



Bron: CreativeNature

Verkenning vitaal zoet Grevelingen

Zoetwaterbeschikbaarheid, blauwalg en hoogwaterveiligheid



Opdrachtgever



Verkenning vitaal zoet Grevelingen



Zoetwaterbeschikbaarheid, blauwalg en hoogwaterveiligheid

Eindrapport

Auteurs

PR5388.10
juni 2025

Samenvatting

De Provincie Zeeland onderzoekt de haalbaarheid om de Grevelingen te verzoeten. Dit rapport verkent drie thema's: zoetwaterbeschikbaarheid, waterkwaliteit gericht op blauwalg en hoogwaterveiligheid.

Zoetwaterbeschikbaarheid

Initiële verzoeting van het meer zal afhankelijk van de strategie enige tijd duren. Dat hangt deels af van de mengwijze: bij gelaagde menging is 25 tot 30 m³/s nodig gedurende zes maanden, bij volledige menging 70 tot 100 m³/s gedurende 200 tot 300 dagen. Daarbij zal het meer tot een diepte van ongeveer -16m +NAP verzoeten. Dit is een inschatting op basis van vuistregels. Door opwerveling van zout bij stormen en stroompatronen in het meer zal er langer doorgespoeld moeten worden. Daardoor zal de initiële verzoeting minimaal 1 à 2 jaar duren.

De maximale dagelijkse watervraag die door verschillende gebruikers aan het meer wordt gesteld zal variëren van 11,5 m³/s in gemiddelde jaren tot 17,5 m³/s in droge jaren. Door klimaatverandering zal de watervraag in de toekomst stijgen. Bij sterke klimaatverandering kan de maximale dagelijkse watervraag daardoor met 30% stijgen.

Aanvoer van zoet water voor initiële verzoeting is mogelijk in tijden met wateroverschotten (winter). Dat water kan aangevoerd worden uit het hoofdwatersysteem, in het bijzonder het Hollands Diep. In zomerperioden is structurele aanvoer van zoetwater beperkt, met name in droge jaren. Dat wordt vooral veroorzaakt door de bestaande waterverdelingsafspraken in Nederland.

Als alternatief kan de Grevelingen ingezet worden als buffer. Daarbij zal het meer gevuld worden met zoet water in tijden van wateroverschot. Ingeschat wordt dat het meer als buffer kan dienen voor 1 à 2 maanden.

Waterkwaliteit gericht op blauwalg

Een zoet Grevelingen brengt een risico op blauwalgbloei met zich mee, vergelijkbaar met het Volkerak-Zoommeer, vanwege hoge nutriëntenlast, stilstaand water en hoge zomerse temperaturen. Maatregelen zoals nutriëntenreductie en lokale technieken zoals beluchting zijn kansrijk, maar vereisen nader onderzoek en monitoring. Doorspoeling met zoet water is geen haalbare maatregel. Dat komt doordat er grote hoeveelheden zoet water nodig zijn om door te spoelen. Dat water is in de zomer niet beschikbaar in het hoofdwatersysteem.

Hoogwaterveiligheid

De bijdrage van de Grevelingen aan waterstandsverlaging bij Dordrecht is beperkt: 0,01–0,02 m in 2023, oplopend tot 0,08–0,18 m in 2200 bij verbeterde stormvloedkering. De effectiviteit neemt toe bij klimaatverandering en uitbreiding van spuicapaciteit, maar blijft relatief klein.

Aanbevelingen

De studie kent een aantal belangrijke aandachtspunten: (1) er zijn geen complexe modelberekeningen uitgevoerd. Er is geput uit bestaande literatuur, gegevensanalyse en vuistregels. Verdere hydraulische modellering is nodig om de menging van zout en zoet water beter te begrijpen. (2) de impact op natuur en ecologie dient uitgewerkt te worden, en (3) operationele strategieën voor initiële verzoeting, aanvoer van zoet water in de zomer en buffering vereisen verdere uitwerking.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Context	1
1.2	Doel	1
1.3	Geschiedenis Grevelingen	1
1.4	Uitgangspunten	2
1.5	Leeswijzer	3
2	Zoetwaterbeschikbaarheid	5
2.1	Initiële verzoeting	5
2.2	Zoetwaterbalans	10
2.3	Beschikbaarheid zoet water uit hoofdwatersysteem	18
2.4	Grevelingen als reservoir	21
3	Blauwalg	23
3.1	Definitie	23
3.2	Factoren die leiden tot blauwalggroei	23
3.3	Risico op blauwalg in de Grevelingen	24
3.4	Handelingsperspectief	27
4	Hoogwaterveiligheid	29
4.1	Inleiding	29
4.2	Verlaging waterstand te Dordrecht	31
4.3	Toename waterstand op de Grevelingen en Volkerak-Zoommeer	39
5	Conclusies en discussie	43
5.1	Conclusies	43
5.2	Discussie en aanbevelingen	44
6	Referenties	46

1 Inleiding

1.1 Context

De KNMI'23-klimaatscenario's laten eens te meer zien dat de zoetwaterbeschikbaarheid in de toekomst onder druk komt te staan. De Provincie Zeeland zet dan ook in op het vergroten van de zoetwatervoorraden in de regio (Provincie Zeeland, 2021). Zo onderzoekt Provincie Zeeland de mogelijkheden om de Grevelingen te verzoeten.

