



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

RWS INFORMATIE

Verkenning effecten klimaatdrukfactoren op de natuur van de Grote Wateren

Literatuurscan, vraagarticulatie regio's en synthese, in het kader van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging

Datum	9 december 2021
Versie	4.0
Status	DEFINITIEF Rapport
Referentie	<i>LIFE20 IPC/NL/0006 – LIFE-IP NL-NASccelerate</i>

Colofon

Uitgegeven door Rijkswaterstaat WVL
Auteurs E. Ebbens, S. Mulder, M. De Haan, C.A. Schipper, K. Jungerling,
Informatie Cor Schipper en Sarah Marx
Projectleider Mariëtte Klein
Opdracht In kader van Kennisprogramma Zeespiegelstijging

Datum 9 december 2021
Versie 4.0
Status DEFINITIEF Rapport
Referentie KPP ZSS *LIFE20 IPC/NL/0006 – LIFE-IP NL-NASccelerate*

Inhoud

1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doel van de verkenning	6
1.3	Aanpak van de verkenning	6
1.4	Scope en raakvlakken	7
1.4.1	Breder dan alleen zeespiegelstijging	7
1.4.2	Onderzoeksgebied	8
1.5	Leeswijzer	8
2	Klimaatscenario's en effecten op het ecosysteem	9
2.1	Klimaatscenario's IPCC	9
2.1.1	Zeespiegelstijging	9
2.1.2	Temperatuurstijging	12
2.2	Deltascenario's	12
2.3	Effecten drukfactoren op de ecologie van de grote wateren	13
2.3.1	Drukfactoren	13
2.3.2	Doorvertaling naar omgevingscondities en ecosysteem	14
3	Gehanteerde aanpak van de verkenning	17
3.1	Doorlopen proces	17
3.2	Literatuurscan	17
3.2.1	Rapporten Programmatische Aanpak Grote Wateren als basis	17
3.2.2	Aanpak literatuurscan	18
3.2.3	Resultaten literatuurscan	19
3.3	Vraagarticulatie met de regio	19
3.3.1	Doel en scope vraagarticulatie	19
3.3.2	Aanpak vraagarticulatie	19
3.3.3	Resultaten vraagarticulatie	20
3.4	Synthese van literatuurscan en vraagarticulatie	20
3.4.1	Inleiding	20
3.4.2	Doorkijk vanuit literatuurscan naar 2050 en 2300	21
3.4.3	Synthese van kennisvragen vraagarticulatie en literatuurscan	21
3.4.4	Vergelijking kennisvragen en lange-termijn doorkijk literatuurscan	22
4	Literatuurscan: effecten klimaatsverandering op de ecologie per groot water	23
4.1	Introductie	23
4.2	Effecten in de Waddenzee en kustzone	23
4.2.1	Waterplanten	24
4.2.2	Bodemdieren en algen	24
4.2.3	Vissen	25
4.2.4	Vogels	26
4.2.5	Zoogdieren	27
4.2.6	Habitats	28
4.3	Effecten in de Zuidwestelijke Delta	29
4.3.1	Bodemdieren en algen	32
4.3.2	Vissen	35
4.3.3	Vogels	35
4.3.4	Zoogdieren	36
4.3.5	Habitats	36

4.4	Effecten in het Rivierengebied	37
4.4.1	Algen	38
4.4.2	Waterplanten	38
4.4.3	Bodemdieren/macrofauna	39
4.4.4	Vissen	39
4.4.5	Vogels	40
4.4.6	Zoogdieren	40
4.4.7	Habitats	40
4.5	Effecten in het IJsselmeergebied	40
4.5.1	Algen	43
4.5.2	Waterplanten	43
4.5.3	Bodemdieren/macrofauna	44
4.5.4	Vissen	44
4.5.5	Vogels	45
4.5.6	Zoogdieren	46
4.5.7	Habitats	46
4.6	Leemten in kennis op basis van de literatuurscan	46
4.6.1	Algemeen	46
4.6.2	Leemten in kennis Waddenzee en kustzone	46
4.6.3	Leemten in kennis Zuidwestelijke Delta	46
4.6.4	Leemten in kennis Rivierengebied	47
4.6.5	Leemten in kennis IJsselmeergebied	47
5	Resultaten literatuurscan en vraagarticulatie regio	48
5.1	Beschouwing resultaten literatuurscan	48
5.1.1	Inleiding	48
5.1.2	Algemeen	48
5.1.3	Per drukfactor	49
5.1.4	Per ecologische groep	50
5.2	Kennisvragen vanuit de uitgevoerde literatuurscan	52
5.3	Doorkijk effecten drukfactoren klimaatverandering per regio	52
5.3.1	Waddenzee en kustzone	53
5.3.2	Zuidwestelijke Delta	54
5.3.3	Rivierengebied	56
5.3.4	IJsselmeergebied	58
5.4	Vraagarticulatie regio	61
5.4.1	Uitkomst van de sessies	61
6	Synthese: beschouwing, conclusies en kennisvragen	63
6.1	Inleiding	63
6.2	Snelheid klimaatopwarming sneller dan verwacht (KNMI)	63
6.3	Eerste waarnemingen van effecten klimaatverandering op de natuur	64
6.6	Synthese: duiding resultaten op regioniveau	
6.7	Synthese: vergelijking literatuurscan en uitkomsten regioessies	68
7	Conclusies en aanbevelingen	70
7.1	Conclusies	70
7.2	Aanbevelingen in relatie tot zeespiegelstijging	71
7.2.1	Aanpassing aan het watersysteem ter voorbereiding op zeespiegelstijging	71
7.2.2	Ecosysteemdiensten natuur kans bij klimaatrobuust inrichten Grote Wateren	71
7.2.3	Meer ruimte en randvoorwaarden voor natuur na 2050	71
7.2.4	Effecten zeespiegelstijging op N2000-doelstellingen	72
7.3	Overige aanbevelingen	72

7.3.1	Kennisvragen over drukfactoren vanuit klimaatverandering	72
7.3.2	Klimaatmonitoring voor meten effecten op natuur	72
7.3.3	Regierol klimaatsverandering	73
7.3.4	Verschillen literatuurscan en regiosessies	73
8	Geraadpleegde Literatuur	74
Bijlage 1	Lijst deelnemers generieke sessie	83
Bijlage 2	Toelichting doorlopen proces	84
Bijlage 3	Lijst met kennisvragen en beleidsvragen voor KP ZSS	85
Bijlage 4	Overzicht van aanvullende opbrengst:	89

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2019 is het Kennisprogramma Zeespiegelstijging gestart. Het Kennisprogramma richt zich primair op de effecten van zeespiegelstijging op de waterveiligheid (kustfundament, waterkeringen) en de zoetwatervoorziening (verziltingsproblematiek). Gezien de mogelijke impact van zeespiegelstijging op de ecologie en de rol die natuurlijke systemen kunnen spelen bij het meegroeien met de scenario's voor zeespiegelstijging worden in het programma ook de mogelijke effecten van zeespiegelstijging op de ecologie in de grote wateren meegenomen. Daarbij is het van groot belang om ook te kijken naar de andere klimaatdrukfactoren. De verkenning "*Verkenning effecten van klimaatdrukfactoren op de natuur van de Grote Wateren*" geeft inzicht in de belangrijkste vragen die op dit vlak spelen.

1.2 Doel van de verkenning

Het doel van deze verkenning is om inzichtelijk te krijgen welke prioritaire kennis- en beleidsvragen over de mogelijke gevolgen van zeespiegelstijging en andere klimaatdrukfactoren op de natuur en ecologie van de grote wateren de komende jaren beantwoord moeten worden. Daarnaast zijn de kennisleemtes vanuit de perceptie van de waterbeheerders uit de Grote Wateren regio's geïdentificeerd waarna de uitkomsten zijn vergeleken met de literatuurscan. Hiervoor is een literatuurscan opgesteld en is een dialoog gevoerd met experts en betrokkenen vanuit de regio's Zuidwestelijke Delta, Rivierengebied, IJsselmeergebied en Waddenzee & Kustzone.

1.3 Aanpak van de verkenning

De verkenning is opgebouwd uit een drietal onderdelen. Middels een *literatuurscan* is de huidige wetenschappelijke kennis met betrekking tot effecten van klimaatverandering op de ecologie van de grote wateren inzichtelijk gemaakt met als doel om een goed beeld te krijgen van de bestaande kennisleemtes. Bestaande studies met betrekking tot klimaatverandering die in het kader van de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW) zijn opgesteld, vormden daarvoor het startpunt.

Parallel aan de literatuurscan heeft een *verdiepende vraagarticulatie* plaatsgevonden met de betrokken regio's binnen Rijkswaterstaat, waarbij ook experts van buiten Rijkswaterstaat betrokken zijn.

Hiermee zijn bestaande vragen, knelpunten en korte- en lange termijn overwegingen die leven binnen de RWS-regio's opgehaald, waarmee het verkregen beeld vanuit de literatuurscan is getoetst en aangevuld kon worden.

Vervolgens heeft een synthese plaatsgevonden, waarin de resultaten van de literatuurscan en de verdiepende vraagarticulatie in samenhang zijn bekeken. Uit de synthese volgen de belangrijkste kennis- en beleidsvragen die leven op het raakvlak tussen zeespiegelstijging en ecologie.

1.4 Scope en raakvlakken

1.4.1 *Breder dan alleen zeespiegelstijging*

Om de effecten van klimaatverandering op de natuur goed te kunnen beschouwen is het noodzakelijk om naast de effecten van zeespiegelstijging ook effecten vanuit overige klimaatdrukfactoren te beoordelen, zoals hogere en lagere afvoerdebieten en temperatuurstijging. In deze verkenning is hierdoor breder gekeken dan alleen naar de effecten door stijging van de zeespiegel en de daaraan gekoppelde verzilting.

Deze keuze heeft geleid tot een groot aantal kennis- en beleidsvragen die niet allemaal gelieerd zijn aan zeespiegelstijging, maar voor het klimaat robuust inrichten van de grote wateren wel zeer relevant zijn. Gezien de opdracht vanuit het Kennisprogramma zeespiegelstijging is de rapportage van deze verkenning toegespitst op de directe en indirecte effecten van zeespiegelstijging.

De "bredere opbrengst" is opgenomen in een aparte bijlage, zodat voorkomen wordt dat deze opbrengst verloren gaat. In deze bijlage wordt tevens aandacht gegeven aan relevante (onderzoek) programma's die voor het verder agenderen en uitzoeken van kennisvragen van belang kunnen zijn. Zo wordt eind 2021 als onderdeel van het LIFE IP project NAScellerate¹ het deelproject *Klimaat Adaptatie Kompas en Actie tabel voor toekomstbestendige en ecologisch veerkrachtige grote wateren in Nederland 2050* (KAKATOE) gestart. Dit programma bestaat in hoofdlijnen uit drie pijlers:

- 1) het uitvoeren van een gedetailleerde klimaatscan per groot water,
- 2) het opstellen van een actietabel met concrete maatregelen en
- 3) het starten van een "community of practice" om de noodzakelijke kennisuitwisseling te bevorderen.

¹ Het LIFE IP programma NAScellerate is opgesteld om een "versnelling" te bewerkstelligen van de Nederlandse Adaptatie Strategie (NAS). Naast toekomstbestendige en ecologisch veerkrachtige grote wateren komen binnen NAScellerate onderwerpen als bodemdaling, veenweidegebieden en hittestress aan bod.

1.4.2 *Onderzoeksgebied*

In de verkenning is aangesloten bij de grote wateren die in beheer zijn bij Rijkswaterstaat met uitzondering van de Noordzee. Het gaat daarbij om het IJsselmeergebied, het Rivierengebied, de Zuidwestelijke Delta en de Waddenzee & Kustzone (Noordzeekustzone en de Hollandse kust).

1.5 Leeswijzer

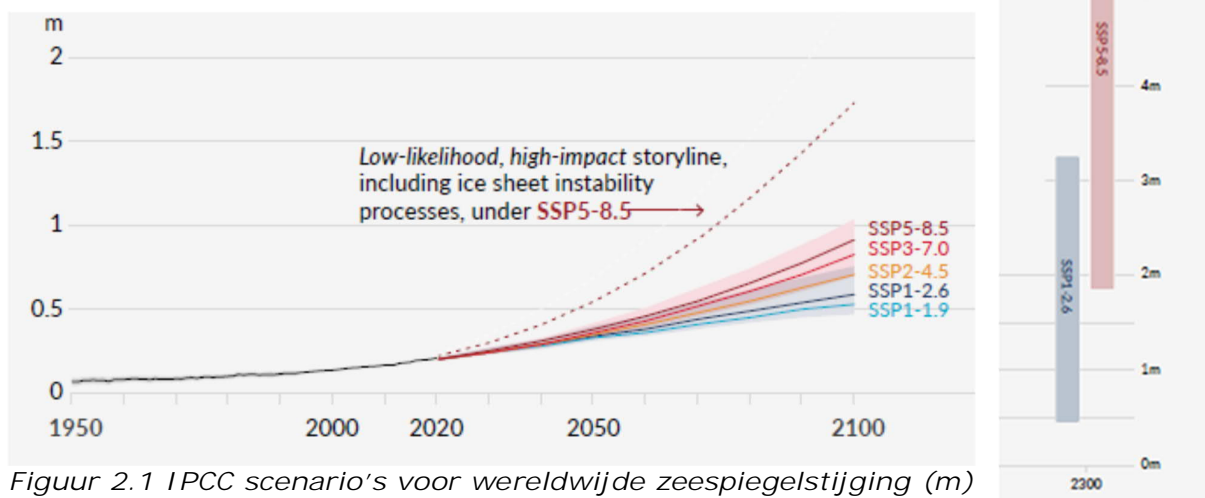
Na het schetsen van aanleiding, doel en scope van de verkenning "*Verkenning effecten van klimaatdrukfactoren op de natuur van de Grote Wateren*" wordt in hoofdstuk 2 inhoudelijk ingegaan op de scenario's voor klimaat- en zeespiegelstijging en wordt de verdere context geschetst. In Hoofdstuk 3 wordt uitgebreid ingegaan op de gehanteerde methodiek. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 aan de hand van de uitgevoerde literatuurscan per groot water de huidige wetenschappelijke kennis met betrekking tot effecten van klimaatverandering op de ecologie weergegeven. Hoofdstuk 5 bevat de resultaten en conclusies van zowel de literatuurscan als de vraagarticulatie. Dit hoofdstuk vormt de basis voor de uitgevoerde synthese in hoofdstuk 6, resulterend in een overzicht van de belangrijkste beleids- en kennisvragen. De verkenning wordt afgesloten met aanbevelingen voor zowel het Kennisprogramma Zeespiegelstijging als in een meer bredere context. In een aparte bijlage 4 is de "bijvangst" weergegeven van de kennisvragen die geen direct verband hebben met zeespiegelstijging, maar in het kader van klimaatadaptatie wel zeer relevant zijn.

2 Klimaatscenario's en effecten op het ecosysteem

2.1 Klimaatscenario's IPCC

2.1.1 Zeespiegelstijging op wereldschaal

Als gevolg van klimaatverandering zal de globale (absolute) zeespiegel de komende honderden jaren onvermijdelijk blijven stijgen. Dit komt mede doordat er steeds meer aanwijzingen zijn dat de Antarctische Ijskap sneller kan afsmelten dan voorheen werd gedacht (IPCC, 2019/IPCC, 2021). De snelheid waarmee de zeespiegel zal gaan stijgen, hangt mede af van de hoeveelheid broeikasgassen die de maatschappij blijft uitstoten. In onderstaande figuren zijn de meest recente scenario's van het IPCC (2021) weergegeven met betrekking tot zeespiegelstijging aan de hand van verschillende sociaal economische scenario's (Zie kader). Deze rapportage van het IPCC (2021) beschrijft de natuurwetenschappelijke basis van klimaatverandering. In 2022 verschijnen de volgende delen van deze rapportage, waarin nader wordt ingegaan op de gevolgen van klimaatverandering en de mogelijkheden om de uitstoot van broeikasgassen te kunnen verlagen.



Figuur 2.1 IPCC scenario's voor wereldwijde zeespiegelstijging (m) tot 2100 (links) en bandbreedte zeespiegelstijging tot 2300 (rechts)(IPCC, 2021)

- Uit figuur 2.1 blijkt dat afhankelijk van de mate waarin broeikasgassen de komende decennia zullen afnemen de wereldwijde zeespiegel-stijging in 2100 uitkomt tussen de 0,5 en 1 meter. Het IPCC schetst daarnaast nog een scenario dat de zeespiegelstijging door versneld smelten van de ijskappen op Antarctica nog veel hoger kan komen te liggen. Ook wordt een doorkijk gegeven richting 2300, waarbij een

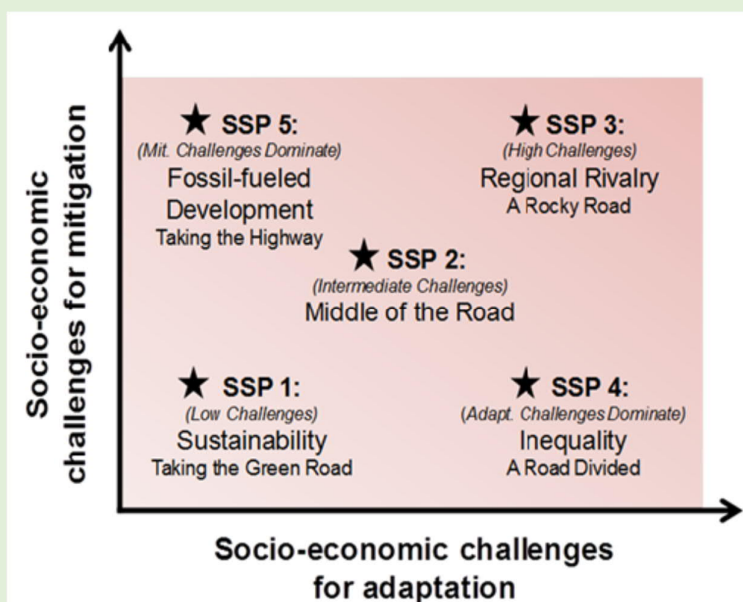
zeespiegelstijging hoger dan 15 meter in 2300 niet uitgesloten kan worden. In het voorgaande IPCC-rapport (2014) was dit nog 5 meter. Samenvattend zijn de oorzaken van zeespiegelstijging op wereldschaal het gevolg van smeltend ijs op de polen en gletsjers en door uitzetting van opwarmend zeewater. Daarbij zijn er verschilpatronen in zeespiegelstijging over de wereld, dit geldt ook voor de geografische ligging van de Noordzee daarin.

2.1.2 Zeespiegelstijging in Nederland

De Nederlandse kust is voor het overgrote deel opgebouwd uit enorme hoeveelheden zand. De zandige vooroevers, stranden en duinen dienen als de bescherming van het achterland tegen overstromingen. Daarnaast is er zand nodig voor het aanvullen van de natuurlijke zandtekorten in de zuidwestelijke Delta en de Waddenzee, die onder meer een gevolg zijn van de gedeeltelijke afsluiting van de getijdenbekkens en de bodemdaling door gaswinning. De actuele (relatieve) zeespiegelstijging uitgedrukt als de stijging ten opzicht van een referentie vlak verbonden aan een vast punt in de ondergrond bedraagt ca. 1,86 mm/jaar. De absolute zeespiegelstijging is de werkelijke verhoging van de zeespiegel ten opzichte van het middelpunt van de aarde door vermeerdering van de hoeveelheid water in de oceanen en door uitzetting als gevolg van temperatuurstijging (Baart et al., 2019). In het programma Kustgenese 2.0 is vastgesteld dat er tot 2035 nog geen versnelling van de zeespiegelstijging wordt verwacht. Daarnaast zal er in de komende periode vanuit het KNMI meer duidelijkheid komen over een verandering van de zeespiegelstijgingsnelheid in de periode na 2035.

Kader 1 Toelichting Scenario's IPCC (2021)

Het IPCC (2021) maakt in haar rapportage gebruik van Sociaal-economische groeipaden (*Shared Socio-Economic Pathways*). De mogelijke groeipaden zijn ontleend aan sociaaleconomische scenario's op basis van de snelheid dat fossiele brandstoffen vervangen kunnen worden (mitigatie) en de snelheid waarin de verschillende regio's daar op kunnen aanpassen (adaptatie). In onderstaande figuur² zijn deze mogelijke groeipaden weergegeven.

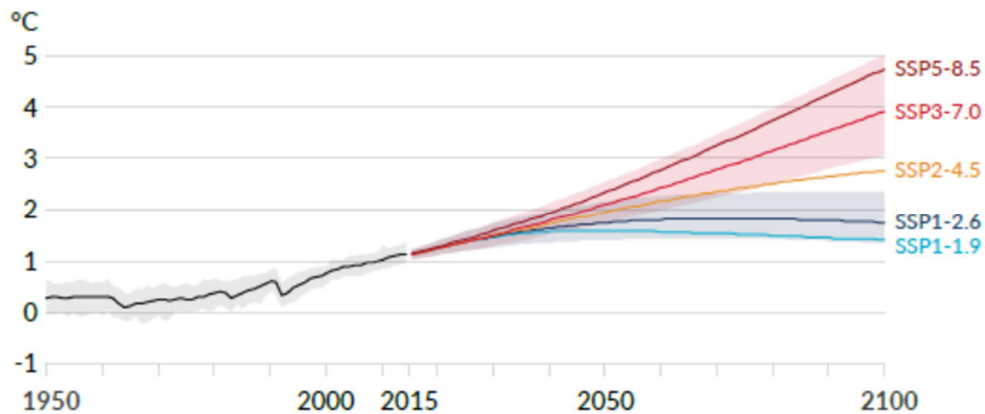


In de rapportage van het IPCC (2021) worden de voorspellingen gepresenteerd aan de hand van vijf illustratieve scenario's (zie ook figuur 2.1). SSP3-7.0 en SSP5-8.5 zijn scenario's met respectievelijk hoge en zeer hoge broeikasgasemissies en CO₂-emissies die tegen respectievelijk 2100 en 2050 ongeveer verdubbelen ten opzichte van de huidige niveaus. SSP2-4.5 is een "gemiddeld" scenario qua broeikasgasemissies en CO₂-emissies die gelijk blijven tot het midden van de eeuw. Daarnaast zijn twee scenario's geschetst met respectievelijk zeer lage en lage broeikasgasemissies en CO₂-emissies die dalen tot netto nul rond of na 2050, gevolgd door verschillende niveaus van netto negatieve CO₂-emissies (SSP1-1.9 en SSP1-2.6). De getallen in deze scenario's corresponderen met een de stralingsforcering (W/m²) in het jaar 2100. Met stralingsforcering wordt het verschil uitgedrukt tussen de invallende energie van de zon en de energie van de straling die door de aarde uitgezonden wordt naar de ruimte.

²https://unfccc.int/sites/default/files/part1_iiasa_rogelj_ssp_poster.pdf

2.1.3 Temperatuurstijging

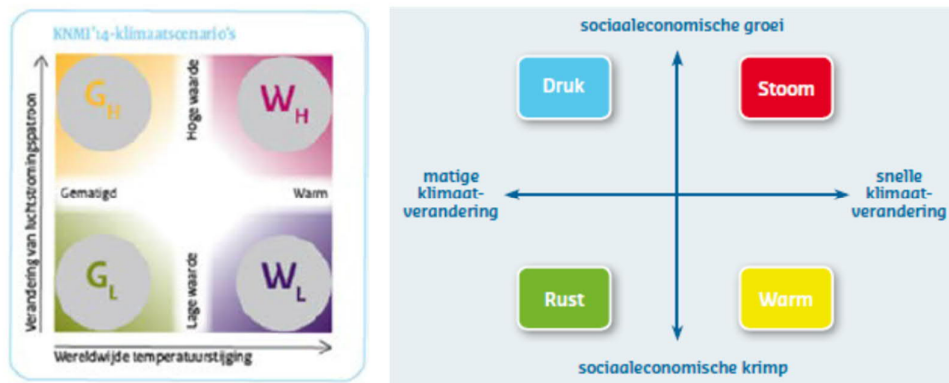
Naast scenario's voor zeespiegelstijging zijn de scenario's met betrekking tot temperatuurstijging relevant, zoals die zijn opgenomen in het 6e IPCC-rapport (IPCC, 2021). In figuur 2.3 wordt de bandbreedte weergegeven van de verandering in de wereldwijd gemiddelde oppervlaktetemperatuur ten opzichte van 1986-2015 op basis van scenario's voor de ontwikkeling van broeikasgassen (*Shared Socio-economic Pathways*).



Figuur 2.3 Verandering in de wereldwijd gemiddelde oppervlaktetemperatuur ten opzichte van 1986-2015 (IPCC, 2021)

2.2 Deltascenario's

Binnen het deltaprogramma wordt gewerkt met Deltascenario's. De Deltascenario's geven gezamenlijk een samenhangend beeld van klimatologische en sociaaleconomische ontwikkelingen, de onzekerheden daarin en de implicaties daarvan voor het waterbeheer. Het zichtjaar is 2050, met een doorkijk naar het einde van de eeuw. In oktober 2021 zal het KNMI het Klimaatsignaal '21 publiceren. In het klimaatsignaal wordt op basis van eigen waarnemingen en onderzoek van het KNMI de kennis uit het nieuwe IPCC-rapport vertaald naar de gevolgen voor het klimaat en de weersextremen in Nederland. Deze klimaatscenario's worden vervolgens omgezet naar deltasceario's. Zie figuur 2.4 voor de weergave van de meest recente KNMI-scenario's uit 2014 (KNMI, 2015).



