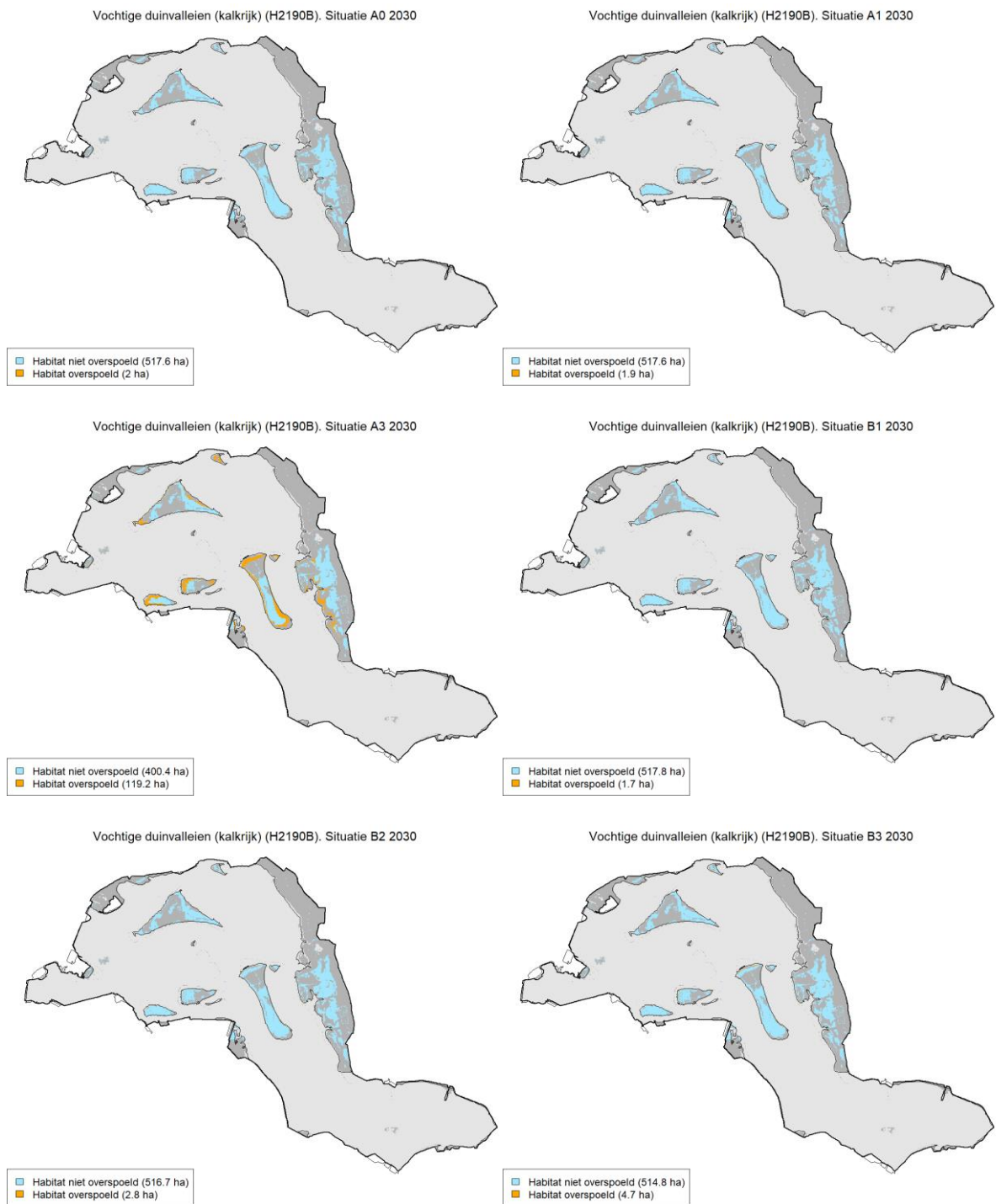
Figuur 86: Directe effecten door overspoeling op habitattype H2160 (duindoornstruwelen) voor de verschillende varianten in 2080. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



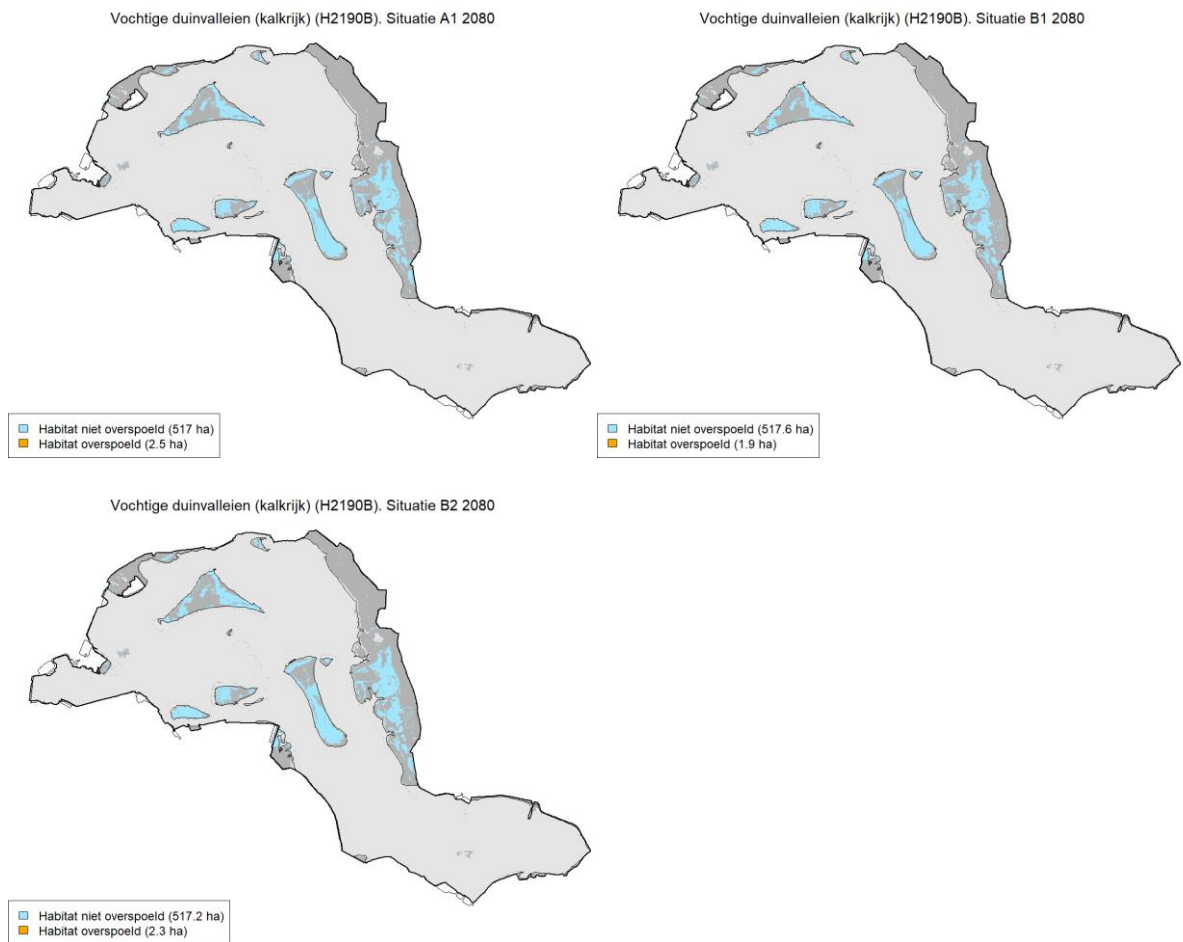
Figuur 87: Directe effecten door overspoeling op habitattype H2170 (kruipwilgstruwelen) voor de verschillende varianten in 2030. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