Sinds de aanleg van de Brouwersdam in de jaren zeventig is de Grevelingen een groot zoutwatermeer. Op dit moment wordt het waterpeil en de uitwisseling met omliggende wateren gereguleerd via de Flakkeese Spuisluis en de Brouwerssluis, met als doel de waterkwaliteit te verbeteren. Door het meer te verzoeten zou een groot zoetwaterbekken kunnen ontstaan. Dit bekken kan bijdragen aan de regionale zoetwatervoorziening, bijvoorbeeld voor landbouw, natuur of drinkwaterwinning. Daarnaast biedt waterberging op het meer ook kansen. Bij hoge rivierafvoeren op het hoofdwatersysteem of bij hevige neerslag zoals in de winter van 2024 kan overtollig water tijdelijk worden opgeslagen in de Grevelingen, als aanvulling op de waterberging op het Volkerak-Zoommeer.

Bij deze plannen is het belangrijk om ook rekening te houden met de waterkwaliteit, met name in droge periodes. Zo vindt er in het naastliggende zoete Volkerak-Zoommeer regelmatig overlast door blauwalg plaats. Het is de vraag of en zo ja, hoe vaak blauwalg een risico vormt voor een zoet Grevelingen.

1.2 Doel

Het doel van dit project is het in kaart brengen van de kansen en aandachtspunten van het verzoeten van de Grevelingen. Dat doen we voor het huidige klimaat en voor het klimaat rond 2050 en 2100. Hierbij richten we ons op de volgende onderzoeksvragen:

1. Zoetwaterverdeling: Hoe kan de Grevelingen verzoet worden en zoet worden gehouden? Is er voldoende zoet water beschikbaar in het hoofdwatersysteem voor die verzoeting?
2. Waterkwaliteit: wat zijn de aandachtspunten met betrekking tot blauwalg en andere waterkwaliteitsproblemen gedurende droge tijden bij het verzoeten van een zoutwatermeer?
3. Berging bij hoogwater op de Grevelingen en de Rijnmond: wat is het effect van berging op de waterstanden op de Grevelingen, Volkerak-Zoommeer en de Rijnmond, gegeven het huidige watersysteem, de oprekmogelijkheden daarvan en verschillende in- en uitlaatcapaciteiten?

1.3 Geschiedenis Grevelingen

Tot 1964 was de Grevelingen een estuarium dat in open verbinding stond met de Rijn-Maasmonding en de Noordzee (Rijkswaterstaat, 2006). Het meer kende getij en bestond uit een getijdenlandschap met schorren, slikken en platen. In 1964 kwam de Grevelingendam gereed, waarmee de Grevelingen afgesloten werd van de Rijn-Maasmonding. Op dat moment was geen toevoer van zoetwater meer mogelijk. In 1971 kwam de Brouwersdam gereed. Daarmee werd de Grevelingen volledig afgesloten van de omliggende wateren en werd het feitelijk een meer. Door afwatering van de omliggende eilanden verzoette het meer lichtelijk. In 1978 is de Brouwerssluis in

de Brouwersdam gereed gekomen. Doel van deze sluis is om de chlorideconcentratie op de Grevelingen op peil te houden. Vervolgens is in 1984 een verbinding tussen de Grevelingen en de Oosterschelde gebouwd: de Flakkeese Spuisluis. Sindsdien vindt er nagenoeg een permanente uitwisseling van water tussen de Grevelingen en zoutwater uit de omliggende wateren plaats, zie Figuur 1. Daardoor heeft de Grevelingen zich in de loop van de tijd ontwikkeld tot een waardevol natuur- en recreatiegebied. Het meer is aangemerkt als Natura2000-gebied. Tevens is de Grevelingen het grootste zoutwatermeer van Europa (Witteveen+Bos, 2012).



Figuur 1: Ligging Grevelingen met omliggende wateren en kunstwerken.

Door de beperkte uitwisseling van zoutwater met omliggende wateren en de geometrie van de bodem is de Grevelingen een groot deel van het jaar gestratificeerd (Rijkswaterstaat, 2006). Er ontstaat een scheidingslaag in het water waarbij het relatief warme water aan het oppervlak niet mengt met het koudere diepe water. Het gevolg hiervan is dat er geen aanvoer van zuurstof uit de bovenste waterlagen naar de diepere lagen plaatsvindt. Deze diepe lagen zijn dan ook zuurstofarm (Wetsteijn, 2011). Hierdoor staat de Grevelingen ecologisch onder druk (Rijkswaterstaat, 2023).

1.4 Uitgangspunten

Daarnaast hanteert dit onderzoek de volgende uitgangspunten:

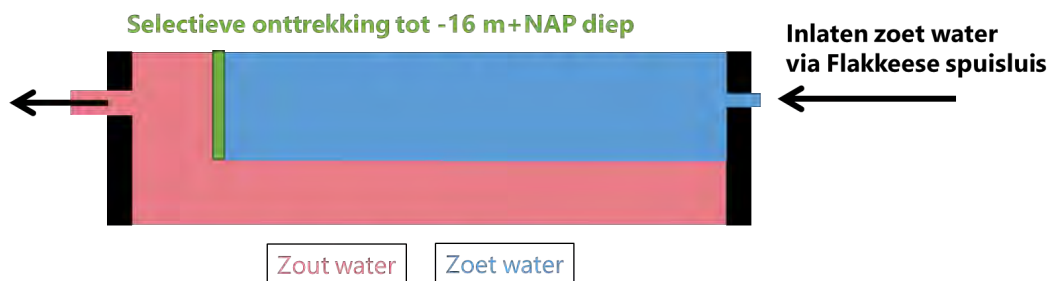
- Dit onderzoek maakt gebruik van bestaande literatuur, data-analyse van bestaande modelberekeningen en toepassing van vuistregels gecombineerd met expert judgement;
- Het onderzoek richt zich op het huidige klimaat en mogelijke toekomstige ontwikkelingen voor zoetwaterbeschikbaarheid rond 2050 en 2100 volgens Deltascenario Stoom (Wolters et al., 2018) en voor hoogwaterveiligheid tijdlijn Gematigd uit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging rond 2100 en 2200 (HKV, 2023);

- We nemen aan dat de gewenste streefwaarde van zoutconcentraties op een zoet Grevelingen overeenkomt met de huidige gehanteerde streefwaarde op het Volkerak-Zoommeer: 450 mg chloride per liter in het groeiseizoen (Rijkswaterstaat Zee en Delta et al., 2016).

