

Actualisatie klimaatrobustheidsstudie Waterbeheer Volkerak-Zoommeer



Actualisatie klimaatrobustheidsstudie Waterbeheer Volkerak-Zoommeer

Auteur(s)

Meinard Tiessen

Actualisatie klimaatrobustheidsstudie Waterbeheer Volkerak-Zoommeer

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Gerben Dekker (RWS WV) en Wouter Quist (RWS Zee & Delta)
Referenties	Referenties
Trefwoorden	Trefwoorden

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	19-12-2024
Projectnummer	11210350-001
Document ID	11210350-001-ZKS-0006
Pagina's	26
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Meinard Tiessen	

Gebruik van deze tabel is voor de controle van de juiste uitvoering door Deltares van de opdracht. Ieder ander klantgebruik en externe verspreiding is niet toegestaan.

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord
1.0	Meinard Tiessen	Arno Nolte	Sandra Gaytan Aguilar

Samenvatting

In 2020 is door Deltares onderzoek gedaan naar de robuustheid van het waterbeheer van het Volkerak-Zoommeer voor klimaatverandering en zijn mogelijke consequenties geïventariseerd voor de functies en gebruikers van het meer. Sindsdien zijn de nieuwe KNMI'23 klimaatscenario's gepubliceerd, als ook de Deltascenario's afgeleid. Daarnaast zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd waaruit nieuwe inzichten naar voren kwamen met betrekking tot klimaatverandering en het functioneren van het meer.

In deze 2024 actualisatie zijn de aannames en bevindingen van de 2020 studie getoetst aan de nieuwe inzichten en is bekeken of de conclusies van 2020 nog steeds van toepassing zijn.

De hoofdconclusie van de klimaatrobuustheidsstudie was dat het waterbeheer van het Volkerak-Zoommeer tot 1m ZSS robuust is, mits wordt voldaan aan:

- Zoetwater aanvoer via de Volkeraksluizen van minimaal 40 m³/s
- Zoute kwel niet substantieel groter dan 3 kg/s
- De nieuwe Innovatieve Zoet-Zout Scheiding op de Krammersluizen werkt naar verwachting.

De nieuwe rapporten en inzichten geven geen indicatie dat deze conclusie hoeft te worden herzien.

- De verwachte maximale zeespiegelstijging is ook volgens de recente inzichten (KNMI, 2023) orde grootte 1m in 2100 (0,73 – 1,24m) in het scenario met hoge CO₂ uitstoot.
- Onderzoek (Deltares, 2022) naar de zoutlast via zoute kwel wees uit dat deze tot een zeespiegelstijging van 1m ongeveer 2,6 kg/s zal zijn, maar bij 3 m zeespiegelstijging op meer dan 6 kg/s komt.
- De ombouw van de Krammersluizen moet nog geschieden, dus de toetsing van de effectiviteit in de praktijk moet daarna nog worden gedaan. Recent onderzoek heeft wel aangegeven dat de klimaatrobuustheid van de omgebouwde Krammersluizen beperkingen kent. Met name het spui- en vismigratiemiddel heeft een afnemende spuicapaciteit bij toenemende zeespiegelstijging. Aanbevolen wordt om te onderzoeken hoe groot dit effect is en welke mitigerende maatregelen genomen kunnen worden.

Naast de hoofdconclusie is gekeken naar de inzetbaarheid van het Volkerak-Zoommeer voor andere gebruiksfuncties (o.a. noodwaterberging, scheepvaart, waterveiligheid, natuur en zoetwatervoorziening). Hieruit bleek dat in grote lijnen de conclusies van het 2020 onderzoek van toepassing blijven. Wel zal onder invloed van toenemende zeespiegelstijging de afwateringscapaciteit van de Krammersluizen naar de Oosterschelde afnemen. Dit in combinatie met potentiële veranderingen in de neerslag-afvoer patronen heeft mogelijk tot gevolg dat de houdbaarheid van het waterbeheer (peilbeheer, de zoetwatervoorziening en de waterkwaliteit) wordt verkort. Mogelijke gevolgen voor het peilbeheer werken daarnaast ook door in de aan het Volkerak-Zoommeer grenzende regionale watersystemen.

Inhoud

Samenvatting	4	
1	Inleiding	6
2	Bevindingen Klimaatrobustheidsstudie 2020	7
2.1	Conclusies	7
2.2	Aannames	8
3	Recente inzichten	11
3.1	Recente rapporten	11
3.2	Nieuwe inzichten in de systeemwerking van het Volkerak-Zoommeer	12
4	Actualisatie Klimaatrobustheidsstudie	18
4.1	Consequenties van nieuwe inzichten	18
4.2	Vertaling naar gebruikersfuncties	19
5	Conclusies en aanbevelingen	21
5.1	Conclusies	21
5.2	Aanbevelingen voor verder onderzoek	21
6	Literatuur	25

1 Inleiding

Dit document beschrijft een uitwerking van de binnen het SITO PS project Kennis voor gebiedsbenadering ZW Delta (WBK12) uitgezette activiteit: Update Klimaatrobustheidsscan voor het Volkerak-Zoommeer.

In 2020 is een uitgebreide studie gedaan naar de klimaatrobustheid van het Volkerak-Zoommeer (Deltares, 2020a). Sindsdien zijn verschillende studies uitgevoerd en rapporten gepubliceerd die aanleiding geven de aannames, methodiek en conclusies van deze eerdere studie te evalueren en actualiseren. Zo zijn in 2023 de nieuwe KNMI klimaatscenario's gepubliceerd (KNMI, 2023) en in 2024 ook de Deltascenario's (Deltares, 2024a). Daarnaast zijn er verschillende onderzoeken gedaan met daarin nieuwe inzichten met betrekking tot klimaatverandering en het functioneren van het meer. Een voorbeeld daarvan is de uitwerking van de zoutlast als gevolg van kwel op het Volkerak Zoommeer (Deltares, 2022).

Deze studie heeft tot doel de aannames en conclusies uit de klimaatrobustheidsstudie uit 2020 te toetsen en waar nodig te actualiseren aan de 2023 klimaatscenario's van het KNMI, de Deltascenario's en andere relevante recente onderzoeken en inzichten. De hier gedane update van de klimaatrobustheid studie van 2020 betreft een kwalitatieve evaluatie van recente inzichten. In deze studie zijn geen aanvullende onderzoeken gedaan en worden alleen de gerapporteerde inzichten geduid.

De studie bestaat uit een literatuuronderzoek waarin eerst een overzicht is gemaakt van de belangrijkste conclusies en aannames uit de 2020 studie (hoofdstuk 2). Daarna zijn de nieuwe inzichten uit recente onderzoeken en de KNMI'23 klimaatscenario's en de Deltascenario's samengebracht (hoofdstuk 3). In hoofdstuk 4 worden de originele conclusies en aannames getoetst aan deze nieuwe inzichten, waarbij specifiek wordt gekeken naar de functies die het meer vervult. Tot slot volgen nog conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 5.

2 Bevindingen Klimaatrobustheidstudie 2020

In 2020 is door Deltares een studie uitgevoerd naar de Klimaatrobustheid van het Volkerak-Zoommeer. In deze studie is aan de hand van scenario's van het huidige en het toekomstige klimaat met een bakjesmodel berekend wat de verwachte ontwikkeling van verschillende fysische parameters zal zijn, zoals waterstand en zoutgehalte.

De gesimuleerde jaren waren voor het huidige klimaat 2017 (als default) en 2018 (waar sprake was van een langdurig droge zomer en najaar). Voor het toekomstige klimaat waren de gegevens van 2018 als uitgangspunt genomen, maar waren de data aangepast naar de KNMI'13 klimaatscenario's (KNMI, 2014).

De simulaties beschreven allemaal een jaar, wat tweemaal achterelkaar werd gedraaid om het systeem in te laten spelen. De uitkomsten werden vervolgens geanalyseerd voor het tweede jaar.

Op basis van de analyse van de modeluitkomsten en expert judgement zijn daarna bevindingen gedaan met betrekking tot de effecten van klimaatverandering en de houdbaarheid van de verschillende functies die het meer vervult.

Voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar Deltares (2020a). In de rest van het document wordt naar dit rapport verwezen als wordt gesproken over de klimaatrobustheidsstudie. In de volgende paragrafen komen de hoofdconclusies en de achterliggende aannames aan bod.

2.1 Conclusies

De belangrijkste conclusies van de klimaatrobustheidsstudie (2020) zijn hieronder puntsgewijs benoemd:

- De gebruikersfuncties met het huidige waterbeheer voldoen tot 1m ZSS (verwachting 2100), dat wil zeggen: Het peilbeheer blijft tussen de peilgrenzen (NAP -0,1 m en 0,15 m^{1,2}) en het zoutgehalte blijft in het groeiseizoen onder de streefwaarde (450mg/l Cl), mits wordt voldaan aan 3 randvoorwaarden:
 1. Wateraanvoer vanuit het Hollands Diep naar het Volkerak is jaarrond minimaal 40 m³/s³.
 2. Kweldruk neemt niet substantieel toe boven de huidige (geschatte) waarde van 3kg/s.
 3. Optimalisatie van de operationele sturing is vereist van de Innovatieve Zoet-Zoutscheiding op de Krammersluizen, na ingebruikname. Hier is uitgegaan van de toen beschikbare kennis.