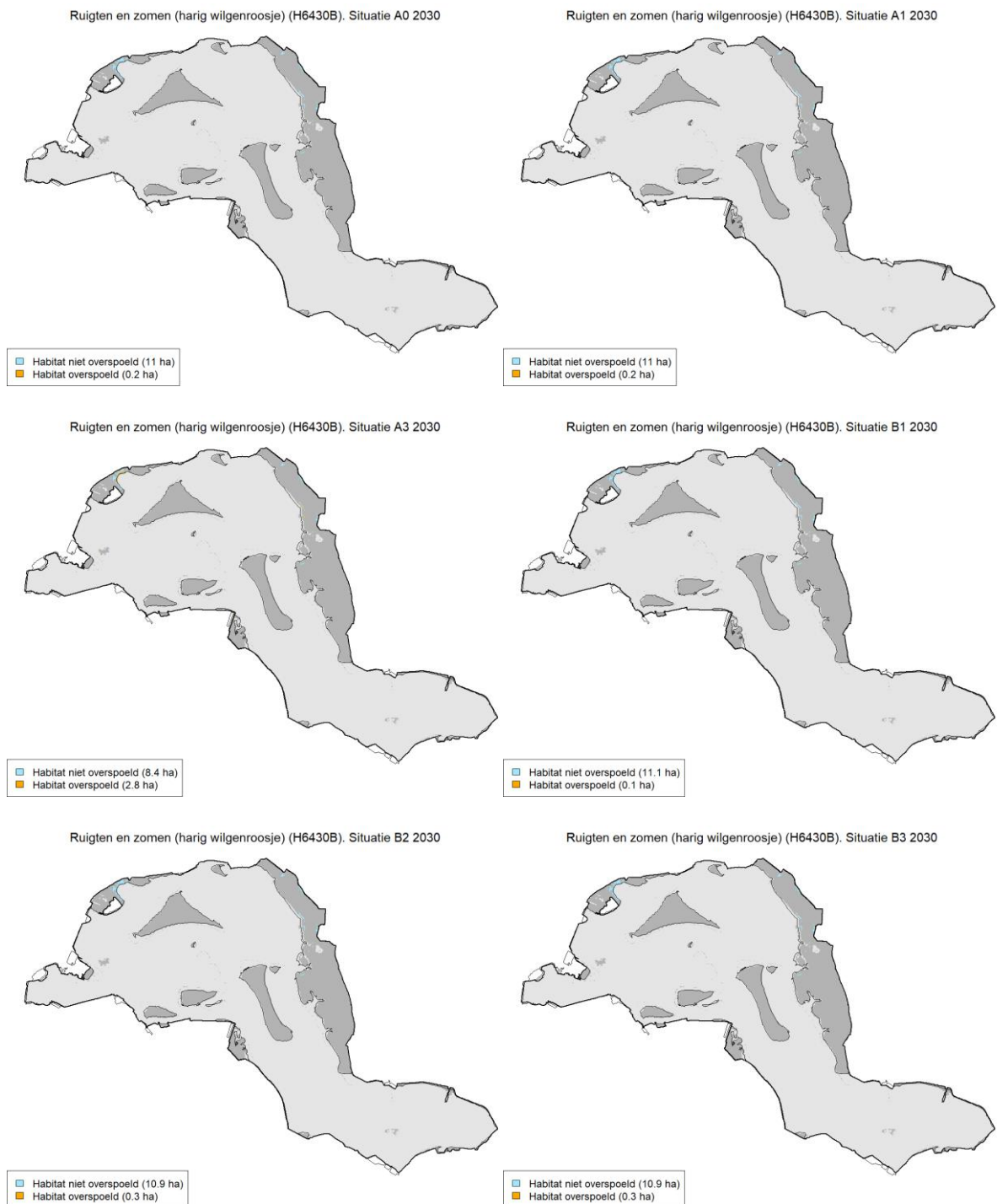
Figuur 88: Directe effecten door overspoeling op habitattype H2170 (kruipwilgstruwelen) voor de verschillende varianten in 2080. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