Gelijktijdig aan dit onderzoek voert Horvat een analyse uit naar de benodigde infrastructuur en kosten daarvan (Horvat, 2025). Tevens werken De Waterwerkers aan een kosten-batenanalyse met betrekking tot een zoet Grevelingen (De Waterwerkers, 2025). Deze studies maken deels gebruik van de kwantificering uit voorliggend onderzoek. Zij hanteren daarbij de volgende uitgangspunten voor het verzoeten van de Grevelingen (zie Figuur 2):

- De Philipsdam wordt deels omgelegd, zodat er met de Flakkeese spuisluis een afsluitbare verbinding ontstaat tussen de Grevelingen en het Volkerak-Zoommeer; hierdoor kan de Grevelingen worden voorzien van zoet water uit het Volkerak-Zoommeer;
- Bij de Brouwerssluis wordt zout water naar de Noordzee gespuid door middel van een selectieve onttrekking. Daarvoor dient een constructie aan de oostkant van de Brouwersdam geplaatst te worden tot NAP-16m diep. Door de selectieve onttrekking ontstaat een zoete laag water tot ongeveer NAP-16m diep. Het zoute water stroomt onder het scherm richting de Brouwerssluis.

Uitlaat via Brouwerssluis



Figuur 2: Schematisch zij aanzicht van werking selectieve onttrekking Grevelingen. In werkelijkheid is het blauwe deel ongeveer tien maal groter in volume dan het roze deel.

In deze rapportage vormen bovengenoemde aanpassingen aan de Grevelingen de basis voor verzoeting. Voor effectieve inzet van de Grevelingen als hoogwaterberging zijn additionele infrastructurele aanpassing nodig die buiten beschouwing zijn gelaten.

Deel van deze rapportage vormt de invoer voor de verhaallijn uitgewerkt in flowsproductions.nl/vitaalgrevelingen/.

1.5 Leeswijzer

De opbouw van deze rapportage is als volgt. Hoofdstuk 2 beschrijft de kansen en aandachtspunten op het vlak van zoetwaterbeschikbaarheid. In Hoofdstuk 3 worden de risico's op blauwalg beschouwd. De baten op het vlak van hoogwaterveiligheid worden toegelicht in Hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies en discussie van de resultaten.

2 Zoetwaterbeschikbaarheid

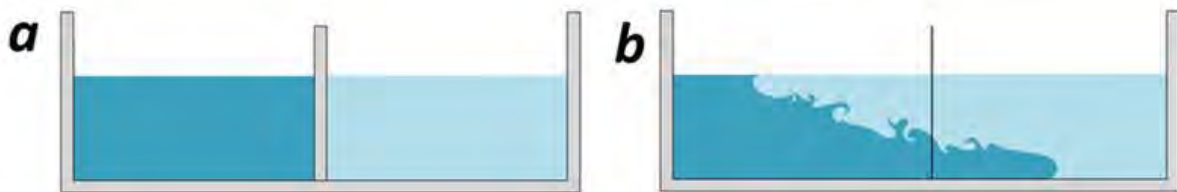
Voor het verzoeten van de Grevelingen zijn er verschillende kennisvragen op het vlak van de zoetwaterbeschikbaarheid. We behandelen hier de volgende aspecten:

- **Initiële verzoeting:** hoeveel zoet water is er gedurende welke periode nodig om de chloridegehaltes op de zoute Grevelingen naar de gewenste streefwaarden te brengen?
- **Vraag naar zoet water:** Als de Grevelingen zoet wordt, zullen er verschillende mogelijke watervragers in de regio zijn die zoet water van de Grevelingen willen gebruiken. We lichten deze mogelijke watervragers toe. Ook beschouwen we hoe de watervraag varieert in gemiddelde en droge jaren;
- **Beschikbaarheid van zoet water:** het hoofdwatersysteem (Rijn en Maas) vormt een grote bron van zoet water in Nederland. We beschouwen of er zoet water in het hoofdwatersysteem beschikbaar is voor initiële verzoeting en voor wateraanvoer in zomerperioden.

2.1 Initiële verzoeting

2.1.1 Wijze van menging zoet en zout water

De zoute Grevelingen kan deels zoet gespoeld worden door aanvoer van zoeter water uit het Volkerak-Zoommeer (VZM). Door gebruik te maken van een selectieve onttrekking¹ bij de Brouwersdam kan daardoor het gedeelte van de waterkolom boven de diepte van de zoutdam in het meer verzoeten. Figuur 3 toont hier een illustratie van. In paneel a is de huidige situatie weergegeven. Er zijn twee gescheiden systemen: de Grevelingen en het VZM. Op het moment dat er een open verbinding ontstaat tussen deze watersystemen zal de situatie in paneel b ontstaan. Naar verwachting zal het zoete water over het zoute water gaan stromen. Dat komt omdat het zoute water een hogere dichtheid heeft dan het zoete water. Hierbij is het de vraag hoe het zoete aangevoerde water zich gaat mengen met het zoute aanwezige water.



Figuur 3: Vormen van zoet-zoutmenging (De Carvalho Bueno, 2019).