¹ Bij een zeespiegelstijging van meer dan 50 cm is wellicht beperkte aanpassing van het operationeel waterbeheer nodig, omdat de afvoercapaciteit van de Bathse spuisluis beperkend wordt bij veel wateraanvoer via Volkeraksluizen, Dintel en Steenbergse Vliet. Verwacht wordt dat de mogelijkheden voor aanpassing van het operationeel waterbeheer met de huidige kustwerken toereikend zijn, door bijvoorbeeld anticiperend al extra te spuien.

² De calamiteitsgrenzen voor wateroverlast (NAP +0,50 m met 1/100 jaar herhalingsstijd) en watertekort (NAP -0,25 m) zijn niet onderzocht.

³ Optimalisatie van het operationeel waterbeheer is waarschijnlijk mogelijk met tijdelijk minder wateraanvoer. Dit is echter in 2020 niet verder uitgewerkt.

Daarnaast zijn de overige beheers- en gebruikersfuncties kwalitatief getoetst:

- De functie Noodwaterberging is waarschijnlijk niet klimaatrobuust, maar pas naar verwachting na 2050, gezien de beperkte toename in ZSS en rivierafvoer.
- Scheepvaart is aan het waterpeil gerelateerd en wordt tot 1m zeespiegelstijging als klimaatrobuust beschouwd.
- Functies die direct of indirect gerelateerd zijn aan blauwalgen hebben een licht negatieve toetsing met de nodige onzekerheid. Het betreft de functies Waterkwaliteit (KRW), Zwemwater, Waterrecreatie en Woonomgeving. Verwacht wordt dat door temperatuurstijging als gevolg van klimaatverandering gunstigere condities ontstaan voor het voorkomen van blauwalgen. In hoeverre dit (vaker) een drempelwaarde overschrijdt, die ook in de huidige situatie soms overschreden worden, is nog niet aan te geven. Dit is een resterende onzekerheid.
- Water-gerelateerde natuur inclusief de visstand en vogels worden als klimaatrobuust beoordeeld voor zover het waterbeheer van invloed is, met een vraagteken voor het effect van temperatuur. De terrestrische natuur is in deze studie niet beschouwd, omdat deze niet afhankelijk is van het waterbeheer van het Volkerak-Zoommeer.
- Over de klimaatrobuustheid van Waterveiligheid wordt in dit rapport geen uitspraak gedaan. Dit is onderwerp van onderzoek in het Deltaprogramma Waterveiligheid en het Hoogwaterveiligheidsprogramma.

Deze bevindingen zullen in de volgende paragrafen worden getoetst aan de hand van nieuwe inzichten met betrekking tot klimaatverandering en het functioneren van het systeem.

2.2 Aannames

Voor een volledige beschrijving van de modelopzet en de aannames zoals die zijn gehanteerd bij het uitvoeren van de scenariostudie met behulp van het bakjesmodel voor de klimaatrobuustheidsstudie wordt verwezen naar Deltares (2020a). Hieronder volgen kort de belangrijkste gehanteerde instellingen, als ook de achterliggende aannames en gehanteerde rapporten.

2.2.1 Externe wateraanvoer (Volkeraksluizen)

In de klimaatrobuustheidsstudie is aan de hand van enkele aangenomen aanvoerdebieten via de Volkeraksluizen gekeken of in de toekomst het meerpeil tussen de peilgrenzen (-0,1 – 0,15 m NAP) gehandhaafd kan worden. Uitgangspunt is daarbij dat de waterbeschikbaarheid vanuit het Hollands Diep groot genoeg is om aan deze watervraag richting het Volkerak-Zoommeer te voldoen. Het debiet dat door de Volkeraksluizen is ingelaten naar het Volkerak-Zoommeer is in de simulaties een continue opgelegde⁴ met waarden van:

- 15 m³/s
- 25 m³/s
- 25 m³/s met winter doorspoeling⁵
- 40 m³/s

⁴ Er wordt hierbij uitgegaan dat er altijd voldoende aanvoer vanuit het Hollands Diep naar het Volkerak-Zoommeer beschikbaar is.

⁵ In de variant met winterdoorspoeling wordt voor de periode van 15 februari tot en met 14 maart een inkomend debiet via de Volkeraksluizen van 100m³/s aangenomen. In recente jaren wordt afgeweken van deze "winter doorspoeling" en wordt jaarrond gespeeld.

2.2.2 Neerslag en lokale wateraanvoer (Brabantse rivieren)

Voor het modelleren van de neerslag wordt voor het huidige klimaat gebruik gemaakt van gemeten tijdreeksen, van 2017 (default) of van 2018 (droge zomer). Voor de toekomstige klimaatscenario's wordt de 2018 neerslagdata geschaald met de verwachte neerslagontwikkeling op basis van de KNMI'13 klimaatscenario's:

- 2050 (klimaatscenario G_L): Winter +3%, lente +5%, zomer +1%, herfst +7%
- 2085 (klimaatscenario W_H): Winter +30%, lente +12%, zomer -23%, herfst +12%

De aanvoer vanuit de Brabantse rivieren Dintel en (Steenbergse) Vliet wordt ook gebruik gemaakt van gemeten debietsreeksen van 2017 en 2018, waarbij het Dintel debiet is aangevuld met een extra aanvoer via de Roode Vaart van 2,5 m³/s (april – juni) en 1,5 m³/s (juli – september). Voor de klimaatscenario's wordt de data van 2018 gebruikt en geschaald met de verwachte neerslagontwikkeling.

2.2.3 Waterafvoer en doorspoeling

Afvoer van water uit het Volkerak-Zoommeer gaat via de Krammersluizen en de Bathse Spuisluis. Hierbij wordt uitgegaan dat de Krammersluizen in alle scenario's al zijn omgebouwd met een Innovatieve Zoet-Zout Scheiding (IZZS) en een Spui- en Vismigratiemiddel (SPVM). Voor de Krammersluizen zijn strikte grenzen: 9 m³/s in groeiseizoen (15 maart – 15 september) en 29 m³/s⁶ daarbuiten mits voldoende water beschikbaar is. Voor de Bathse Spuisluis geldt dat het spuidebiet afhankelijk is van hoeveel water overtollig is⁷ in het Volkerak-Zoommeer en het peil op de Westerschelde⁸.

Voor de klimaatveranderingsscenario's gelden voor de Krammersluizen dezelfde criteria, maar is geen rekening gehouden met zeespiegelstijging. Voor de Bathse Spuisluis is wel rekening gehouden met een afnemend verval als gevolg van zeespiegelstijging (op de Westerschelde). Voor beide spui-middelen is geen rekening gehouden met tijdelijke opzet als gevolg van wind.

2.2.4 Verdamping

Voor het modelleren van verdamping wordt gebruik gemaakt van gemeten tijdreeksen: Voor 2017 wordt gebruik gemaakt van een meetreeks uit 2003, terwijl voor 2018 gebruik wordt gemaakt van de dat jaar gedane metingen.

Voor de klimaatscenario's wordt gebruik gemaakt van de 2018 data, zonder aanvullende aanpassing als gevolg van klimaatverandering.

2.2.5 Watervraag

Vanuit waterschappen Scheldestromen, Brabantse Delta en Hollandse Delta wordt water ingenomen vanuit het Volkerak-Zoommeer. Deze worden als constante waarden beschouwd die jaarrond worden toegepast. Ook wordt geen rekening gehouden met een toekomstige verandering van de watervraag door waterschappen.

⁶ Dit betreft het verwachte beheer na ombouw van de Krammersluizen van de huidige zoet-zout scheiding, naar de innovatieve zoet-zout scheiding inclusief spui- en vismigratiemiddel.

⁷ Dit betreft de aansturing van het bakjesmodel zoals gebruikt in de Klimaatrobustheidsstudie. In werkelijkheid wordt ook gestuurd op zout: Bij verhoogde zoutconcentraties wordt extra gespuid via de Bathse spuisluis.

⁸ In werkelijkheid wordt het spuidebiet bij de Bathse spuisluis ook bepaald door het gemeten zoutgehalte bij Bathse brug. Bij een verhoogd zoutgehalte wordt meer gespuid om zoutindringing in het VZM tegen te gaan. Dit wordt niet toegepast in de simulaties van het bakjesmodel, waar ook de aanvoer van zoet water (via de Volkeraksluizen) constant is.

2.2.6 Zoute kwel

De mate waarin zoute kwel een significante rol speelt in de verzilting van het Volkerak-Zoommeer in het huidige klimaat en bij klimaatverandering was relatief onzeker ten tijde van de Klimaatrobuustheidsstoets. Toen zijn verschillende scenario's gedraaid met een zoute kwel last van ofwel 3 kg/s of 6 kg/s chloride.