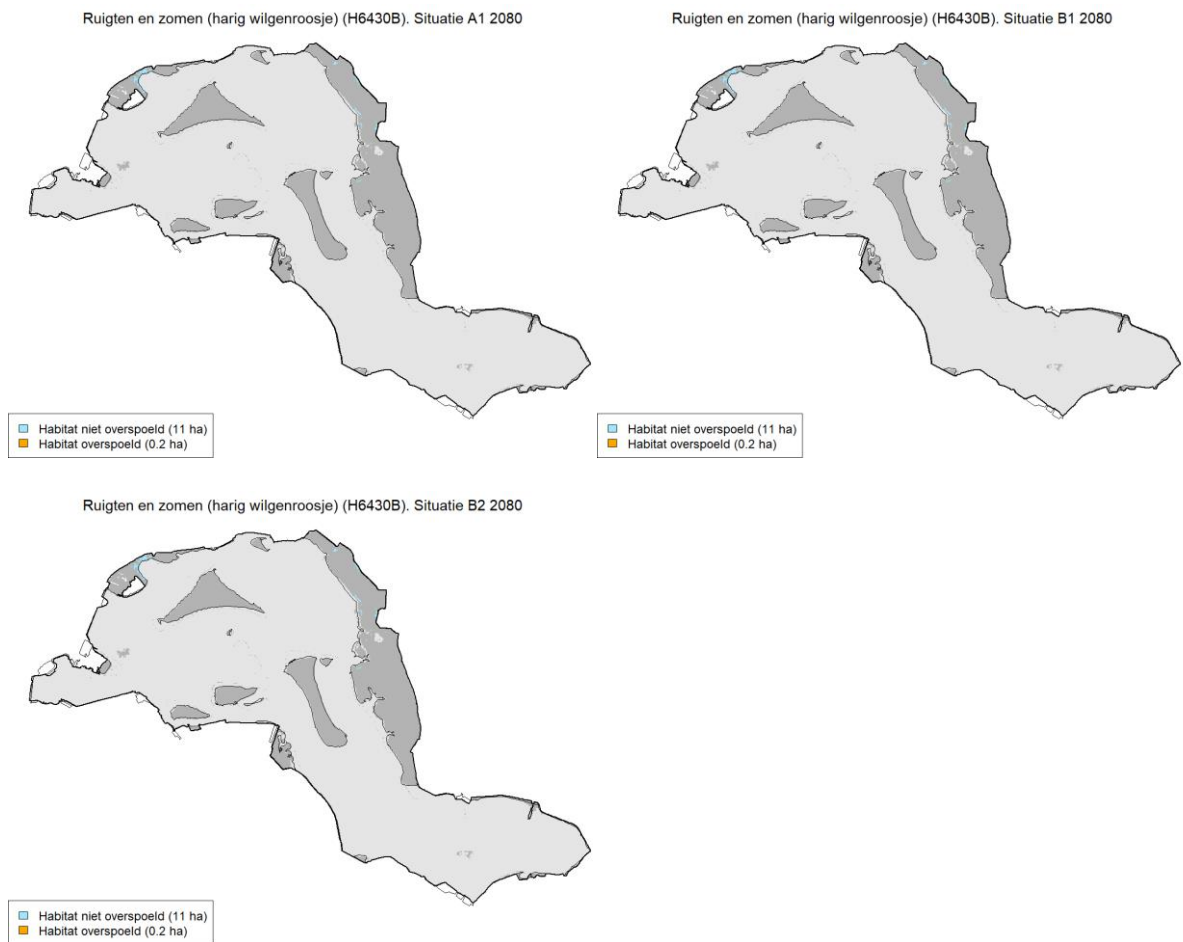
Figuur 89: Directe effecten door overspoeling op habitattype H2190B (vochtige duinvalleien, kalkrijk) voor de verschillende varianten in 2030. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



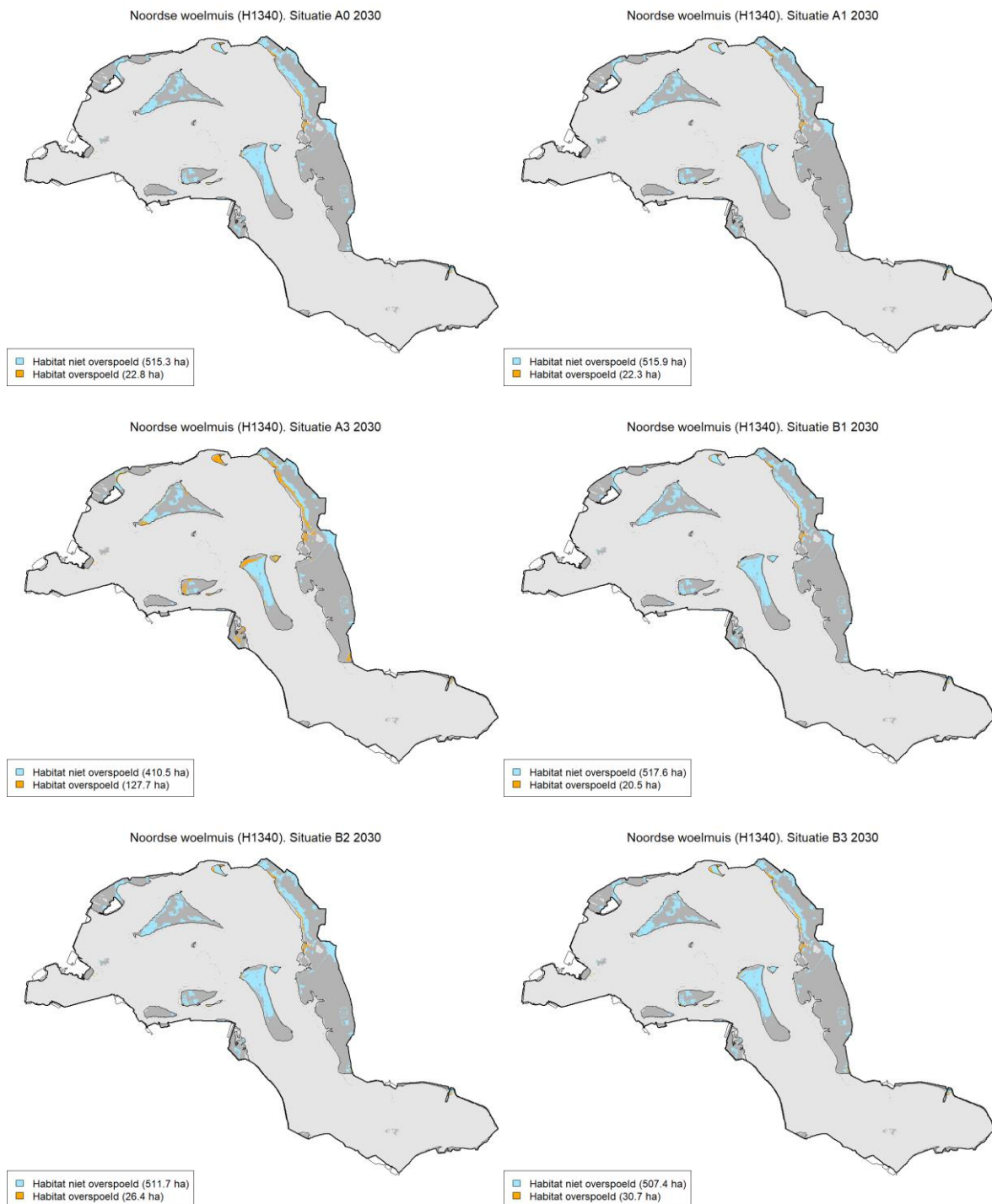
Figuur 90: Directe effecten door overspoeling op habitattype H2190B (vochtige duinvalleien, kalkrijk) voor de verschillende varianten in 2080. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