De menging kan plaatsvinden op verschillende wijzen:

- **Gelaagde vervanging (volledig gestratificeerd).** Het zoete en zoute water blijven volledig gescheiden in twee lagen, waarbij het zoute water zich onder het zoete water bevindt. Het zoute water in de bovenste laag wordt als het ware weggedrukt; zoet water vervangt het zoute water. In dit geval zal relatief weinig zoet water nodig zijn voor verzoeting van de toplaag;

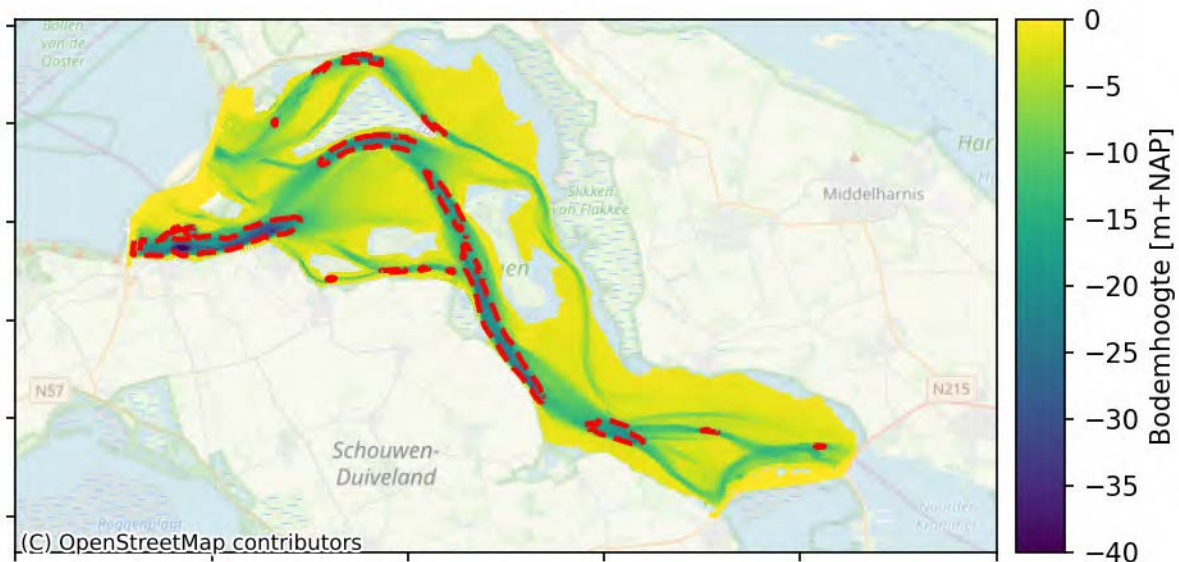
¹ Vergelijkbaar met de zoutdam bij IJmuiden, maar dan een lichtere constructie:
<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/selectieve-onttrekking-bij-zeesluis-ijmuiden>

- **Volledige menging.** Het zoete water mengt zich dan volledig met het zoute water, waardoor er een mengsel van brak water ontstaat. Het watersysteem kent in deze gevallen geen stratificatie.
- **Tussenvorm.** In de praktijk zal er een tussenvorm plaatsvinden waarin er een zoute en zoete laag ontstaat die enigszins gemengd is.

De mate van menging is zonder hydrodynamische modelberekeningen niet in kaart te brengen. Daarom hebben we in dit onderzoek de twee wijzen van menging beoordeeld om een gevoel te krijgen voor de bandbreedte, zie volgende paragraaf. Daarbij vormt de schatting voor gelaagde vervanging een ondergrens. De schatting voor volledige menging vormt geen bovengrens. In die berekening wordt uitgegaan van een gelijkmatige menging in het gehele meer. Mogelijk zijn er delen die moeilijker meedoen met het mengproces, en langdurig na blijven leveren, waardoor er in de praktijk hogere doorspoeldebieten nodig zijn, zie paragraaf 2.1.3.

Er zal een zoete laag water ontstaan tot ongeveer NAP-16 m diepte. Deze grens is gerelateerd aan de diepte van de selectieve onttrekking bij de Brouwerssluis. Dat betekent dat diepere lagen zout zullen blijven. Door de stratificatie in het watersysteem zal het aanvoerwater niet dieper dan NAP-16 m van invloed zijn. Overigens kan door wind en stormen wel degelijk (tijdelijke) menging met diepere lagen ontstaan, zie paragraaf 2.1.3.

Figuur 4 toont de bodemhoogte van de Grevelingen. De figuur toont dat er diepe geulen zijn, met name aan de westkant bij de Brouwersdam waar de geulen dieper zijn dan NAP-16m. Dat betekent dat een deel van het meer niet zal verzoeten gegeven de selectieve onttrekking, met name in de diepe geulen.



Figuur 4: Bodemhoogte van de Grevelingen op basis van metingen. Samengesteld uit de vaklodingen, afkomstig van <https://publicwiki.deltares.nl/display/OET/Dataset+documentation+Vaklodingen>. De gebruikte vaklodingen zijn ingewonnen over de periode 2020 tot en met 2022.

2.1.2 Benodigde hoeveelheid zoet water

We bepalen de benodigde aanvoerdebieten voor initiële verzoeting voor de eerder gedefinieerde mengsituaties: (1) gelaagde menging en (2) volledige menging. Doel daarbij is om de chlorideconcentratie in het meer te verlagen tot de grenswaarde van 450 mg/l Chloride.

Gelaagde menging

Bij gelaagde menging (volledige stratificatie) dient het zoute water dat zich boven de NAP-16m-lijn bevindt eenmalig ververst te worden met zoet water. We hebben de bodemhoogte uit de vaklodingen gebruikt om een inschatting te maken van dit volume, zie Figuur 4. Dat volume is ongeveer 400 miljoen m³.