Figuur 2.4 KNMI scenario's (links) en Deltascenario's (rechts)

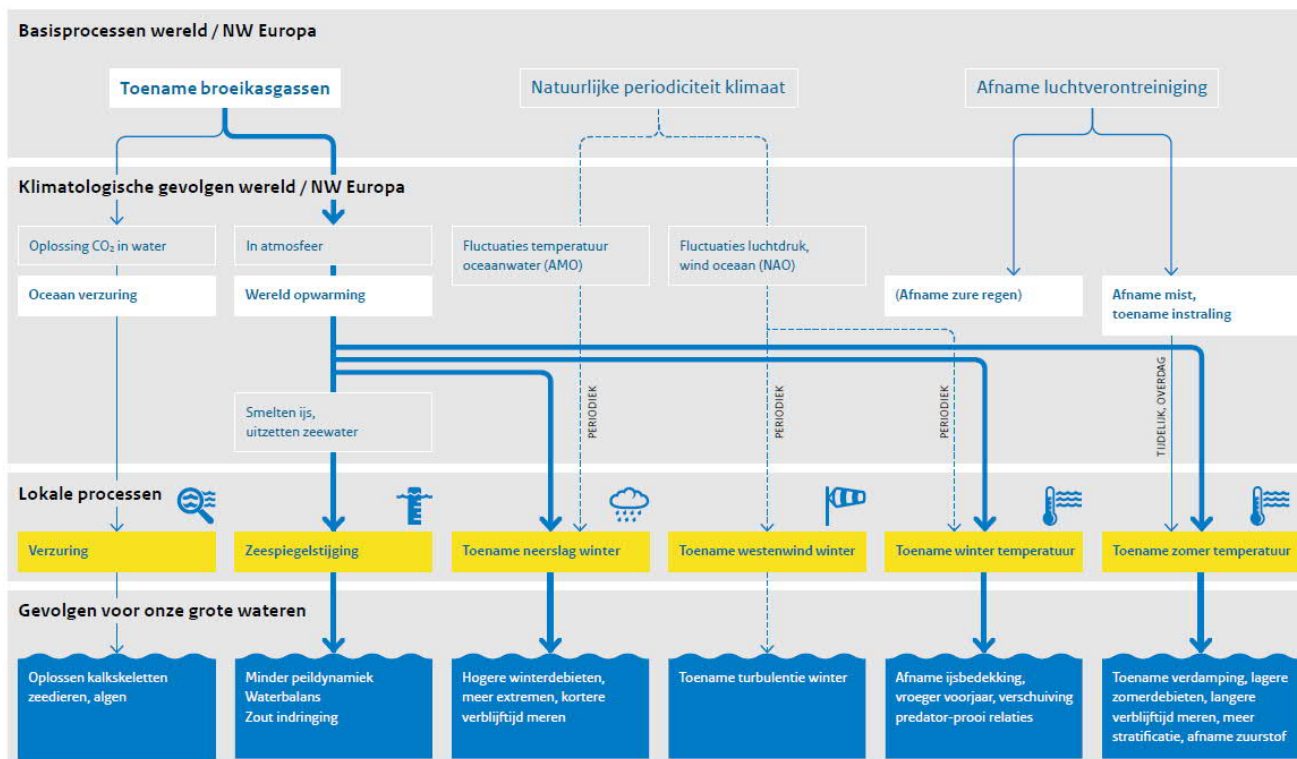
De meest recente Deltascenario's dateren uit 2017 (Wolters et al., 2018) en zullen naar aanleiding van de nog te actualiseren KNMI-klimaatscenario's in 2023 weer geactualiseerd worden. Het 6e rapport van IPCC levert hiervoor dus belangrijke input.

De effecten van zeespiegelstijging op de ecologie en natuur van de grote wateren zal in de komende decennia nog beperkt zichtbaar zijn. Zie figuur 2.1, aan het eind van de eeuw ligt deze op basis van de huidige kennis tussen de 0,5 en 1 meter. Om de gevolgen van zeespiegelstijging voor de ecologie op de grote wateren inzichtelijk te krijgen is het noodzakelijk om ook verder te kijken dan 2100. Voor meer informatie met betrekking tot de Deltascenario's en de vertaling per groot water wordt verwezen naar Deltascenario's op www.deltacommissaris.nl en de Klimaatscan van Noordhuis et al. (2020).

2.3 Effecten drukfactoren op de ecologie van de grote wateren

2.3.1 Drukfactoren

De hierboven geschetste scenario's voor het klimaat en de Nederlandse delta resulteren voor de grote wateren in een aantal drukfactoren. Dit zijn temperatuurstijging inclusief hittestress, zeespiegelstijging inclusief verzilting, extreme variatie in neerslag en rivierafvoer (inclusief langdurige periode van droogte), veranderend windklimaat, toename zonuren en verzuring van het watersysteem. Vanuit Rijkswaterstaat is in het kader van de Programmatie Aanpak Grote Wateren (PAGW) en de Kaderrichtlijn water (KRW) aan Deltares verzocht om de gevolgen op de grote wateren te onderzoeken. In Noordhuis et al. 2020 zijn deze drukfactoren schematisch weergegeven (zie figuur 2.5).



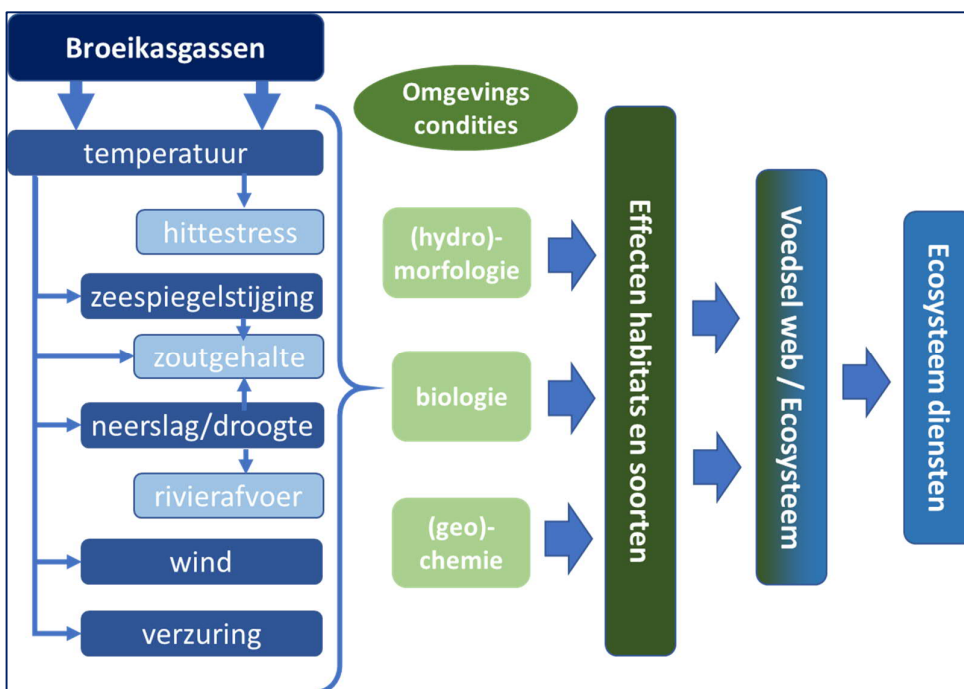
Figuur 2.5 Gevolgen klimatologische drukfactoren op lokale processen, overgenomen uit Noordhuis et al., 2020.

2.3.2 Doorvertaling naar omgevingscondities en ecosysteem

De grenzen voor de ontwikkeling en het functioneren van elk ecosysteem worden gevormd door de ter plekke aanwezige omgevingscondities (Burke et al., 2001). De omgevingscondities kunnen worden onderverdeeld in de categorieën (hydro)morfologie, chemie en biologie. De in figuur 2.5 weergegeven drukfactoren kunnen deze condities zowel direct als indirect beïnvloeden. Stijging van de zeespiegel kan bijvoorbeeld resulteren in een afname van het areaal aan intergetijdengebied. Een indirect effect hiervan betreft het verlies aan foerageermogelijkheden voor vogels.

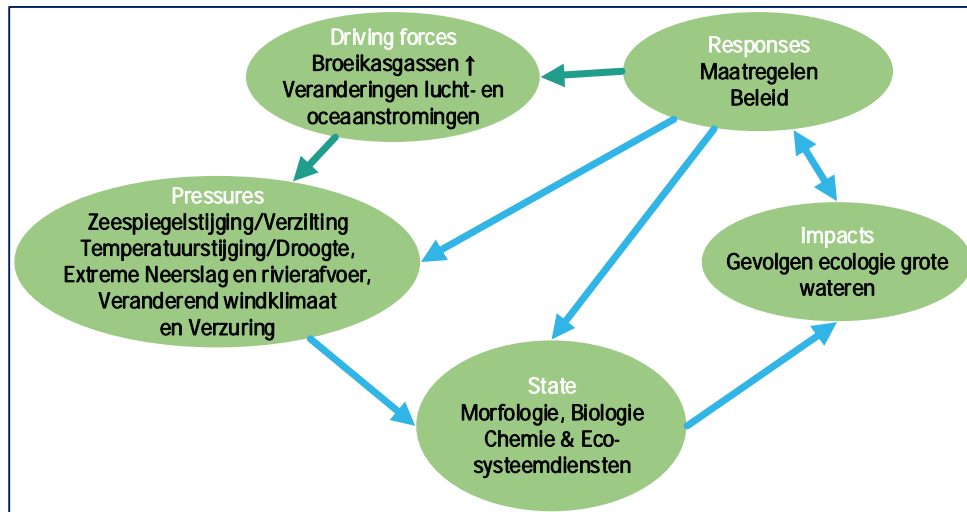
De gevolgen van klimaatverandering op de ecologie spelen zich af op zowel de korte als de lange-termijn. Momenteel is bijvoorbeeld al sprake van verhoging van temperaturen met effect op het functioneren van soorten. Door de combinatie van zeespiegelstijging, temperatuurstijging en verandering van geochemische sedimentsamenstelling is de potentiële impact op de ecologie van de grote wateren op termijn zeer groot. Bij het beschouwen van de effecten dient niet alleen gekeken te worden op het niveau van

ecosystemen, maar ook naar de gevolgen voor de diensten die deze ecosystemen leveren. Denk daarbij aan diensten als drinkwater, voedselvoorziening waterberging, kustbescherming, verkoeling in de stad en erosiebestrijding. Dit maakt het voorspellen van effecten van zeespiegelstijging en de andere drukfactoren op de ecologie van de grote wateren zeer complex. In onderstaande figuur 2.6 is deze complexiteit schematisch weergegeven.



Figuur 2.6 Schematische weergave complexiteit doorvertaling effecten naar voedselketen en ecosystemendiensten

De drukfactoren die zijn ontstaan door klimaatverandering en de gevolgen die zij kunnen hebben kunnen goed weergegeven worden aan de hand van het DPSIR-model. Het DPSIR-model is ontwikkeld binnen de Europese Milieuagentschap (EEA, 1999) en maakt het mogelijk de ingewikkelde verbanden tussen menselijke activiteiten en de toestand van de maatschappij en het milieu te beschrijven. De betekenis van de initialen DPSIR stemt overeen met vijf functies: Driving forces (Sturende krachten), Pressure (Druk op het milieu), State (Toestand van het milieu), Impact (Gevolgen) en Response (Maatregelen). In onderstaande figuur is het DPSIR-model uitgewerkt voor klimaatverandering en de bijkomende drukfactoren voor de grote wateren. In figuur 2.7 is dit model specifiek toegepast op de drukfactoren op de grote wateren vanuit klimaatverandering.

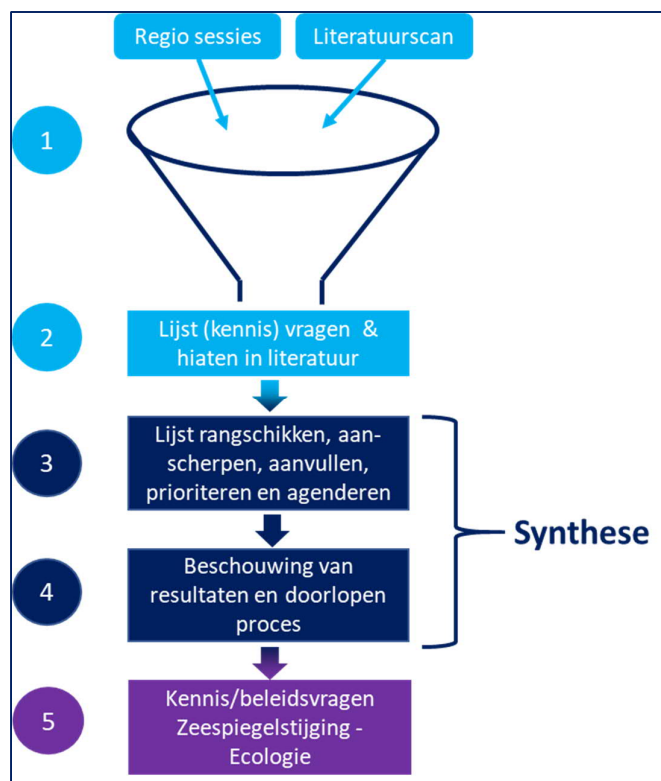


Figuur 2.7 Het DPSIR-model specifiek toegepast op de drukfactoren op de grote wateren vanuit klimaatverandering

3 Gehanteerde aanpak van de verkenning

3.1 Doorlopen proces

Zoals beschreven in hoofdstuk 1 is deze verkenning opgebouwd uit een literatuurscan, vraag articulatie met de regio inclusief de synthese. In onderstaande figuur 3.1 is het doorlopen proces schematisch weergegeven.



Figuur 3.1 Schematische weergave doorlopen proces verkenning

In dit hoofdstuk wordt de aanpak en de gehanteerde uitgangspunten in nader detail beschreven. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de literatuurscan, de vraagarticulatie en de synthese.

3.2 Literatuurscan

3.2.1 Rapporten Programmatische Aanpak Grote Wateren als basis

Met de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW)³ wordt een extra impuls gegeven om de doelstellingen vanuit Natura2000 en de

³ [Programmatische Aanpak Grote Wateren \(PAGW\) - Helpdesk water](#)

Kader Richtlijn Water (KRW) in de grote wateren te behalen met als doel om toekomstbestendige hoogwaardige natuur te realiseren. Om hier beter invulling aan te kunnen geven is vanuit de PAGW al een groot aantal studies uitgevoerd die zeer relevant zijn voor deze verkenning. Zo is er een klimaatscan opgesteld, waarin per groot water een doorkijk gegeven wordt naar de gevolgen op deze omgevingsfactoren voor de grote wateren (Noordhuis et al., 2020). Naast de klimaatscan zijn nog twee rapporten die door Deltares in het kader van de PAGW zijn opgesteld zeer relevant: een literatuurstudie naar de effecten van een hogere temperatuur op de ecologie in de grote wateren (Noordhuis et al. 2021) en het KlimaatKompas (De Rijk et al., 2020) ontwikkeld.

Bovenstaande rapporten die zijn opgesteld in het kader van PAGW zijn niet alleen relevant gezien de scope van de grote wateren, maar ook nog eens zeer recent. Deze rapportages zijn derhalve als uitgangspunt gehanteerd voor de literatuurscan van dit rapport, waarbij getracht is om de effecten op de ecologie nog explicieter weer te geven en een doorkijk te maken naar de langere termijn (tot aan 2300).

3.2.2 *Aanpak literatuurscan*

De literatuurscan is uitgevoerd door 'recente' literatuur (vanaf 2000) te gebruiken met zoveel mogelijk focus op de ecologie van de betreffende grote wateren. Vervolgens is er een scan gedaan van nationale en internationale kennis in rapporten en wetenschappelijke artikelen.

De literatuurscan is, gezien de beschikbare capaciteit, uitgevoerd op hoofdlijnen, zodat een goed beeld gevormd kon worden van de bestaande kennis inclusief bijbehorende kennishiaten. Er is gekeken naar de effecten van klimaatverandering in de grote wateren zelf, de effecten in andere delen van de wereld die ook van invloed kunnen zijn op de soorten in de grote wateren zijn niet meegenomen. Van een aantal gebieden is meer literatuur in het kader van klimaatverandering beschikbaar (Waddenzee, Oosterschelde) in vergelijking met andere gebieden. Hierdoor bestaan er verschillen in de hoeveelheid referenties per regio.

Veel van de drukfactoren zijn apart bestudeerd en beschreven. In werkelijkheid zullen de verschillende drukfactoren echter van invloed zijn op elkaar en mogelijk een cumulatief effect hebben, ook met andere ontwikkelingen in drukfactoren. Vanwege de complexiteit hiervan en vanwege het feit dat de literatuur vaak apart ingaat op één

bepaalde drukfactor zijn de effecten in de meeste gevallen per drukfactor beschreven.

Ongetwijfeld zijn er nog aanvullende rapportages en/of studies uitgevoerd die niet in de literatuurscan zijn opgenomen, maar dit heeft naar verwachting geen grote invloed op het ontstane beeld. Om deze aanname te toetsen zijn verschillende experts verzocht om de verkenning te reviewen.

3.2.3 Resultaten literatuurscan

Op basis van de gevonden literatuur zijn per regio de effecten van de drukfactoren vanuit klimaatverandering beschreven en de leemten in kennis vastgesteld. De uitkomst van de literatuurscan is vervolgens samengevat per drukfactor én per ecologische groep. Daarnaast zijn de leemten in kennis omgezet naar kennisvragen.

3.3 Vraagarticulatie met de regio

3.3.1 Doel en scope vraagarticulatie

De vraagarticulatie met de regio is uitgevoerd met als doel om te inventariseren welke kennisvragen en kennisleemtes er leven in de verschillende regio's op het raakvlak tussen zeespiegelstijging, de andere klimaatdrukfactoren én ecologie. Net als bij de literatuurscan is ook de vraagarticulatie breder ingevuld dan alleen de relatie tussen zeespiegelstijging en natuur en dus ook breder gekeken naar de drukfactoren zoals geschetst in figuur 2.5.

3.3.2 Aanpak vraagarticulatie

Aan de vraagarticulatie is invulling gegeven middels een 5-tal digitale bijeenkomsten: één generieke sessie met alle regio's met vervolgens een inhoudelijke verdiepingsslag voor de regio's Waddenzee & Kustzone, Zuidwestelijke Delta, IJsselmeergebied en Rivierengebied.

Generieke sessie

De vraagarticulatie is gestart met een generieke bijeenkomst met kennisdragers vanuit alle vier de regio's. De deelnemers bestonden, naast de experts vanuit Rijkswaterstaat die betrokken zijn bij één of meerdere regio's, uit experts vanuit zowel natuurorganisaties als het ministerie van LNV. De generieke (digitale) sessie werd door circa 40 deelnemers bezocht. Na een inleiding omtrent de doelen en achtergrond van de vraagarticulatie zijn verschillende vragen aan de aanwezigen voorgelegd met behulp van het programma Menti-meter, zowel in generiek verband als per regio. De vragen waren ingegeven vanuit de hierboven geschetste doelen én afgestemd op de eerste

resultaten van de literatuurscan. De vragen die aan de aanwezigen experts zijn voorgelegd betroffen:

1. Wat zijn de belangrijke kennisvragen of aandachtspunten m.b.t. de effecten van klimaatverandering op ecologie?
2. Welke kennislacunes zie jij in jouw watersysteem?
3. Welke bedreigingen verdienen aandacht op middellange termijn (10-150 jaar)?
4. Welke bedreigingen verdienen aandacht op lange termijn (>150 jaar)?
5. Welke kansen verdienen aandacht?
6. Welke specifieke indicatoren kunnen in jouw gebied de komende jaren als indicator voor klimaatsverandering dienen?

Regionale sessies

Als vervolg op de generieke sessie zijn voor elk van de vier regio's verdiepende bijeenkomsten georganiseerd. In deze sessies is na een algemene inleiding omtrent het proces en een korte presentatie van de (voorlopige) resultaten uit de literatuurscan begonnen met het vaststellen van de onderwerpen die volgens de aanwezigen een nadere verdieping behoeften. Het vertrekpunt daarbij was de opbrengst van de hierboven beschreven generieke sessie. Uiteraard was het ook mogelijk om nog nieuwe onderwerpen aan te dragen. Uiteindelijk zijn er per regio een vijf- of zestal onderwerpen geselecteerd, op basis waarvan de aanwezigen (kennis)vragen geformuleerd hebben.

3.3.3 *Resultaten vraagarticulatie*

De vraagarticulatie heeft uiteindelijk geresulteerd in inzicht welke thema's per regio van belang worden geacht met betrekking tot klimaatverandering en effecten op de ecologie én een groot aantal (kennis)vragen.

3.4 Synthese van literatuurscan en vraagarticulatie

3.4.1 *Inleiding*

Op basis van de resultaten van de literatuurscan en de vraagarticulatie is vervolgens een synthese uitgevoerd om te komen tot de belangrijkste kennis- en beleidsvragen op het raakvlak van zeespiegelstijging, de andere klimaatdrukfactoren én ecologie van de verschillende grote wateren. Hiervoor is een aantal stappen doorlopen die hieronder worden weergegeven.

3.4.2 *Doorkijk vanuit literatuurscan naar 2050 en 2300*

In de bestaande literatuur is maximaal een aantal decennia vooruitgekeken. Om de effecten op de ecologie van verschillende adaptatiestrategieën vast te kunnen stellen, is het noodzakelijk om de effecten ook op langere termijn te onderzoeken. Vanzelfsprekend zal dit met de nodige onzekerheden gepaard gaan, maar dit biedt meer houvast bij het bepalen van de mate van urgentie voor het beantwoorden van de kennisvragen. Gezien bovenstaande is ervoor gekozen om voor de synthese het jaar 2050 als referentie jaar te hanteren met, waar mogelijk, een doorkijk naar de (zeer) lange termijn (2300).

Aan de hand van de kennis vanuit de uitgevoerde literatuurscan is per regio op basis van expert-judgement een inschatting gemaakt van de potentiële effecten van de drukfactoren op de ecologie voor de jaren 2050 en 2300. Hierbij is bij benadering uitgegaan van SSP3-7.0⁴ scenario (IPCC, 2021), waarbij de temperatuurstijging tot 2050 1,5 à 2°C bedraagt ten opzichte van 2000 en voor het jaar 2300 is uitgegaan van circa 3°C stijging ten opzichte van 2000.

Als uitgangspunt is bij de synthese uitgegaan van de bestaande Deltabeslissingen vanuit het Deltaprogramma. In de komende decennia zullen, anticiperend op veranderingen in het klimaat, grootschalige ingrepen noodzakelijk zijn om het watersysteem klimaat-robust te maken. Gezien het agenderende karakter van deze verkenning is bij de synthese niet vooruitgelopen op eventueel noodzakelijke ingrepen en nog te maken keuzes in het waterbeheer zoals de beschikbaarheid van zoetwater (functie IJsselmeer, tegengaan verzilting Nieuwe Waterweg, etc.).

3.4.3 *Synthese van kennisvragen vraagarticulatie en literatuurscan*

Uit de gehouden regiosessies in het kader van de vraagarticulatie is een groot aantal (kennis)vragen naar voren gekomen. Deze vragen zijn vervolgens in het kader van de synthese geordend naar type vraag (beleidsvraag, onderzoeksvraag of kennisvraag) en uitgesplitst naar de betreffende klimaatdrukfactor. Vervolgens zijn, gezien de opdracht van deze verkenning vanuit het kennisprogramma Zeespiegelstijging, de vragen die van toepassing zijn op de directe of indirecte effecten van zeespiegelstijging verder meegenomen in de synthese. De vragen die vanuit de verschillende regio's leven omtrent

⁴ Zie paragraaf 2.1 voor de nadere duiding van dit scenario.

de overige drukfactoren zijn daarbij niet verloren gegaan. De opbrengst hieromtrent is opgenomen in bijlage 4 bij deze rapportage. De overgebleven vragen vanuit de regioessies zijn vervolgens gecombineerd met de generieke kennisvragen die zijn opgesteld aan de hand van de leemten in kennis vanuit de literatuurscan en verder ingedeeld naar type vraag (beheer/abiotisch/biotisch).

Vervolgens is een trechteringsproces doorlopen, waarbij aan de hand van zowel de kennisvragen als de beleidsvragen een selectie is gemaakt van vragen die betrekking hebben op directe en indirecte effecten van zeespiegelstijging. Daarnaast is onderscheid gemaakt naar zowel kennisvragen als naar beleidsvragen. De overgebleven vragen zijn vervolgens gebundeld tot de meest relevante kennisvragen die het gehele domein bestrijken én de geclusterde beleidsvragen. In bijlage 2 is het doorlopen proces meer in detail weergegeven.

3.4.4 Vergelijking kennisvragen en lange-termijn doorkijk literatuurscan

Als laatste stap in de synthese zijn de resultaten van de lange-termijn doorkijk (paragraaf 3.4.2) vergeleken met de uitkomsten vanuit de geclusterde kennis- en beleidsvragen, waarbij specifiek is ingegaan op de verschillen en overeenkomsten tussen de regio's.

4 Literatuurscan: Effecten van klimaatverandering op de natuur per groot water

4.1 Introductie

In dit hoofdstuk wordt de uitkomst van de uitgevoerde literatuurscan voor de Waddenzee & Kustzone, Zuidwestelijke delta, Rivierengebied en IJsselmeergebied weergegeven. Voor nadere toelichting omtrent de gevolgde aanpak wordt verwezen naar paragraaf 3.2.2.

Per groot water wordt eerst ingegaan op de abiotische effecten van klimaatverandering aan de hand van de in paragraaf 2.2 beschreven drukfactoren. Vervolgens komen de te verwachten effecten op algen en waterplanten, vogels, zoogdieren, vissen, bodemdieren en habitats aan bod (waar relevant).

4.2 Effecten van klimaatverandering op de natuur in de Waddenzee en kustzone

In de Waddenzee wordt voldoende sediment aangevoerd om de zeespiegelstijging bij te houden. Het is de verwachting dat dit tot 2050 het geval zal zijn (Baart et al., 2019). Na 2050 kan de zeespiegel echter versneld gaan stijgen en is het mogelijk dat het intergetijdengebied in de westelijke Waddenzee langzaam gaat verdrinken (Haasnoot et al., 2018). Door verschillen in de bijdrage van lokale bodemdaling, stormopzet, getij en zandtransport is de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust niet uniform, maar gemiddeld stijgt deze 2 mm per jaar (Van den Hurk & Geertsema, 2020). Met een stijging van het gemiddelde zeeniveau zal ook de frequentie van hoge waterstanden toenemen. Een gevolg hiervan is verhoogde erosie van de kust door toenemende frequentie van hoge waterstanden en blootstelling aan golfintensiteit (Haasnoot et al., 2018).

De temperatuur van het water in de Waddenzee is sinds de jaren '60 van de vorige eeuw met ongeveer 1,5 °C toegenomen. De temperatuurstijging volgt de trends van de luchttemperatuur in Noordwest-Europa. Door een stijgende watertemperatuur kan de zuurstofconcentratie van het water verlaagd worden (Noordhuis et al., 2020 en 2021). De toenemende frequentie van warme zomers en de afnemende frequentie van koude winters zijn ook van invloed op de temperatuur van het water in de Waddenzee. Het is mogelijk dat de temperatuur tegen het eind van de 21^e eeuw met 1 – 5°C stijgt (Oost et al., 2017).