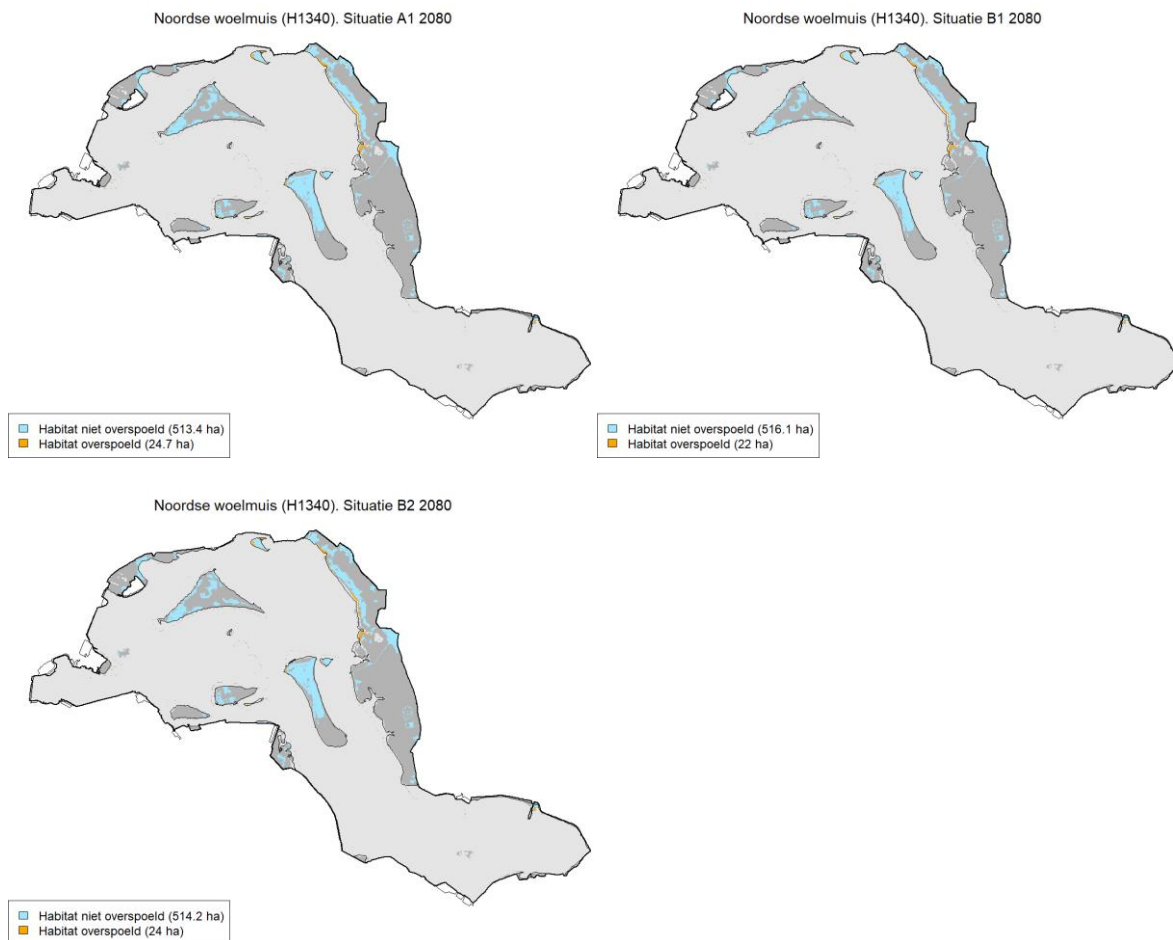
Figuur 91: Directe effecten door overspoeling op habitattypen H6430B (ruigten en zomen, harig wilgenroosje) voor de verschillende varianten in 2030. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



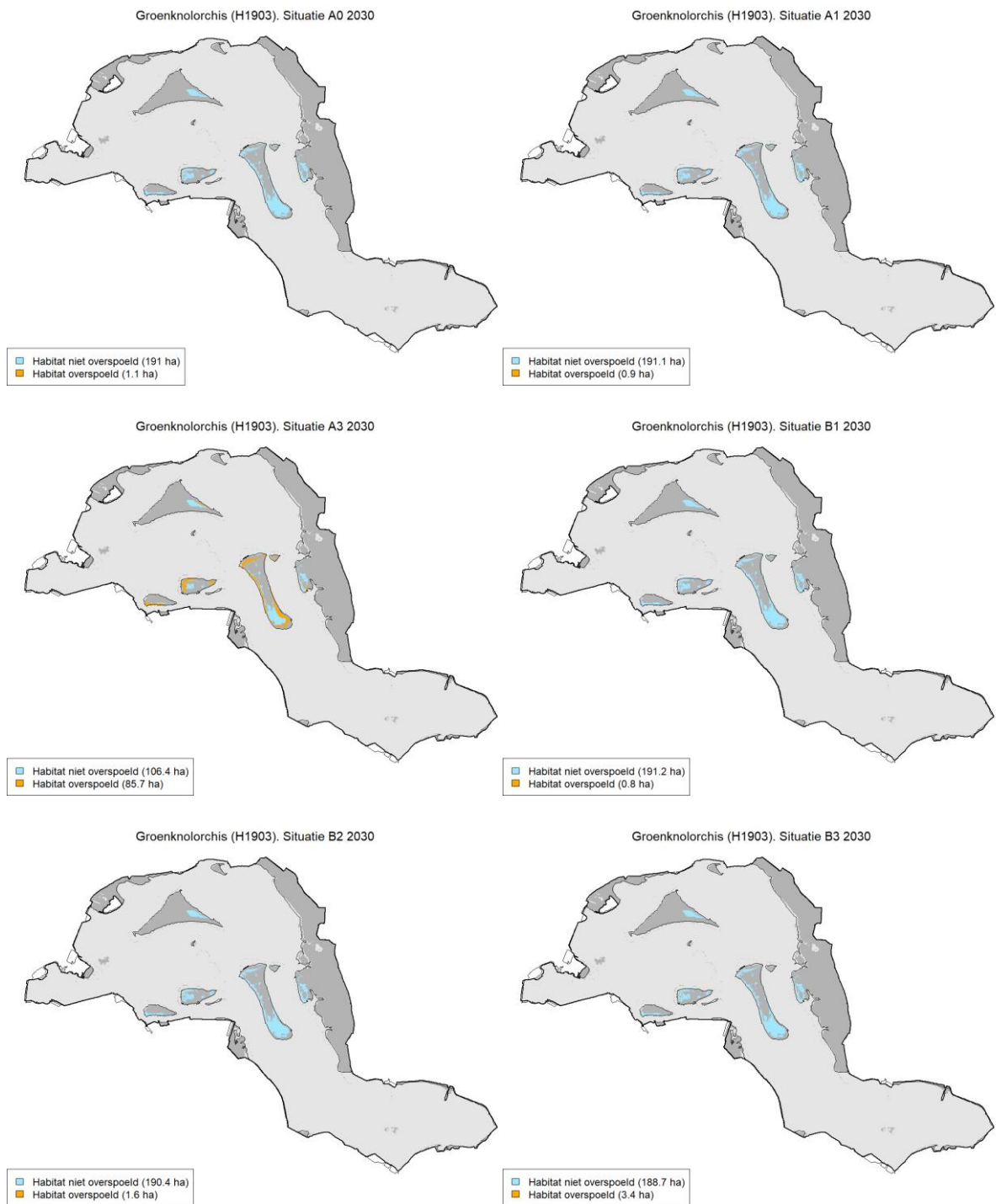
Figuur 92: Directe effecten door overspoeling op habitattype H6430B (ruigten en zomen, harig wilgenroosje) voor de verschillende varianten in 2080. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