Het is aannemelijk dat er niet voldoende zoet water in het hoofdwatersysteem beschikbaar zal zijn gedurende de volledige zomerperiode gegeven de huidige afspraken van de waterverdeling. Dit geldt voor de huidige situatie, maar de kans op voldoende zoet water zal afnemen door klimaatverandering (KNMI, 2023). Daarom bepalen we hier de benodigde aanvoerdebieten voor verzoeting gedurende een periode met wateroverschotten. In de praktijk is dat vaak in het winterhalfjaar het geval. Daarom bepalen we hier hoeveel zoet water nodig is voor verzoeting gedurende een periode van zes maanden.

Om het berekende volume gedurende zes maanden te verversen is gemiddeld 25 tot 30 m³/s zoet water nodig. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat alle hoeken van het meer goed bereikt kunnen worden door de aanspoeling en dat het zoute water uit alle hoeken direct naar de selectieve onttrekking stroomt. In de praktijk zal dat beeld minder homogeen zijn. Een geschat aanvoerdebiet van 25 tot 30 m³/s zoet water gedurende zes maanden in de winter is daarom een ondergrens en onderschat het daadwerkelijk benodigd aanvoerdebiet.

Volledige menging

Om de afname van de gemiddelde zoutconcentratie in het meer bij volledige menging te schatten gebruiken we een analytisch model dat deze afname modelleert, zie het kader.

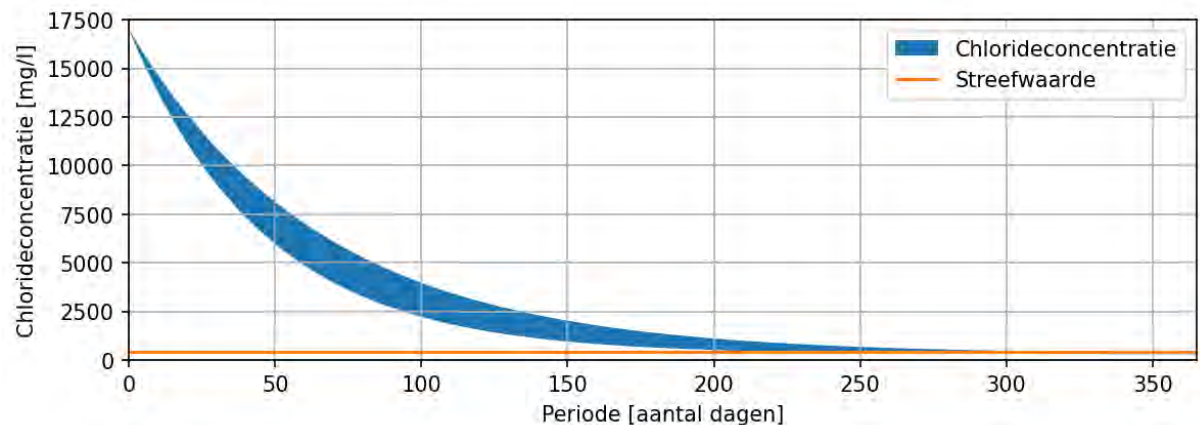
Het analytisch model is als volgt gedefinieerd:

$$C(t) = C_{zoet} + (C_{zout} - C_{zoet}) * e^{-\frac{Q*t}{V}}$$

Waarbij:

- $C(t)$ is de chlorideconcentratie op tijdstip t ;
- C_{zoet} is de concentratie van het zoete aanvoerwater. Hier nemen we 300 mg/l aan;
- C_{zout} is de concentratie van de zoute Grevelingen. Hier nemen we 17.000 mg/l aan;
- Q is het gemiddelde aanvoerdebiet in m³/s. Deze waarde bepalen we in deze exercitie;
- t is de tijd in seconden sinds de start van de verzoeting;
- V is het volume van de Grevelingen dat verzoet wordt: 400 Mm³.

We gaan hier uit dat er verzoet wordt met een maximaal aanvoerdebiet. Horvat (2025) heeft becijferd dat het maximale aanvoerdebiet door de Flakkeese spuisluis varieert tussen de 70 en 100 m³/s. We gebruiken het analytische model om te bepalen hoeveel dagen er nodig zijn voor verzoeting bij deze aanvoerdebieten. Figuur 5 toont hoe de zoutconcentratie afneemt bij volledige menging onder deze aanvoercondities. De figuur toont dat er 200 à 300 dagen doorspoeling nodig is om de gewenste streefwaarde van 450 mg/l chloride te behalen.



Figuur 5: Afname van de zoutconcentratie in de Grevelingen bij aanvoer van zoet water en volledige menging.

2.1.3 Aandachtspunten

De inschatting van de aanvoerdebieten in paragraaf 2.1.2 is gebaseerd op vuistregels en aannamen. We identificeren hier belangrijke kennishiaten. Het ontwikkelen en doorrekenen van een hydraulisch model van de Grevelingen dat ook de zoet-zoutdynamiek kan simuleren is sterk aan te bevelen om de kennishiaten te beantwoorden.

Menging door fysische processen

Door de selectieve onttrekking ontstaat waarschijnlijk een zoete laag van ongeveer 16 m diep. Deze zoete laag drijft op de zoute laag die eronder ligt. Hoewel deze lagen onder reguliere condities waarschijnlijk sterk gestratificeerd zijn, kan er wel degelijk menging tussen deze lagen ontstaan als gevolg van wind. Wind zorgt voor scheefstand van het meer, waardoor een drukgradiënt ontstaat die op grote waterdiepte stroming veroorzaakt. Zeker in perioden met relatief koud water aan het oppervlak, bijvoorbeeld in de winter, kan deze stroming ervoor zorgen dat het zoute water mengt met de zoete toplaag. Bijvoorbeeld tijdens stormen is het mogelijk dat door wind menging ontstaat tussen de zoete laag en zoute laag. De mengdiepte en mate van menging hangen sterk af van verschillende factoren, zoals grootte en richting van windopzet en lokale geometrie. Op voorhand is niet eenvoudig te duiden wat de invloed van deze windeffecten is op het verzoeten van het Grevelingenmeer. Het is aannemelijk dat er (al dan niet tijdelijk) menging van zoet en zout water kan ontstaan door de genoemde fysische processen. Hierdoor is de inschatting van 25 m³/s bij gelaagde menging zeer waarschijnlijk een onderschatting van het daadwerkelijk benodigde aanvoerdebiet.