Er is een voorzichtige trend zichtbaar naar een hogere frequentie van wind uit het oosten in de zomer, wat van invloed kan zijn op het zeeniveau, de afvoer van zoetwater en het transport van slib. Over veranderingen in de kracht van de wind is nog veel onzeker. Het is daarnaast de verwachting dat in de Nederlandse Waddenzee een jaarlijkse toename van neerslag in de vorm van regenval van 5% tussen 2030 en 2035 zal optreden, een toename van 4% in 2050 en 5-7% toename in 2100 (Reneerkens, 2020). Grote hoeveelheden neerslag in de winter en weinig neerslag in de zomer zorgen nu al voor grote verschillen in de zoetwatertoevoer. Er wordt in de zomer meer water vastgehouden in het IJsselmeer en dus minder gespuid op de Waddenzee. Daardoor neemt het zoutgehalte in de zomer toe, terwijl het in de winter afneemt door een hogere toevoer van zoetwater (Hoekstra & Philippart, 2021).

De verzuring van oceanen kan effecten hebben op de oplosbaarheid van kalkskeletten van plankton en allerlei ongewervelde dieren. In de Nederlandse wateren lijkt dit effect op korte termijn ondergeschikt te zijn aan andere gevolgen van klimaatverandering, zoals de wereldwijde opwarming van de atmosfeer (Noordhuis et al., 2020). De zuurgraad fluctueerde de afgelopen 40 jaar sterk in de Noordzee, Waddenzee en Eems-Dollard. In het laatste gebied is deze de laatste jaren zelfs toegenomen (Provoost et al., 2010).

4.2.1 *Waterplanten*

De enige waterplanten die in de Waddenzee voorkomen zijn groot en klein zeegras. Kleine veranderingen in watertemperatuur en zoutgehalte kunnen positief zijn voor het kiemen van zeegras in de Waddenzee. Maar bij grotere veranderingen kunnen er eerder ziektes optreden (hogere watertemperatuur) of kan sprake zijn van osmotische shock door een hoger zoutgehalte. Door zeespiegelstijging zal zeegras zich mogelijk verplaatsen naar ondieper gelegen gebieden en door veranderingen in windsterkte en richting kan meer erosie van sediment plaatsvinden (diverse referenties in: Philippart et al., 2020).

4.2.2 *Bodemdieren en algen*

Op de langere termijn (na 2050) kunnen de platen (met name in de westelijke Waddenzee) verdrinken door zeespiegelstijging. Dit is van invloed op de litorale mosselbanken en andere bodemdieren die zich met name op de droogvallende platen bevinden. Wanneer de wind 's zomers vaker uit het oosten komt, wordt het water uit de Waddenzee geblazen en vallen de platen juist langer droog. In combinatie met een hoge temperatuur zorgt dat ervoor dat ervoor dat schelpdieren zoals

kokkels massaal doodgaan (Beukema & Dekker, 2020a; Hoekstra & Philippart, 2021). Dit is met de huidige warme zomers al het geval.

Bij mildere winters is er sprake van een toename van predatie op schelpdierbroed. Dit komt doordat de predatoren (zoals garnalen) niet van kou houden en dus beter gedijen tijdens milde winters. Hierdoor is de aangroei van schelpenbanken in de afgelopen 10 jaar beperkt gebleven (Beukema & Dekker 2019, Noordhuis et al., 2020). Mildere winters hebben ook een gewichtsafname van schelpdieren tot gevolg. Dit wordt veroorzaakt door een toename in de stofwisseling bij hogere temperaturen en de afwezigheid van voldoende voedsel (Beukema & Dekker, 2020b; Hoekstra & Philippart, 2021). De meeste soorten herstellen hiervan als de milde winter wordt gevolgd door een warm voorjaar en zomer. Dat geldt niet voor het nonnetje; deze soort lijkt het meeste last te hebben van temperatuurstijging, waarbij warme winters resulteren in een slechte conditie, een lagere overlevingskans en een lagere eiproductie (Beukema et al., 2009). Er zijn echter ook soorten waarbij deze factoren (overlevingskans, reproductie) juist verbeteren tijdens of na milde winters, bijvoorbeeld wormen. Ook het aantal soorten bodemdieren kan toenemen bij een hogere temperatuur (Beukema & Dekker, 2020b). Daarnaast is er een grotere kans op een toename van exoten en soorten die naar het noorden opschuiven (Noordhuis et al., 2020), wat kan leiden tot de verdringing van inheemse soorten.

De verhoging van het zoutgehalte in de Waddenzee door de lage hoeveelheid neerslag in de zomer gaat geleidelijk. Het is de onduidelijk of dat een probleem is voor de bodemdieren in de Waddenzee, of dat ze zich hieraan kunnen aanpassen. Dit zal per soort verschillen (Hoekstra & Philippart, 2021). Dat geldt ook voor de toename van zoetwater in de winter, die minder geleidelijk gaat.

Wanneer er in de zomer minder wordt gespuid vanuit het IJsselmeer komen er ook minder zoetwateralgen in de Waddenzee. Dit heeft invloed op de voedselbeschikbaarheid van bodemdieren, maar de precieze gevolgen zijn nog onbekend.

4.2.3 *Vissen*

Door zeespiegelstijging in de toekomst zal het areaal ondiep water afnemen, daarmee nemen gebieden die vaak als opgroeigebied door vissoorten worden gebruikt ook af. Het is onduidelijk of dit gevolgen heeft voor vispopulaties.

Door een stijgende watertemperatuur krijgen warmte minnende soorten een groter aandeel in de gemeenschap, terwijl de koude minnende soorten afnemen (Van der Veer et al., 2015). Vissoorten zoals de zeebaars en de dwergtong, die al in de Waddenzee voorkwamen, gedijen goed bij de warmere temperaturen en zijn toegenomen (Philippart et al., 2017). Bij een hogere temperatuur zijn de volwassen vissen kleiner. Een grotere vis consumeert meer zuurstof, wat lastiger wordt wanneer een hogere watertemperatuur ervoor zorgt dat de stofwisseling van de koudbloedige vissen omhooggaat. Daardoor ontstaat er een 'evolutionaire druk' richting kleinere volwassen vissen (Hoekstra & Philippart, 2021). Daarnaast is er ook sprake van een effect op de stofwisseling: de stofwisseling van koudbloedige vissen wordt door hogere zeewatertemperaturen in de Waddenzee verhoogd. Ze hebben daardoor meer eten nodig om te kunnen groeien, maar als dat er niet voldoende is, stagneert de groei in de loop van de zomer. Omdat ze niet meer goed kunnen groeien, vertrekt jonge schol tegenwoordig al veel eerder naar de diepere, koelere Noordzee (Hoekstra & Philippart, 2021). In Noordhuis et al. (2021) is meer informatie te vinden over de effecten van temperatuurstijging op vissen.

Door een hogere temperatuur wordt het paaien van de tong in de Noordzee vervroegd en komen larven eerder aan in hun opgroeigebieden. Daardoor zijn de jonge vissen aan het eind van de zomer groter. Maar door de vroege aankomst is er een langzame groei in het voorjaar en daardoor een lagere overlevingskans. Het gevolg van een hogere temperatuur voor de tong in de Noordzee is dus een hogere biomassa en afname van de overleving in het eerste jaar (Van de Wolfshaar et al., 2021).

Bij de zoutwatervissen is er een aantal vissen, zoals de haring, harder en zeebaars, die een hoge tolerantie hebben voor relatief zoet water. Diadrome vissen (zoals paling, zeeprík, rivierprík en fint), die gedurende hun levenscyclus tussen zout- en zoutwater migreren, kunnen (deels afhankelijk van het levensstadium waarin de vis zich bevindt) grote variaties in het zoutgehalte tolereren. Daarbij is het voor een aantal soorten (zoals de fint) belangrijk dat er geen plotselinge, grote verandering in het zoutgehalte optreedt (Tangelder et al., 2017).

4.2.4 *Vogels*

Door zeespiegelstijging op langere termijn zullen de platen in met name de westelijke Waddenzee verdrinken. Daardoor neemt het intergetijdengebied af (Noordhuis et al., 2020) en daarmee het areaal

aan foerageergebied en hoogwatervluchtplaats voor diverse vogelsoorten (Reneerkens, 2020). Door een toename in de frequentie van overstromingen door harde wind worden nesten op kwelders en op stranden en platen vaker weggespoeld (Reneerkens, 2020). Vroeger kwam dat eens in de tien jaar voor, nu komt dat tweemaal in de zeven jaar voor (Hoekstra & Philippart, 2021).

De temperatuurveranderingen hebben de afgelopen decennia een verschuiving van overwinterende wadvogels naar het noorden veroorzaakt, waardoor er een toename is in vogels in het Waddengebied (Philippart et al., 2017). Wanneer er door temperatuurverhoging veranderingen optreden in de bodemfauna- en vispopulaties (zie paragraaf 3.3.1 en 3.3.2), zal dat ook gevolgen hebben voor vogels die hierop foerageren. Door hogere temperaturen nemen met name de schelpdieren af, dus dit heeft vooral gevolgen voor schelpdier-etende vogels. (Noordhuis et al., 2020). Er is al een verschuiving aangetoond van het aantal schelpdier-etende vogels naar meer worm-etende vogels in de Waddenzee in de periode 1991 – 2009, veroorzaakt door een verschuiving van schelpdieren naar wormen (Van Roomen et al., 2012b).). Of de balans zich in de toekomst herstelt, is op dit moment nog onduidelijk (Noordhuis et al., 2020).

Effecten door veranderingen in het zoutgehalte worden veroorzaakt door veranderingen van de beschikbaarheid van voedsel (bodemdieren en vissen) en veranderingen in het leefgebied, zoals veranderingen in de vegetatiegemeenschappen (kwelders en duinen) (Sabat, 2000).

4.2.5 *Zoogdieren*

Bij een stijging van de zeespiegel neemt het areaal aan droogvallende en permanent droge platen af en daarmee ook de beschikbaarheid van cruciale ruitrust- en voortplantingsgebieden voor zeehonden. De platen zijn ook van zeer groot belang tijdens de zoogperiode, met name voor de grijze zeehond omdat de jongen niet direct kunnen zwemmen. Er is geen literatuur gevonden met betrekking tot dit onderwerp.

In de periode 1974 – 2009 is er een verschuiving in de voortplanting van zeehonden in de Waddenzee waargenomen; zeehonden werden in 2009 gemiddeld 25 dagen eerder geboren dan in 1974 als gevolg van stijgende temperaturen (Reijnders et al., 2010, Osinga et al., 2012). Een vergelijkbare verschuiving is waargenomen in de Duitse Waddenzee (Reijnders et al., 2010).

Voor zeehonden en bruinvissen lijkt aanwezigheid van geschikt voedsel belangrijker te zijn voor het voorkomen dan het zoutgehalte van het water (Schop et al., 2018.). Veranderingen in het zoutgehalte kunnen wel effect hebben op beschikbaarheid van het voedsel van zeehonden en bruinvissen. Fluctuaties in het zoutgehalte hebben daarmee mogelijk een indirect effect op het vóórkomen en de verspreiding van deze soorten. Langs de Nederlandse kust lijkt een samenhang tussen zoutgehalte en het voorkomen van bruinvissen te bestaan, met een groter aantal bruinvissen bij een hoger zoutgehalte (Ijsseldijk et al., 2015).

De noordse woelmuis is afhankelijk van dynamische kwelders en zandplaten, het vóórkomen wordt vooral bepaald door aan- of afwezigheid van concurrerende woelmuizen die beter gedijen in een minder dynamisch milieu⁵. Wanneer de kwelders en platen op langere termijn verdwijnen door zeespiegelstijging, is dat mogelijk negatief voor de noordse woelmuis. Maar wanneer er meer dynamiek ontstaat door veranderingen in de neerslag en rivierafvoer zou dit (op kortere termijn) gunstig kunnen zijn voor de noordse woelmuis.

4.2.6 *Habitats*

Wanneer het intergetijdengebied de zeespiegelstijging niet meer bij kan houden, zal het areaal hiervan afnemen. Op de langere termijn zullen stranden en verschillende duinhabitats langs de Noordzeekust mogelijk verdwijnen, wanneer er geen ruimte wordt gegeven aan landinwaartse verplaatsing. In de Waddenzee zullen de kwelderhabitats en platen uiteindelijk verdwijnen door zeespiegelstijging doordat de sedimentatie de stijging niet meer kan bijbenen (Hofstede et al., 2016, diverse referenties in Gedan et al., 2010). De afname van kwelders, slikken en platen heeft gevolgen voor de tijd en ruimte die vogels hebben om te foerageren.

De toevoer en sedimentatie van slib uit de Noordzee staan ook onder invloed van de wind, wat zou betekenen dat veranderingen in overheersende windrichtingen kunnen leiden tot veranderingen in toevoer van sediment naar de Waddenzee (Hoekstra & Philippart, 2021). Dit is mogelijk van invloed op het meegroeien van de platen en de kwelders.

Voor duinhabitats geldt dat meer frequente en langere periodes van droogte kunnen leiden tot het vaker optreden van vegetatieafname en duinerosie (Oost et al., 2017). In Jackson et al. (2019) wordt geconcludeerd dat de duinvegetatie op alle continenten in de periode

⁵ <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/de-noordse-woelmuis-bedreigd-door-concurrentie-van-de-aardmuis/>

1984 – 2017 is toegenomen onder invloed van het cumulatieve effect van veranderingen in temperatuur, neerslag, nutriënten aanvoer en wind. Het 'groener' worden van de duinen zou een betere bescherming van de duinen bieden tegen de gevolgen van klimaat verandering.

4.3 Effecten van klimaatverandering op de natuur in de Zuidwestelijke Delta

De Zuidwestelijke Delta omvat de gebieden Grevelingen, Haringvliet, Veerse Meer, Oosterschelde, Westerschelde, Hollands Diep, Krammer-Volkerak, Zoommeer en Voordelta. Sommige van deze gebieden zijn afgesloten van de Noordzee en andere niet en een aantal is zoet en andere gebieden zijn zout. Ook verschilt de invloed van het getij in deze gebieden. Er is dus niet één verhaal te vertellen over de effecten van klimaatverandering; dit kan verschillen per gebied. Waar relevant zijn deze verschillen expliciet benoemd in deze paragraaf.

Er wordt rekening gehouden met 45 cm zeespiegelstijging in 2050 en maximaal 1 m in 2100 (Deltares, 2018). Zeespiegelstijging beperkt de mogelijkheden voor spuien onder vrij verval. Daardoor zullen er verschuivingen optreden in de overgangszones tussen zout en zoet. Daarnaast neemt de druk van brakke kwel toe. In enkele van de deltawateren leidt de zeespiegelstijging tot specifieke problemen (Noordhuis et al., 2020):

Haringvliet

Door zeespiegelstijging wordt spuien lastiger en kan de verblijftijd van het zoete water in het Haringvliet toenemen en de druk van brak kwelwater in de omgeving groter worden. Hoe dit zich zal verhouden tot de veranderingen in rivierafvoer en het spuibeheer is moeilijk te voorspellen.

Grevelingen

Bij een te grote stijging van de zeespiegel is natuurlijk verval via het extra doorlaatmiddel in de Brouwersdam bij eb steeds minder goed mogelijk, de maximaal te halen (toekomstige) getijslag wordt dan kleiner. Daarmee is het met name van invloed op de plannen om gedempt getij in de Grevelingen terug te brengen.

Oosterschelde

Vanaf 0,5 meter zeespiegelstijging zal er een sterke afname van het areaal droogvallend intergetijdengebied optreden in de Oosterschelde. Slikken en platen zullen grotendeels verdwenen zijn bij 1 meter zeespiegelstijging. Door zeespiegelstijging zal de stormvloedkering vaker gesloten moeten worden, wat betekent dat er vaker periodes zijn waarin de platen niet zullen droogvallen.

Westerschelde

In de Westerschelde zal zeespiegelstijging vooral zorgen voor verdieping van de geulen en voor verdere verhoging van hoog water. In het oosten van de Westerschelde is de getijslag door opstuwing groot. Dit zal ook gevolgen hebben voor de periode dat de platen droogvallen.

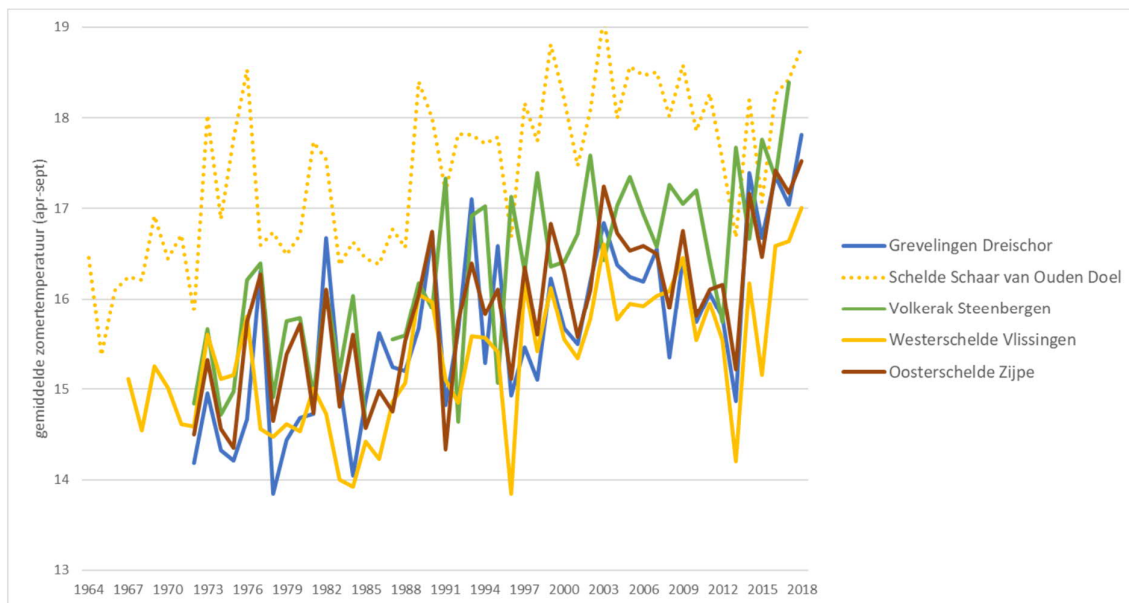
Veerse Meer

Zeespiegelstijging heeft effect op de waterstand in de Oosterschelde, waardoor de hoeveelheid water die in- en uitgelaten kan worden, wordt beïnvloed. Voor het onder vrij verval spuien van het Veerse Meer naar de Oosterschelde zal er een moment zijn waarop er te weinig tijd is om voldoende water af te kunnen voeren, waardoor de waterstand van het Veerse Meer boven de maximale peilgrens uitstijgt. Er kan bij vloed ook minder ingelaten worden om het peil niet te laten oplopen. Het verversingsdebiet neemt af, met mogelijke gevolgen voor de waterkwaliteit (stikstof, chloride) (Maarsse et al., 2021).

De watertemperatuur in de Zuidwestelijke Delta zal grotendeels de stijging van de luchttemperatuur volgen en dus een stijgende lijn laten zien (Mulder & Peperzak, 2003). Er zullen wel verschillen zijn tussen de verschillende wateren, zoals ook te zien is in de temperatuurtrends van de afgelopen 50 jaar (zie figuur 3.1 en Noordhuis et al., 2020). Dit heeft met name te maken met de verblijftijd van het water.

Wind. Sinds 1988 is er een verhoogde frequentie van zuidwestenwind gemeten in de wintermaanden. Hierdoor trad een verhoogde wintertemperatuur op en was er sprake van opstuwing van het kustwater, waardoor het waterniveau in deze periode hoger was. De klimaatscenario's omvatten geen structurele veranderingen in windpatronen (Noordhuis et al., 2020). Er worden voor de toekomst dan ook geen grotere veranderingen dan bovenstaande verwacht. De afgelopen decennia is in Nederland de stormactiviteit afgenomen, terwijl extreme neerslag is toegenomen. Voor de komende decennia is onzeker hoe de stormactiviteit zal veranderen, terwijl de frequentie

en intensiteit van extreme neerslag en hagel waarschijnlijk zullen toenemen (Siegmund, 2021).



Figuur 4.1 Langjarig verloop van de gemiddelde watertemperatuur in enkele deltawateren. Gegevens RWS (Noordhuis et al., 2020).

Veranderingen in neerslagpatronen zijn met name van invloed op de Deltawateren die worden gevoed door de rivieren: Haringvliet, Volkerak-Zoommeer, Westerschelde en daarnaast Veerse Meer. In Grevelingen en Oosterschelde spelen veranderingen in neerslag en rivierafvoer nauwelijks een rol (Noordhuis et al., 2020).

Haringvliet

Droge zomers leiden tot lage rivierafvoeren, waardoor het Haringvliet 'zoet gespoeld' moet worden om zoutindringing te voorkomen (Noordhuis et al., 2020).

Volkerak-Zoommeer

Bij droge, hete zomers met lage rivierafvoeren is er onvoldoende water beschikbaar voor het doorspoelen van het Volkerak-Zoommeer. Dan treden waterkwaliteitsproblemen op in de vorm van hoge chloridegehalten (te hoog voor gebruik voor landbouw) en blauwalgenbloei (Noordhuis et al., 2020).

Westerschelde

Veranderingen in de afvoerpatronen van de Schelde kunnen van invloed zijn op de vertroebeling van het systeem. Bij lage afvoer in de zomer wordt die vertroebeling versterkt (Vlaams-Nederlandse Schelde commissie, 2019). Tot nu toe is er – anders dan bij de Rijn en de Maas

– nog geen sprake van een trendmatige afname van de zomerdebieten van de Schelde (Noordhuis et al., 2020). De aanvoer van zoetwater zal ook minder continu zijn, waardoor het duurzaam handhaven en beheren van de zoet-zoutovergangen complexer zal worden of waardoor ze kunnen verschuiven (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en Gebiedsoverleg Zuidwestelijke Delta, 2020).

Veerse Meer

Als door zeespiegelstijging de uitwisseling door de Katse Heule afneemt en door veranderde neerslagpatronen in de winter meer en in de zomer minder polderwater wordt geloosd, heeft dat invloed op het zoutgehalte en de nutriëntenconcentraties (Maarsse et al., 2021).

4.3.1 Waterplanten

Een aantal jaren geleden is groot zeegras aangeplant in de Grevelingen, omdat het in zijn geheel was verdwenen. In de Oosterschelde komt zeegras van nature in geringe vorm nog voor. Kleine veranderingen in watertemperatuur en zoutgehalte kunnen positief zijn voor het kiemen van zeegras. Maar bij grotere veranderingen kunnen er eerder ziektes optreden (hogere watertemperatuur) of kan sprake zijn van osmotische shock door een hoger zoutgehalte. Door zeespiegelstijging zal zeegras zich mogelijk verplaatsen naar ondieper gelegen gebieden en door veranderingen in windsterkte en richting kan meer erosie van sediment plaatsvinden (diverse referenties in: Philippart et al., 2020).

Het niet meegroeien van de slikken en platen in combinatie met toename in hydrodynamiek (o.a. golfslag) ten gevolge van zeespiegelstijging zal er toe leiden dat de Oosterschelde minder geschikt wordt voor zeegras en dat het zal verdwijnen (Zandvoort et al., 2019)

4.3.2 Bodemdieren en algen

Zeespiegelstijging

Haringvliet

Wanneer zoet water door zeespiegelstijging langer in het Haringvliet verblijft, kan dit van invloed zijn op de zoute bodemdierengemeenschap in het westelijke deel (Noordhuis et al., 2020). Verder is er in de literatuur weinig specifieke informatie te vinden over de effecten van zeespiegelstijging op bodemdieren in het Haringvliet.

Grevelingen

Toekomstige zeespiegelstijging is met name van invloed op het moment dat het gedempt getij is teruggebracht teruggebracht. Effecten op de natuur in de huidige situatie zijn niet beschreven.

Oosterschelde

In de Oosterschelde komen de hoogste biomassa's bodemdieren vooral voor in de zone die 20-60 % van de tijd droogvalt. Kokkels en mossels kunnen ook in de zone 0-20 % droogvalduur veel voorkomen (Troost & Ysebaert, 2011). Een afname van de droogvalduur van de slikken en de platen door zeespiegelstijging zal dus een afname in de biomassa tot gevolg hebben.

Door middel van suppleties op de Roggeplaat kunnen de slikken en platen nog een tijd in stand worden gehouden, mits de snelheid van stijging niet te snel gaat. De huidige suppletievorm is tot een jaarlijkse zeespiegelstijging van circa 1 cm houdbaar, daarboven neemt de frequentie van suppleren zodanig toe dat bodemdieren onvoldoende tijd krijgen om te herstellen en er dus een afname zal plaatsvinden (Zandvoort et al., 2019).

Het vaker sluiten van de Oosterscheldekering vanwege zeespiegelstijging leidt ook tot een afname in periodes waarin de platen droogvallen, waardoor een verschuiving in de soortensamenstelling kan plaatsvinden. Daarnaast leidt het tot minder wateraanvoer en tot minder verversing van het water en toevoer van de primaire productie, met als gevolg minder voedsel voor filterende bodemdieren zoals mossels en kokkels (Zandvoort et al., 2019).

Temperatuurstijging

Een toename van de watertemperatuur kan net als in andere gebieden gevolgen hebben voor de soortensamenstelling van bodemdieren. Daarnaast kan hittestress op de platen resulteren in een toename van sterfte. Net als in de Waddenzee kan er sprake zijn van bijvoorbeeld massale kokkelsterfte, maar uit historische analyse blijkt dat hoge zomertemperaturen minder effect hebben op het kokkelbestand dan strenge winters (Beukema & Dekker 2020a). Opwarming en daarmee het uitblijven van extreme winters zou dan netto juist positief uit kunnen pakken voor het kokkelbestand. Met de kennis op dit moment blijft het speculeren hoe de kokkelpopulatie zich anders zal gaan ontwikkelen als gevolg van klimaatverandering (Suykerbuyk et al., 2021).