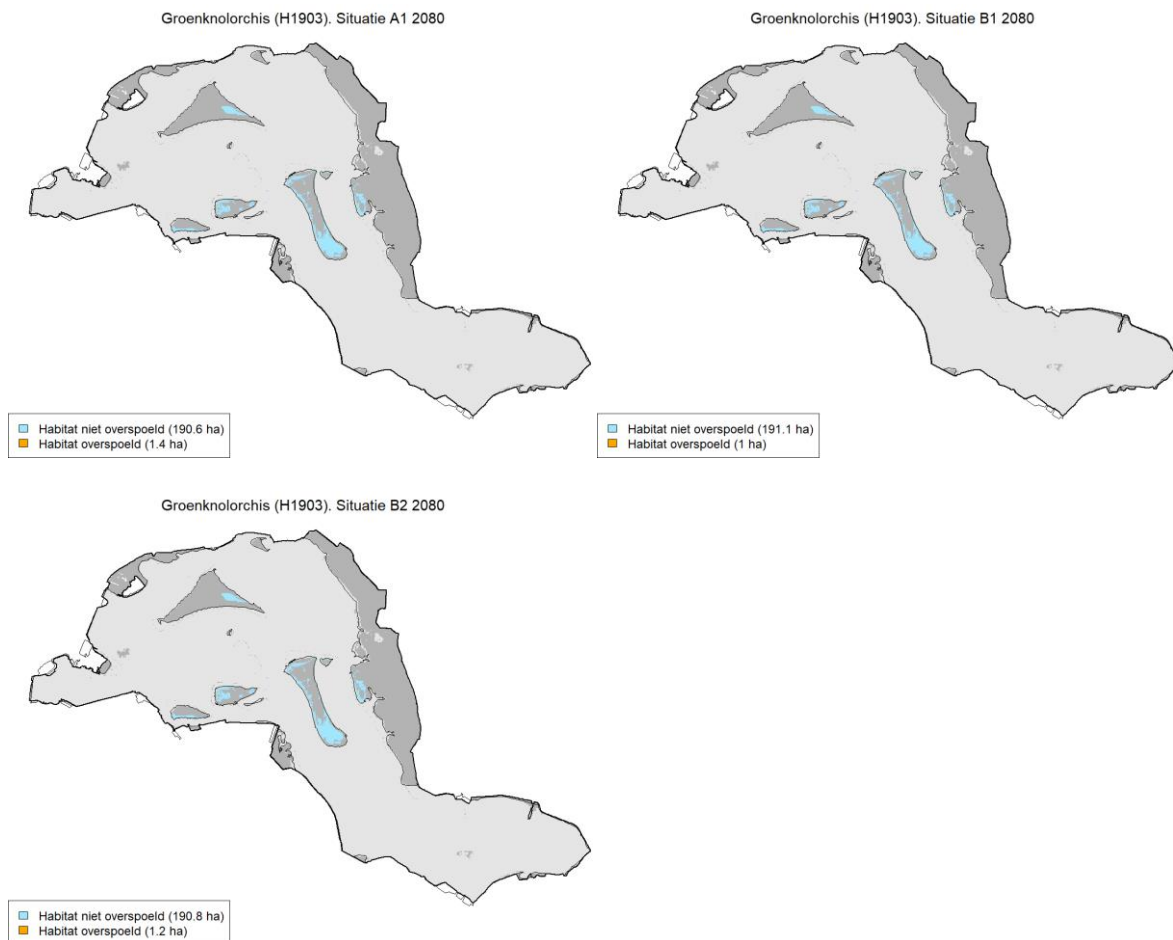
Figuur 93: Directe effecten door overspoeling op het leefgebied noordse woelmuis (HS1340) voor de verschillende varianten in 2030. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.



Figuur 94: Directe effecten door overspoeling op het leefgebied noordse woelmuis (HS1340) voor de verschillende varianten in 2080. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.