Wijze van menging

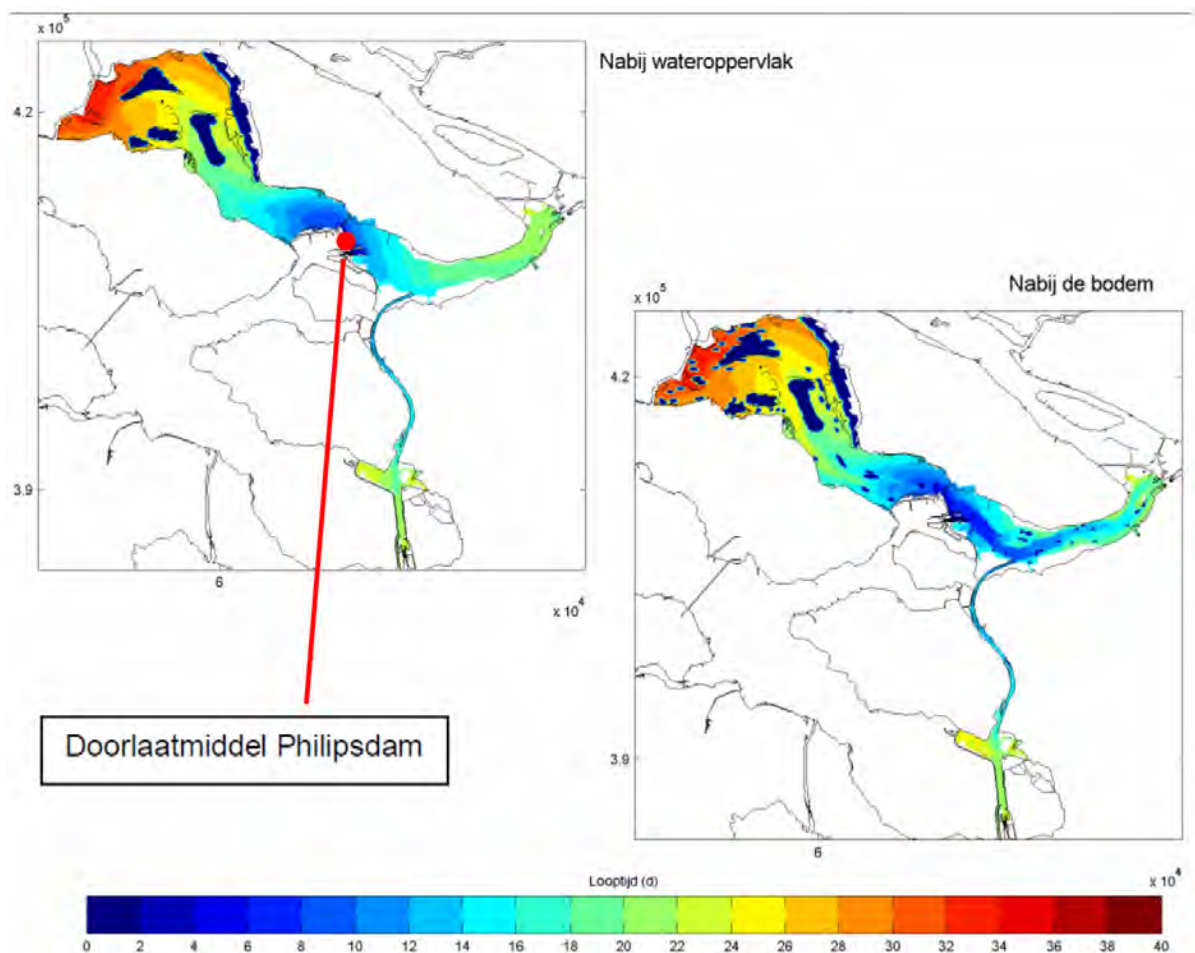
We hebben in dit hoofdstuk een bandbreedte geschetst tussen het debiet wat nodig is voor verzoeten via vervangen van zout door zoet water (zes maanden met 25 tot 30 m³/s) of door mengen van zoet en zout water (200 à 300 dagen met 70 tot 100 m³/s). In de praktijk zal de menging een tussenvorm aannemen. Daarnaast is de inschatting bij volledige menging waarschijnlijk een onderschatting. In die berekening wordt uitgegaan van een gelijkmatige menging in het gehele meer. Mogelijk zijn er delen die moeilijker meedoen met het mengproces, en langdurig na blijven leveren, waardoor er in de praktijk hogere doorspoeldebieten nodig zijn.

Ruimtelijk bereik

Figuur 4 toont dat de bodemhoogte van het meer met diepe putten tot NAP-40 m. Vraag is of het aanvoerwater uit de Flakkeese spuisluis zich uniform verdeelt over het meer. Deltares (2008) heeft

stromingsberekeningen gemaakt voor een fictieve situatie waarbij er een open verbinding is gemaakt tussen de Grevelingen en het VZM en een doorlaatmiddel tussen VZM en de Oosterschelde in de Philipsdam. Deze situatie met zout water verschilt van het alternatief dat in deze studie wordt belicht met zout water, maar geeft wel inzicht in de looptijden van water in de Grevelingen. De looptijd is gedefinieerd als de reistijd vanaf het moment van instroming bij een inlaatmiddel.