In de Grevelingen en het Veerse Meer bestaat het risico dat de nu al sterke stratificatie van het meer verder toeneemt door een

toenemende temperatuur. Ook kan, mede daardoor, de zuurstofloosheid van het water verergeren, omdat de oplosbaarheid van zuurstof in het water afneemt. Door zuurstofloosheid ontstaan witte matten van zwavelbacteriën op de bodem, op die plekken komt geen bodemfauna meer voor (Wetsteyn, 2011). In het Volkerak-Zoommeer is vooral de toename van de kans op algenbloei relevant (Noordhuis et al., 2020). Daarbij gaat het met name om de plaagalg *Phaeocystis* (Noordhuis et al., 2021).

Er worden in de Zuidwestelijke Delta steeds meer invasieve exoten waargenomen, zoals Japanse oester, quaggamossel *Dreissena bugensis* en kolonievormende zakpijpen (Schaminée et al., 2019). Wat precies de gevolgen hiervan zijn voor de inheemse bodemdieren is niet duidelijk (Noordhuis et al., 2021).

Wind

Een verhoogde frequentie van zuidwestenwind in de wintermaanden kan een verhoging van het waterniveau en de watertemperatuur tot gevolg hebben (Noordhuis et al., 2020). De gevolgen hiervan op bodemdieren zijn hierboven al beschreven.

Veranderingen in neerslag en zoutgehalte

Haringvliet

Het zoetspoelen bij een lage rivierafvoer kan de ontwikkeling van brakke gemeenschappen in het westen van het Haringvliet bemoeilijken. Aan de andere kant kan, als zout water bij hogere debieten wel kan worden ingelaten, de zoete levensgemeenschap benadeeld worden. Bij onregelmatige (niet seizoensgebonden) afwisseling tussen deze twee toestanden kan zich dus geen van beide gemeenschappen goed ontwikkelen. Door dit 'zoetspoelen' wordt het natuurlijke seizoenspatroon – met hogere zoutgehalten in de rivier bij lage zomerafvoer – als het ware omgedraaid (Noordhuis et al., 2020).

Volkerak-Zoommeer

Een afname van de waterkwaliteit (hoge chloridegehaltenes, blauwalgenbloei) bij lage rivierafvoeren, mede veroorzaakt door klimaatverandering (Noordhuis et al., 2020), kan tot gevolg hebben dat de fitness van bodemdieren achteruitgaat en er een toename optreedt in de sterfte van bodemdieren.

Westerschelde

Bij een hogere vertroebeling van het water door veranderingen in de neerslag (Noordhuis et al., 2020) kan er minder licht doordringen in het water en kan de primaire productie afnemen. Daarnaast kunnen filterfeeders minder goed voedsel opnemen. Deze factoren kunnen tot gevolg hebben dat de biomassa van bodemdieren afneemt.

4.3.3 Vissen

Verhoging van het de watertemperatuur kan direct en indirect een sterk effect op visgemeenschap hebben, omdat het invloed heeft op de levenscyclus, groei, sterfte, gedrag en voedselvoorkeur (Dahlke et al., 2020; Tulp et al., 2009; Van der Veer et al., 2015; Volwater, 2017). Temperatuur heeft een effect op fysiologische processen, groei, voortplanting en uiteindelijk op verspreiding en diversiteit (Teal et al., 2008). Temperatuurstijging is op dit moment één van de belangrijkste drijvende krachten achter veranderingen in het voorkomen en verspreiding van vissoorten (Geraldi et al., 2019; Perry et al., 2005; Weatherdon et al., 2016).

Opwarming van het water heeft effecten op de fenologie van trekvissoorten, afhankelijk van de soort (Vanoverbeke et al., 2019). Er kan bijvoorbeeld een mismatch ontstaan tussen de aanwezigheid van de vis en zijn voedselbron (Renner & Zohner, 2018). De kinderkamerfunctie van de Deltawateren gaat achteruit en veel soorten laten een dalende trend zien die wordt gerelateerd aan een toename van de watertemperatuur (Noordhuis et al., 2021).

4.3.4 Vogels

Door zeespiegelstijging op langere termijn zullen de platen in met name de Westerschelde en Oosterschelde verdrinken. Daardoor neemt het intergetijdengebied af (Noordhuis et al., 2020) en daarmee het areaal aan foerageergebied en hoogwatervluchtplaats voor diverse vogelsoorten (Reneerkens, 2020). Door een toename in de frequentie van overstromingen door harde wind worden nesten op kwelders en op stranden en platen vaker weggespoeld (Reneerkens, 2020).

Volgens De Ronde et al. (2013) vallen de effecten van klimaatverandering op vogels in de deltaxwateren weg in de jaar-op-jaar variabiliteit. Er zijn wel verschuivingen waargenomen in de soortensamenstelling die waarschijnlijk gerelateerd kunnen worden aan voedselbeschikbaarheid en zuurstofloosheid, factoren die ook worden beïnvloed door temperatuurveranderingen (Arts et al., 2019).

Effecten door veranderingen in het zoutgehalte worden veroorzaakt door veranderingen van de beschikbaarheid van voedsel (bodemdieren en vissen) en veranderingen in het leefgebied zoals veranderingen in de vegetatiegemeenschappen (schorren en duinen) (Sabat, 2000).

4.3.5 Zoogdieren

Bij een stijging van de zeespiegel neemt het areaal aan droogvallende en permanent droge platen af en daarmee ook de beschikbaarheid van cruciale ruitrust- en voortplantingsgebieden voor zeehonden. De platen zijn ook van zeer groot belang tijdens de zoogperiode, met name voor de grijze zeehond omdat de jongen niet direct kunnen zwemmen. Er is geen literatuur gevonden met betrekking tot dit onderwerp.

Voor zeehonden en bruinvissen lijkt aanwezigheid van geschikt voedsel belangrijker te zijn voor het voorkomen van zeehonden dan het zoutgehalte van het water (Schop et al., 2018; Sveegaard et al., 2012). Veranderingen in het zoutgehalte kunnen wel effect hebben op het voedsel van zeehonden en bruinvissen. Fluctuaties in het zoutgehalte hebben daarmee mogelijk een indirect effect op het voorkomen en de verspreiding van deze soorten. Langs de Nederlandse kust lijkt een samenhang tussen saliniteit en het voorkomen van bruinvissen te bestaan, met een groter aantal bruinvissen bij hogere saliniteit (Ijsseldijk et al., 2015).

De noordse woelmuis is afhankelijk van dynamische schorren en zandplaten, het voorkomen wordt vooral bepaald door aan- of afwezigheid van concurrerende woelmuizen die beter gedijen in een minder dynamisch milieu⁶. Wanneer de schorren en platen op langere termijn verdwijnen door zeespiegelstijging is dat negatief voor de noordse woelmuis. Maar wanneer er meer dynamiek ontstaat door veranderingen in de neerslag en rivierafvoer zou dit (op kortere termijn) gunstig kunnen zijn voor de noordse woelmuis.

4.3.6 Habitats

Vanaf 0,5 meter zeespiegelstijging zal er een sterke afname van het areaal droogvallend intergetijdengebied in de Oosterschelde en Westerschelde optreden (Noordhuis et al., 2020). Schorren, slikken en platen zullen grotendeels verdwenen zijn bij 1 meter zeespiegelstijging (Zandvoort et al., 2019). In Wang et al. (2017) wordt geconcludeerd dat wind een belangrijke rol speelt bij de erosie van schorren in de Westerschelde. De afname van schorren, slikken

⁶ <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/de-noordse-woelmuis-bedreigd-door-concurrentie-van-de-aardmuis/>

en platen heeft gevolgen voor de tijd en ruimte die vogels hebben om te foerageren.

In Jackson et al. (2019) wordt geconcludeerd dat de duinvegetatie op alle continenten in de periode 1984 – 2017 is toegenomen onder invloed van het cumulatieve effect van veranderingen in temperatuur, neerslag, nutriënten aanvoer en wind. Het 'groener' worden van de duinen zou een betere bescherming van de duinen bieden tegen de gevolgen van klimaat verandering.

De effecten van veranderingen in neerslag en verdamping vragen om een nadere analyse (Noordhuis et al., 2020).

4.4 Effecten van klimaatverandering op de natuur in het Rivierengebied

In het (beneden) rivierengebied zullen de rivieren door zeespiegelstijging minder goed water af kunnen geven aan de zee. Dit leidt bij hoogwater tot opstuwende rivierwaterstanden, waardoor het winterbed veel frequenter zal overstromen. Door een stijgende zeespiegel kan het zoute water verder de rivieren indringen en in combinatie met lagere rivierafvoer zorgen voor verzilting. Door zeespiegelstijging lopen de zoet- en brakwater-getijdengebieden in het benedenrivierengebied het risico om (volledig) te verdrinken, tenzij de sedimentatie van zand en klei tijdens rivieroverstromingen dit effect tegen kan gaan (Noordhuis et al., 2020).

In de rivieren is de watertemperatuur afgelopen eeuw door klimaatverandering en toegenomen invloed van koelwaterlozingen met ongeveer 3 graden gestegen. Dit is aanzienlijk hoger dan de gemiddelde stijging van de luchttemperatuur. Door een stijgende temperatuur kan de zuurstofconcentratie van het water verlaagd worden (Noordhuis et al., 2020 en 2021) en neemt de verdamping in de zomer toe.

Volgens de KNMI-scenario's neemt de totale en de extreme neerslag in de winter toe, waarbij in de zomer de intensiteit van extreme regenbuien ook toeneemt. Dit resulteert in een veranderende rivierafvoer bij Lobith en Borgharen (Klijn et al., 2015), waardoor erosie- en sedimentatiepatronen, stroomsnelheden en rivierstanden wijzigen. Lagere rivierstanden leiden tot droogte van uiterwaarden, waardoor natte en vochtige ecotopen verdwijnen. Dit betreft een versterking van een bestaande trend: de rivierinsnijding bij Lobith bedroeg afgelopen eeuw 1,5 meter (Van der Sluis et al., 2020). Bovenstaande geldt voor vrij afstromende rivieren (Boven-Rijn/Waal, Zuidelijke IJssel), in ver stroomafwaarts gelegen (IJssel-Vecht delta)

of gestuwde trajecten (Neder-Rijn/Lek, Gestuwde Maas, Zandmaas, Bovenmaas) worden er nauwelijks effecten van lagere rivierpeilen op grondwaterstanden verwacht (Van Geest et al., 2020).

De veranderingen in windrichting en -snelheid door klimaatveranderingen kunnen leiden tot een vermindering van de sedimentatie. Ten opzichte van veranderingen in rivierafvoeren is deze drukfactor van ondergeschikt belang (Noordhuis et al., 2019).

Verzuring als gevolg van een hoger CO₂-gehalte speelt naar verwachting geen rol van betekenis in de grote rivieren.

Intermezzo

Binnen het rivierengebied kan onderscheid worden gemaakt tussen Maas (regenrivier) en Rijn (regen en gletsjerrivier) en tussen bovenrivierengebied en benedenrivierengebied. De mate waarin klimaateffecten een rol spelen hangen onder meer samen met de mate waarin rivierafvoeren afhankelijk zijn van smeltende gletsjers en neerslagkarakteristieken, de mate waarin rivierdelen zijn gestuwd en de mate waarin (benedenrivier)delen onder invloed staan van het getij (wat weer effect heeft op de mate en frequentie van zoutindringing).

4.4.1 Algen

Bij meer neerslag kunnen meer nutriënten naar de rivier afstromen en bij minder neerslag in tijden van droogte kan door 'indikking' als gevolg van minder aanvoer en (door hogere temperaturen) verhoogde verdamping de concentratie nutriënten toenemen. Hiervan kunnen (blauw)algen profiteren. Blauwalgen zijn ook gebaat bij hogere temperaturen, met name in eutrofe wateren. Het aandeel blauwalgen in de fytoplanktensamenstelling neemt toe bij een hogere temperatuur (Kosten et al., 2011).

4.4.2 Waterplanten

Als door droogte de uiterwaarden bij lage rivierwaterpeilen droog komen te staan ondervinden (water)planten daarvan hinder. Anderzijds kan droogval de kieming van veel water- en moerasplanten stimuleren en het vóórkomen van diverse zeldzame kranswieren begunstigen (Van Geest et al., 2011). Naar verwachting zullen de veranderingen in rivierafvoer met name voor de Rijntakken leiden tot een vermindering van het areaal aan ondergedoken waterplanten (Van Geest et al., 2019). Hogere temperaturen vormen ook een extra ondersteuning voor de opkomst van exoten als de waterteunisbloem en de grote waternavel (Gillarda et al., 2017). In de plassen van de uiterwaarden kunnen deze soorten zich enorm

uitbreiden. Hogere temperaturen en met name zachtere winters zijn gunstig voor in de waterkolom overwinterende en drijvende soorten. Ook exoten die nu nog 's winters afsterven (zoals watersla en waterhyacinth) kunnen zachte winters overleven (Stowa, 2011).

4.4.3 *Bodemdieren/macrofauna*

Bij een hogere temperatuur neemt de oplosbaarheid van zuurstof af en neemt de mineralisatie-snelheid van organisch materiaal toe. Dit zal leiden tot lagere zuurstofconcentraties bij de bodem. Daardoor ontstaat verhoogde sterfte van bodemfauna. Daarnaast neemt de biomassa van benthivore vis (zoals karper en brasem) en daarmee de predatie op bodemfauna toe bij een hogere temperatuur (Besse-Lotoskaya, 2007).

Een deel van de bodemfauna in de natte delen van uiterwaarden zal als gevolg van droogval in tijden van droogte afsterven. Veel stroomminnende soorten overleven tijdelijke droogval, maar na langdurige droogval kunnen zij definitief verdwijnen (Van Dam, 1978). Hoge piekafvoeren zorgen voor het uitspoelen van macrofauna. Zoutindringing door zeespiegelstijging leidt tot veranderende bodemfaunasamenstelling in het benedenriviereengebied.

4.4.4 *Vissen*

Veel vissoorten kennen voor verschillende stadia in hun levenscyclus een optimale temperatuurrange. Een verhoging van de watertemperatuur kan voor verschillende groepen anders uitpakken. Anadrome vissoorten (die in het volwassen stadium in zee leven, maar in rivieren paaien) als zalm, zeeperk en rivierperk kan een verhoging van de temperatuur met enkele graden Celsius leiden tot verminderde migratie (vooral stroomopwaartse paaimigratie). Warmte minnende anadrome soorten als elft en fint hebben geen last van een hogere temperatuur en ondervinden daarvan mogelijk zelfs voordeel (Van Emmerik & Quak., 2013).

Koude minnende (stenotherme) soorten zoals winde, serpeling en kwabaal zullen verdwijnen bij een verhoging van de watertemperatuur (Jeppesen et al., 2010). Exoten die afkomstig zijn uit zuidelijke regio's zijn minder gevoelig voor toename van de temperatuur en hebben daardoor een concurrentievoordeel (Leuven et al., 2011).

Voor benthivore vissen ten slotte geldt dat zij in het algemeen profiteren van een hogere temperatuur (Mooij et al., 2005). Daar staat tegenover dat vissterfte kan optreden als gevolg van lage zuurstofgehalten die optreden bij hogere temperaturen.

In langdurige perioden van droogte neemt de stroomsnelheid in van de rivieren af. Vooral in toch al nauwelijks stromende en daardoor (vrijwel) stilstaande gestuwde rivierpanden vinden rheofiele (stroom

minnende) vissoorten geen leefgebied (Van Geest et al, 2020). Ook zal het peil van plassen in uiterwaarden dalen. Plassen in de uiterwaarden kunnen door de peildaling geïsoleerd raken. Daardoor is er minder opgroei- en paaigelegenheden voor vis en aanwezige vissen kunnen opgesloten raken. Een te laag peil of zelfs droogval leidt ook tot vissterfte (Van Emmerik, 2015, Van Geest et al, 2020).

4.4.5 *Vogels*

Door toename van neerslag tijdens hoogwaterperioden in uiterwaarden, veroorzaakt dan de vernietiging van nesten van grondbroeders als gele kwikstaart en veldleeuwerik. Andere vogels zoals torenvalk, buizerd, blauwe reiger en grote zilverreiger profiteren juist van hoogwaters, omdat die hun prooiën als veldmuis en rosse woelmuis uit hun holen jaagt. Door droogte kan de bodem uitdrogen waardoor vogels die op natte bodems foerageren hun voedsel niet meer kunnen bereiken. In de huidige situatie nog in het rivierengebied overwinterende vogels kunnen bij toenemende temperatuur noordelijker overwinteren. Mogelijk zullen vogels die in de huidige situatie een leef- en overwinteringsgebied hebben dat zuidelijker is gelegen door stijging van de temperatuur juist meer in het rivierengebied verblijven.

4.4.6 *Zoogdieren*

Hoogwaterperioden als gevolg van neerslag kunnen tot verdrinking van zoogdieren leiden. Het betreft onder meer mol, veldmuis en rosse woelmuis.

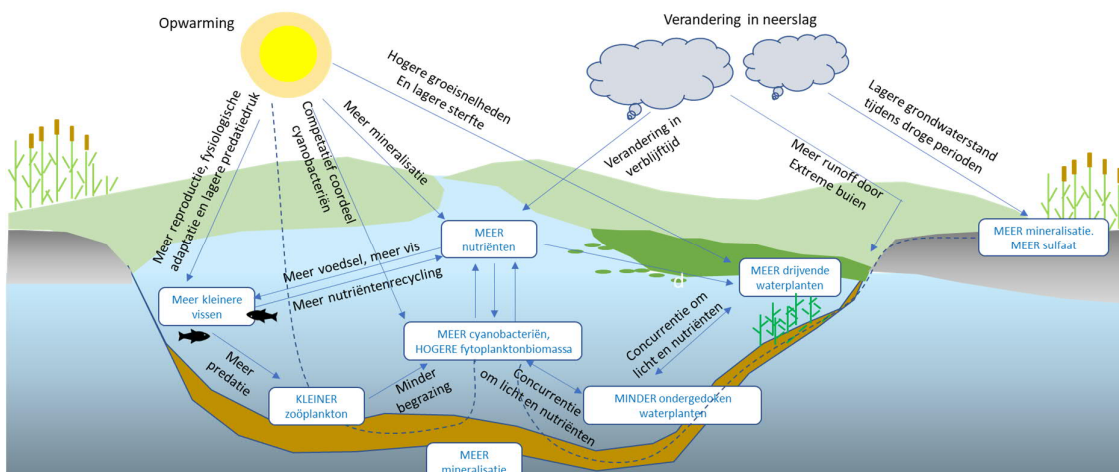
4.4.7 *Habitats*

Perioden van droogte kunnen leiden tot verdroging van habitats in het uiterwaardengebied, zoals stroomdalgraslanden, glanshaver- & vossenstaarthooilanden en vochtige alluviale bossen (Min. van LNV, 2008). Vochtige habitats in buitendijkse gebieden zullen verdrogen en veranderen in (semi-)terrestrische habitats (Van Geest et al, 2020). Andere habitats, zoals droge hardhoutoibossen verdragen geen langdurige inundatie als gevolg van langdurige neerslag (Min. van LNV, 2008). Zoete habitats in de uiterwaarden van het benedenrivierengebied verdragen geen perioden met verzilting.

4.5 Effecten van klimaatverandering op de natuur in het IJsselmeergebied

Het IJsselmeergebied bestaat uit een verzameling meren die zijn ontstaan na afsluiting van de Zuiderzee en inpoldering van delen daarvan. Uitgebreid onderzoek naar de effecten van onder meer

temperatuur op het aquatisch ecosysteem is uitgevoerd door Kosten (2010) door vergelijking van meren op verschillende breedte- en hoogtetraden. Eutrofiëring vormt een belangrijke bedreiging van aquatische ecosystemen van meren in Nederland. Klimaatverandering (met name opwarming en veranderde neerslagpatronen) kan eutrofiëring stimuleren. Dit is gevisualiseerd in de onderstaande figuur:



Figuur 4.2 Belangrijkste effecten van klimaatverandering op eutrofiëring en eutrofiëringseffecten (Bron: STOWA, 2011).

Door zeespiegelstijging zal het water minder makkelijk via spuisluisen in de Afsluitdijk kunnen worden afgevoerd naar de Waddenzee. Ook water uit het Markermeer, dat nu deels via het Noordzeekanaal wordt afgevoerd naar de Noordzee, zal minder makkelijk kunnen worden afgevoerd. Dit zal ertoe leiden dat er hogere waterpeilen moeten worden ingesteld. Voor IJsselmeer en Markermeer geldt dat het waterpeil na 2050 beperkt mag meestijgen met de zeespiegel (Ministerie van IenW, 2020b).

In tijden van langdurige droogte wordt er soms maandenlang niet gespuid. Dit is één van de oorzaken van verzilting: de zoutconcentratie in het IJsselmeer neemt langzaam toe, onder meer als gevolg van aanvoer vanuit de Waddenzee via kwel onder de Afsluitdijk en door gebruik van de schutsluisen. Daarnaast neemt in

droge tijden ook het zoutgehalte in de belangrijkste water aanvoerende rivier de IJssel toe.

In het IJsselmeergebied zorgt de toename van de temperatuur in de winter ervoor dat de perioden met ijsbedekking afnemen. Daardoor krijgt de wind meer vat op het water en neemt de turbulentie toe. De toename van de temperatuur in de zomer zorgt ervoor dat zuurstof slechter oplost en vergroot met name in het wat diepere IJsselmeer en het Markermeer de kans op stratificatie (gelaagdheid). Daardoor kan zuurstofloosheid nabij de bodem optreden. De temperatuureffecten worden versterkt door de toename van het aantal zonuren en de instraling.

De toename van de totale en de extreme neerslag in de winter zorgt voor een hogere afvoer van water naar het IJsselmeergebied in winter en voorjaar. De afname van (totale) neerslag in de zomer leidt tot lagere debieten in de zomer. Het gevolg is hogere aanvoer van stoffen en kortere verblijftijden in de winter en – omgekeerd – lagere aanvoer van stoffen en langere verblijftijden in de zomer.

Door veranderende windpatronen, waarbij de frequentie van zuidwestenwinden in de winter toeneemt, is er sprake van meer turbulentie en scheefstand van het water in de winter. Dit speelt met name in IJsselmeer en Markermeer, niet in de kleinere randmeren (Noordhuis et al., 2019).

Verzuring als gevolg van hogere CO₂-gehalten speelt vermoedelijk geen rol van betekenis in het IJsselmeergebied. De meren zijn 'gebufferd' tegen de verandering van de zuurgraad door de aanwezigheid van kalk en bicarbonaatbicarbonaat (Noordhuis, 2010). Toch kunnen effect van verhoogde CO₂-gehalten in het water op bepaalde soorten zoals Daphnia (watervlo) niet worden uitgesloten (Weiss et al., 2018).

Intermezzo

Na de afsluiting van de Zuiderzee met de Afsluitdijk is een verzoetend 'Groot IJsselmeer' ontstaan. Door inpoldering zijn randmeren gevormd en door aanleg van de Houtribdijk is het Markermeer ontstaan. Bij realisatie en inrichting van de wateren in het IJsselmeergebied is weinig aandacht besteed aan ecologie: door aanleg van steile, stenen oevers en het ontbreken van moerassen en geleidelijke land-waterovergangen was er geen sprake van een goede start voor natuurlijke ontwikkeling. Desondanks was er aanvankelijk sprake van hoge dichtheden aan waterplanten in de randmeren, hoge concentraties vis in het IJsselmeer en grote vogelrijkdom. Het Markermeer bleef, met uitzondering van luwe delen zoals de waterplantenrijke Gouwzee, daarbij achter. In de

periode daarna was er sprake van een verarming van de biodiversiteit. Waterplanten verdwenen uit de randmeren, (mede) als gevolg van een hoge nutriëntenbelasting de randmeren en vissen in Markermeer en IJsselmeer vertoonden een negatieve trend, (mede) veroorzaakt door overbevissing. Recent is, mede onder invloed van waterkwaliteits- en inrichtingsmaatregelen, een aantal positievere ontwikkelingen zichtbaar. Zo is op diverse plaatsen ontwikkeling van (pionier)watervegetatie zichtbaar. Evident is dat het IJsselmeergebied een jong systeem is dat nog niet is uitontwikkeld. Daarnaast worden diverse maatregelen gepland om natuurontwikkeling te stimuleren. Bij de beoordeling van de effecten van klimaatverandering moet hiermee rekening worden gehouden.

4.5.1 *Algen*

Algen profiteren van hogere afvoer van nutriënten. Omdat de hoogste afvoeren als gevolg van toename van neerslag met name in de winter plaatsvinden zal dit niet leiden tot een (veel) hogere primaire productie. Bij extreme neerslag in de zomer zal extra aanvoer van nutriënten wel leiden tot hogere productie. Het risico op blauwalgenbloei neemt dan toe. In perioden van droogte neemt de aanvoer van rivierwater weliswaar af, maar de nutriëntenconcentratie in het rivierwater neemt toe (zie 3.4.1). Samen met een langere verblijftijd in de meren van het IJsselmeergebied verhoogt dit ook de kans op blauwalgenbloei. De groei van algen neemt ook toe bij hogere temperaturen (Kosten et al., 2011). Het is onbekend in hoeverre algen in het IJsselmeergebied worden beïnvloed door hogere CO₂-gehalten. Door toenemende verzilting, samenhangend met zeespiegelstijging, verandert de algensamenstelling lokaal (met name nabij de Afsluitdijk). Dit is niet per se een positief of negatief effect.

4.5.2 *Waterplanten*

Waterplanten profiteren net als algen van hoge aanvoer van nutriënten als gevolg van neerslag, met name als deze in de zomer plaatsvindt. De autonome ontwikkeling, waarbij waterplanten zich in vrijwel alle meren in het IJsselmeergebied uitbreiden, zal mede onder invloed van hogere temperaturen doorzetten (Velthuis et al., 2018). Als door de toename van algen (zie hierboven) echter te weinig licht tot op de bodem kan doordringen kan dit juist de groei van waterplanten afremmen. Door toenemende verzilting, samenhangend met zeespiegelstijging, verandert de vegetatie lokaal (met name nabij de Afsluitdijk). Dit is niet per se een positief of negatief effect.

Toename van de frequentie van (harde) zuidwestenwind leidt tot scheefstand (een lager waterpeil aan de (zuid)westelijke en een hoger waterpeil aan de (noord)oostelijke kant) en tot (extra) vertroebeling (Noordhuis et al, 2020). Ook als er in de toekomst vaker sterke oostenwinden optreden zal dit leiden tot scheefstand, maar dan juist met een hogere waterstand aan de westelijke kant. Onduidelijk is of waterplantengroei in IJsselmeer en Markermeer hierdoor negatief wordt beïnvloed.