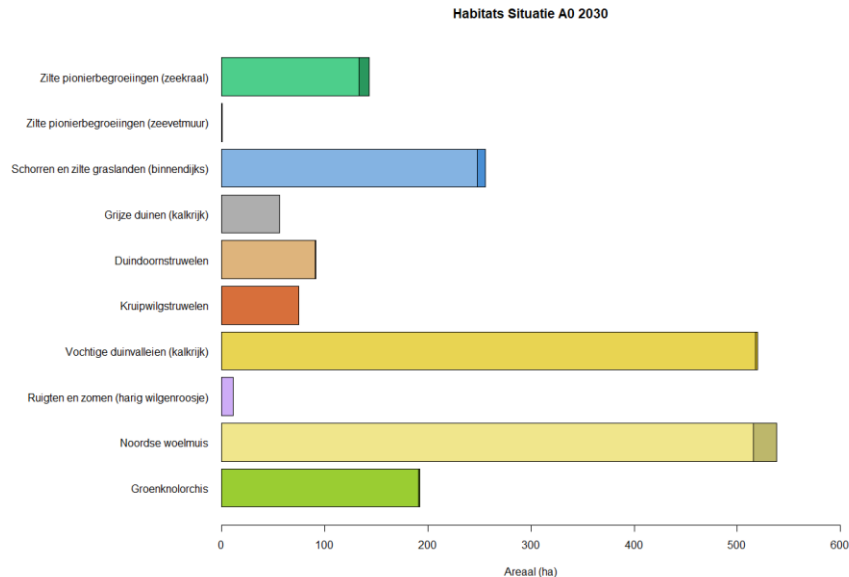


Figuur 95: Directe effecten door overspoeling op het potentieel verspreidingsgebied groenknolorchis (HS1903) voor de verschillende varianten in 2030. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.

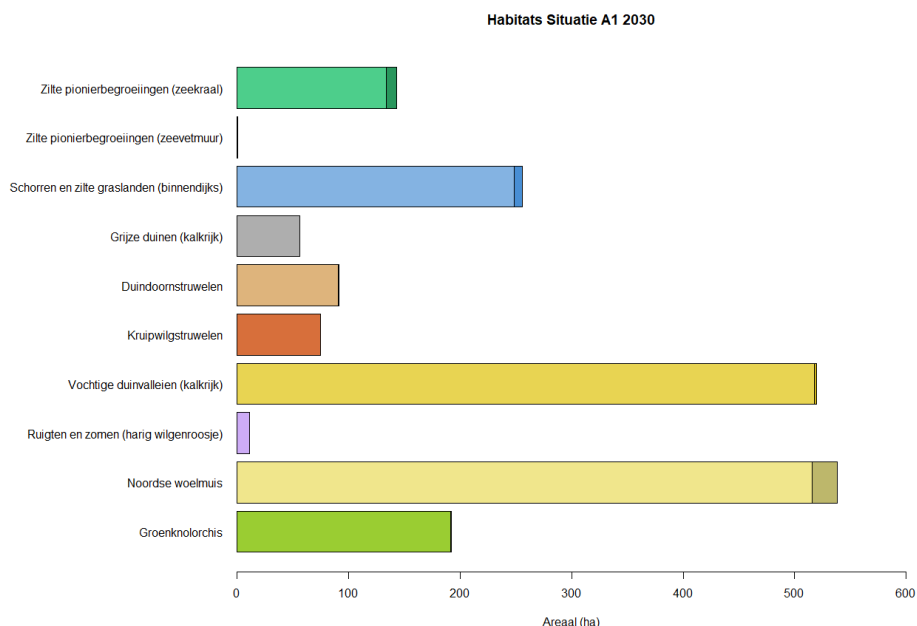


Figuur 96: Directe effecten door overspoeling op het potentieel verspreidingsgebied groenknolorchis (HS1903) voor de verschillende varianten in 2080. In oranje het areaal aan habitat dat zal verdwijnen door overspoeling en in blauw het areaal aan habitat dat behouden blijft.

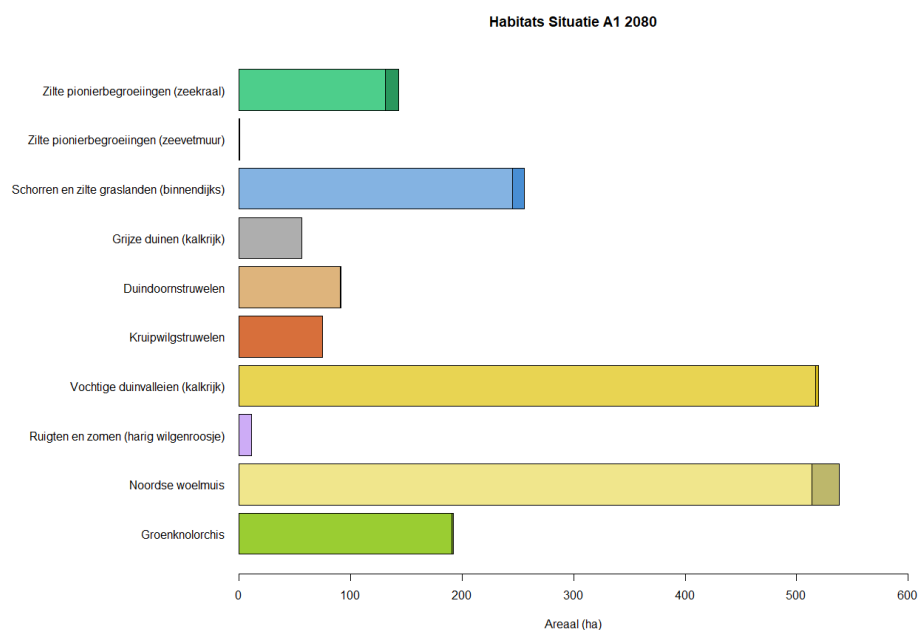
Bijlage 9 Direct habitatverlies door overspoeling



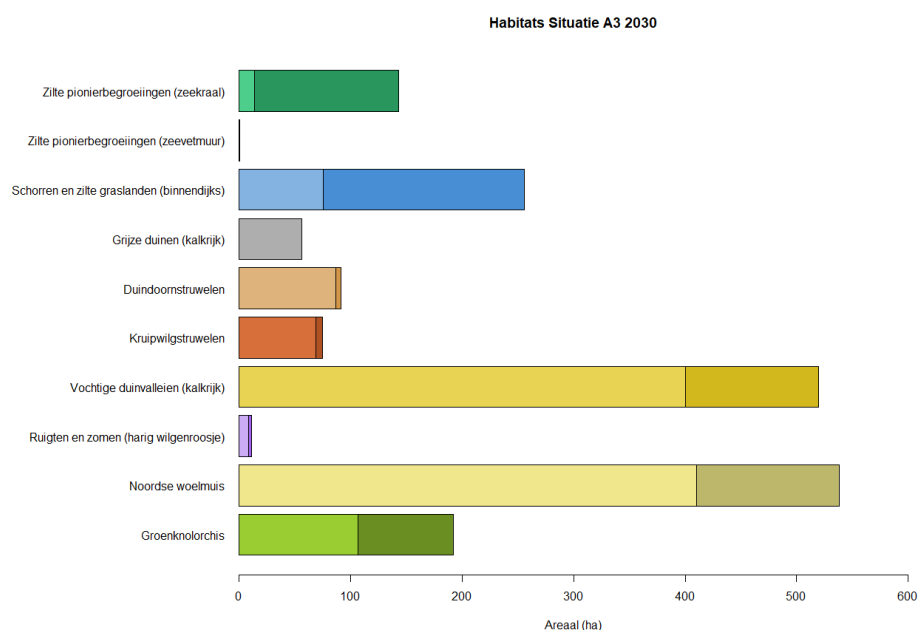
Figuur 97: Areaal (ha) direct verlies (donkere delen van de balken) van de habitats door overspoeling voor variant A0 in 2030. De donkere en lichte delen van de balken samen geven het huidige areaal van de habitats in 2020 (Figuur 4, Figuur 8 en Figuur 9).