Figuur 6 toont voor die situatie de gemiddelde looptijd van het water. De berekeningen tonen dat het meer dan een maand kan duren voordat het ingelaten water bij de Grevelingendam de westkant van de Grevelingen bereikt. Daarnaast wordt de noordkant van het meer, ten zuidoosten van Ouddorp, minder snel bediend. Het is dus sterk de vraag of het zoute water aan die zijde direct naar de selectieve onttrekking wordt geduwd. Er zijn dus aanwijzingen dat er minder goed bereikbare hoeken in het meer zijn. Daardoor zal het benodigde aanvoerdebiet stijgen.

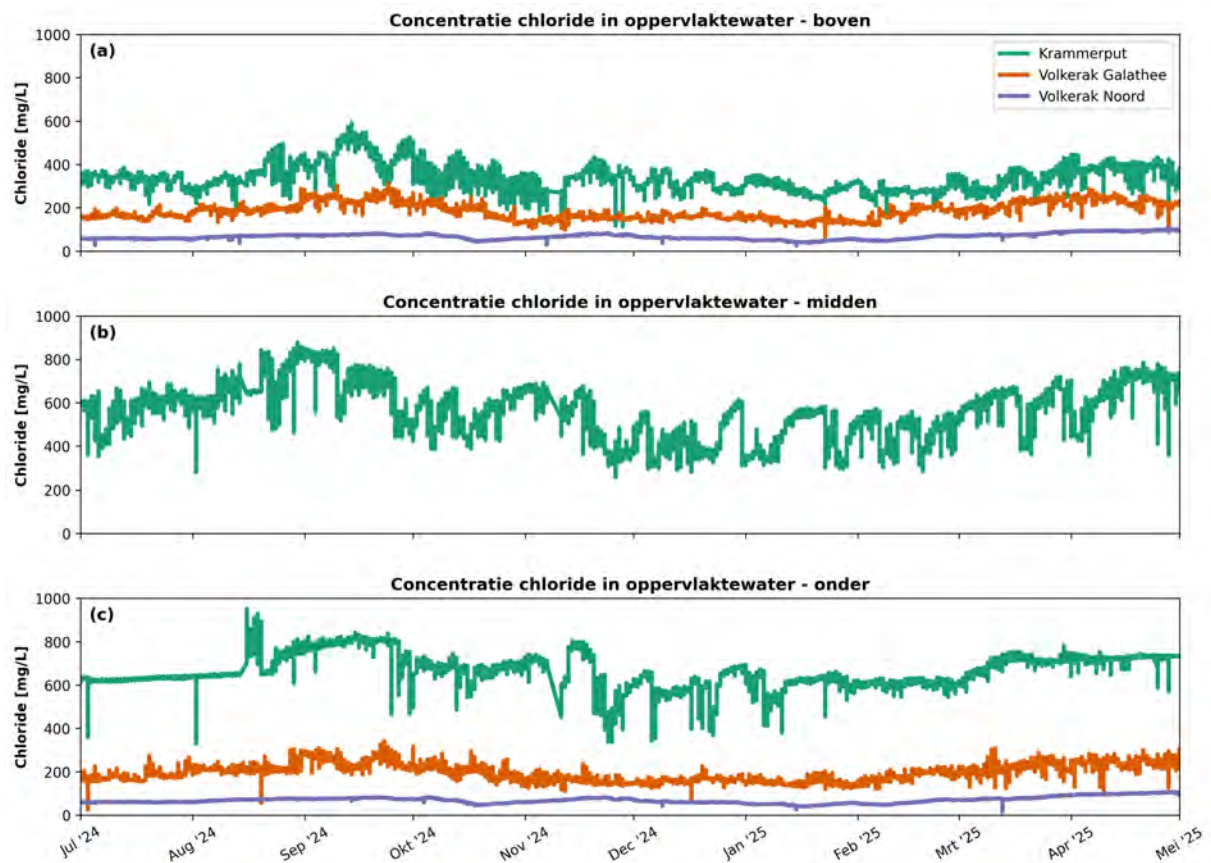


Figuur 6: Gemiddelde looptijd in dagen van zout water uit de Oosterschelde dat ingelaten wordt in een open verbonden zout Grevelingen-Krammer-Volkerak via een fictief doorlaatmiddel in de Philipsdam aangegeven met de rode stip. Figuur is afkomstig uit Deltares (2008).

Variatie in chlorideconcentratie aanvoerwater

De chlorideconcentratie van het oppervlaktewateren bovenstrooms van de Grevelingen variëren over de tijd en diepte. Figuur 7 toont de chlorideconcentratie op drie meetpunten in het Volkerak-Zoommeer (Krammerput, Volkerak Galathee en Volkerak Noord). In de zomer zijn ze meestal hoger, door verdamping en zoutindringing bij lage rivierafvoer. In de winter zijn ze juist lager, doordat neerslag en hogere afvoer het zout verdunnen (Deltares, 2014). Opvallend is dat de

chlorideconcentratie van het aanvoerwater aan de westkant van het Volkerak-Zoommeer in sommige situaties reeds hoger is dan de gewenste streefwaarde van 450 mg/l Chloride. In dat geval is meer zoet water nodig om tot verzoeting te komen. Dit vraagt om monitoring van de chlorideconcentraties in het aanvoerwater. Mogelijk dient alleen zoet water in de Grevelingen ingelaten te worden op de momenten dat de chlorideconcentratie van dat water van voldoende kwaliteit is.



Figuur 7: Verloop van chlorideconcentraties bij de meetpunten Krammerput, Volkerak Galathee en Volkerak Noord, gemeten op drie diepten. Gegevens zijn afkomstig van <https://waterinfo.rws.nl>.