4.5.3 *Bodemdieren/macrofauna*

Door toename van de temperatuur ontstaat zuurstofloosheid aan de bodem, met name in IJsselmeer en Markermeer. Bij langdurige perioden van zuurstofloosheid zal een (groot) deel van de bodemfauna afsterven. In de ondiepere randmeren zal deze 'stratificatieproblematiek' niet optreden. De macrofaunagemeenschap kent diverse invasieve exotische soorten zoals de Kaspische slijkgarnaal, de reuzenvlokreeft, Aziatische korfmossel en quaggamossel (Noordhuis, 2010). Deze soorten zijn niet direct als gevolg van de klimaatverandering in het IJsselmeergebied gekomen. Het ligt voor de hand dat met name soorten die uit warmere streken afkomstig zijn ook in het IJsselmeergebied minder last hebben van veranderde klimaatomstandigheden (met name hogere temperaturen) dan autochtone soorten.

4.5.4 *Vissen*

Periodieke verzilting van het water langs de Afsluitdijk (veroorzaakt door diverse klimaat gerelateerde veranderingen) draagt bij aan een geleidelijke overgang tussen zout en zoet water. Daardoor wordt vismigratie tussen de Noordzee/Waddenzee en het binnenland makkelijker. Vooral intrekende vis profiteert daarvan. Voor vismigratiemogelijkheden is dus eerder sprake van een positief effect dan een negatief effect.

Indien zeespiegelstijging er op termijn toe leidt dat het spuien van IJsselmeerwater bij laagwater in de Waddenzee niet meer toereikend is om het gewenste waterpeil te handhaven zal extra spui-/pompcapaciteit moeten worden gerealiseerd. Voor zoetwatervis die daardoor in de grotere waterstroom mee worden genomen naar de Waddenzee is het bijzonder moeilijk om terug te keren naar het zoete IJsselmeer.

Een belangrijke vissoort in IJsselmeer en Markermeer (vooral als prooidier voor roofvissen als baars en snoekbaars en voor visetende vogels) is de spiering. Het IJsselmeergebied markeert de zuidgrens

van het verspreidingsgebied van de spiering. Zuidelijker zijn de watertemperaturen voor deze vissoort te hoog. Toename van de temperatuur kan leiden tot zomersterfte (als gevolg van zuurstoftekort) en afname van de vitaliteit en de reproductie van de spiering. (De Leeuw et al, 2019). Vooralsnog reageert de spiering met (gemiddeld) vervroeging van het paaiseizoen (Noordhuis, 2010). In hoeverre daardoor een mismatch optreedt met prooi-soorten (zoals watervlooien) is nog niet bekend.

Toename van de temperatuur betekent voor veel vissen niet alleen een vervroeging van de paaitijd maar ook een verlenging van het groeiseizoen. In het algemeen profiteren benthivore vissen van een hogere temperatuur (Mooij et al, 2005). Dit kan ook via de voedselketen effecten hebben op het ecosysteem.

Een andere reeds waar te nemen ontwikkeling die mogelijk samenhangt met toename van de temperatuur is de opmars van zuidelijke exoten. Met name grondels uit het Kaspische gebied (waarschijnlijk via het Rijn-Donaukanaal in ons land terechtgekomen) blijken zich thuis te voelen in het IJsselmeergebied en verdringen op grote schaal de beschermde rivierdonderpad.

4.5.5 *Vogels*

Voor het duiden van de effecten van klimaatverandering op watervogels in het IJsselmeergebied moet worden gekeken naar de afzonderlijke gebieden die een rol spelen in de jaarcyclus. Van veel watervogels die nu nog overwinteren in het IJsselmeergebied zal het overwinteringsgebied bij een wereldwijde stijging van de temperatuur (waarbij bijvoorbeeld de Oostzee niet meer dichtvriest) noordwaarts verschuiven. Het betreft nu al soorten als brilduiker, nonnetje, grote zaagbek en tafeleend. Anderzijds zal een hogere wintertemperatuur in het IJsselmeergebied ervoor zorgen dat veel vogels die voorheen zuidelijker overwinteren (zoals de aalscholver), nu 's winters in het gebied blijven (Dionisio Pires et al., 2018; Rijkswaterstaat, 2010).

Hevige buien kunnen negatieve effecten hebben op vogels: nesten kunnen wegspoelen en de tijd die vogels moeten besteden om hun jongen te beschermen tegen neerslag kunnen ze niet besteden aan voedsel zoeken.

4.5.6 *Zoogdieren*

Voor zoogdieren zijn als gevolg van klimaatverandering geen specifieke ontwikkelingen voor het IJsselmeergebied te verwachten.

4.5.7 *Habitats*

In het IJsselmeergebied zijn een aantal Natura 2000-habitats aangewezen. Klimaatverandering heeft naar verwachting weinig of geen effect op habitats als kranswierwateren en wateren met krabbenscheer en fonteinkruiden. Peilstijging als gevolg van meer neerslag en zeespiegelstijging kan wel leiden tot permanente inundatie en daardoor verlies van areaal van habitats als schorren en zilte graslanden, ruigten & zomen en overgangs- & trilvenen. Verzilting is positief voor schorren en zilte graslanden, maar negatief voor 'zoete' habitats (Min. van LNV, 2008).

4.6 Leemten in kennis op basis van de literatuurscan

4.6.1 *Algemeen*

Veel onderzoek is uitgevoerd om effecten van klimaatstressfactoren op abiotische omstandigheden en (in mindere mate) chemische condities te voorspellen. Op grond daarvan kan ook 'beredeneerd' worden voorspeld wat dit kan betekenen voor biota. Voor zover veranderingen al in het veld zichtbaar zijn, kunnen waargenomen effecten ook worden geprojecteerd op toekomstige ontwikkelingen. Wat in deze benadering ontbreekt en wel essentieel is zijn de onderlinge relaties tussen de biota (zoals voedselketenrelaties) en hoe verschillende drukfactoren elkaar kunnen versterken of tegenwerken. Daarnaast speelt in alle grote wateren het probleem met exoten, maar is onduidelijk wat daar in de toekomst de effecten van zullen zijn.

4.6.2 *Leemten in kennis Waddenzee en kustzone*

Voor de Waddenzee en Kustzone geldt dat met name over de effecten van klimaatdrukfactoren anders dan zeespiegelstijging op habitats als platen, kwelders en duinen weinig in de literatuur kan worden gevonden. Daarnaast zijn de effecten van veranderingen in zoutgehalte, neerslag, droogte, wind in veel gevallen onduidelijk.

4.6.3 *Leemten in kennis Zuidwestelijke Delta*

Voor de Zuidwestelijke Delta geldt ook dat met name over de effecten van drukfactoren anders dan zeespiegelstijging op habitats als platen, schorren en duinen weinig in de literatuur kan worden gevonden. Daarnaast zijn de effecten van veranderingen in neerslag, droogte, wind in veel gevallen onduidelijk.

4.6.4 *Leemten in kennis Rivierengebied*

Voor het Rivierengebied zijn de belangen van waterveiligheid en scheepvaart zeer belangrijk. Deze bepalen in belangrijke mate de maatregelen die zullen worden genomen om negatieve effecten van de zeespiegelstijging te vermijden of te beperken. De 'indirecte' effecten van de zeespiegelstijging zijn feitelijk effecten van de te treffen maatregelen. Bepalend daarbij is onder meer hoeveel zoutindringing acceptabel is en hoeveel extra ruimte aan de rivier zal worden gegeven. Zonder nadere kennis van de aard, omvang en planning van uit te voeren maatregelen zijn natuureffecten nog niet te voorspellen.

4.6.5 *Leemten in kennis IJsselmeergebied*

Voor het IJsselmeergebied zijn de belangen Waterveiligheid en Zoetwaterreservoir zeer belangrijk. Deze bepalen in belangrijke mate de maatregelen die zullen worden genomen om negatieve effecten van de zeespiegelstijging te vermijden of te beperken. De 'indirecte' effecten van de zeespiegelstijging zijn feitelijk effecten van de te treffen maatregelen. Bepalend daarbij is onder meer hoeveel peilstijging en peildaling zal optreden en in welke perioden. Zonder nadere kennis van de aard, omvang en planning van deze maatregelen zijn natuureffecten nog niet te voorspellen.

Een hogere temperatuur heeft effecten op onder meer algen en waterplanten, op vissen (langere paaitijd en opgroeitijd jonge vis) en vogels (verandering van trekpatronen). In hoeverre hierdoor mismatches optreden in bijvoorbeeld predator-prooi-relaties is nog nauwelijks onderzocht.

Veranderde windpatronen kunnen zorgen voor meer scheefstand en meer vertroebeling. Als in de relatief diepe meren IJsselmeer en Markermeer stratificatie optreedt kan zuurstofloosheid aan de bodem ontstaan met nadelige gevolgen voor bodemfauna en vis. Exoten spelen een rol van toenemend belang in het ecosysteem van het IJsselmeergebied. Onduidelijk is welke exoten 'blijvers' zijn en hoe hun rol zich verder zal ontwikkelen.

5 Resultaten literatuurscan en vraagarticulatie regio

5.1 Beschouwing resultaten literatuurscan

5.1.1 *Inleiding*

In hoofdstuk 5 is de uitgevoerde literatuurscan, inclusief de leemten in kennis voor de grote wateren weergegeven. In deze paragraaf is een beschouwing van de opbrengst opgenomen, waarbij ingegaan wordt op 'algemene' bevindingen, de resultaten per drukfactor en de resultaten per ecologische groep.

5.1.2 *Algemeen*

Klimaatverandering heeft op verschillende manieren effect op ecosystemen. Voor deze literatuurscan zijn de stressfactoren zeespiegelstijging, verzilting, temperatuurstijging, droogte, gewijzigde neerslagpatronen, gewijzigde windpatronen en verzuring beschouwd. In de literatuur is gezocht naar resultaten van onderzoeken naar effecten van deze stressfactoren op ecologische groepen ('biota'). Daarbij is per 'regio' geselecteerd welke biota relevant zijn. Onderscheiden zijn algen, waterplanten, bodemdieren/macrofauna, vissen, vogels, zoogdieren en habitats.

Voor vrijwel alle watersystemen in Nederland geldt dat zij sterk worden beïnvloed door menselijk handelen en in veel gevallen zelfs zijn ontstaan door menselijke ingrepen. Het gevolg daarvan is dat de systemen (nog) niet in een natuurlijke toestand verkeren. Om ongewenste ontwikkelingen te voorkómen en gewenste ontwikkelingen te stimuleren worden voortdurend nieuwe ingrepen uitgevoerd. Dit gegeven maakt het lastig om effecten van bij de klimaatverandering geïdentificeerde stressfactoren te onderscheiden van effecten van overig menselijk handelen.

Dikwijls hebben meerdere stressfactoren effect op een ecologische groep. Vaak hebben de effecten dezelfde richting (een hogere temperatuur en meer nutriënten als gevolg van meer neerslag leiden beide tot meer (blauw) algen), soms hebben zij een tegengesteld effect (zeespiegelstijging en verzilting leidt enerzijds tot verdringing van 'zoete' vissoorten in rivieren maar anderzijds tot verbeterde migratiemogelijkheden voor anadrome vissen). Ook kan het vóorkomen dat een stressfactor zowel positieve als negatieve effecten kan hebben op een ecologische groep (zoals droogval van uiterwaardenplassen die kan leiden tot sterfte van waterplanten, maar ook tot verbeterde kieming van waterplanten).

Een andere complicerende factor is het feit dat de verschillende biota in een ecosysteem onderling met elkaar gekoppeld zijn. Zo werken effecten op de ene ecologische groep via de voedselketen vaak door op andere ecologische groepen. Een voorbeeld is de relatie tussen de toename van planktivore vis (door de langere paaiperiode als gevolg van temperatuurstijging) die leidt tot meer predatie op zoöplankton waardoor algen uitbundiger kunnen groeien en het lichtklimaat voor wortelende waterplanten verslechtert.

Voor de meeste stressfactoren kan de 'autonome' ontwikkeling tot 2050, ofwel de verwachte ontwikkeling van de stressfactoren op basis van nu al waargenomen trends en zonder rekening te houden met effecten van adaptieve maatregelen, met enige zekerheid worden voorspeld. Dat maakt de voorspelling van de effecten op biota nog niet eenvoudig (zie hierboven), maar wel tot op zekere hoogte mogelijk. Voor de ontwikkeling tot 2300 is eigenlijk alleen de zeespiegelstijging en temperatuurstijging met enige zekerheid te voorspellen. Waar mogelijk is in deze rapportage op basis van trends wel een voorspelling voor 2300 gedaan, maar deze effecten zijn nauwelijks te onderscheiden van de effecten tot 2050. Dat maakt een voorspelling van de effecten van klimaatverandering op de verschillende biota in de periode tot 2300 is daarom minder zinvol. Vastgesteld kan worden dat hier voor alle regio's sprake is van een moeilijk te vullen kennisleemte.

5.1.3 Per drukfactor

Klimaatverandering staat al geruime tijd in de belangstelling (o.a. onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat), maar maakt de laatste tijd als beleidsonderwerp een belangrijke ontwikkeling door. Mede daardoor is recentelijk een aantal interessante publicaties is verschenen.

Directe natuureffecten van (een grote) *zeespiegelstijging* zijn te verwachten als schorren, slikken en platen 'verdrinken'. In rivieren kan zeewater verder landinwaarts komen en zo zorgen voor een verschuiving van zoete naar brakke/zoute habitats. De Zuidwestelijke Delta is grotendeels, en het IJsselmeergebied volledig afgesloten van zee en het waterpeil in deze gebieden wordt dus gereguleerd middels spuien, pompen en andere infrastructurele werken. Daarom is beoordeling van directe natuureffecten van zeespiegelstijging voor deze gebieden niet direct aan de orde. Hoogstens kunnen natuureffecten worden voorspeld van menselijk handelen dat is bedoeld om negatieve effecten van zeespiegelstijging te voorkómen.

Verzilting is een effect dat optreedt als gevolg van zeespiegelstijging. Als een watersysteem brakker wordt, heeft dat effecten op de

soortensamenstelling van de verschillende biota: zoetwaternatuur maakt plaats voor zoutwaternatuur. Dit kan worden beschouwd als aanpassing van de natuur aan gewijzigde omstandigheden en hoeft dus niet bij voorbaat als een negatief effect te worden beoordeeld. Wel is het zo dat brakwatersystemen in het algemeen een lagere soortenrijkdom kennen dan zoetwatersystemen en zoutwatersystemen. Dat neemt niet weg dat brakwatersystemen vaak erg productief zijn en soorten herbergen die nergens anders voorkomen. Daarom leveren brakwatersystemen een cruciale bijdrage aan biodiversiteit.

In de literatuur is relatief veel informatie te vinden over effecten van stijging van *temperatuur*. De oorzaak daarvan is dat de temperatuur al enige tijd stijgt en er daarvan al natuureffecten zichtbaar zijn en worden onderzocht. Veel algen en waterplanten groeien sneller bij hoge temperaturen. Verdringing door soorten uit zuidelijke (warmere) streken is een risico. Stijging van de watertemperatuur heeft op sommige bodemdier- en vissoorten een negatief effect, maar kan een positief effect hebben op andere bodemdier- en vissoorten.

Perioden van *droogte* en perioden met extreme *neerslag* treden nu al met enige regelmaat op. Effecten daarvan op diverse biota worden waargenomen, onderzocht en vastgelegd in rapportages. Dit geeft informatie over mogelijke effecten van toenemende perioden met droogte en toename van extreme neerslaggebeurtenissen. Veranderingen hebben met name invloed op rivier gestuurde watersystemen.

Over de effecten van gewijzigd *windklimaat* is in de literatuur weinig te vinden. In de Waddenzee is wel een voorzichtige trend zichtbaar naar meer wind uit het oosten in de zomer, wat van invloed kan zijn op de aanvoer van sediment en dus op het meegroeien van de platen. *Verzuring* (een lagere pH) als gevolg van hogere CO₂-gehaltes in het water kan ecologische effecten hebben. Sterke verzuring in zout water kan er op langere termijn toe leiden dat schelpdieren minder kalk in hun schelp inbouwen. Over de effecten van verzuring in zoete wateren is weinig bekend. Het is niet uitgesloten dat verhoogde CO₂-gehaltes invloed hebben op onder meer algen en waterplanten (Hasler et. al, 2016). De effecten van verzuring lijken vooralsnog ondergeschikt aan andere klimaateffecten.

5.1.4 Per ecologische groep

De effecten van stressfactoren op *algen* zijn beschouwd voor de verschillende regio's. Klimaatverandering leidt behalve tot hogere watertemperaturen naar verwachting via verschillende sporen tot hogere nutriëntenbelasting van de watersystemen en daardoor verhoogde biomassa's algen met een vergrote kans op blauwalgen.

Waterplanten spelen een belangrijke rol in (zoete) aquatische ecosystemen. Zij kunnen positief worden beïnvloed door een verhoogde temperatuur, maar ook negatief door een verslechterd lichtklimaat. Daardoor kan de dichtheid van ondergedoken waterplanten afnemen en kunnen drijvende waterplanten dominant worden. Voor zeegras in de Waddenzee geldt kleine veranderingen in watertemperatuur en zoutgehalte kunnen positief zijn voor het kiemen van zeegras. Maar bij grotere veranderingen kunnen er eerder ziektes optreden (hogere watertemperatuur) of kan sprake zijn van osmotische shock door een hoger zoutgehalte.

Een belangrijke stressfactor met een negatief effect op *bodemdieren* is temperatuur: door lage zuurstofgehalten nabij de bodem kan bodemfauna afsterven. Verzilting kan leiden tot verschuiving van 'zoute' en 'brakke' soorten en daarmee verdringing van 'zoete' soorten en hogere afvoeren tot het omgekeerde effect.

Vissen ondervinden ook negatieve effecten van lage zuurstofgehalten. Verder geldt voor vissen in het algemeen dat hun voortplanting en overleving kan plaatsvinden binnen een beperkte temperatuurrange. Dat betekent dat een temperatuurstijging zal leiden tot het verdwijnen van bepaalde koude minnende soorten en tegelijkertijd tot het verschijnen van soorten die zich bij die hogere temperatuur thuis voelen.

Vogels zijn mobiel. Bij gewijzigde omstandigheden als gevolg van klimaatverandering kunnen zij zich voor hun broedactiviteit en overwintering dikwijls verplaatsen naar andere gebieden. Dat betekent voor diverse regio's dat er een wijziging kan plaatsvinden van aantallen en soorten van broedvogels en overwinteraars. Door het verdrinken van de platen en kwelders/schorren op lange termijn verdwijnt foerageer-, broed- en leefgebied.

Voor *zeezoogdieren* in de 'zoute' regio's is voedselbeschikbaarheid een belangrijke factor. Als op de langere termijn door de temperatuur of andere factoren minder vis beschikbaar komt heeft dit nadelige gevolgen voor de zoogdieren. Zeehonden raken daarnaast cruciale rust- en zoogplaatsen kwijt als op termijn door de zeespiegelstijging droogvallende platen verdwijnen. Voor de noordse woelmuis is met name zijn positie ten opzichte van zijn concurrenten van belang, die kan verbeteren of verslechteren door klimaatverandering.

Habitats zijn plaatsen met een bepaalde set aan biotische en abiotische omstandigheden, waardoor specifieke plant- en diersoorten voorkomen. Stressfactoren die bijvoorbeeld overstromingsduur, zoutgehalte of vochtgehalte beïnvloeden kunnen ervoor zorgen dat habitats veranderen of verdwijnen.

5.2 Kennisvragen vanuit de uitgevoerde literatuurscan

In paragraaf 4.6 zijn de leemtes in kennis gepresenteerd, zoals die op basis van de literatuurscan naar voren zijn gekomen. Op basis van deze leemten is een aantal kennisvragen geformuleerd die verder zijn meegenomen in de synthese.

De kennisvragen zijn als volgt:

- ALG: Wat zijn de effecten van de klimaatdrukfactoren op het hele ecosysteem, hoe werken zij via voedselketenrelaties door en in hoeverre versterken factoren elkaar of werken deze elkaar tegen?
- ALG: Welke rol spelen exoten op de langere termijn in het ecosysteem? Zijn nieuwe exoten te verwachten? Welk beleid is mogelijk om ongewenste ontwikkelingen tegen te gaan?
- WDK: Wat zijn de effecten van veranderingen in zoutgehalte, neerslag, droogte en wind op habitats en soortgroepen in de Waddenzee en Kustzone?
- ZWD: Wat zijn de effecten van veranderingen zoutgehalte, neerslag, droogte en wind op habitats en soortgroepen in de Zuidwestelijke Delta
- RVG: Welke maatregelen zullen worden genomen om negatieve effecten van de zeespiegelstijging te vermijden/beperken en wat zijn de effecten daarvan op de natuurwaarden in het Rivierengebied? En welke scenario's hebben vanuit natuuroogpunt dus zeker niet de voorkeur?
- IJG: Welke maatregelen zullen worden genomen om negatieve effecten van de zeespiegelstijging te vermijden/beperken en wat zijn de effecten daarvan op de natuurwaarden in het IJsselmeergebied? En welke scenario's hebben vanuit natuuroogpunt dus zeker niet de voorkeur?
- IJG: Hoe werken temperatuureffecten op de ene soort door op andere soorten en vice versa?
- IJG: Welke effecten hebben veranderde windpatronen op waterplanten?
- IJG: Hoe groot is de kans dat stratificatie optreedt? Hoe kan stratificatie worden voorkomen?

5.3 Doorkijk effecten drukfactoren klimaatverandering per regio

Op basis van de resultaten van de literatuurscan en de scenario's vanuit het IPCC (2021) is op basis van expert-judgement per regio een doorkijk gemaakt richting 2050 en 2300. Voor nadere informatie met betrekking tot de werkwijze wordt verwezen naar hoofdstuk 3. Hieronder worden de resultaten per regio weergegeven.

5.3.1 Waddenzee en kustzone

De belangrijkste met klimaatverandering samenhangende bedreigingen voor natuur in Waddenzee en Kustzone zijn op de korte termijn (tot 2050) veranderingen in temperatuur en op de langere termijn zeespiegelstijging. Bij een hogere watertemperatuur verandert de soortensamenstelling van bodemdieren en vissen en door hittestress als gevolg van de hogere watertemperatuur treedt er massale sterfte op van schelpdieren, wat van invloed is op schelpdier etende vogels. Op korte termijn lijken er weinig effecten te zijn op vissen en zoogdieren en zijn de effecten op habitats onduidelijk. Op de langere termijn verdrinken kwelders en platen, waardoor de bodemfauna verandert en habitats zullen verdwijnen, wat ook van invloed is op vissen, vogels en zoogdieren. Op langere termijn hebben verhoging in temperatuur, zoutgehalte en versterkte erosie door wind mogelijk een negatief effect op zeegras. Er worden op korte termijn geen effecten van verzuring verwacht, voor de langere termijn is het effect nog onduidelijk. De belangrijkste effecten zijn met trefwoorden en kleuren samengevat in onderstaande tabellen.

Tabel 5.1: Potentiële effecten van drukfactoren op de ecologie in Waddenzee & Kustzone: 2050 t.o.v. huidige situatie

Drukfactor	Waterplanten	Bodemdieren en algen	Vissen	Vogels	Zoogdieren	Habitats
Zeespiegelstijging	0	0	0	0	0	0
Zoutgehalte	Kiemen/osmoshock	?	0	0	0	?
Temperatuur	Kiemen/ziektes	Soortensamenstelling verandert/sterfte op platen /exoten ↗	Soortensamenstelling verandert	Schelpdier-etende vogels ↘	0	?
Neerslag	?	?	0	?	0	?
Droogte	?	Minder voedsel	0	?	0	?
Wind	Meer erosie	?	0	Nesten spoelen weg	0	Verandering toevoer sediment
Verzuring	0	0	0	0	0	0
Legenda		Positief effect t.o.v. 2020				
Negatief effect t.o.v. 2020		Positieve en negatieve effecten t.o.v. 2020				
Onduidelijk effect t.o.v. 2020		Geen effect (op basis van geraadpleegde literatuur) t.o.v. 2020				

Tabel 5.2: Potentiële effecten van drukfactoren op de ecologie in Waddenzee & Kustzone: 2050 en 2300

Drukfactor	Waterplanten		Bodem-dieren en algen		Vissen		Vogels		Zoogdieren		Habitats	
	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300
Zeespiegelstijging	0	⬇	0	⬇	0	⬇	0	⬇	0	⬇		⬇
Zoutgehalte	+/-	⬇	?	?	0	?	0	→	0	→	?	?
Temperatuur	+/-	⬇	+/-	⬇	+/-	⬇	-	⬇	0	⬇	?	?
Neerslag	?	?	?	?	0/-	→	?	?	0	→	?	?
Droogte	?	?	-	⬇	0	→	?	?	0	→	?	?
Wind	-	⬇	?	?	0	→	?	?	0	→	+/-	⬇
Verzuring	0	0	0	?	0	?	0	?	0	?		?

Legenda	2050	2300	
	+	Positief effect t.o.v. 2020	
	-	Negatief effect t.o.v. 2020	
	+/-	Positief én negatief t.o.v. 2020	
	0	Geen effect t.o.v. 2020	
	?	Onduidelijk effect t.o.v. 2020	
		⬇	Verslechtering t.o.v. 2050
		→	Geen verandering t.o.v. 2050
		↗	Verbetering t.o.v. 2050
		?	Verandering onduidelijk

5.3.2 Zuidwestelijke Delta

De wateren in de Zuidwestelijke Delta zijn verschillend van karakter, sommige van deze gebieden zijn afgesloten van de Noordzee en andere niet en een aantal is zoet en andere gebieden zijn zout. Ook verschilt de invloed van het getij in deze gebieden. Daardoor is het lastig om een samenvattende beoordeling te doen, dit is wel zoveel mogelijk geprobeerd waarbij de onzekerheden bij de voorspelling in 2300 nog groter zijn dan die bij 2050. De belangrijkste met klimaatverandering samenhangende bedreigingen voor natuur zijn op de korte termijn veranderingen in temperatuur en neerslag/zoutgehalte en op de langere termijn zeespiegelstijging. Bij een hogere watertemperatuur verandert de soortensamenstelling van bodemdieren en vissen en door hittestress treedt er massale sterfte op van schelpdieren, wat van invloed kan zijn op schelpdier etende vogels. Op korte termijn lijken er weinig effecten te zijn op zoogdieren. Op de langere termijn verdrinken schorren en platen, waardoor de bodemfauna verandert en habitats zullen verdwijnen, wat ook van invloed is op vissen, vogels en zoogdieren. Er worden op korte termijn geen effecten van verzuring verwacht, voor de langere termijn is het effect nog onduidelijk.