2.2.7 Temperatuur

Temperatuur wordt niet meegenomen in de scenariostudie uitgevoerd als onderdeel van de klimaatrobuustheidsstudie. Het gebruikte bakjesmodel is ongeschikt om temperatuureffecten te beschrijven. Naast de grove ruimtelijke schaal (het hele meer is opgeknipt in 9 ruimtelijke uniforme bakken) en het ontbreken van de mogelijkheid om gradiënten over de diepte te beschrijven maakt dit modeltype ongeschikt voor het beschrijven van sterke diepte-afhankelijke processen zoals temperatuur.

Wel worden in de klimaatrobuustheidsstudie uitspraken gedaan met betrekking tot de ontwikkeling in de watertemperatuur in relatie tot waterkwaliteit en ecologie. De inschatting van de effecten van temperatuurveranderingen zijn daarom gebaseerd op expert judgement op basis van de verwachtingen van de (lucht)temperatuur uit de KNMI'13 klimaatscenario's (Tabel 2.1). Daarbij werd indicatief aangegeven dat een hogere temperatuur de blauwalgenproblematiek mogelijk verergerd, maar dat hier nog wel onzekerheden aan zijn verbonden.

Tabel 2.1 Verwachte luchttemperatuur volgens KNMI'13 klimaatscenario's.

Voorspelhorizon	Bron	Jaargemm.	Winter	Lente	Zomer	Herfst
2050	KNMI'14 GI	1	1,1	0,9	1	1,1
	KNMI'14 Gh	1,4	1,6	1,1	1,4	1,3
	KNMI'14 WI	2	2,1	1,8	1,7	2,2
	KNMI'14 Wh	2,3	2,7	2,1	2,3	2,3
2085	KNMI'14 GI	1,3	1,3	1,2	1,2	1,6
	KNMI'14 Gh	1,7	2	1,5	1,7	1,5
	KNMI'14 WI	3,3	3,3	2,8	3	3,8
	KNMI'14 Wh	3,7	4,1	3,1	3,8	3,8

3 Recente inzichten

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van een aantal recent gepubliceerde rapporten een overzicht gegeven van de nieuwe inzichten in relatie tot klimaatverandering en werking van het Volkerak-Zoommeer. Hieronder wordt eerste een overzicht gegeven van de publicaties, waarna puntsgewijs de belangrijkste aannames van de klimaatrobuustheidsstudie worden beschouwd met het oog op de recente publicaties.

3.1 Recente rapporten

De volgende rapporten en publicaties zijn beschouwd voor dit onderzoek:

KNMI'23 klimaatscenario's voor Nederland

KNMI (2023)

In de klimaatrobuustheidsstudie is uitgegaan van de KNMI'13 (KNMI, 2014) scenario's, welke in 2023 zijn vernieuwd. Dit vormt het belangrijkste toetsingsdocument voor deze studie. Dit betreft de herziening van de klimaatverwachtingen voor 2050 en 2100. De zeespiegelstijging aldus de KNMI'13 scenario's Warm werd voor 2085 geschat op 0,45 – 0,85 m. Voor de KNMI'23 scenario's Hoog werd deze voor 2100 geschat op 0,59 – 1,24 m. Voor een overzicht van de grootste veranderingen met de KNMI'13 scenario's wordt verwezen naar KNMI (2023). In de volgende paragrafen komen de voor dit onderzoek relevante veranderingen aan bod.

Grondwaterverziltiging en watervraag bij een stijgende zeespiegel

Deltares (2022)

Deltares heeft in het kader van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging een studie uitgevoerd om de zoutlast als gevolg van kwel op het Volkerak-Zoommeer (en omliggende polders) te kwantificering en onderbouwen.

Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse

Deltares (2023a)

Dit betreft een Deltares studie van de vertaling van de KNMI'23 klimaatscenario's naar verwachte afvoercondities van de Rijn en de Maas. Hierbij is zowel gekeken naar periodes met hoge afvoer, als ook naar lage afvoerperiodes.

Deltascenario's 2024 – Zicht op Water in Nederland

Deltares (2024a)

De KNMI'23 klimaatscenario's zijn daarnaast vertaald naar Deltascenario's waarin de wateropgaven voor 2050 en 2100 in beeld zijn gebracht voor Nederland aan de hand van vier mogelijke toekomstbeelden.

Vertaling van de Deltascenario's 2024 naar invoer voor het Nationaal Water Model

Deltares (2024b)

Om de lokale effecten van klimaatverandering voor Nederland in beeld te brengen is de ambitie om de Deltascenario's met het Nationaal Watermodel door te rekenen. Een voorzet daartoe wordt gevormd door dit Deltares rapport waarin de modelinvoer en aannames staan beschreven.

Basisprognoses 2024

IPLO (2024)

De Basisprognoses zijn de Deltascenario's gesimuleerd met het Nationaal Watermodel. Deze simulaties kunnen op hoger detailniveau inzicht geven in de gevolgen van klimaatverandering voor verschillende gebieden van Nederland dan mogelijk is met behulp van de Deltascenario's waarbinnen op landelijke schaal naar de consequenties van klimaatverandering is gekeken. De uitkomsten van de Nationaal Watermodelsimulaties worden na analyse online gepubliceerd via de IPLO-website. De Basisprognoses zijn nog niet gepubliceerd voorafgaand aan of gedurende deze studie, waardoor de implicaties van de Deltascenario's en de verwachte Rijn- en Maasafvoeren onder klimaatverandering alleen op landelijk niveau bekend zijn, en nog niet kunnen worden vertaald naar consequenties voor de klimaatrobuustheid van het Volkerak-Zoommeer met betrekking tot de zoetwateraanvoer.

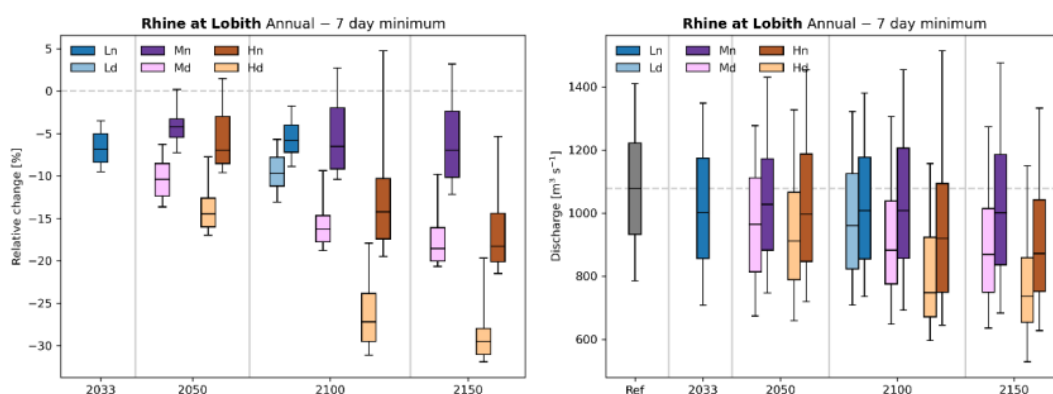
3.2 Nieuwe inzichten in de systeemwerking van het Volkerak-Zoommeer

Hieronder wordt aan de hand van de hierboven genoemde rapporten per onderwerp bepaald in hoeverre de aannames van de klimaatrobuustheidsstudie van 2020 nog valide zijn.

3.2.1 Externe wateraanvoer (Volkeraksluizen)

In de klimaatrobuustheidsstudie is aangenomen dat er sprake is van een constante zoetwateraanvoer richting het Volkerak-Zoommeer vanuit het Hollands Diep. Deze constante aanvoer is gevarieerd tussen 10 en 40 m³/s met als conclusie dat de aanvoer via de Volkeraksluizen jaarrond circa 40 m³/s moet zijn, om tot 1 m zeespiegelstijging aan de huidige gebruikersfuncties te blijven voldoen.

Er is nog geen nieuw inzicht in toekomstige waterbeschikbaarheid richting het Volkerak-Zoommeer vanuit het Hollands Diep. Wel is bovenregionaal een uitwerking gedaan van de KNMI'23 scenario's voor de afvoer van de Rijn en Lek (Deltares, 2023a, Figuur 3.1). Daaruit blijkt dat zowel de lage als de hoge afvoercondities meer extreem zullen worden. Met name de minimale afvoer is daarbij bepalend voor de waterbeschikbaarheid richting het Volkerak-Zoommeer⁹. De verwachte 7-daags gemiddelde minimum Rijn-afvoer kan in 2100 met tussen 5 en 30% dalen (Deltares, 2023a). Op basis van de eerdere KNMI'13 klimaatscenario's was de verwachting nog dat de minimale afvoer (ook 7-daags gemiddelde) ofwel zou kunnen toenemen (met orde grootte 5%) of afnemen (met orde grootte 25%).



Figuur 3.1 Verwachte toekomstige Rijnafvoer bij Lobith voor de KNMI'23 scenario's (Buirink et al., 2023). (links) Relatieve verandering ten opzichte van het referentie jaar. (rechts) Absolute afvoer.