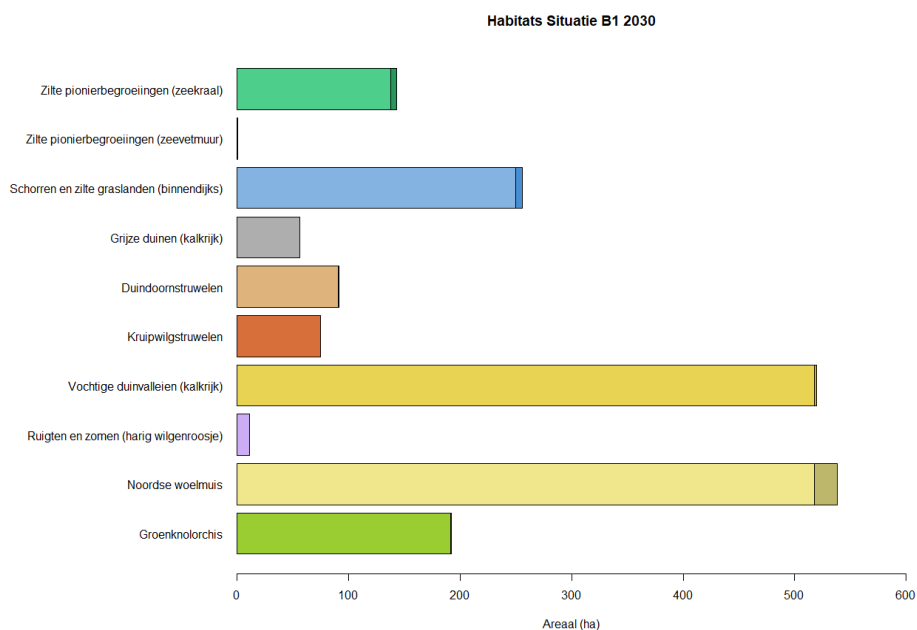
Figuur 98: Areaal (ha) direct verlies (donkere delen van de balken) van de habitats door overspoeling voor variant A1 in 2030. De donkere en lichte delen van de balken samen geven het huidige areaal van de habitats in 2020 (Figuur 4, Figuur 8 en Figuur 9).



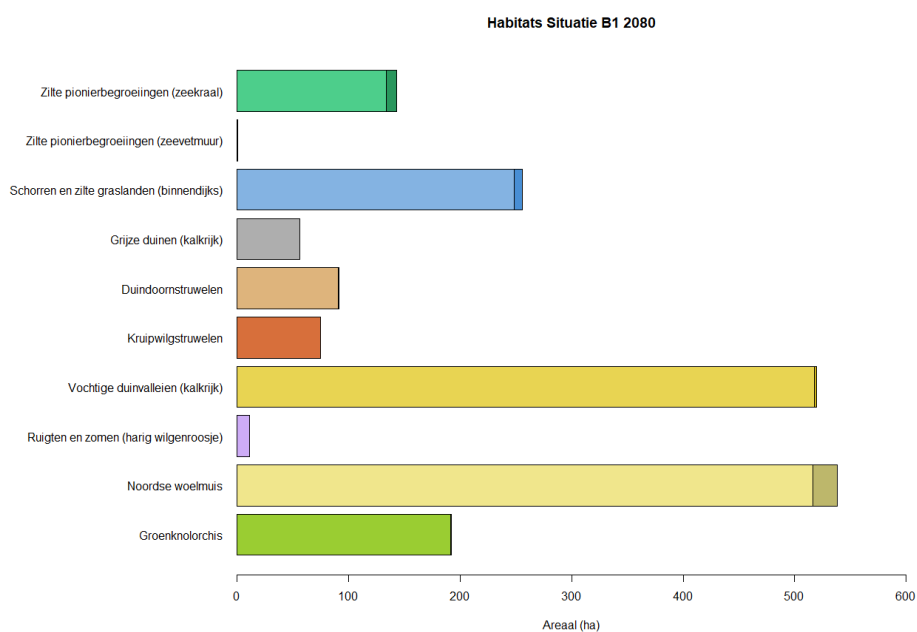
Figuur 99: Areaal (ha) direct verlies (donkere delen van de balken) van de habitats door overspoeling voor variant A1 in 2080. De donkere en lichte delen van de balken samen geven het huidige areaal van de habitats in 2020 (Figuur 4, Figuur 8 en Figuur 9).