De belangrijkste effecten zijn met trefwoorden en kleuren samengevat in onderstaande tabellen.

Tabel 5.3: Potentiële effecten van drukfactoren op de ecologie in Zuidwestelijke Delta: 2050 t.o.v. huidige situatie

Drukfactor	Waterplanten	Bodem-dieren en algen	Vissen	Vogels	Zoogdieren	Habitats
Zeespiegelstijging	0	0	0	0	0	0
Zoutgehalte	Osmotische Shock	Soortensamenstelling verandert	Soortensamenstelling verandert	0	0	?
Temperatuur	Ziektes	Soortensamenstelling verandert /zuurstofloosheid	Soortensamenstelling verandert/ kinderkamerfunctie ⬇	Schelpdieretende vogels ⬇	0	?
Neerslag	?	Soortensamenstelling verandert/water-kwaliteit⬇/ vertroebeling	Soortensamenstelling verandert/water-kwaliteit⬇/ vertroebeling	?	0	?
Droogte	?	?	0	?	0	?
Wind	?	?	0	Nesten spoelen weg	0	0
Verzuring	0	0	0		0	0

Legenda	Positief effect t.o.v. 2020
Negatief effect t.o.v. 2020	Positieve en negatieve effecten t.o.v. 2020
Onduidelijk effect t.o.v. 2020	Geen effect (op basis van geraadpleegde literatuur) t.o.v. 2020

Tabel 5.4: Potentiële effecten van drukfactoren op de ecologie in Zuidwestelijke Delta: 2050 en 2300

Drukfactor	Water-planten		Bodemdieren en algen		Vissen		Vogels		Zoogdieren		Habitats	
	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300
Zeespiegelstijging	0	⬇	0	⬇	0	⬇	0	⬇	0	⬇	0	⬇
Zoutgehalte	+/-	+/-	+/-	⬇	+/-	⬇	0	→	0	→	?	?
Temperatuur	+/-	+/-	+/-	⬇	+/-	⬇	-	⬇	0	⬇	?	?
Neerslag	?	?	+/-	⬇	+/-	⬇	?	?	0	→	?	?
Droogte	?	?	?	?	0	→	?	?	0	→	?	?
Wind	⬇	⬇	?	?	0	→	-	⬇	0	→	0	⬇
Verzuring	0	0	0	?	0	?	0	?	0	?	0	?

Legenda	2050		2300	
	+	Positief effect t.o.v. 2020	⬇	Verslechtering t.o.v. 2050
	-	Negatief effect t.o.v. 2020	→	Geen verandering t.o.v. 2050
	+/-	Positief én negatief t.o.v. 2020	↗	Verbetering t.o.v. 2050
	0	Geen effect t.o.v. 2020	?	Verandering onduidelijk
	?	Onduidelijk effect t.o.v. 2020		

5.3.3 Rivierengebied

De belangrijkste met klimaatverandering samenhangende bedreigingen voor natuur in het rivierengebied zijn temperatuurstijging, extreme neerslag en langdurige perioden van droogte. Bij hogere temperaturen kan daling van zuurstofgehalten leiden tot sterfte van macrofauna en vis. Meer neerslag betekent (periodiek) hogere stroomsnelheden en overstroming van biotopen. Droogte zorgt juist voor lagere stroomsnelheden en isolatie en droogval van wateren in de uiterwaarden.

In het benedenrivierengebied kan verzilting als gevolg van zeespiegelstijging (versterkt door droogte) leiden tot toename van brakke gemeenschappen ten koste van zoete gemeenschappen. Veranderde windpatronen en verzuring hebben in grote rivieren waarschijnlijk geen natuureffect van betekenis.

De belangrijkste effecten zijn met trefwoorden en kleuren samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 5.5: Potentiële effecten van drukfactoren op de ecologie in Rivierengebied: 2050 t.o.v. huidige situatie

Drukfactor	Algen	Waterplanten	Macrofauna	Vissen	Vogels	Zoogdieren	Habitats
Zeespiegelstijging	0	0	0	Meer pompen	0	0	0
Verzilting	Andere soorten	Andere soorten	Andere soorten	Zoet-zoutovergang	?	?	Verzilde habitats
Temperatuur	Nutriënten ↗	Bedekking ↗ Licht ↘ Exoten ↗	Sterfte (O ₂)	Koude soorten ↘ Sterfte (O ₂)	Andere soorten	?	?
Neerslag	Nutriënten ↗	Bedekking ↗ Licht ↘	Stroming ↗ Wegspoeling	Sterfte (O ₂)	Overleving kuikens ↘	Verdrinking	Inundatie habitats
Droogte	Nutriënten ↗	Kieming ↗ Sterfte	?	Stroming ↘	Voedsel ↘	0	Uitdroging
Wind	0	0	0	0	0	0	0
Verzuring	0	0	0	0	0	0	0

Legenda	Positief effect t.o.v. 2020
Negatief effect t.o.v. 2020	Positieve en negatieve effecten t.o.v. 2020
Onduidelijk effect t.o.v. 2020	Geen effect (op basis van geraadpleegde literatuur) t.o.v. 2020

De voorspellingen betreffen de effecten in de periode tot 2050. Hoe de klimaatverandering zich daarna zal ontwikkelen is nog grotendeels onbekend en hangt ook samen met de wijze waarop klimaatadaptatie en klimaatmitigatie worden vormgegeven. Daarom zijn in onderstaande tabel in een groot aantal voorspellingen van effecten tot 2300 gekenmerkt als 'geen verandering t.o.v. 2050'.

Tabel 5.6: Potentiële effecten van drukfactoren op de ecologie in Rivierengebied: 2050 en 2300

Druk-factor	Algen		Water-planten		Bodem-dieren		Vissen		Vogels		Zoog-dieren		Habitat	
	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300
Zeespiegel-stijging	0	→	0	→	0	→	-	☒	0	→	0	→	0	→
Verzilting	+/-	→	+/-	→	+/-	→	+	→	?	?	?	?	-	→
Tempera-tuur	-	→	+/-	→	-	→	-	→	+/-	→	?	?	?	?
Neerslag	-	→	?	?	-	→	-	→	-	→	-	→	-	→
Droogte	-	→	-	→	?	?	-	→	-	→	0	→	-	→
Wind	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→
Verzuring	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→

Legenda	2050		2300	
	+	Positief effect t.o.v. 2020	☒	Verslechtering t.o.v. 2050
	-	Negatief effect t.o.v. 2020	→	Geen verandering t.o.v. 2050
	+/-	Positief én negatief t.o.v. 2020	☑	Verbetering t.o.v. 2050
	0	Geen effect t.o.v. 2020	?	Verandering onduidelijk
	?	Onduidelijk effect t.o.v. 2020		

5.3.4 IJsselmeergebied

De belangrijkste bedreigingen voor natuur in het IJsselmeergebied zijn temperatuurstijging en extreme neerslag. Bij hogere temperaturen kan daling van zuurstofgehalten leiden tot sterfte van macrofauna en vis. Meer neerslag betekent (periodiek) hogere stroomsnelheden en overstroming van biotopen. Verzilting als gevolg van zeespiegelstijging kan leiden tot toename van brakke gemeenschappen ten koste van zoete gemeenschappen. Of veranderde windpatronen van invloed zijn op waterplanten (en daarmee ook de rest van het ecosysteem) is niet duidelijk.

De belangrijkste effecten zijn met trefwoorden en kleuren samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 5.7: Potentiële effecten van drukfactoren op de ecologie in IJsselmeergebied: 2050 t.o.v. huidige situatie

	Algen	Water-planten	Macro-fauna	Vissen	Vogels	Zoog-dieren	Habitats
Zeespiegel-stijging	0	0	0	Meer pompen	0	0	0
Verzilting	0	0	0	Zoet-zoutovergang	0	0	Verzilte habitats
Tempera-tuur	Groei ↗	Bedekking ↗ Licht ↘ Exoten ↗	Sterfte (O ₂)	Sterfte (O ₂)	Andere soorten	?	?
Neerslag	Nutriënten ↗	Bedekking ↗ Licht ↘	0	0	Overleving kuikens ↘	0	Inundatie habitats
Droogte	Nutriënten ↗	0	0	0	0	0	0
Wind	0	?	0	0	0	0	0
Verzuring	?	0	0	0	0	0	0

Legenda	Positief effect t.o.v. 2020
Negatief effect t.o.v. 2020	Positieve en negatieve effecten t.o.v. 2020
Onduidelijk effect t.o.v. 2020	Geen effect (op basis van geraadpleegde literatuur) t.o.v. 2020

De voorspellingen betreffen de effecten in de periode tot 2050. Hoe de klimaatverandering zich daarna zal ontwikkelen is nog grotendeels onbekend en hangt ook samen met de wijze waarop klimaatadaptatie en klimaatmitigatie worden vormgegeven. Daarom zijn in onderstaande tabel in veel gevallen voorspellingen van effecten tot 2300 gekenmerkt als 'geen verandering t.o.v. 2050'.

Tabel 5.8: Potentiële effecten van drukfactoren op de ecologie in IJsselmeergebied 2050 en 2300

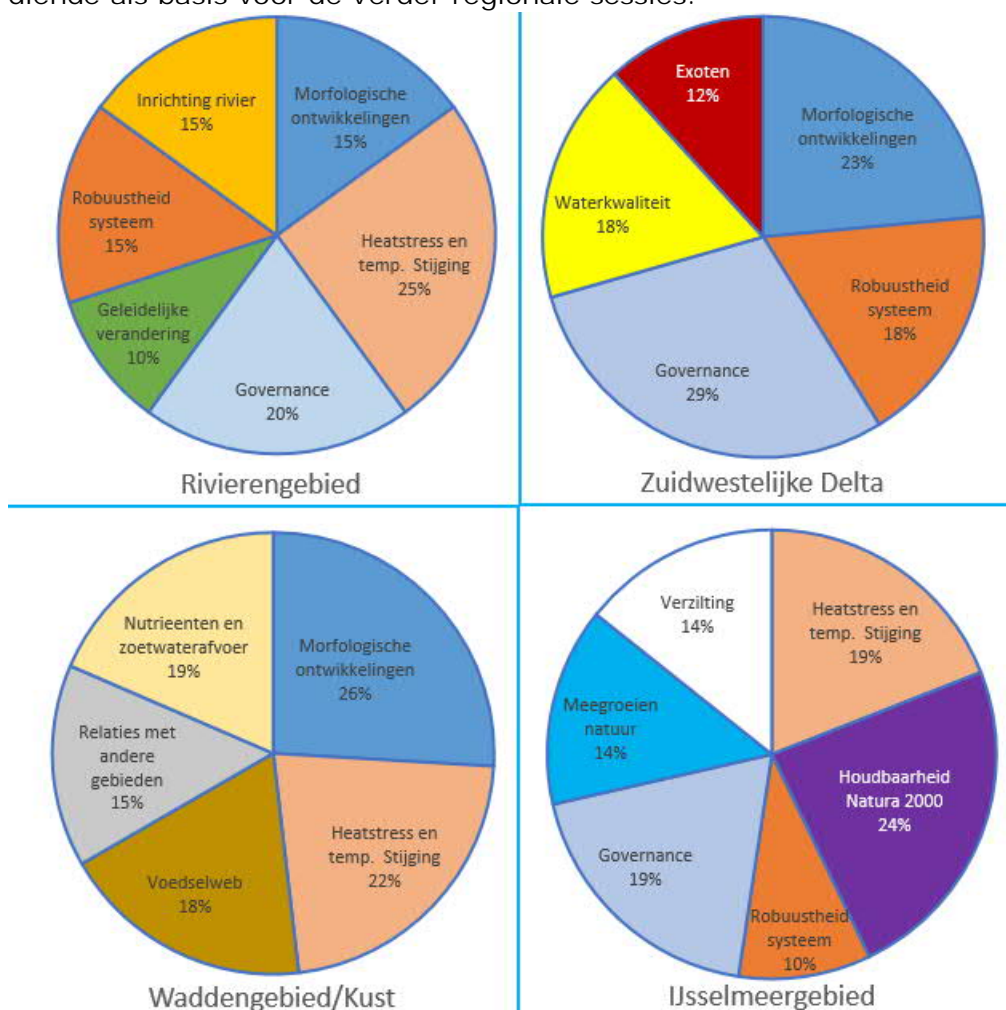
Druk-factor	Algen		Water-planten		Bodem-dieren		Vissen		Vogels		Zoog-dieren		Habitat	
	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300	2050	2300
Zee-spiegel-stijging	0	→	0	→	0	→	-	↘	0	→	0	→	0	→
Verzilting	0	→	0	→	0	→	+	→	0	→	0	→	-	→
Tempera-tuur	-	→	+/-	→	-	→	-	→	+/-	→	?	?	?	?
Neerslag	-	→	+/-	→	0	→	0	→	-	→	0	→	-	→
Droogte	-	→	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→
Wind	0	→	?	?	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→
Verzuring	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→
Legenda														
			2050						2300					
			+			Positief effect t.o.v. 2020			↘			Verslechtering t.o.v. 2050		
			-			Negatief effect t.o.v. 2020			→			Geen verandering t.o.v. 2050		
			+/-			Positief én negatief t.o.v. 2020			↗			Verbetering t.o.v. 2050		
			0			Geen effect t.o.v. 2020			?			Verandering onduidelijk		
			?			Onduidelijk effect t.o.v. 2020								

5.4 Vraagarticulatie regio

In deze paragraaf wordt ingegaan op de resultaten vanuit de uitgevoerde vraagarticulatie met de regio. Voor nadere toelichting omtrent de gevolgde aanpak wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

5.4.1 Uitkomst van de sessies

De generieke sessie is door in totaal 53 experts bijgewoond. In bijlage 1 is de lijst met deelnemers weergegeven. De uitgevoerde generieke sessie heeft een totale opbrengst opgeleverd van in totaal 320 antwoorden en opmerkingen. Deze lijst is in een Excel bestand verwerkt en per regio en onderwerp nader onderverdeeld. De lijst diende als basis voor de verder regionale sessies.



Figuur 5.1: Taartdiagram met de besproken thema's per regio, inclusief de verdeling van de input aan vragen.

In deze regionale sessies zijn de thema's vastgesteld die door de aanwezige van belang werden geacht om nader te bestuderen. Per thema zijn vervolgens kennisvragen opgehaald. In figuur 5.1 is aan de hand van taartdiagrammen weergegeven welke onderwerpen per regio nader besproken zijn, waarbij tevens is aangegeven welk percentage van alle opgehaalde vragen van toepassing waren op het betreffende onderwerp.

Uit dit overzicht blijkt dat in geen van de regio's zeespiegelstijging prominent naar voren is gekomen met uitzondering van het IJsselmeergebied. Hier is verzilting één van de besproken thema's geweest. In bijna alle regio's is gesproken over temperatuurstijging, hittestress en verdroging. In totaal werden in de 4 regio's 14 thema's geïdentificeerd, waarvan 4 overkoepelende thema's, die in drie van de vier regio's naar voren kwamen. De overkoepelende thema's waren hittestress, robuustheid, morfologie en governance.

Uiteindelijk hebben de 4 verschillende regiosessies geresulteerd in een lijst van circa 120 (kennis)vragen. In bijlage 3 van deze rapportage zijn deze integraal opgenomen.

6 Synthese: beschouwing, conclusies en kennisvragen

6.1 Inleiding

In deze rapportage zijn de resultaten gebundeld van zowel de uitgevoerde literatuurscan als de regioessies naar de effecten van klimaatverandering op de ecologie. Aanleiding voor deze rapportage betreft de wens vanuit het programma Zeespiegelstijging om de kennisvragen omtrent de effecten van zeespiegelstijging op de natuur van de grote wateren inzichtelijk te maken. Aangezien de effecten van zeespiegelstijging op de natuur niet los gezien kunnen worden van de overige drukfactoren vanuit de verandering van het klimaat, zoals temperatuurstijging, intensieve zomerse buien en droogte is in dit project breder gekeken dan alleen de effecten van zeespiegelstijging. In dit hoofdstuk wordt gereflecteerd op de uitkomsten van de literatuurscan, de opbrengst van de regioessies en de bevindingen van het projectteam gedurende dit project. De belangrijkste bevindingen en conclusies zijn in dit synthese hoofdstuk samengevat. De focus is hierbij gericht op het raakvlak tussen klimaatdrukfactoren en natuur. Voor nadere toelichting omtrent de werkwijze wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

6.2 Snelheid klimaatopwarming sneller dan verwacht (KNMI)

Wetenschappers waarschuwen al een aantal decennia over het gevaar van klimaatsverandering voor mens en het ecosysteem door de toename van atmosferische CO₂. Veranderingen van het huidige klimaat ten opzichte van 1900 zijn huidige waarnemingen en dienen als voorspelling voor het klimaat van de toekomst; temperatuur (3x zoveel warme dagen t.o.v. 1900), toename extreme neerslag (50% toename met neerslag >20mm), toename extreme droogte (waarschijnlijk meer droge jaren), waterhuishouding (+20 cm sinds 1900) en hogere rivier afvoeren (winter) en lagere rivierafvoeren in de zomer (KNMI, 2003). In het meest recente rapport van de IPCC (2021) zal de temperatuur op aarde tot 1.0°C–1.8°C in de lage CO₂ emissie scenario SSP1-1.9 stijgen en tot 3.3°C–5.7°C in de hoge CO₂ emissie scenario's SSP5-8.5. De zeespiegel zal als gevolg van klimaatverandering de komende honderden jaren blijven stijgen, maar de snelheid waarmee hangt met name af van de emissie van broeikasgassen. De IPCC stelt dat door de verhoogde broeikasgas emissies de Antarctische ijskap sneller kan afsmelten dan werd gedacht, waardoor processen optreden zodat delen van de ijskap versneld massaverlies opleveren.

6.3 Eerste waarnemingen van effecten klimaatverandering op de natuur

Op basis van deze studie is voor de grote wateren geconcludeerd dat er tot 2050 geen directe effecten van zeespiegelstijging op de natuur aan de orde zijn. Op lange termijn is dit wel het geval. Hoogstens kunnen voor de periode tot 2050 indirecte natuureffecten worden voorspeld die het gevolg zijn van menselijk handelen om negatieve effecten van zeespiegelstijging te voorkómen (zoetwaterverdeling, verhoging dijken, etc).

Voor andere klimaatdrukfactoren ligt dit anders. De korte termijneffecten van klimaatverandering door temperatuurstijging en hittestress op de grote wateren in Nederland zijn inmiddels gepubliceerd (Noordhuis et al., 2019). In de afgelopen jaren zijn ecosysteem effecten opgetreden in watersystemen zoals tijdens de extreme warme zomers (2018 en 2019), waardoor stratificatie verhinderde dat zuurstof van het wateroppervlak tot in de diepere lagen drong (o.a. Veerse Meer). Daardoor trad massale vis- en kreeftensterfte in de diepte op. Daarnaast kunnen onder dergelijke omstandigheden door het gebrek aan zuurstof, bepaalde giftige algensoorten met een voorkeur voor anaerobe leefomstandigheden zich sterk ontwikkelen. Wanneer zulke algen zich extreem vermenigvuldigen 'verstikken' ze de diepere delen van het meer. Ook is in de zomer van 2018 en 2019 een grootschalige kokkelsterfte opgetreden in de Oosterschelde en Waddenzee. Vermoedelijk had dit te maken met het optreden van hoge temperaturen op de droogvallende platen waar kokkels zich ingraven en verblijven tijdens laagwater. Een hogere temperatuur in het IJsselmeergebied veroorzaakt dat de trekvis spiering de ei-fase, die een lage temperatuur vereist, onder druk staat zodat de ontwikkeling stopt. Wat de gevolgen zijn voor roofvissen in de voedselketen met een voorkeur voor spiering is nog onduidelijk. Met de huidige kennis is echter niet te voorspellen hoe populaties zullen veranderen als gevolg van klimaatverandering. Door de gevolgen van klimaatopwarming op de natuur systematischer in kaart te brengen, ontstaat een duidelijker beeld hoe urgent de situatie is.

Langere termijn

In dit rapport wordt de weergave van de toekomstige effecten op natuur met name beïnvloed door de onzekerheid van de brede range aan CO₂-emissies. Dit betekent dat na 2050 de interpretatie van toekomstige gevolgen op de natuur onzeker blijft door de klimaatgevoeligheid en vergankelijkheid van de natuur.

Door de uitstoot van broeikasgassen is het proces van klimaatverandering al decennia gaande. Deze toename leidt naast

klimaatverandering ook tot lange termijneffecten op de ecologische processen, zoals fysiologische processen (o.a. fotosynthese), andere geografische verspreiding van leefgebieden en mogelijk genetische aanpassingen aan de klimatologische omstandigheden. De effecten van klimaatverandering kan zich in de toekomst vertalen naar wijzigingen in het functioneren van het ecosysteem. Hierdoor zullen de ecologische verbanden tussen soorten in tijd en ruimte zich aanpassen (o.a. predator-prooi relaties).

- 6.4 Synthese: duiding resultaten literatuurscan op regioniveau
Op basis van Figuur 6.1 zijn de resultaten met betrekking tot de effecten van de drukfactoren op de ecologie van de vier regio's afzonderlijk samengevat.

6.4.1 *Waddenzee & Kust*

In de regio Waddenzee & Kust is geen aanwijzing dat tot 2050 sprake is van invloed van zeespiegelstijging op de natuur, echter zijn er aanwijzingen dat er in het Wadden watersystemen spraken is van de eerste negatieve klimaateffecten van temperatuurstijging door aantasting van schelpenbanken. Er bestaan voor vrijwel alle klimatologische drukfactoren tot 2050 kennisleemten, met name over habitatverlies, en de invloed van zoutgehalte, temperatuur, extreme neerslag en droogte op de natuur. Op de tijdschaal 2050-2300 lijkt op basis van de drukfactoren zeespiegelstijging, zoutgehalte, droogte, windrichting en temperatuurstijging dat er negatieve gevolgen optreden voor de biodiversiteit.

6.4.2 *Zuidwestelijke Delta*

In de Zuidwestelijke Delta is geen aanwijzing dat er tot 2050 spraken is de invloed van zeespiegelstijging, echter zijn er aanwijzingen dat er in de watersystemen spraken is van de eerste negatieve klimaateffecten door temperatuurstijging (Veerse Meer). Er bestaan voor alle klimatologische drukfactoren tot 2050 aanzienlijke kennisleemten, met name over habitatverlies, en de invloed van zoutgehalte, temperatuurstijging, extreme neerslag en droogte op de natuur. Op de tijdschaal tussen 2050-2300 lijkt op basis van vrijwel alle drukfactoren zeespiegelstijging, zoutgehalte en temperatuurstijging er negatieve gevolgen optreden voor de biodiversiteit.

6.4.3 *Rivierengebied*

In 2020 zijn in het rivierensysteem nog nauwelijks nadelige effecten van klimaatdrukfactoren gesignaleerd op het ecosysteem. Er bestaan aanwijzingen dat tot 2050 sprake is van invloed van zeespiegelstijging op de natuur ten gevolge van verzilting en periodes van droogte. Meerdere drukfactoren zoals de cumulatieve effecten van verzilting, temperatuurstijging, extreme neerslag en droogte zullen ernstige negatieve klimaateffecten veroorzaken op de natuur. Er bestaan voor vrijwel alle klimatologische drukfactoren tot 2050 kennisleemten, met name over habitatverlies, en de invloed op temperatuur, verzilting, extreme neerslag en droogte op de natuur. Op de tijdschaal 2050-2300 blijkt op basis van de drukfactoren zeespiegelstijging, verzilting, extreme neerslag, droogte en temperatuur er negatieve gevolgen optreden voor de biodiversiteit.

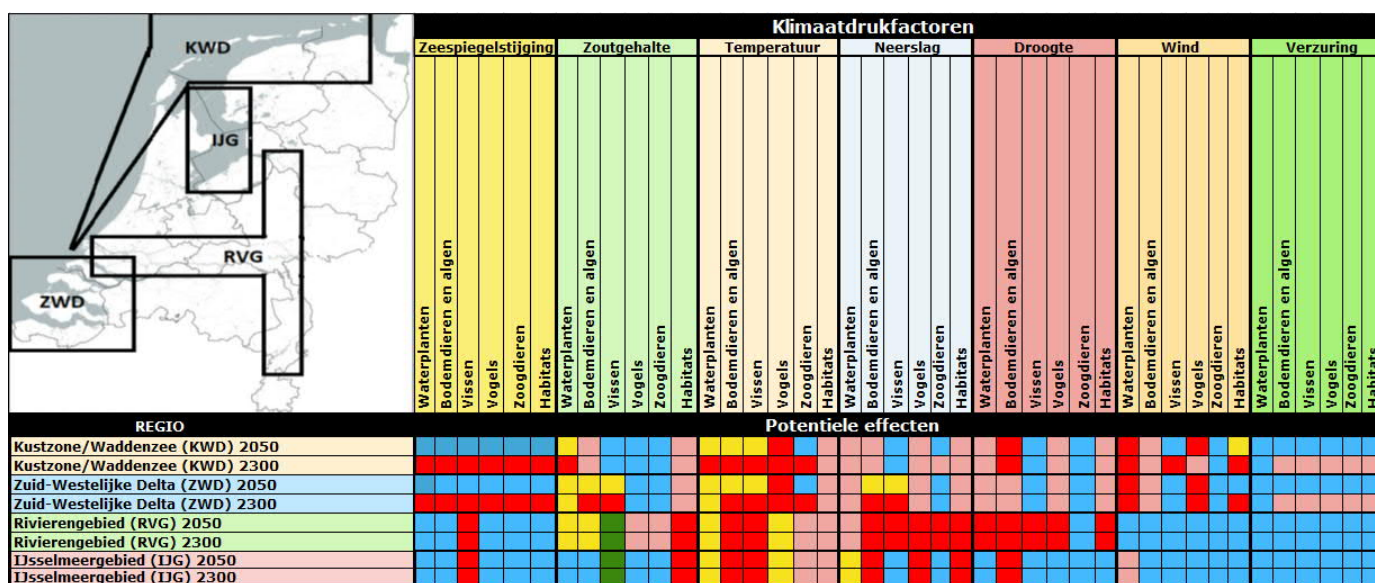
6.4.4 *IJsselmeergebied*

In het IJsselmeergebied bestaan aanwijzingen dat tot 2050 sprake is van invloed van zeespiegelstijging op de vispopulaties ten gevolge van het aangepaste spuiregime. Tot 2050 zullen meerdere drukfactoren cumulatieve effecten op de bodemfauna vertonen door temperatuurstijging, extreme neerslag en droogte zullen ernstige negatieve klimaateffecten veroorzaken. Er bestaan voor met name temperatuur en windrichting kennisleemten. Op de tijdschaal 2050-2300 blijkt op basis van een beperkt aantal drukfactoren zeespiegelstijging, extreme neerslag en temperatuurstijging negatieve gevolgen optreden voor de biodiversiteit.