⁹ Een toename in de maximale afvoer zou daarnaast kunnen leiden tot het vaker inzetten van de Waterbergingsfunctie van het Volkerak-Zoommeer. Dit is buiten beschouwing gelaten in deze studie.

Wat specifiek de consequenties zullen zijn van de afname in de minimale bovenstroomse rivierafvoer voor de waterbeschikbaarheid naar het Volkerak-Zoommeer is nog onduidelijk. Wat daarbij meespeelt is dat de waterbeschikbaarheid op landelijk niveau in deze situatie herzien zal moeten worden, en er strategische keuzes gemaakt moeten worden over de nationale waterverdeling ten tijde van droogte.

3.2.2 Neerslag en lokale wateraanvoer (Brabantse rivieren)

In de klimaatrobustheidsstudie van 2020 is de neerslag uit 2018 geschaald naar de verwachte verandering vanuit het KNMI'13 scenario, hierbij wordt per jaargetijde de gemeten neerslag geschaald met de verwachte toe- of afname. Voor neerslag wordt voor 2050 gebruik gemaakt van het G_L scenario (welke een gematigde trend laat zien ten opzichte van de andere scenario's) en voor 2085 het W_H scenario (welke het meest extreme scenario is).

De KNMI'23 scenario's geven een meer extreem seizoensverloop van de neerslag weer dan was aangenomen in de klimaatrobustheidsstudie (Tabel 3.1). Met name in 2050 is sprake van een aanzienlijke verandering (nattere winter, drogere zomer) dan eerder was aangenomen. De waarden gehanteerd voor 2085 zijn meer in lijn met de KNMI'23 scenario's voor 2100. Daarbij geldt dat de verwachting gebruikt in de klimaatrobustheidsstudie een combinatie beschrijft van de Hd en Hn KNMI'23-scenarios. Dit betekent dat de klimaatrobustheidsstudie uitgaat van een nattere winter, lente en herfst in combinatie met drogere zomers. Tijdens de zomer wordt de afname in neerslag 6% lager ingeschat in de klimaatrobustheidsstudie (-23%) dan in het meest extreme KNMI'23 scenario (Hd: -29%).

Tabel 3.1 Verwachte verandering in de neerslag in procent ten opzichte van de referentieperiode (1991-2020), aldus de KNMI'23 klimaatscenario's.

Voorspelhorizon	Bron	Winter	Lente	Zomer	Herfst
2050	Klimaatrobustheid 2020	3	5	1	7
	KNMI'23 Ld	4	1	-8	4
	KNMI'23 Ln	5	3	-2	5
	KNMI'23 Hd	4	0	-13	1
	KNMI'23 Hn	7	4	-5	4
2085	Klimaatrobustheid 2020	30	12	-23	12
2100	KNMI'23 Ld	4	1	-8	4
	KNMI'23 Ln	5	3	-2	5
	KNMI'23 Hd	14	4	-29	1
	KNMI'23 Hn	24	10	-12	13

De KNMI'23 scenario's laten met name voor de situatie in 2050 een verschil zien met de gehanteerde condities in de klimaatrobustheidsstudie. Voor een deel kunnen verwachte effecten mogelijk worden geschaald aan de hand van de conclusies die voor 2085 waren opgenomen. Voor 2085/2100 geldt dat de zomers beperkt droger zullen zijn dan eerder was aangenomen, maar dat de winter, lente en herfst naar verwachting iets minder nat zullen zijn.

De lokale wateraanvoer via de Brabantse rivieren Dintel en Vliet is in de klimaatrobustheidsstudie bepaald op basis van de 2018 tijdreeks, welke voor 2050 en 2085 is geschaald naar de verwachte neerslagpatronen op basis van de KNMI'13 scenario's. De in dit document beschouwde rapporten geven geen aanleiding op deze methodiek ter discussie te stellen.

3.2.3 Watervraag

Door aangepaste neerslag- en verdampingspatronen zal mogelijk sprake zijn van veranderende onttrekkingsdebieten door huidige watervragers, bijvoorbeeld waterschappen. De huidige debieten zijn relatief klein en de geschaalde effecten van neerslag en verdamping zijn naar verwachting daardoor beperkt. In een nog lopend onderzoek wordt echter ook gekeken naar een mogelijk grotere de toekomstige watervraag en de implicaties voor het waterbeheer van het Volkerak-Zoommeer.

3.2.4 Verdamping

In de klimaatrobustheidsstudie is het effect van verdamping op de waterbalans van het Volkerak-Zoommeer voor de toekomstige klimaatscenario's opgenomen door het gemeten verdampingsdebiet (voor 2018) te verdelen over alle bakjes. Het effect van klimaatverandering is in deze debieten in de klimaatrobustheidsstudie van 2020 niet meegenomen en de gemeten verdamping voor 2018 is ook voor 2050 en 2085 gebruikt (Deltares, 2020a).

De KNMI'23 scenario's (Tabel 3.2) laten zien dat er sprake is van een verwachte toename van de verdamping tijdens de zomermaanden, met name voor zichtjaar 2100. Echter, dit betreft de gewasverdamping, en niet verdamping van oppervlaktewater. De mate waarin de verdamping van oppervlaktewater verandert is niet uitgewerkt. Daarnaast geldt dat verdamping een relatief kleine term is (maximaal orde 3,5 m³/s), waarbij een toename van 20% een relatief kleine bijdrage vormt op de totale waterbalans.

Tabel 3.2 Verwachte verandering in de verdamping in procent, aldus de KNMI'23 klimaatscenario's.

Voorspelhorizon	Bron	Winter	Lente	Zomer	Herfst
2050	Klimaatrobustheid 2020	0	0	0	0
	KNMI'23 Ld	0	6	8	0
	KNMI'23 Ln	0	5	6	0
	KNMI'23 Hd	0	6	11	0
	KNMI'23 Hn	0	4	7	0
2085	Klimaatrobustheid 2020	0	0	0	0
2100	KNMI'23 Ld	0	6	8	0
	KNMI'23 Ln	0	5	6	0
	KNMI'23 Hd	0	10	22	0
	KNMI'23 Hn	0	6	14	0

3.2.5 Waterafvoer en doorspoeling

Alhoewel door het toepassen van pompen het functioneren van de Krammerschutsluizen klimaatrobust kan worden gemaakt (met name relevant op gebied van zeespiegelstijging) (Deltares (2020b), neemt door zeespiegelstijging ook de afvoercapaciteit van de Bathse spuisluis en de omgebouwde Krammersluizen SPVM af. Een beperkte afvoer door ZSS in combinatie met heviger neerslag kan leiden tot tijdelijke peilstijgingen met als gevolg een risico voor het open verbonden west Brabantse watersysteem¹⁰.

De verwachte zeespiegelstijging voor 2050 en 2085/2100 is voor de KNMI'23 scenario's niet significant anders dan in de eerdere KNMI'13 scenario's (Tabel 3.3): Er sprake van een lichte toename in de verwachte waterstanden. De aangenomen zeespiegelstijging in de klimaatrobustheidsstudie (van 1 m voor 2100) is in lijn met de verwachtingen van KNMI'23.

¹⁰ Dit aspect is niet specifiek onderzocht in de Klimaatrobustheidsstudie van 2020. De modelopzet, en de gesimuleerde jaren maakt dat hierover geen uitspraak kan worden gedaan.

Tabel 3.3 Verwachte zeespiegelstijging [m] voor 2050 en 2085/2100, aldus de KNMI'13 en KNMI'23 klimaatscenario's.

Voorspelhorizon	Bron	Min	Max
2050	KNMI'14 GI	0,15	0,3
	KNMI'14 Gh	0,15	0,3
	KNMI'14 WI	0,2	0,4
	KNMI'14 Wh	0,2	0,4
2050	KNMI'23 Ld	0,16	0,34
	KNMI'23 Ln	0,16	0,34
	KNMI'23 Hd	0,19	0,38
	KNMI'23 Hn	0,19	0,38
2085	KNMI'14 GI	0,25	0,6
	KNMI'14 Gh	0,25	0,6
	KNMI'14 WI	0,45	0,8
	KNMI'14 Wh	0,45	0,8
2100	KNMI'23 Ld	0,26	0,73
	KNMI'23 Ln	0,26	0,73
	KNMI'23 Hd	0,59	1,24
	KNMI'23 Hn	0,59	1,24

De spuicapaciteit van de Bathse Spuisluis neemt af bij een hoger peil in de Westerschelde als gevolg van zeespiegelstijging. Hiermee is rekening gehouden in de klimaatrobuustheidsstudie van 2020. Daarnaast is het effect van zeespiegelstijging op de spuicapaciteit beperkt doordat in de Westerschelde sprake is van een relatief grote getijbeweging. De maximale afvoer neemt af van meer dan 120 m³/s naar tussen 60 en 70 m³/s daggemiddeld (Figuur 3.2)¹¹. Doordat de maximale spuicapaciteit bij de Bathse Spuisluis aanzienlijk hoger is dan de vaakst optredende debieten, is de verwachting dat het peil in het Volkerak-Zoommeer binnen de streefpeilen kan worden gehandhaafd tot een zeespiegelstijging van 1,25 m (Deltares, 2024b).