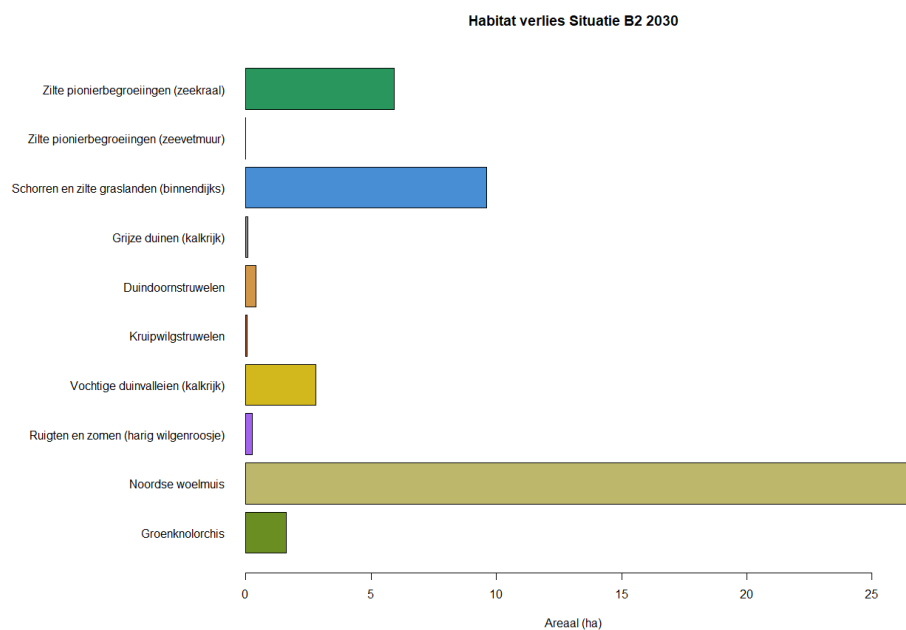
Figuur 100: Areaal (ha) direct verlies (donkere delen van de balken) van de habitats door overspoeling voor variant A3 in 2030. De donkere en lichte delen van de balken samen geven het huidige areaal van de habitats in 2020 (Figuur 4, Figuur 8 en Figuur 9).



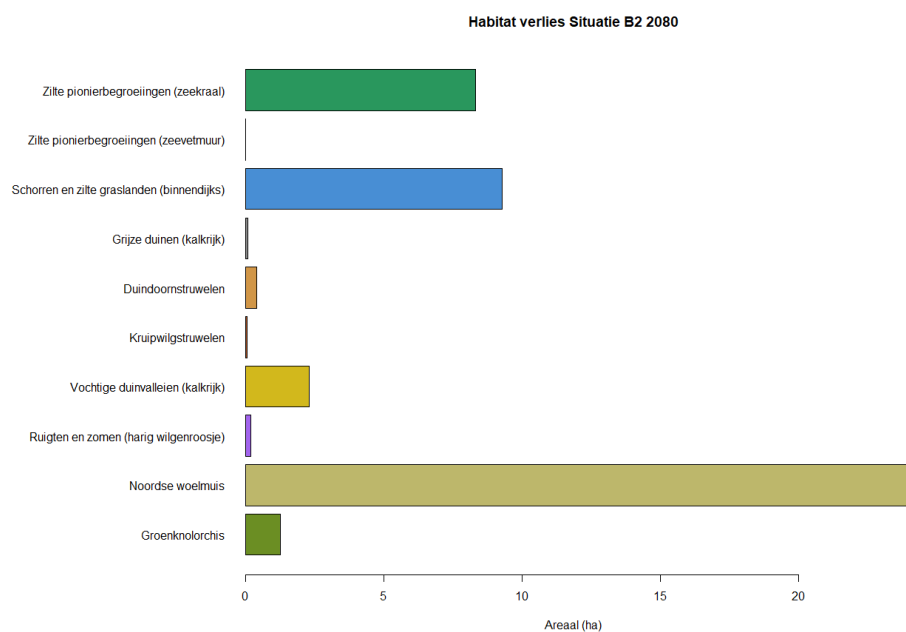
Figuur 101: Areaal (ha) direct verlies (donkere delen van de balken) van de habitats door overspoeling voor variant B1 in 2030. De donkere en lichte delen van de balken samen geven het huidige areaal van de habitats in 2020 (Figuur 4, Figuur 8 en Figuur 9).



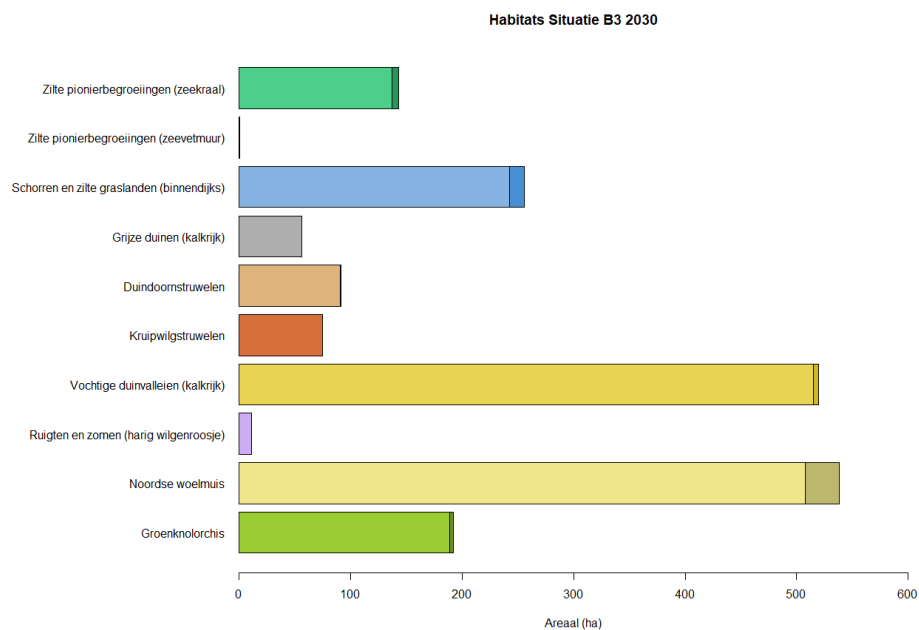
Figuur 102: Areaal (ha) direct verlies (donkere delen van de balken) van de habitats door overspoeling voor variant B1 in 2080. De donkere en lichte delen van de balken samen geven het huidige areaal van de habitats in 2020 (Figuur 4, Figuur 8 en Figuur 9).



Figuur 103: Areaal (ha) direct verlies (donkere delen van de balken) van de habitats door overspoeling voor variant B2 in 2030. De donkere en lichte delen van de balken samen geven het huidige areaal van de habitats in 2020 (Figuur 4, Figuur 8 en Figuur 9).



Figuur 104: Areaal (ha) direct verlies (donkere delen van de balken) van de habitats door overspoeling voor variant B2 in 2080. De donkere en lichte delen van de balken samen geven het huidige areaal van de habitats in 2020 (Figuur 4, Figuur 8 en Figuur 9).



Figuur 105: Areaal (ha) direct verlies (donkere delen van de balken) van de habitats door overspoeling voor variant B3 in 2030. De donkere en lichte delen van de balken samen geven het huidige areaal van de habitats in 2020 (Figuur 4, Figuur 8 en Figuur 9).

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

Bezoekers adres:

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



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

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