6.5 Synthese: doorkijk (cumulatieve) effecten zeespiegelstijging op ecologie van de grote wateren

6.5.1 *Samenvattende tabel effecten*

De samenvattende tabellen van de potentiële effecten per drukfactor per regio uit hoofdstuk 5 zijn als onderdeel van de synthese geïntegreerd tot één overzichtstabel. In tabel 6.1 zijn voor alle regio's de (potentiële) effecten van de verschillende drukfactoren op de ecologie weergegeven voor zowel de huidige situatie, het jaar 2050 en op basis van een empirische inschatting de potentiële effecten voor de lange termijn (2300).



Figuur 6.1 samenvattende tabel potentiële effecten vanuit drukfactoren klimaatverandering voor de Grote Wateren voor 2050 en 2300 op basis van IPCC-scenario SSP3-7.0

Legenda type effect	
Positief	
Negatief	
Positief & Negatief	
Geen	
Onduidelijk	

6.5.2 Beschouwing uitkomst synthese op hoofdlijnen

Uit de uitgevoerde literatuurscan en de gevoerde sessies blijkt de directe invloed van zeespiegelstijging nog beperkt is op de natuur (zie Figuur 6.1). De verwachting is dat de komende decennia tot 2050 de natuur de stijging van de zeespiegel op natuurlijke wijze kan bijbenen, waar nodig geholpen door het strategisch beheer van de Grote Wateren. Uit de verkenning van deze studie is de verwachting dat tussen 2020 en 2050 de potentiële effecten van klimaatverandering ten gevolge van cumulatieve effecten van drukfactoren hittestress, zoutindringing, droogte en hevige neerslag in een aantal regio's gaat optreden (Figuur 6.1). Vanwege de uiteenlopende klimaatscenario's en de kennisleemtes hoe de systemen reageren op de natuur blijkt dat het er vele onzekerheden zijn om de cumulatieve effecten van zeespiegelstijging en andere drukfactoren vanuit klimaatsverandering op de natuur te voorspellen. Effecten van klimaatverandering kunnen daarnaast tegengesteld zijn, zoals temperatuurstijging die groei van soorten stimuleert, echter ook predatie-prooi relaties verstoort.

Optredende cumulatieve effecten van klimaatverandering werken door naar de voedselketen, alsook van beschermde soorten in de Natura2000 gebieden, echter deze effecten zijn lastig te kwantificeren. In vergelijking met thema's als waterveiligheid en rivierdebieten is bij het inschatten van effecten op de natuur ten gevolge van klimaatdrukfactoren, veelal gebaseerd op expert-judgement. Bij het uitwerken van de literatuurscan was een empirisch oordeel nodig, om ook voor de periode na 2050 inschattingen te kunnen doen.

6.6 Synthese: vergelijking literatuurscan en uitkomsten regioessies

Op basis van een vergelijking van de uitkomsten vanuit de literatuurscan (*figuur 6.1, Overzichtstabel potentiële effecten gevonden in de literatuurscan*) en het overzicht van de uitkomst van de kennisvragen voortkomend uit de verschillende regio's blijkt dat er naast een aantal overeenkomsten ook verschillen zitten in perceptie met betrekking tot de belangrijkste effecten. Zo wordt in de regioessie van de Zuidwestelijke delta het vraagstuk over cumulatieve effecten van drukfactoren tot 2050 op de natuur minder als prominente kennisvraag gezien in vergelijking met de uitkomst van de literatuurscan. Een tweede voorbeeld betreft het rivierengebied: zeespiegelstijging wordt in de regioessie van het rivierengebied als drukfactoren benoemd, hoewel dit niet uit de resultaten van de literatuurscan blijkt. Echter nadelige gevolgen van zeespiegelstijging is wel na 2050 het geval in combinatie met andere klimaatdrukfactoren welke een nadelig effect hebben op de natuur. Opmerkelijk is dat er geen systeem kennisvraag in het rivierengebied naar voren is gekomen.

De thema's hittestress, robuustheid, morfologie en governance zijn prominent naar voren gekomen tijdens de regioessies. In drie van de vier regio's zijn deze genoemd. Door verschillen in de kenmerken van de watersystemen en de actuele beleidsvragen die per regio spelen, is geen enkel thema's in alle regio's naar voren gekomen.

6.7 Synthese: kennis- en beleidsvragen zeespiegelstijging

Eén van de doelen van de verkenning betrof het vaststellen van de belangrijkste kennis- en beleidsvragen op het raakvlak van zeespiegelstijging en effecten op de ecologie van de grote wateren. Om dit mogelijk te maken is er gekeken naar de 9 kennisvragen die uit de literatuurscan naar voren zijn gekomen op basis van de gevonden kennisleemtes en in paragraaf 5.2 zijn benoemd. Om tot een synthese van de uitkomsten van de literatuurscan en de vraagarticulatie te komen zijn de vragen uit beide delen van het onderzoek met elkaar vergeleken. Een groot deel van de vragen uit de literatuurscan kwam voort uit vergelijkbare kennisleemtes die uit de literatuurscan waren gekomen. Er kon daardoor een synthese worden gemaakt door de kennisvragen aan elkaar te koppelen tot geclusterde kennisvragen.

In deze paragraaf worden de geclusterde vragen weergegeven. Voor nadere uitleg van het doorlopen proces wordt verwezen naar bijlage 2. Bijlage 3 omvat alle (onderliggende) kennis- en beleidsvragen die van toepassing zijn op klimaatdrukfactoren. Deze vragen zijn vervolgens geclusterd tot de volgende hoofd kennisvragen.

De geclusterde kennisvragen zijn:

- 1. Wat zijn de effecten van de klimaatdrukfactoren op het hele ecosysteem?*
- 2. Wat zijn de cumulatieve effecten van zeespiegelstijging en de andere drukfactoren op ecotopen?*
- 3. Wat zijn de effecten van klimaatdrukfactoren op voedselketenrelaties en het ecologisch functioneren van watersystemen?*
- 4. Welk effect heeft een door klimaatverandering veranderende morfodynamiek en sedimenttextuur op de natuur?*
- 5. Welke systeemkennis is er nodig om maatregelen te selecteren waarmee negatieve effecten van klimaatverandering (zeespiegelstijging e.a.) te vermijden of te beperken zijn en wat zijn de effecten van die maatregelen op de natuurwaarden?*

De geclusterde beleidsvragen zijn:

- 1. Hoe richten we Nederland in de toekomst in, met het oog op waterveiligheid, watervoorziening en natuur?*
- 2. Sluit ons huidige beheer/beleid aan bij de klimatologische veranderingen die we op ons af zien komen*
- 3. Hoe kunnen we waterveiligheid & watervoorzieningen en natuur(ontwikkeling) duurzaam combineren*

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde verkenning kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Uit de recente IPCC (2021) rapport blijkt dat de wereldwijde klimaatopwarming sneller gaat dan eerder verwacht;
- In Nederland zijn de effecten van klimaatsverandering op de natuur van de grote wateren de afgelopen jaren al waargenomen (met name hittestress) in de Waddenzee en de Zuidwestelijke Delta;
- In de Nederlandse grote wateren zal tot 2050 sprake zijn van een beperkte invloed van zeespiegelstijging op de natuur. Effecten worden alleen verwacht in de rivieren ten gevolge van verzilting en periodes van droogte en in IJsselmeergebied wegens toenemend pompcapaciteit (vissen);
- In de vier regio's Kust en Wadden, Zuidwestelijke Delta, IJsselmeer en rivieren treden de klimaateffecten op de natuur door de drukfactoren hitte en droogte eerder op dan zeespiegelstijging;
- Deze studie toont aan dat de effecten van zeespiegelstijging op de natuur van de grote wateren niet afzonderlijk beschouwd kunnen worden zonder de effecten van andere klimaatdrukfactoren erbij te betrekken;
- Deze verkenning heeft inzicht gegeven in de kennis- en beleidsvragen op het raakvlak tussen klimaatverandering en de natuur van de grote wateren;
- Uit de regionale sessies volgt geen volledig eenduidig beeld. Binnen de vier regio's komen de thema's hittestress, robuustheid, morfologie en governance in drie van de vier regio's terug;
- De bredere opzet van de verkenning door ook naar andere drukfactoren dan alleen zeespiegelstijging te kijken heeft geresulteerd in een enorme "bijvangst" van aanvullende kennisvragen.

7.2 Aanbevelingen in relatie tot zeespiegelstijging

7.2.1 *Aanpassing aan het watersysteem ter voorbereiding op zeespiegelstijging*

Naast het directe effect van zeespiegelstijging op de natuur zijn de indirecte effecten mogelijk nog veel meer van belang. De komende decennia zal het watersysteem van de grote wateren aangepast worden om gesteld te staan tegen de komende zeespiegelstijging. Deze benodigde aanpassing van het systeem is mogelijk nog een grotere bedreiging voor de bestaande natuur dan de zeespiegelstijging zelf. Binnen de regio's bestaan er veel vragen over de effecten op de natuur van hogere dijken, hardere grenzen tussen zoet en zout en vermindering van peildynamiek door het opzetten van grotere hoeveelheid zoetwater in het IJsselmeer. De gevolgen van te nemen maatregelen tegen zeespiegelstijging kunnen mogelijk van grotere omvang zijn dan de primaire effecten zelf.

7.2.2 *Ecosysteemdiensten natuur kans bij klimaatrobuust inrichten Grote Wateren*

De uitdaging van de komende jaren om klimaat-robuust de leefomgeving aan te passen voor mens en dier middels de ruimtelijke inrichting, biedt kansen voor de natuur. Door natuur niet te zien als één van de functies binnen de Grote Wateren, maar als natuurlijke partner voor een meer klimaat-robuust systeem kan juist veel bereikt worden. Voorbeelden hiervan zijn (a) het toepassen van Nature Based solutions; (b) verhogen van de kwaliteit van natuur en landschap; (c) het aanpassen van de ruimtelijke inrichting; (d) het plannen ontwikkelen voor biodiversiteitsherstel; (e) de water bufferende functie van natuur in geval van droogte, (f) het reduceren van golfoploop tegen dijken. Door het koppelen van doelstellingen in het kader van de PAGW bij het aanpassen van de Grote Wateren om waterveiligheid en zoetwatervoorziening ook na 2050 te waarborgen. De ruimte inrichten voor natuur maakt het mogelijk om doelstellingen op gebied van biodiversiteit en soortenbescherming te realiseren.

7.2.3 *Meer ruimte en randvoorwaarden voor natuur na 2050*

De combinatie van een hogere zeespiegelstijging en cumulerende druk van andere drukfactoren maakt het zeer lastig om de effecten op de natuur in te kunnen schatten. Om de natuur ook na 2100 haar functie te laten behouden zullen de juiste randvoorwaarden geschapen moeten worden. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen, welke randvoorwaarden dit zijn. Vooruitlopend op dit noodzakelijk onderzoek kan al wel gesteld worden dat de natuur voldoende ruimte moet krijgen. Maatregelen in het kader van waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid op de korte termijn vragen dus een aanpak, waarbij de natuur op termijn (nog) meer ruimte kan krijgen. Dit vraagt

voor zowel de korte- als de lange termijn een natuur-inclusieve aanpak. Hiermee wordt een integrale aanpak beoogt voor het versterken van de natuur, door op een andere manier naar ruimtegebruik te kijken. Daarbij is onderkend dat natuur(beheer) een taak is van Rijkswaterstaat en dat deze een volwaardige plek in het assetmanagement moet krijgen.

7.2.4 *Effecten zeespiegelstijging op N2000-doelstellingen*

Ondanks dat optredende cumulatieve effecten van klimaatverandering doorwerken naar de voedselketen, alsook van beschermde soorten in de Natura2000 gebieden zijn tot 2050 geen effecten door zeespiegelstijging op specifieke habitattypen in het kader van Natura 2000 te verwachten. Bij onveranderde klimaatmaatregelen treden tussen 2050 en 2300 in de Natura2000 PAGW wateren omvangrijke negatieve gevolgen optreden in het ecosysteem door de combinatie van de zeespiegelstijging, zoutindringing, droogte en hittestijging. Komende jaren zal in het kader van de beheerplancyclus hier meer aandacht aan besteed moeten worden.

7.3 Overige aanbevelingen

7.3.1 *Kennisvragen over drukfactoren vanuit klimaatverandering*

Zoals al in hoofdstuk 1 gememoreerd heeft deze verkenning meer opgeleverd dan alleen kennis- en beleidsvragen voor het raakvlak tussen zeespiegelstijging en effecten op de natuur van de grote wateren. Als aanvullende opbrengst zijn veel vragen opgehaald over de effecten van natuur door andere drukfactoren vanuit klimaatverandering. Deze vragen zijn zoals hierboven omschreven tijdens het trechteringsproces weggevallen, maar zullen in een ander gremium nog zeer relevant zijn. In bijlage 3 zijn derhalve de kennisvragen weergegeven, inclusief een beschrijving van relevante huidige en toekomstige onderzoeksprogramma's die een rol kunnen spelen bij het beantwoorden van de vragen.

7.3.2 *Klimaatmonitoring voor meten effecten op natuur*

Een belangrijk instrument om de effecten van klimaatveranderingen in de Grote Wateren te kunnen volgen betreft een adequaat monitoringsnetwerk. Afgelopen decennia is er veel bezuinigd op het bestaande monitoringsnetwerk binnen de Grote Wateren. Daarnaast is het systeem nog onvoldoende toegespitst op het detecteren van

klimaatveranderingen. Het MWTL-netwerk is gericht op langjarige trends en veranderingen. Perioden van extreme droogte en/of tijdelijke zeer hoge temperaturen kunnen grote effecten teweegbrengen. Het huidige monitoringsysteem zou aangepast moeten worden, waardoor het mogelijk is om "real-time" metingen te kunnen doen, aan de hand van moderne technieken die beschikbaar zijn. Het agenderen en uitzoeken van kennis- en beleidsvragen is dus niet voldoende. Komende jaren zal ingezet moeten worden op een aanpassing van het bestaande monitoringsnetwerk in de grote wateren, zodat het systeem beter is toegespitst op het vastleggen van effecten en gevolgen van klimaatverandering binnen de grote wateren.

7.3.3 *Regierol klimaatsverandering*

In bijlage 4 is een opsomming gegeven van zowel bestaande als toekomstige onderzoeksprogramma's die een rol kunnen spelen in het agenderen en uitvoeren van kennisvragen. Logischerwijs wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van dergelijke programma's. Voor een adequate aanpak is het echter noodzakelijk dat beleidsmatig de "regierol" wordt toegewezen aan één van de ministeries of daaraan gekoppelde organisaties. Deze oproep sluit aan op wensen vanuit de waterwereld om de scope van de deltacommissaris te vergroten naar klimaatcommissaris, gezien de relatie met de wijze van inrichting van het land tegen de zeespiegelstijging en veranderende rivierafvoer.

7.3.4 *Verschillen literatuurscan en regioessies*

Uit paragraaf 6.7 blijkt dat er verschillen in perceptie zitten tussen de effecten (en termijnen) van drukfactoren op de ecologie van de grote wateren. In toekomstige sessies is het interessant om met de experts uit de betreffende regio's hier verder naar te kijken om de verschillen te kunnen duiden.

8 Geraadpleegde Literatuur

Arts, F.A., Hoekstein, M.S.J., Lilipaly S.J., van Straalen K.D., Sluijter M. & Wolf P.A. 2019. Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta 2017/2018. Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening:

Baart, F., Rongen, G., Hijma M., Kooi, H., De Winter, R. & Nicolai, R. 2019. Zeespiegelmonitor 2018; de stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Deltares, rapport 11202193-000-ZKS-0004, Delft.

Besse-Lotoskaya, A., et al., *Doorwerking klimaatverandering in KRW keuzen: casus beken en beekdalen*. 2007, Alterra, in opdracht van ministerie van LNV: Wageningen.

Beukema JJ, Dekker R (2020a) Winters not too cold, summers not too warm: long-term effects of climate change on the dynamics of dominant species in the Wadden Sea: the cockle *Cerastoderma edule* L. *Mar Biol* 167: 44

Beukema JJ, Dekker R (2020b) Half a century of monitoring macrobenthic animals on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Mar Ecol Prog Ser* Vol. 656: 1–18

Beukema JJ, Dekker R, Jansen JM (2009) Some like it cold: Populations of the tellinid bivalve *Macoma balthica* (L.) suffer in various ways from a warming climate. *Mar Ecol Prog Ser* 384: 135–145 BM 19.08.

Burke, L, Y Kura, K Kassem, C Revenga, M Spalding, D McAllister (2001), *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Coastal Ecosystems*. WRI, Washington, p1-93.

Dahlke, F. T., Wohlrab, S. , Butzin, M., Pörtner, H. 2020. Thermal bottlenecks in the life cycle define climate vulnerability of fish. hdl: [10013/epic.10a333d8-1833-44bf-94eb-bddf2c16abcb](https://hdl.handle.net/10013/epic.10a333d8-1833-44bf-94eb-bddf2c16abcb)

Dam, H. van, *De droogte van 1976 en de natuur in Nederland*. H2O 1978. 11(13): p. 278-281.

De Rijk, S., V. Harezlak & R. Noordhuis, 2020. Gebruik KlimaatKompas voor PAGW projecten. Handleiding. Deltares.

De Ronde, J.G., Mulder J.P.M., van Duren, L.A. & Ysebeart, T. 2013. Eindadvies ANT-Oosterschelde, Maatregelen ten behoud van natuur

(Natura2000-instandhoudingsdoelen) en veiligheid in de Oosterschelde. Deltares & WMR, Delft & Yerseke.

Deltares, 2018. Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma.

Dionisio Pires, Miguel & Nienke Kramer, 2018. Klimaatverandering IJsselmeergebied. Deltares 11201957-002.

Emmerik, W.A.M. & J. Quak, 2013. Verwachte effecten van temperatuurstijging op de anadrome Natura 2000-vissoorten. Sportvisserij Projectnummer KI201104.

Emmerik, W.A.M. van, 2015. Verwachte effecten langdurige droogte op vissen. Grote rivieren en kanalen. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.

European Environment Agency (EEA), 1999, Environmental indicators: Typology and overview, voorbereid door Edith Smeets and Rob Weterings (TNO Centre for Strategy, Technology and Policy, The Netherlands).

European Environmental Agency, 1999. Environmental indicators: Typology and overview. Technical report No 25. Prepared by: Edith Smeets and Rob Weterings (TNO Centre for Strategy, Technology and Policy, The Netherlands).

Gedan, K.B., Kirwan, M.L. Wolanski, E., Barbier, E.B. Silliman, B.R., 2010. The present and future role of coastal wetland vegetation in protecting shorelines: answering recent challenges to the paradigm

Geraldi, N, Kellison, G. T., Bacheler, N.M. 2019. Climate Indices, Water Temperature, and Fishing Predict Broad Scale Variation in Fishes on Temperate Reefs.

Gillarda, M, B.J. Grwell, C. Deleuc & G. Thiebaut, 2017. Climate warming and water primroses: germination responses of populations from two invaded ranges. Aquatic botany 1386: 155-163.

Haasnoot, M., L. Bouwer, F. Diermanse, J. Kwadijk, A. van der Spek, G. Oude Essink, J. Delsman, O. Weiler, M. Mens, J. ter Maat, Y. Huismans, K. Sloff, E. Mosselman, 2018. Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Een verkenning, Deltares rapport 11202230-005-0002.

Hasler, C T., D. Butman, J. D. Jeffrey & C. Susk, 2016. Freshwater biota and rising pCO₂? Ecology Letters, (2016) 19: 98–108.

Hegnauer, J. Beersma, F. Sperna Weiland, 2015. Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas? Samenvatting van onderzoek met GRADE naar implicaties van nieuwe klimaatprojecties voor rivierafvoeren Rapportnr. 1220042-004 Deltares en KNMI.

Hoekstra, P. & C.J.M. Philippart (2021) Klimaatverandering en ecologie. Position Paper Waddenacademie en Omgevingsberaad Waddengebied 2021-01

Hofstede, J.L.A. Burchard, H., Becherer, J. (2016). Are Wadden Sea tidal systems with a higher tidal range more resilient against sea level rise? Journal of Coastal Conservation: Pages 1-8. doi: 10.1007/s11852-016-0469-1

IJsseldijk, L. Camphuysen, C.J., Nauw, J., Aarts, G. 2015. Going with the flow: Tidal influence on the occurrence of the harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in the Marsdiep area, The Netherlands. Journal of Sea Research 2015 103

IPCC (2019) Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)].

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp

IPCC, 2019: Technical Summary [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L.

Goldfarb, M.I. Gomis, Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press. In Press.

Jackson, S. Costas, R. González-Villanueva, A. Cooper, 2019. A global 'greening' of coastal dunes: an integrated consequence of climate change? *Glob. Planet. Chang.*, 182 (2019), Article 103026

Jeppesen, E., Meerhoff, M., Holmgren, K. 2010. *Impacts of climate warming on lake fish community structure and dynamics, and potential ecosystem effects*. *Hydrobiologia*, 2010. 646: p. 73-90.

Klijn, F., M. Hegnauer, J. Beersma, F. Sperna Weiland, 2015. Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas? Samenvatting van onderzoek met GRADE naar implicaties van nieuwe klimaatprojecties voor rivierafvoeren Rapportnr. 1220042-004 Deltares en KNMI.

KNMI, 2015: KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt, 34 pp

Kosten, S., 2010. *Aquatic ecosystems in hot water: Effects of climate on the functioning of shallow lakes*. PhD thesis. 2010, Wageningen.

Kosten, S., E. Kardinaal, E. Faassen, J. Netten en M. Lüring, 2011. *Klimaat & waterkwaliteit. Klimaatinvloed op waterkwaliteit en het voorkomen van cyanobacteriële toxines*.

Leeuw, J. de, T. van der Hammen, A. Schadeberg & K. Kwakman-Schilder, 2019. *Spieringvisserij IJsselmeer en Waddenzee. Voorstudie Ecologische Risicoanalyse ten behoeve van afwegingskader spieringvisserij*. Wageningen Marine Research rapport C060/19A.

Leuven, R.S.E.W., A.J. Huijbregts, H.J.R. Lenders, L. Matthews & G. van der Velde, 2011. Differences in sensitivity of native and exotic fish species to changes in river temperature. *Curr. Zool.* 57: 852-862.

Maarsse, M., Kleissen, F., Nolte, A., 2021. *Klimaatrobustheid van het waterbeheer van het Veerse Meer. Houdbaarheid in het licht van klimaatverandering*. Deltares 11206201-001-ZKS-0005.

Ministerie Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit 2008. *Natura 2000. Diverse profielen van habitattypes*.

Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, 2020b. Nationaal Deltaprogramma 2020. Koersvast werken aan een klimaatbestendig Nederland.

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en Gebiedsoverleg Zuidwestelijke Delta, 2020a. Gebiedsagenda Zuidwestelijke Delta 2050. Samen bouwen aan een verbonden delta.

Mooij, W.M., S. Huismann, L.N. De Senerpont Domis, B.A. Nolet, P.L.E. Bodelier, P.C.M. Boers, L.M. Dionisio Pires, H.J. Gons, B.W. Ibelings, R. Noordhuis, R. Portielje, K. Wolfstein & E.H.R.R. Lammens, 2005. *The impact of climate change on lakes in the Netherlands: a review*. *Aquatic Ecology*, 2005. 39(4): p. 381-400.

Mulder & Peperzak 2003 Mulder, S. & Peperzak, L. 2003. Van de regen in de drup? Verkenning van de mogelijke effecten van klimaatverandering op de Nederlandse mariene ecosystemen.

Noordhuis, R (red.), 2010. Ecosysteem IJsselmeergebied: nog altijd in ontwikkeling. Trends en ontwikkelingen in water en natuur van het Natte Hart van Nederland. Rijkswaterstaat Waterdienst, Lelystad.

Noordhuis, R, G. van Geest, M. MaarsseMaarsse, S. Vergouwen & A. Boon, 2020. Klimaatscan.

Noordhuis, R., L. van der Heijden & A. de Jong, 2021. Effecten van temperatuuroenname op de grote wateren. Een literatuurstudie met data- overzicht. Deltares 11205270-005.

Oost, A.P., Hofstede, J., Weisse, R., Baart, F., Janssen, G. & Zijlstra, R. 2017. Climate Change. In Wadden Sea Quality Status Report 2017 p. 597.

Oost P., Hofstede J., Weisse R., Baart F., Janssen G. & Zijlstra R. (2017) Climate change. In: Wadden Sea Quality Status Report 2017. Eds.: Kloepper S. et al., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany. www.qsr.waddensea-worldheritage.org/reports/climatechange

Osinga, N., Pen, I., De Haes, H. A. U., & Brakefield, P. M., 2012. Evidence for a progressively earlier pupping season of the common seal (*Phoca vitulina*) in the Wadden Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92(8), 1663-1668. <https://doi.org/10.1017/S0025315411000592>.

Perry AL, Low PJ, Ellis JR, Reynolds JD. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*. 2005 Jun 24;308(5730):1912-5. doi: 10.1126/science.1111322. Epub 2005 May 12. PMID: 15890845.

Philippart, C.J.M., Ballesta-Artero, I., Candy, A.S., Elschot, K., van Puijenbroek, M.E.B., 2020. Factors underlying the recovery potential of littoral seagrass in the Dutch Wadden Sea.

Philippart, C.J.M., Mekkes, L., Buschbaum, C., Wegner, K.M. & Laursen, K., 2017. Climate Ecosystems In: Wadden Sea Quality Status Report 2017. Eds.: Kloepper S. et al., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany. <https://qsr.worldheritage.org/reports/climate-ecosystems>.