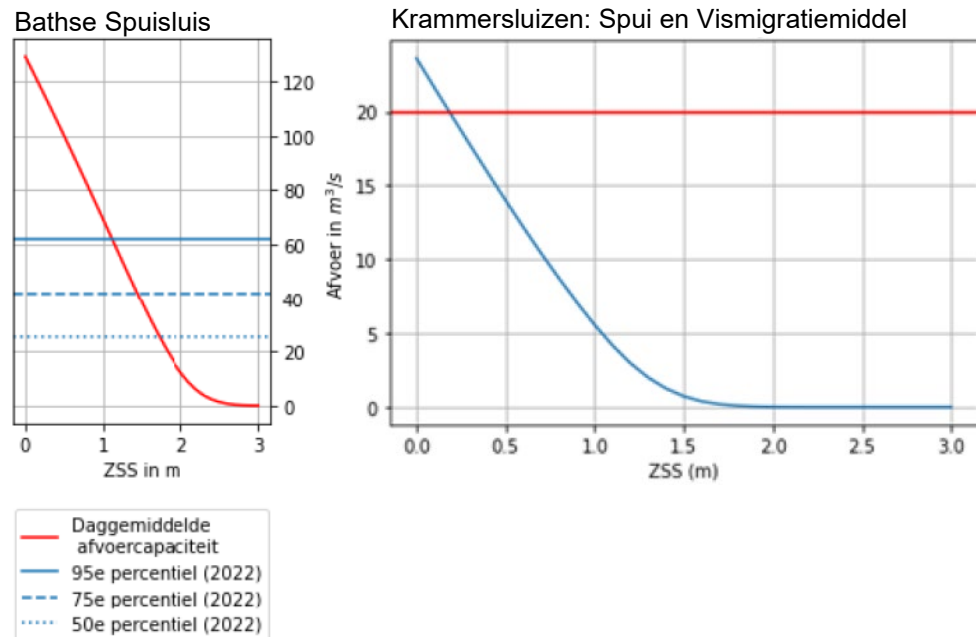
Voor de Krammersluizen geldt dat deze in de komende jaren omgebouwd zal gaan worden. Naast de overgang van een zoet-zout scheiding volgens de Duinkerken methode naar de Innovatieve Zoet-Zout Scheiding (IZZS) aan de hand van bellenschermen in combinatie van het spoelen van de kolken en een spuumiddel. Het doorlaatmiddel worden aangelegd om de zoutindringing tegen te gaan, vismigratie te bevorderen en de doorspoeling te vergroten (het Spui- en Vismigratiemiddel (SPVM)). In de klimaatrobuustheidsstudie (2020) is voor alle simulaties uitgegaan van dat de Krammersluizen al is omgebouwd.

In het groeiseizoen (15 maart – 15 sept) is het maximaal te lozen debiet van het Volkerak-Zoommeer via de Krammersluizen (totaal) naar de Oosterschelde 9 m³/s in verband met mosselkweek. Buiten het groeiseizoen is het beoogde debiet door de Krammersluizen (totaal) naar de Oosterschelde 29 m³/s. Het beoogde debiet van door de SPVM is ongeveer 20m³/s in het winterseizoen. Daarnaast wordt gedurende het hele jaar ongeveer 9 m³/s

¹¹ Het effect van stormopzet op zee is buiten beschouwing gelaten in de 2020 en huidige studie. Dit werkt zowel door bij hoge afvoercondities, wanneer door de hoge waterstand minder gespuid kan worden, als bij lage afvoercondities wanneer het risico bestaat op achterwaartse verzilting in het Haringvliet en Hollands Diep en daarmee verzilting van het water dat via de Volkeraksluizen ingenomen wordt richting het Volkerak-Zoommeer.

onttrokken uit het VZM via de Krammerschutsluizen (schutverlies en spoelen) voor het tegengaan van verzilting (Deltares, 2024b).

De inzetbaarheid en effectiviteit van de SPVM zal aanzienlijk afnemen bij zeespiegelstijging (Figuur 3.2). Bij 1 m zeespiegelstijging is de beoogde capaciteit afgenomen tot ongeveer 6 m³/s (Deltares, 2024b). Dit betekent dat er ook bij geringe zeespiegelstijging minder gespuid kan worden bij de Krammersluizen en dat dit met name van belang is buiten het groeiseizoen (winter: 15 sept – 15 maart) als het beoogde debiet 20 m³/s is, met 9 m³/s voor schutverlies en spoelen. De klimaatrobustheid van de schutsluizen wordt in de volgende alinea beschouwd.



Figuur 3.2 Daggemiddelde afvoercapaciteit bij toenemende zeespiegelstijging. (links) Bathse Spuisluis (de gestippelde lijnen geven de percentielen weer van de opgetreden afvoerdebieten in 2022) (Deltares, 2023b). (rechts) Krammersluizen: Spui- en Vismigratiemiddel (Deltares, 2024b). De diagonale lijn beschrijft in beide figuren de ontwikkeling van de spui- en vismigratiemiddelcapaciteit bij toenemende zeespiegelstijging. De horizontale lijnen geven grenswaarden weer.

De Krammerschutsluizen zijn ook gevoelig voor klimaatverandering, vanwege het gebruik van het Krammer laag-bekken. Dit wordt gebruikt als het water in de Oosterschelde hoger staat dan het Volkerak-Zoommeer voor het opvangen van het spoeldebiet en de schuttschijf. Bij een zeespiegelstijging van meer dan 1,25 m zal het laagbekken niet meer onder vrij verval naar het Oosterschelde kunnen spuien, maar zal dit met behulp van pompen moeten gebeuren (Deltares, 2023b). Het te zijner tijd inbouwen van pompen is al voorzien bij de ombouw van de Krammersluizen naar IZZS.

De inzetbaarheid van met name het spuumiddel (SPVM) in de Krammersluizen is eerder gevoelig voor zeespiegelstijging dan in de klimaatrobustheidsstudie werd geconcludeerd. Al bij minder dan 0,5 m zeespiegelstijging kan het gestreefde debiet van 20 m³/s niet meer worden gerealiseerd. De vermindering in het afvoerdebiet via de Krammersluizen treedt met name buiten het groeiseizoen op, wanneer een extra groot doorspoeldebiet via de Krammersluizen (via de SPVM) mogelijk is. Dit is nadelig voor het terugdringen van verzilting buiten het groeiseizoen. Het zoutgehalte in het Volkerak-Zoommeer jaarlijks een cyclus zien, waarbij in de wintermaanden door extra aanvoer vanuit de Brabantse rivieren en afvoer via de Bathse Spuisluis het zoutgehalte wordt teruggedrongen. De spuumogelijkheid via het

SPVM in het Krammersluizencomplex is een extra effectief middel, omdat dit naast de grootste zoutbron van het meer zit (de Krammerschutsluizen) en de Krammerput (een oude stroomgeul waar het zout zich in ophoopt).

3.2.6 Zoute kwel

In 2023 is een studie uitgevoerd om de zoutlast naar het Volkerak-Zoommeer als gevolg van zoute kwel in de huidige situatie en in de toekomst te kwantificeren (Deltares, 2022). Hieruit bleek dat de zoutvracht afhankelijk van zeespiegelstijging overeen kwam met:

- **0m ZSS: Totaal: 1,9 kg/s Cl**, waarvan:
 - o Direct 0,2 kg/s Cl (7kton/j)
 - o Indirect 1,7 kg/s Cl (53kton/j)
- **0.5m ZSS: Totaal: 2,1 kg/s Cl**, waarvan:
 - o Direct 0,5kg/s Cl (15 kton/j)
 - o Indirect 1,5kg/s Cl (40 kton/j)
- **1m ZSS: Totaal 2,7kg/s Cl**, waarvan:
 - o Direct 1,0kg/s Cl (32 kton/j)
 - o Indirect 1,7kg/s Cl (52 kton/j)
- **3m ZSS: Totaal 6,4kg/s Cl**, waarvan:
 - o Direct 4,0kg/s Cl (125 kton/j)
 - o Indirect 2,4kg/s Cl (77 kton/j)

Op basis van de bevindingen van Deltares (2022) lijkt de vereiste van de klimaatrobustheidsstudie dat de zoutlast als gevolg van zoute kwel tot 1m ZSS niet substantieel groter moet zijn dan 3 kg/s realistisch te zijn. Voor een minder grote ZSS is deze aanname een overschatting, terwijl er bij grotere zeespiegelstijging ook een grotere zoute kwel zal optreden.

3.2.7 Temperatuur

De herziene verwachting van de luchttemperatuur (Tabel 3.4 voor KNMI'23, ten opzichte van Tabel 2.1 voor KNMI'13) laat zien dat de temperatuurstijging naar verwachting in 2050 iets lager, maar in 2100 hoger (dan 2085) zal uitvallen dan voorheen voorzien. Mogelijk heeft dit als gevolg dat het Volkerak-Zoommeer vaker last kan hebben van blauwalgen. Daarmee heeft deze verandering een negatieve invloed op de waterkwaliteit. In hoeverre dit leidt tot een systeem-verschuiving of een kantelpunt in het functioneren van het natuurlijke systeem valt op basis hiervan niet te zeggen.

Tabel 3.4 Verwachte verandering in de luchttemperatuur in graden Celsius aldus de KNMI'23 klimaatscenario's.

Voorspelhorizon	Bron	Jaargemm.	Winter	Lente	Zomer	Herfst
2050	KNMI'23 Ld	0,9	0,7	0,8	1,2	1
	KNMI'23 Ln	0,9	0,7	0,7	1,1	0,9
	KNMI'23 Hd	1,6	1,2	1,3	2,1	1,8
	KNMI'23 Hn	1,5	1,3	1,1	1,7	1,6
2100	KNMI'23 Ld	0,9	0,7	0,8	1,2	1
	KNMI'23 Ln	0,9	0,7	0,7	1,1	0,9
	KNMI'23 Hd	4,4	3,7	3,6	5,1	5
	KNMI'23 Hn	4,1	3,9	3,3	4,7	4,8

4 Actualisatie Klimaatrobustheidsstudie

4.1 Consequenties van nieuwe inzichten

4.1.1 Algemeen

Het merendeel van de nieuwe inzichten en bevindingen uit de onderzoeken uitgevoerd in de periode sinds de publicatie van de klimaatrobustheidsstudie van het Volkerak-Zoommeer (Deltares, 2020a) en de uitvoering van deze studie (2024) geven geen aanleiding tot het drastisch aanpassen van de bevindingen die zijn gedaan in de studie van 2020.

- De zeespiegelstijging is tot 2100 volgens de KNMI'23 scenario's in lijn met de verwachting van de KNMI'13 scenario's. Daar was de voorspelhorizon nog slechts 2085 (0,45 – 0,80 m ZSS voor de Warm-scenario's), terwijl deze in de recente versie is opgerekt tot 2100 (0,59 – 1,24 m ZSS voor de Hoog scenario's). In de klimaatrobustheidsstudie is al rekening gehouden met 1 m ZSS wat in lijn is met de KNMI'23 verwachtingen.
- Een recente studie (Deltares, 2022) naar de zoute kwel last naar het Volkerak-Zoommeer laat zien dat de zoutlast wel toeneemt maar, tot 1 m ZSS onder de in de klimaatrobustheidsstudie aangenomen 3 kg/s Cl blijft. Bij verdere zeespiegelstijging zal deze echter wel verder toenemen.
- Het klimaateffect op verdamping is in de 2020 studie niet meegenomen, maar dit effect is naar verwachting erg klein.
- Het in 2023 verwachte klimaateffect op neerslag en aanvoer van de Brabantse rivieren is in beperkte mate verandert ten opzichte van de KNMI verwachtingen van 2013, maar ook deze veranderingen zijn relatief beperkt.

4.1.2 Spuimiddel Krammersluizen

Een nieuw inzicht is de beperkte klimaatrobustheid van de Spui- en Vismigratiemiddel (SPVM) in de Krammersluizen. Deze spuisluis wordt na gereedkomen van de ombouw van de Krammersluizen ingezet voor het ontzilten van het Volkerak-Zoommeer in de winter. Gedurende de zomer is er, net als in de huidige constructie zonder SPVM, sprake van geleidelijke oplading van het meer, die in de winter wordt afgebouwd door extra doorspoelen via de Bathse Spuisluis en de in de toekomst via de Krammersluizen SPVM.

Bij zeespiegelstijging zal de spuicapaciteit van het SPVM afnemen, hierdoor moet zoetspoelen via de Bathse Spuisluis gebeuren. Doordat deze veel verder van de grootste zoutbron ligt (de Krammersluizen) wordt de maatregel (spuien via SPVM) aanzienlijk minder effectief. Een inschatting op basis van expert judgement uit Deltares (2024b) is dat er ongeveer twee keer zo veel doorspoeldebiet nodig kan zijn. Bij een deels functionerende SPVM is dit nog een optie, maar als de volledige 20 m³/s niet meer kunnen worden gespuid, en dus het dubbele via Bath moet worden gespuid, dan komt dat in de buurt van de maximum spuicapaciteit bij Bath (bij 1 m ZSS of meer).

Verder onderzoek is nodig om te onderzoeken of er mogelijk ruimte is om het toekomstig functioneren van de Krammersluizen met IZZS en SPVM op te rekken. Naast de historische onderzoeken en data moeten ook de uiteindelijke dimensies van de kunstwerken, de beoogde aansturing en operationele doelen worden beschouwd om te kijken of de Krammersluizen als geheel klimaatrobust gemaakt kunnen worden en voldaan kan worden aan de debietwensen ten behoeve van peil- en zoutbeheer en overige functies.

Daarnaast bestaat er een risico dat een afnemende spuicapaciteit van het SPVM er toe leidt dat de peilhandhaving minder klimaatrobust is. Alhoewel de spuicapaciteit via de Bathse spuisluis minder gevoelig is voor klimaatverandering, zal de totale spuicapaciteit sneller afnemen, dan in de klimaatrobustheidsstudie van 2020 naar voren kwam. In de 2020 studie kwam naar voren dat bij ZSS van meer dan 50cm mogelijk beperkte aanpassingen nodig zijn in het operationele peilbeheer. Mogelijk wordt deze grens nu eerder bereikt.

4.1.3 Inlaatdebiet Volkeraksluizen

Een van de vereisten voor een klimaatrobust Volkerak-Zoommeer was aldus Deltares (2020a) dat er minimaal 40 m³/s water het jaarrond bij de Volkeraksluizen moet worden ingelaten bij 1 m ZSS. Om dit te kunnen toetsen zijn simulaties van het nationaal watermodel van de Deltascenario's nodig. Deze Basisprognoses zijn gebaseerd op de KNMI'23 klimaatscenario's en bieden inzicht op de zoetwaterbeschikbaarheid op regionale schaal. De mogelijke waterbeschikbaarheid richting het Volkerak-Zoommeer onder toekomstige klimaatscenario's vormt een van de uitkomsten van de Basisprognoses. Echter, deze zijn nog niet gepubliceerd (IPLO, 2024) en kunnen daarom nog niet meegenomen worden in de afweging van de klimaatrobustheid van het Volkerak-Zoommeer. Daarom is het wenselijk dat dit zo spoedig mogelijk wordt gedaan en duidelijk wordt of een van de belangrijkste uitgangspunten in de toekomst ook haalbaar blijft.

4.1.4 Temperatuur

Aanvullend laten de KNMI'23 scenario's ook zien dat de (lucht)temperatuur sneller zal stijgen dan voorheen werd gedacht. Dit zal consequenties hebben voor de watertemperatuur, welke naar verwachting ook sneller zal toenemen. Omdat de watertemperatuur geen onderdeel was van de gesimuleerde scenario's van de klimaatrobustheidsstudie, wordt deze consequentie niet kwantitatief beschreven, en blijven de kwalitatieve conclusies van de 2020 studie overeind.

4.2 Vertaling naar gebruikersfuncties

In de 2020 Klimaatrobustheidsstudie is daarnaast een kwalitatief oordeel gegeven over de gevolgen die klimaatverandering kunnen hebben op de andere functies van het meer. Doordat hiervoor alleen kwalitatieve uitspraken konden worden gedaan, is een aanpassing van de KNMI'23 klimaatscenario's niet direct te vertalen naar het wel of niet kunnen functioneren van het meer, of het optreden van knelpunten of kantelpunten. Wel kan tot op zekere hoogte worden aangegeven of het risico daarop met het oog op de nieuwe inzichten toe- of afneemt voor de toekomstig klimaatscenario's.

4.2.1 Waterbeheer, peilgrenzen en calamiteitsgrenzen

De aangepaste KNMI'23 neerslag verwachtingen vallen binnen de verwachte grenzen die waren gemodelleerd door Deltares (2020a). Wel van belang is de afnemende functionaliteit van de SPVM bij de Krammersluizen (bij 0m ZSS is de capaciteit nog meer dan 20 m³/s, bij 1m ZSS is dit nog ongeveer 6 m³/s). Hierdoor zal voor peilhandhaving meer afvoer via de Bathse Spuisluis moeten gebeuren, waar de afvoercapaciteit ook (meer geleidelijk) zal afnemen als gevolg van de stijgende zeespiegel. Niet meegenomen in deze analyse is de kans op heviger buien (aldus KNMI (2023)). Dit zal extra piekbelasting opleveren voor de afvoercapaciteit van het Volkerak-Zoommeer en mogelijk kunnen leiden tot het vaker voorkomen van overschrijding van peil- of zelfs calamiteitsgrenzen. Dit zal mogelijk gevolgen hebben voor de afvoer van de Brabantse rivieren (Dintel en Vliet) en meer algemeen voor het water- en peilbeheer in de aan het Volkerak-Zoommeer grenzende regionale watersystemen.