Programma naar een Rijke Waddenzee (2020) Klimaatadaptatie Waddenkustgebied in de 21ste eeuw, Agendering van opgaven en handelingsperspectieven. Gefaciliteerd door Strootman Landschaparchitecten.

Provoost, P., van Heuven, S., Soetaert, K., Laane, R. & Middelburg, J. (2010). Seasonal and long-term changes in pH in the Dutch coastal zone. *Biogeosciences*, 7(11), 3869-3878. doi: 10.5194/bg-7-3869-2010.

Reijnders, P. J. H., Brasseur, S. M. J. M., & Meesters, H. W. G. (2010). Earlier pupping in harbour seals, *Phoca vitulina*. *Biology Letters*, 6(6), 854-857. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0468>

Reneerkens, J., 2020. Climate change effects on Wadden Sea birds along the East-Atlantic Flyway. Position Paper. Wadden Academie.

Renner, S.S. & Zohner, C.M. 2018. Climate Change and Phenological Mismatch in Trophic Interactions Among Plants, Insects, and Vertebrates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*.

Rijkswaterstaat, 2010. Ecosysteem IJsselmeergebied: nog altijd in ontwikkeling - Trends en ontwikkelingen in water en natuur van het Natte Hart van Nederland.

Schaminée, J. H. J., Janssen, J. A. M., Kwak, R., Litjens, G. J. J. M., Mulder, J. P. M., Roels, B., Smith, S. R., Walles, B., van Winden, A., Winter, H. V., & Ysebaert, T. (2019). *Biodiversiteit in de Zuidwestelijke Delta*. (Wageningen Environmental Research rapport;

No. 2942). Wageningen Environmental Research.
<https://doi.org/10.18174/475540>

Schop, S., Cremer, J. & Brasseur, S. 2018. Mogelijke effecten van opening van de Haringvlietsluizen op zeehonden. Wageningen Marine Research rapport C041/18.

Siegmund, P.C., 2021. Klimaatverandering in stormen, hagel en extreme neerslag. De actuaris pag. 16 en 17, februari 2021.

STOWA, 2011. Een frisse blik op warmer water. STOWA rapportnummer 2011-20.

Suykerbuyk, W., Bogaart, L. van den, Hamer, A., Walles, B., Troost, K., Tangelder, M., 2021. Hittestress op intergetijdenplaten van de Oosterschelde : Gecombineerd onderzoek naar bodemtemperatuurmetingen en kokkelsterfte in de zomer van 2020. Wageningen Marine Research rapport C026/21)

Tangelder, T., Winter, E. en Ysebaert, T. 2017. Ecologie van zoet-zout overgangen deltagebieden. Wageningen Marine Research Wageningen UR (University & Research centre), Wageningen Marine Research rapport C116/17. 48 blz.

Teal, R., De Leeuw, J., Van der Veer, H.W., Rijnsdorp, A.D. 2008 Effects of climate change on growth of 0-group sole and plaice Lorna, Marine Ecology Progress Series Vol. 358: 219–230.

Troost, K. & Ysebaert, T. 2011. ANT Oosterschelde: Long-term trends of waders and their dependence on intertidal foraging grounds.

Tulp, I., van Hal, R., ter Hofstede, R., & Rijnsdorp, A. D. (2009). Klimaatverandering in de Noordzee: gevolgen voor vis. *De Levende Natuur*, 110(6), 273-276. <https://edepot.wur.nl/169117>

Van de Wolfshaar, K. E., Barbut, L., Lacroix G. 2021. From spawning to first-year recruitment: the fate of juvenile sole growth and survival under future climate conditions in the North Sea. ICES Journal of Marine Science, doi: 10.1093/icesjms/fsab025

Van den Hurk & Geertsema, 2020. An assessment of present day and future sea level rise at the Dutch coast. Zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust en de regionale bestuurlijke consequentie.

Van der Sluis, T., B. Pedroli, I. Woltjer, E. van Elburg, G. Maas, 2020. Uitwerking PAGW Natuuropgave Hotspots Grote Rivieren; Eindrapport. WEnR, Rapport 3031.

Van der Veer, H. & R. Dapper & Henderson, Peter & Jung, A. & CJM, Philippart & JIJ, Witte. (2015). Long-term changes of the marine fish fauna in the temperate western Dutch Wadden: degradation of trophic structure and nursery function. *Est. Coastal Shelf Sci*: 155, 156-166.

Van Geest, G., A. de Niet & S. Teurlincx, 2011. Waterplanten langs de Nederlandse Rijntakken: huidige waarden, aanbevelingen voor inrichting, KRW-tool. Rapport Deltares.

Van Geest, G., S. de Rijk en W. Altena, 2020. Rivieren en klimaat - PAGW. Effecten van lage rivierpeilen op de vochttoestand van uiterwaarden langs de Rijn en Maas – Tweede herziene versie. Deltares 11203733-005-ZWS-0002.

Van Geest, G., W. Altena & O. de Keizer, 2019. Natureffectmodule voor de grote rivieren Eerste analyse van de effecten van lage afvoeren op natuur in Maas, Waal, Neder-Rijn/Lek en IJssel. Deltares 2019.

Van Roomen M., Agblonon G., Langendoen T., Citegetse G., Diallo A. Y., Gueye K., van Winden E. & Luerksen G. (eds.), 2020. Simultaneous January 2020 waterbird census along the East Atlantic Flyway: National Reports. Wadden Sea Flyway Initiative p/a Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany, Wetlands International, Wageningen, The Netherlands, BirdLife International, Cambridge, United Kingdom.

Vanoverbeke, J., van Ryckegem, G., van Braeckel, A. & van den Bergh, E. 2019. Modelinstrumentarium voor het voorspellen van habitatgeschiktheid van de Zeeschelde voor fint (*Alosa fallax*). Deelrapport voor het Integraal plan Boven-Zeeschelde.

Velthuis, M., S. Kosten, R. Aben, G. Kazanjian, S. Hilt, E.T.H.M. Peeters, 2018. Warming enhances sedimentation and decomposition of organic carbon in shallow macrophyte-dominated systems with zero net effect on carbon burial. *Glob Chang Biol* 24: 5231-5242.

Verdonschot, R.C.M., H.J. de Lange, P.F.M. Verdonschot, & A. Bess, 2007. Klimaatverandering en aquatische diversiteit. 1. Literatuurstudie naar temperatuur. Alterra rapport 1451.

Vlaams-Nederlandse Schelde Commissie 2019 Systemanalyse natuur Schelde-estuarium gezamenlijk feitenonderzoek van

stakeholders, deskundigen en de Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie.

Volwater, J.J.J. 2017. Impact of climate change on temperature-related growth potential of juvenile fish in the western Dutch Wadden Sea.

Wang, H., D. van der Wal, X. Li, J. van Belzen, P. M. J. Herman, Z. Hu, Z. Zhang, and T. J. Bouma 2017. Zooming in and out: Scale dependence of extrinsic and intrinsic factors affecting salt marsh erosion, *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, 122, doi:10.1002/2016JF004193.

Weatherdon Lauren V., Magnan Alexandre K., Rogers Alex D., Sumaila U. Rashid, Cheung William W. L. 2016. Observed and Projected Impacts of Climate Change on Marine Fisheries, Aquaculture, Coastal Tourism, and Human Health: An Update. *Front. Mar. Sci.*, 19 April 2016 | <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00048>

Weiss, L. C., L. Pötter, A. Steiger, S. Kruppert, U. Frost, R. Tollrian, 2018. Rising pCO₂ in Freshwater Ecosystems Has the Potential to Negatively Affect Predator-Induced Defenses in *Daphnia*. *Current Biology* 28, 327–332.

Wetsteyn, L. P. M. J., 2011. Grevelingenmeer: meer kwetsbaar? Een beschrijving van de ecologische ontwikkelingen voor de periode 1999 t/m 2008 - 2010 in vergelijking met de periode 1990 t/m 1998. RWS Waterdienst, Rapport, 163 pagina's.

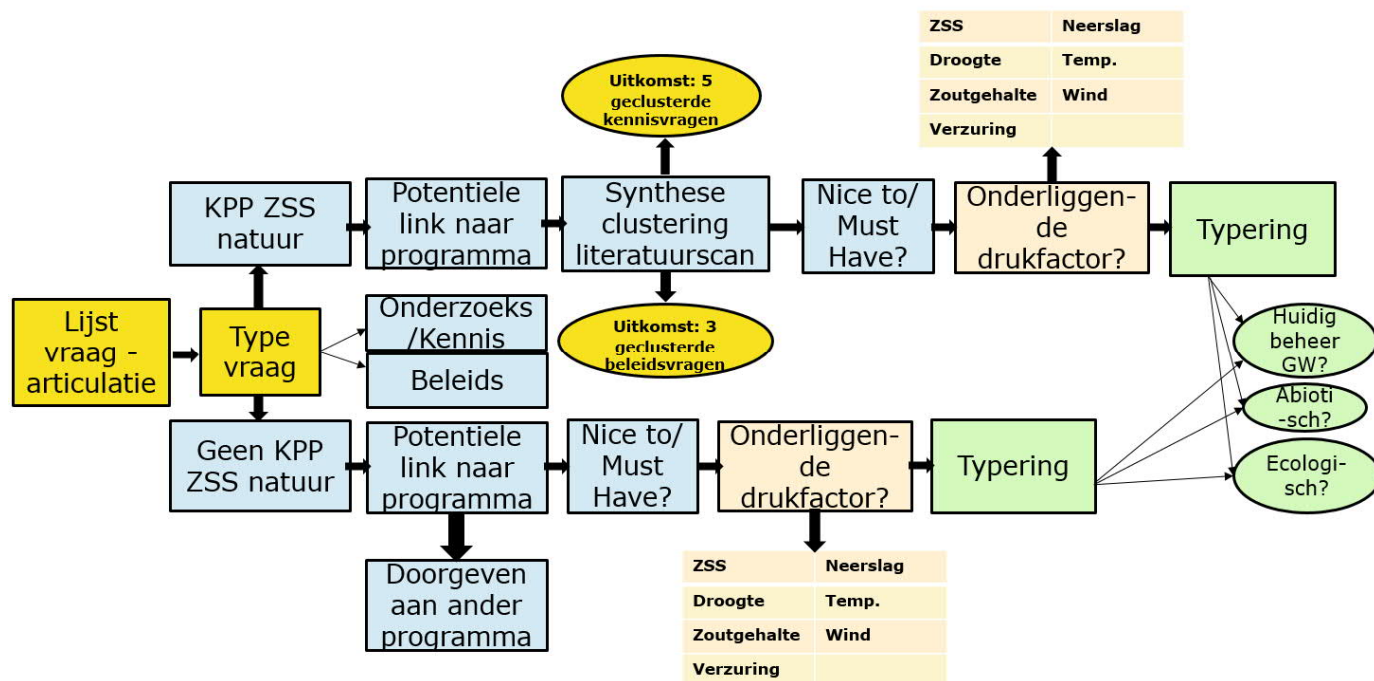
Wolters, H.A., G.J. van den Born, E. Dammers, S. Reinhard, 2018, Deltascenario's voor de 21e eeuw, actualisering 2017.

Zandvoort M, van der Zee E & Vuik V., 2019. De effecten van zeespiegelstijging en zandhonger op de Oosterschelde. Eindrapport van de studie EZZO: Tauw BV, Altenburg & Wymenga en HKV Lijn in Water. I.o.v. Rijkswaterstaat Zee en Delta. Utrecht / Middelburg.

Bijlage 1 Lijst deelnemers generieke sessie

Vanwege AVG-regelement zijn de namen van de deelnemers weggelaten maar ze zijn bekend bij de auteurs.

Bijlage 2 Toelichting doorlopen proces



1. Splitsing naar de twee categorieën: Kennis/onderzoeksvraag en Beleidsvraag

2. Splitsing wel of niet deel van KPP ZSS natuur. Zoals al eerder besproken worden de vragen die niet bij KPP ZSS natuur passen doorgegeven aan een ander programma omdat dit belangrijke bijvangst vormt die niet verloren mag gaan.

3. Indeling naar een potentiële link van een bestaand programma.

4. Voor de KPP ZSS vragen wordt er gekeken naar de kennisvragen die uit de literatuurscan naar voren zijn gekomen. Als er een link is wordt de vraag geclusterd aan de kennisvraag van de literatuurscan. Zo niet dan wordt een nieuwe kennisvraag gemaakt.

5. Daarna wordt er bepaald of dit noodzakelijk (must have) of handig is (nice to have) voor het programma

6. Daarna volgt een splitsing naar de drukfactoren die uit de literatuurscan naar voren zijn gekomen (Zeespiegelstijging, Neerslag, Droogte, Temperatuur, Zoutgehalte, Wind, Verzuring).

7. Op het eind volgt een splitsing naar de indeling 1. Abiotisch vanuit de drukfactor bekeken, 2. Abiotisch vanuit de inrichting van het systeem of 3. Ecologisch. Hierbij werd ook nog gekeken of de vraag wel of niet bij het huidig beheer van de grote wateren zit ingedeeld.

Bijlage 3 Lijst met kennisvragen en beleidsvragen voor KP ZSS

1. Wat zijn de effecten van de klimaatdrukfactoren op het hele ecosysteem (6)

IJG	Hoe ontwikkelt het voedselweb zich als gevolg van de meest waarschijnlijke klimaatveranderingen	KWD	Welke verschuiving in habitats krijg je door morfologische ontwikkelingen en wat is het effect hiervan op het voedselweb?
KWD	Wat is het effect van visserij op het voedselweb?	KWD	Gaat de nutriëntenbalans veranderen door andere zoetwataaraanvoer en wat is het effect hiervan op de vismigratie?
KWD	Missen er schakels in het huidige voedselweb van de Waddenzee?	ALG	Wat zijn de effecten van de klimaatdrukfactoren op het hele ecosysteem, hoe werken zij via voedselketenrelaties door en in hoeverre versterken factoren elkaar of werken deze elkaar tegen?

2. Wat zijn de cumulatieve effecten van zeespiegelstijging en de andere drukfactoren op ecotopen? (21)

RVG	Welk effect hebben de drukfactoren op de rivierkunde en wat betekent dat voor de ecologie?	IJG	Hoe ontwikkelt zich de zoetwataaraanvoer in de toekomst?
RVG	Wat is het ecologische systeem in het rivierengebied en in hoeverre beïnvloedt klimaatverandering de abiotische omstandigheden	IJG	Wat zijn de natuureffecten van verzilting?
RVG	Hoe kun je het rivierengebied zo inrichten dat de waterkwaliteit verbetert zodat de natuur zelf veranderingen op kan vangen?	IJG	Kunnen we op basis van de opties in KP ZSS voor elke optie een scenario schetsen met de mogelijke consequenties voor de natuur in het IJsselmeer gebied?
RVG	Welke ecosystemen zijn er in de toekomst en hoe robuust zijn deze tegen extreme events?	ZWD	Hoe ontwikkelt de macrofauna zich wanneer een smeltrivier in een regenrivier verandert?
RVG	Welk(e) beheer/visie moeten we aanpassen bij verdroging in het gebied?	ZWD	wat zijn de effecten van veranderingen zoutgehalte, neerslag, droogte en wind op habitats en soortgroepen in de Zuidwestelijke Delta
RVG	Kun je de effecten van temperatuurstijging op soorten doorvertalen naar beheerdoelen?	KWD	Welke soorten zitten net als kokkels in de gevarenzone maar zijn nog niet zo bekend geworden?
KWD	Wat zal de kwantiteit van zoet water worden in de toekomst?	KWD	Wat is het effect van extra zoetwataaraanvoer in de winter?
KWD	Wat is het effect van verhoogde watertemperatuur op vismigratie?	KWD	Wat is het effect van gelaagdheid door temperatuurverandering in het Waddengebied?
KWD	Wat is het effect van het ontbreken van strenge winters?	KWD	Kokkels sterven massaal door heatstress. Wat doet dit met hogere trofische niveaus en waarom gebeurt

			dit op bepaalde plaatsen wel en andere juist niet?
KWD	Wat is het effect van het veranderen van de Rijn in een regenrivier? N.B. Ook belangrijk vanwege de nutriënten en het slib dat deze rivier meeneemt.	KWD	M.b.t. de N2000 tabellen: welke drukfactoren veroorzaken de meeste problemen voor de Waddenzee en de kust?
KWD	wat zijn de effecten van veranderingen in zoutgehalte, neerslag, droogte en wind op habitats en soortgroepen in de Waddenzee en Kustzone?	KWD	

3. Wat zijn de effecten van klimaatdrukfactoren op voedselketenrelaties en het ecologisch functioneren van watersystemen? (4)

RVG	Welk effect van getijde zie je op de natuur in het binnenland?	RVG	Welke maatregelen zullen worden genomen om negatieve effecten van de zeespiegelstijging te vermijden/beperken en wat zijn de effecten daarvan op de natuurwaarden in het Rivierengebied? En welke scenario's hebben vanuit natuuroogpunt dus zeker niet de voorkeur?
RVG	Hoe moeten we omgaan met de getijdemaas, zeker doordat dit gaat veranderingen in de toekomst?	IJG	Welke maatregelen zullen worden genomen om negatieve effecten van de zeespiegelstijging te vermijden/beperken en wat zijn de effecten daarvan op de natuurwaarden in het IJsselmeergebied? En welke scenario's hebben vanuit natuuroogpunt dus zeker niet de voorkeur?

4. Welk effect heeft een door klimaatverandering veranderende morfodynamiek en sedimenttextuur op de natuur? (5)

RVG	Hoe groot wordt het probleem van verminderde waterdiepte door afkalving van de oevers?	KWD	Hoe gedraagt het slib- en zandsysteem zich in de Waddenzee?
ZWD	Welke nieuwe kansen ontstaan er op het gebied van natuur door de morfologische ontwikkelingen, en wat is ervoor nodig?	KWD	Kunnen de huidige en vroegere trends van morfologische veranderingen worden doorgetrokken naar de verdere toekomst, en wat betekent dat voor de processen en patronen in de Waddenzee?
KWD	Wat zal de verhouding tussen slib en zand worden in de toekomst, is de een reactief en de ander proactief?		

5. Welke systeemkennis is er nodig om maatregelen te selecteren waarmee negatieve effecten van klimaatverandering (zeespiegelstijging e.a.) te vermijden of te beperken zijn en wat zijn de effecten van die maatregelen op de natuurwaarden (5)

IJG	Hoe groot is de kans dat stratificatie optreedt? Hoe kan stratificatie worden voorkomen?	ZWD	Wat is het effect van extreme weather events op de waterkwaliteit?
ZWD	Welke ecologische processen moeten er zijn om een veerkrachtig en robuust systeem te worden?	KWD	Kan er een soort quick reaction force team komen dat monitort wat de watertemperatuur is en andere typen monitoring?
ZWD	Wat zijn de belangrijkste stoffen die de waterkwaliteit beïnvloeden en hoe kunnen we dat beïnvloeden?		

1. Hoe richten we Nederland in de toekomst in, met het oog op waterveiligheid, watervoorziening en de natuur? (10)

RVG	Hoe kunnen we een belangenafweging maken tussen natuur en scheepvaart of tussen natuur en zoetwatervoorziening?	ZWD	Moet er niet naar de plussen en minnen worden gekeken van het opofferen van landbouwgrond voor natuur?
RVG	Hoe en waar wordt er gekozen de gebiedsfunctie te veranderen naar een natuurfunctie om ruimte en robuustheid te creëren?	ZWD	Wat is voor de toekomst de beste oplossing voor het verdelingsvraagstuk van het zoete water?
IJG	Is de huidige strategie in het gebied houdbaar met de toekomstige temperatuurstijging?	ZWD	Moeten lokale overheden niet minder zeggenschap krijgen om op tijd genoeg ruimte beschikbaar te maken en aan internationale regels te voldoen?
IJG	Hoe richt je het IJsselmeergebied zo in dat de belangrijkste functies (zoetwater, recreatie, natuur) behouden blijven? Moeten daarvoor functies worden gecombineerd?	KWD	Wat voor Waddenzee visie accepteren we?
IJG	Wat is het "einddoel" en de houdbaarheid ervan dat we voor het IJsselmeergebied voor ogen hebben, hoe relateert zich dit tot de N2000 doelen?	KWD	Kan er meer ruimte worden vrijgemaakt om estuaria te ontwikkelen?

2. Sluit ons huidige beheer/beleid aan bij de klimatologische veranderingen die we op ons af zien komen (7)

RVG	Is de huidige visie voor natuur in de rivier nog in lijn met de rivierdynamiek/abiotiek?	KWD	Hoe geef je integraal vorm aan de oplossingen die nodig zijn door morfologische veranderingen en de volgende ecologische verschuivingen?
IJG	Natuurbeheer: Tot op welk niveau van zeespiegelstijging (tipping point) zijn we bereid de N2000 doelen in stand te houden en hoeveel mag dit instandhouder maximaal kosten?	KWD	Kunnen we de verbeteropgaves van N2000 en de gebiedeneis vanuit EU combineren met de wens om een robuust voedselweb te creëren?
ZWD	Hebben we beheermaatregelen die niet realistisch zijn of die niet worden aangedurfd omdat ze gevoelig liggen?	KWD	Welke kaders hebben we nodig voor het nemen van robuuste maatregelen in o.a. PAGW?
KWD	Welke handelingsperspectieven hebben we nu al om minder stress op het systeem te zetten als mens?		

3. Hoe kunnen we waterveiligheid & watervoorzieningen en natuur(ontwikkeling) duurzaam combineren (3)

ZWD	Wat draagt de Delta van de toekomst bij aan natuurwaarde voor NL?	ZWD	Hoe kunnen we het suppletiebeleid vormgeven om natuurontwikkeling verder te stimuleren op korte en lange termijn?
ZWD	Wat is de visie waar we mee verder willen: Behoud of building with nature?		

Bijlage 4 Overzicht van aanvullende opbrengst vraagarticulatie: kennisvragen klimaatsverandering

1. Bijvangst Waddenzee en kustzone

WKZ	Is het mogelijk dat de eilandenrij gaat sluiten of sneller zal verdwijnen door toekomstige morfologische ontwikkelingen?	WKZ	Hoe kunnen we beter meten hoeveel afvalstoffen er worden geloosd tijdens hoge of juist lage afvoer en het effect hiervan op de zoetwaterbalans?
WKZ	Wat voor weertype kan je verwachten door hogere temperaturen?	WKZ	Kunnen we ecologische functies voor soorten (vogels) in kaart brengen bij de Waddenzee (rustgebied, foerageergebied, verbindingroute)?
WKZ	Hoe verandert het gebruik van het systeem door habitatveranderingen?		

2. Bijvangst Zuidwestelijke Delta

ZWD	Hoe kun je inventariseren welke soorten invasief gaan worden?	ZWD	Welke omvang is nodig om klimaatveranderingen (en vooral tipping points) op te vangen en zo robuustheid en veerkracht te creëren?
ZWD	Hoe kunnen we slim omgaan met sediment?	ZWD	Wat levert een veerkrachtig systeem economisch op (verdienmodel)? N.B. Dit verhoogt ook de draagkracht in de regio voor beheermaatregelen
ZWD	Kan er een early warning system komen om invasieve soorten tijdig op te sporen?	ZWD	Hoe kun je leren van best practices om te voorkomen dat soorten door de mens in de natuur terechtkomen?
ZWD	Leveren de voorgenomen maatregelen van de PAGW inderdaad toekomst/klimaatbestendige grote wateren met hoogwaardige natuur op?		

3. Bijvangst Rivierengebied

RVG	Kunnen bomen langs de rivier worden gebruikt als een bufferfunctie?	RVG	Zijn de exoten en verschuivende soorten een probleem voor de natuur of niet?
RVG	Is het systeem van sedimentatie en erosie waaraan de biotiek gekoppeld is duurzaam?	RVG	Hoe gaat hergebruik van sediment er in de toekomst uit zien en hoelang kunnen we het blijven hergebruiken?
RVG	Hoe zorg je voor voldoende natuurdynamiek achter langsdammen?	RVG	Hoe gaan we om met exoten of verschuivende soorten in beleidsdoelen?
RVG	Hoe kan er worden omgegaan met de nutriëntenaanvoer door de landbouw en wat betekent dit voor begrazingsbeheer?	RVG	Hoe gaat men in het buitenland om met droogte?
RVG	Kunnen we in de toekomst flexibeler met de stuwen omgaan in de Maas?	RVG	Hoe kunnen klimaatverandering en rivierkunde integraal met ecologie worden opgepakt?
RVG	Wat is het effect van buitenlands handelen op het rivierengebied?		

4. Bijvangst IJsselmeergebied

IJG	Kunnen we inzicht krijgen in welke soorten flora en fauna er aankomen door klimaatverandering	IJG	Aan welke abiotische condities kunnen de gebieden/soorten niet meer voldoen met de vooruitzichten op het gebied van klimaatverandering
IJG	Hoe ontwikkelt zich het peilverloop over de tijd heen?	IJG	Hoe richt je de natuur zo in dat de belangrijkste natuurwaarde wordt beschermd?
IJG	Wat zijn de consequenties voor het IJsselmeergebied als er water bovenstrooms wordt vastgehouden?	IJG	Kan de levensduur van aan te leggen Habitats/ leefgebieden worden voorspeld?
IJG	Wat is het effect van temperatuurstijging op de stratificatie in het IJsselmeer en komt dit meer voor?	IJG	Wat is het effect van temperatuurstijging op de populatiedynamica en het ecosysteem?
IJG	Beperken we ons bij het bepalen van de robuustheid van het IJsselmeergebied tot de grenzen van het IJsselmeer, of worden aanpalende natuurgebieden meegenomen?	IJG	Moeten we de condities voor vogelsoorten handhaven in de gebieden als deze vogelsoorten uit zichzelf ergens anders verblijven vanwege de nu ontstaande condities daar?
IJG	Zijn er inrichtingsmaatregelen te treffen tegen temperatuurstijging (koud water lozen, diepe putten)?	IJG	Hoe kunnen we bij nieuwe PAGW-projecten wel rekening houden met klimaatverandering?

IJG	Hoe kan de zoetwaterbuffer worden gediend door specifieke inrichting van de natuur?	IJG	Hoe werken temperatureffecten op de ene soort door op andere soorten en vice versa?
IJG	Waar kan je de typische IJsselmeernatuur vinden, elders in Europa?	IJG	Welke effecten hebben veranderde windpatronen op waterplanten?
IJG	Wat zijn per instandhoudingsdoel de inrichtingskosten die er door klimaatverandering gemaakt moeten worden?		