De noodwaterbergingsfunctie van het Volkerak-Zoommeer was in de klimaatrobustheidsstudie van 2020 niet meegenomen in de scenario studie, maar wel

kwalitatief beschouwd. De nieuwe inzichten uit de recent gepubliceerde klimaatstudies lijken geen significant effect te zullen hebben op de in 2020 gedane bevindingen en conclusies.

4.2.2 Zoetwatervoorziening, landbouw (verzilting)

Een belangrijk aanvullend effect bovenop de in 2020 bestudeerde klimaatscenario's is de afnemende functionaliteit van de SPVM bij de Krammersluizen. De afnemende spuicapaciteit van de SPVM is met name van belang voor de doorspoeling in de winter, waardoor de bestrijding van zoutindringing minder effectief is. Hierdoor met name in de winter mogelijk sprake is van een verminderde terugdringing van de in de zomer opgebouwde verzilting, wat mogelijk gevolgen heeft voor het zoutgehalte in de daaropvolgende zomer. Dit laatste risico is met name van belang voor de beschikbaarheid van zoet water naar de verschillende watervragers langs het Volkerak-Zoommeer.

4.2.3 Waterkwaliteit, zwemwater, recreatie en woonomgeving (blauwalgen)

De doorspoeling van het meer zal door de afnemende functionaliteit van de SPVM bij de Krammersluizen mogelijk afnemen bij zeespiegelstijging. Dit heeft nadelige gevolgen voor de waterkwaliteit. Door afname in de spuicapaciteit en doorspoeling, zal de verblijfstijd in (delen van) het meer kunnen toenemen, wat waterkwaliteitsproblemen kan veroorzaken.

Voor de waterkwaliteit is de verwachte ontwikkeling van de watertemperatuur van belang. Voor de Klimaatscenario's met lage CO₂ uitstoot (L-scenario's) is sprake van een lagere temperatuurtoename dan eerder was aangenomen, maar voor de scenario's met hogere CO₂ uitstoot (H-scenario's) is juist sprake van een aanzienlijk grotere toename in de (lucht)temperatuur (van 3.3 en 3.7 naar 4.1 en 4.4 graden opwarming in 2100). De conclusie uit 2020 blijft daarom valide: "Er is derhalve vooralsnog geen reden om aan te nemen dat blauwalgenproblematiek verbetert. De klimaatrobuustheid wordt als licht negatief beoordeeld met de nodige onzekerheid."

4.2.4 Overige functies

Voor Natuurbeheer, Scheepvaart (beroeps en recreatie) en Visserij (beroeps en sport) gelden dat de nieuwe inzichten van de recent gepubliceerde klimaatstudies geen significant effect lijken te zullen hebben op de in 2020 gedane bevindingen en conclusies.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In 2020 is door Deltares onderzoek gedaan naar de robuustheid van het waterbeheer van het Volkerak-Zoommeer voor klimaatverandering en zijn mogelijke consequenties geïnventariseerd voor de functies en gebruikers van het meer. Sindsdien zijn de nieuwe KNMI'23 klimaatscenario's gepubliceerd, als ook de Deltascenario's afgeleid. Daarnaast zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd waaruit nieuwe inzichten naar voren kwamen met betrekking tot klimaatverandering en het functioneren van het meer.

In deze 2024 actualisatie zijn de aannames en bevindingen van de 2020 studie getoetst aan de nieuwe inzichten en is bekeken of de conclusies van 2020 nog steeds van toepassing zijn.

De hoofdconclusie van de klimaatrobuustheidsstudie was dat het waterbeheer van het Volkerak-Zoommeer tot 1m ZSS robuust is, mits wordt voldaan aan:

- Zoetwater aanvoer via de Volkeraksluizen van minimaal 40 m³/s
- Zoute kwel niet substantieel groter dan 3 kg/s
- De nieuwe Innovatieve Zoet-Zout Scheiding op de Krammersluizen werkt naar verwachting.

De nieuwe rapporten en inzichten geven geen indicatie dat deze conclusie hoeft te worden herzien.

- De verwachte maximale zeespiegelstijging is ook volgens de recente inzichten (KNMI, 2023) orde grootte 1m in 2100 (0,73 – 1,24 m) in het scenario met hoge CO₂ uitstoot.
- Onderzoek (Deltares, 2022) naar de zoutlast via zoute kwel wees uit dat deze tot een zeespiegelstijging van 1m ongeveer 2,6 kg/s zal zijn, maar bij 3 m zeespiegelstijging op meer dan 6 kg/s komt.
- De ombouw van de Krammersluizen moet nog geschieden, dus de toetsing van de effectiviteit in de praktijk moet daarna nog worden gedaan. Recent onderzoek heeft wel aangegeven dat de klimaatrobuustheid van de omgebouwde Krammersluizen (sluiscomplex en spui/doorlaatmiddel) beperkingen kent. Echter, aanbevolen wordt om te onderzoeken hoe groot dit effect is en welke mitigerende maatregelen genomen kunnen worden.

Naast de hoofdconclusie is ook gekeken naar de inzetbaarheid van het Volkerak-Zoommeer voor andere gebruiksfuncties (o.a. noodwaterberging, scheepvaart, waterveiligheid, natuur en zoetwatervoorziening). Hieruit bleek dat in grote lijnen de conclusies van het 2020 onderzoek van toepassing blijven. Wel zal onder invloed van toenemende zeespiegelstijging de functionaliteit van de Krammersluizen afnemen. Dit in combinatie met potentiële veranderingen in de neerslag-afvoer patronen heeft gevolgen voor het peilbeheer, de zoetwatervoorziening en de waterkwaliteit. Mogelijke gevolgen voor het peilbeheer werken daarnaast ook door in de aan het Volkerak-Zoommeer grenzende regionale watersystemen.

5.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

5.2.1 Kwantificering effecten

In de klimaatrobuustheidsstudie van 2020 is een kwantitatieve analyse uitgevoerd op de fysische parameters van het meer. De doorvertaling naar de mate waarin het meer aan

verschillende andere functies kan voldoen is kwalitatief gedaan. Daardoor is het onduidelijk in hoeverre veranderingen in het klimaat leiden tot het bereiken van kantelpunten of alleen in geleidelijke aanpassingen. Een kwantitatieve aanpak van met name de ecologische en waterkwaliteitsparameters kan helpen om voor dat soort functies de gevolgen van klimaatverandering te concretiseren.

5.2.2 Temperatuur effect op waterkwaliteit

In de Klimaatrobustheidsstudie van 2020 wordt geen concrete uitspraak gedaan over wat de consequenties zijn van de opwarming door klimaatverandering. Ten eerste is temperatuur niet meegenomen in de simulaties van het bakjesmodel, maar ook is de doorwerking van de opwarming van de luchttemperatuur op die van het water niet direct, en zal voor waterkwaliteit en habitatgeschiktheid vooral gekeken moeten worden naar extreme waardes, zoals hittegolven en de doorwerking daarvan op de waterkwaliteit.

5.2.3 Gevolgen van zeespiegelstijging op spuicapaciteit

Zeespiegelstijging heeft effect op de spuicapaciteit van Bathse Spuisluis en de Krammersluizen (SPVM). Met name voor de Krammersluizen geldt dat al bij geringe zeespiegelstijging sprake is van een significante daling in de afvoercapaciteit (bij 1 m ZSS is deze al van 20 m³/s naar ongeveer 5 m³/s afgenomen). Voor de Bathse spuisluis is sprake van een minder snelle afname (bij 1m ZSS is de spuicapaciteit afgenomen van meer dan 120 m³/s tot ongeveer 60 m³/s) (Deltares, 2024b).

Peilbeheer

Dit heeft gevolgen voor het peilbeheer in de toekomst. Alhoewel uit Deltares (2024b) bleek dat tot 1,25 m zeespiegelstijging de spuicapaciteit nog voldoende is om het peil tussen de streefpeilen te houden, werd in Deltares (2020a) geconcludeerd dat vanaf 0,5 m zeespiegelstijging mogelijk beperkte aanpassingen nodig zouden zijn in het operationele beheer. Onderzocht moet worden in hoeverre het peilbeheer in de toekomst gehandhaafd kan worden, of door middel van aangepast (operationeel) beheer opgerekt kan worden. Daarnaast speelt ook mee dat het peil op het Volkerak-Zoommeer bepalend is voor de spuien en uitwater mogelijkheden van de omliggende boezems. In hoeverre afvoer vanuit de Dintel en Vliet naar het Volkerak-Zoommeer in verdere toekomst nog steeds mogelijk blijft, is niet onderzocht. Daarbij speelt ook mee dat de neerslagpatronen in de toekomst sterker zullen veranderen dan voorheen is aangenomen. De mate waarin de toename in neerslag tijdens de winter, herfst en lente leidt tot uitdagingen bij handhaving van de streefpeilen ook in de achterliggende gebieden is niet onderzocht. De in de klimaatrobustheidsstudie gehanteerde aanpak met een bakjesmodel en daggemiddelde condities is daarvoor ook ongeschikt.

Zoutgehalte

De afname in spuicapaciteit bij de Krammersluizen en Bathse Spuisluis heeft daarnaast effect op de mogelijkheden voor het tegengaan van zoutindringing. Verder onderzoek is nodig om te onderzoeken in hoeverre het zoutbeheer in de toekomst nog kan worden gehandhaafd. De Krammersluizen is de grootste zoutbron van het Volkerak-Zoommeer en het beheersen van het zoutgehalte is een van de belangrijkste eisen voor verschillende functies van het meer (normwaarde van 450 mg/l Cl tijdens het groeiseizoen). Doordat in de toekomst minder gespuid kan worden via de Krammersluizen (SPVM), zal inkomend zout minder goed kunnen worden teruggedrongen, en zal de kans op overschrijding van de normwaarde tijdens het groeiseizoen toenemen.

Verblijfstijd

Doordat zeespiegelstijging de spuicapaciteit beïnvloedt, kan ook de doorspoeling van het meer afnemen en de verblijfstijd van het water groter worden. Met name voor het westelijk deel van het Krammer-Volkerak geldt dat doorspoeling zal afnemen als gevolg van

zeespiegelstijging. Doordat het doorlaatmiddel bij de Krammersluizen vooral effectief is in de winter, zal in die periode de verblijfstijd kunnen toenemen. Deze is niet concreet uitgewerkt in de klimaatrobustheidsstudie. Het gebruik van een bakjesmodel maakt het theoretisch mogelijk om bij grove benadering hierover een uitspraak te doen, maar het ontbreken van gedetailleerde bodemgegevens en stromingspatronen maakt dat de ruimtelijke variabiliteit in de verblijfstijd niet goed kan worden vastgesteld.

5.2.4 Zoetwateraanvoer bovenstrooms in de uitwerking van Deltascenario's in de Basisprognoses

De mate waarin zoet water via de Volkeraksluizen uit het Hollands Diep kan worden ingenomen in de toekomst vormt geen onderdeel van de Klimaatrobustheidsstudie uit 2020, waarin deze term als variabele invoerparameter is opgenomen. De KNMI'23 klimaatscenario's zijn uitgewerkt door Deltares tot Deltascenario's waarin ook is gekeken naar mogelijke gevolgen voor de rivieraanvoer op de Rijn en de Maas. De minimale Rijn-aanvoer zal in de toekomst significant kunnen afnemen (in 2100 met 9 – 31%) maar hoe dit zal doorwerken op de zoetwaterbeschikbaarheid naar het Volkerak-Zoommeer (via de Volkeraksluizen) moet nog worden uitgewerkt in de Basisprognoses van het Nationaal Watermodel (ILPO, 2024). Aansluitend zal moeten worden getoetst of de in de klimaatrobustheidsstudie vastgestelde minimale zoetwateraanvoer vanuit het Hollands Diep naar het Volkerak (40 m³/s) in de toekomst ook haalbaar zal zijn.

Een aspect wat hieraan is gerelateerd, maar niet is meegenomen in de klimaatrobustheidsstudie van 2020 en ook hier buiten beschouwing is gelaten, is het risico op verzilting van water in het Hollands Diep (en Haringvliet). Onderzoek is gewenst naar het voorkomen van achterwaartse verzilting op het Hollands Diep bij de Volkeraksluizen als effect van de combinatie van beperkte rivierafvoer en zeespiegelstijging.

Pas als duidelijk is of de zoetwateraanvoer naar het Volkerak-Zoommeer klimaatrobuust is, kan indien noodzakelijk worden bekeken in hoeverre het mogelijk is om het Volkerak-Zoommeer 'robuuster' te maken.

5.2.5 Overige lopende onderzoeken

Naast de hierboven beschreven aanbevelingen, zijn er daarnaast nog aanvullende lopende onderzoeken die inzicht zullen geven in verschillende elementen van de klimaatrobustheid van het Volkerak-Zoommeer. Het is raadzaam om de uitkomsten van deze studies met het oog op de actualisatie van de robuustheidsstudie te bekijken:

- **Natuur:** Met betrekking de functie natuur lopen twee sporen die hieraan kunnen bijdragen. Vanuit de Planmatige Aanpak Grote Wateren (PAGW) wordt gewerkt aan een toetsing op klimaatrobustheid van de natuurdoelen. Daarnaast loopt er nu een evaluatietraject van de beheersplannen van Natura2000 gebieden. Het Volkerak-Zoommeer is in afwachting van definitieve aanwijzing als Natura2000 gebied. Pas als dat definitief is aangewezen, zal een beheersplan worden opgesteld.
- **Krammersluizen:** Naast de renovatie van de Krammersluizen, waarin de zoet-zout scheidingsmethode wordt vernieuwd, wordt ook gewerkt aan een vernieuwing van de operationele sturing van het waterbeheer. Hierin gaat verzilting een prominente rol krijgen omdat in er de toekomst meer stuurknoppen komen om juist dit te beheersen. Daarnaast zal na ombouw een periode van "Lerend Implementeren" volgen waarin het functioneren van de gerenoveerde Krammersluizen zal worden getoetst.
- **Vismigratiemiddel Rammegors:** Met als doel het ontwikkelen van een ecologisch hoogwaardige zoet-zout gradiënt tussen de Rammegors en het Volkerak-Zoommeer en het bevorderen van vismigratie, wordt binnen de PAGW preverkenning Vis en

Vogels verkend welke mogelijkheden er zijn voor het aanleggen van een vismigratierivier.

- **Extra zoetwatervraag:** Vanuit de regio spelen verschillende potentiële extra vragen naar zoetwater inname vanuit het Volkerak-Zoommeer. In een eerste analyse wordt bekeken wat het effect is van een extra zoetwatervraag in het Volkerak-Zoommeer op andere functies.
- **Watersysteemanalyse:** Hierin wordt geïnventariseerd aan de hand van de 5S-methode wat op gebied van ecologie en waterkwaliteit de autonome ontwikkeling, de dominante oorzaak-effect relaties en drukfactoren zijn, welke worden vertaald naar indicatoren voor een goed functionerend ecosysteem.
- **PAGW Streefbeelden:** Hierin wordt het ecologisch streefbeeld voor de Rijn-Maas-Schelde monding uitgewerkt.
- **Herijking Deltaprogramma:** Hierin zijn voor het Volkerak-Zoommeer relevant, de deltabeslissing zoetwater en de deltabeslissing RMM. Daarnaast wordt gewerkt aan de herijking van de integrale voorkeursstrategie van de Zuidwestelijke Delta.

6 Literatuur

Deltares (2020a) Nolte, A., Weeber, M., Geurts, D., Pans, S., Vreeken, D. en Weiler, O. (2020). Klimaatrobustheid van het waterbeheer van het Volkerak-Zoommeer. Deltares rapport 11203741-001-ZKS-0005

Deltares (2020b) Weiler, O., en Vreeken, D., (2020). Renovatie en ombouw Krammersluizen: de invloed van zeespiegelstijging op de zoutindringing en de operatie, Deltares rapport 11204995-006-HYE-0001

Deltares (2022) Delsman, J., America, I. en Mulder, T. (2022). Grondwaterverziltting en watervraag bij een stijgende zeespiegel; Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II. Deltares rapport 11208039-009-BGS-0001

Deltares (2023a) Buitink, J., Tsiokanos, A., Geertsema, T., Velden ten, C., Bouaziz, L., Serna Weiland, F. (2023). Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse. Deltares rapport 11209265-002-ZWS-0003

Deltares (2023b). Bouwstenen voor systematisch uitwerken en onderbouwen VenR-opties, Raamwerk, drivers en functionele prestaties; Kennisprogramma Natte Kunstwerken 2021-2024. Deltares 11207401-009, april 2023

Deltares (2024a) Brugge, van der R., en Winter de R.C., (2024), Deltascenario's 2024 - Zicht op Water in Nederland. Deltares rapport 11209219-000-ZKS-0004

Deltares (2024b) Janssen G., America - van den Heuvel, I., Meeusen, R., van Strien, C., Prinsen, G., Mes, E., Marth, I., Weiler, O., en Bijlsma A. (2024). Vertaling van de Deltascenario's 2024 naar invoer voor het Nationaal Water Model. Deltares rapport 11209219-018-ZKS-0001

IPLO (2024). Basisprognoses 2024. Website: "<https://iplo.nl/thema/water/applicaties-modellen/watermanagementmodellen/nationaal-water-model/basisprognoses/basisprognoses-2024/>"

KNMI (2015). KNMI '14 klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt, 34 pp.

KNMI (2023): KNMI '23 klimaatscenario's voor Nederland, KNMI, De Bilt, KNMI-Publicatie 23-03.

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

Deltares

www.deltares.nl