2.2 Zoetwaterbalans

2.2.1 Brontermen en piekwater vraag

Een zoet Grevelingen levert mogelijkheden tot het gebruik van zoet water in de directe omgeving. Daarnaast zijn er natuurlijke processen die ervoor zorgen dat de zoetwaterbeschikbaarheid van het meer afneemt, met name gedurende het zomerhalfjaar. We noemen hier de belangrijkste:

- Openwaterverdamping;
- Regionale onttrekkingen;
- Tegengaan schutverlies en zoutindringing bij de Grevelingensluis;
- Tegengaan verzilting door afwatering regionaal watersysteem omliggende eilanden;
- Doorspoeling voor waterkwaliteit en bestrijding blauwalg.

Openwaterverdamping

Een zoet Grevelingen wordt verwarmd door zonnestraling. Hierdoor verdampt water. Dit wordt openwaterverdamping genoemd. Dit is een natuurlijk proces en kan tot aanzienlijke waterverliezen leiden. Het is van belang om openwaterverdamping in beschouwing te nemen, omdat de Grevelingen hierdoor water verliest wat niet ingezet kan worden voor andere doeleinden.

De mate van openwaterverdamping wordt door verschillende factoren beïnvloed. Zo heeft de luchttemperatuur grote invloed. Hoe warmer het is, hoe meer water verdampt. Daarom zal openwaterverdamping met name spelen in het zomerhalfjaar met de piek rond juli/augustus. In de winterperiode is er relatief weinig openwaterverdamping. Ook geldt dat hoe groter het wateroppervlak van het meer is, hoe groter de openwaterverdamping is qua volumeverlies.

De openwaterverdamping is bepaald aan de hand van karakteristieken die zijn afgeleid voor het IJsselmeer binnen het onderzoeksprogramma SWM-EVAP (Jansen et al., 2022). Op warme zomerdagen kan er per dag orde grootte 7 mm verdampen. Uitgaande van een Grevelingenoppervlak van 10.800 hectare levert dat een maximale watervraag per dag op van 5 tot 7.5 m³/s. De dagelijkse watervraag is hoger in droge zomers, omdat de inkomende straling dan hoger is. Ter vergelijking kan de openwaterverdamping op het IJsselmeer gedurende droge dagen orde grootte 80-90 m³/s zijn.

Regionale onttrekkingen

Verschiedende gebruikersfuncties op de omliggende eilanden hebben baat bij een zoet Grevelingen. In dit onderzoek nemen we aan dat de landbouw en overige onttrekkers op Goeree-Overflakkee zoet water onttrekken aan het Haringvliet. Deze gebruikers hebben in dat geval geen baat bij een additionele bron van zoet water. Wel watert een deel van Goeree-Overflakkee af op de Grevelingen, zie Figuur 8.

Op Schouwen-Duiveland is nu geen externe aanvoer van zoet water mogelijk. Onder andere de landbouw is daar afhankelijk van neerslag als bron van zoet water. Door realisatie van een zoet Grevelingen ontstaat een additionele bron van zoet water. We trekken hier een parallel met Goeree-Overflakkee om te beschouwen welke gebruikersfuncties mogelijk zoet water gaan onttrekken uit het meer:

- **Beregening/landbouw:** door inlaatmogelijkheden te creëren vanuit een zoet Grevelingen naar het regionale watersysteem op Schouwen-Duiveland wordt het voor agrariërs mogelijk zoet water te gebruiken voor beregening van gewassen. Daarvoor dient een inlaat- en distributiesysteem op het eiland aangelegd te worden. Ook dienen agrariërs beregeningsinstallaties aan te schaffen;
- **Doorspoeling:** het is van belang dat het beregeningswater van voldoende kwaliteit is. De diepe ondergrond van Nederlandse kuststrook bevat brak grondwater. Dit grondwater stroomt als brakke kwel naar het oppervlak, waardoor de zoutconcentraties in het regionaal oppervlaktewatersysteem toenemen. Dit is ongunstig voor landbouw en natuur. Op Goeree-Overflakkee en vele andere gebieden langs de kust wordt dit verschijnsel gemitigeerd door doorspoeling. Hierbij wordt zoet water aangevoerd, zodat het brakke oppervlaktewater naar omliggend buitenwater geloosd wordt. Het water in het regionale systeem blijft dan zoet en kan gebruikt worden voor beregening. Wel zorgt de afvoer naar het omliggende buitenwater mogelijk voor een extra zoutdruk op de Grevelingen, zie volgende aspect;
- **Peilhandhaving:** in de zomer vindt er ook in het regionale oppervlaktewatersysteem openwaterverdamping plaats. Om voor die verdamping te compenseren, kan water uit de Grevelingen aangevoerd worden om het regionale watersysteem op peil te houden.

We schatten de bandbreedte van de vraag naar zoet water van gebruikers op Schouwen-Duiveland in op basis van zoetwaterbeschikbaarheidsstudies voor de Rijn-Maasmonding (HKV, 2024) en Waterschap Hollandse Delta (HKV, 2025). Zo is in deze laatste studie de watervraag van Goeree-Overflakkee in kaart gebruikt. In die analyse zijn de functies berekening uit oppervlaktewater, doorspoeling en peilhandhaving beschouwd. De landoppervlakten van Goeree-Overflakkee (422 km²) en Schouwen-Duiveland (488 km²) zijn orde grootte vergelijkbaar met elkaar. We gaan er daarom van uit dat de beregeningsvraag van Schouwen-Duiveland van dezelfde orde grootte is als die van Goeree-Overflakkee. Ook gaan we hier uit van vergelijkbaar waterbeheer op de eilanden, zodat er ook water aangevoerd zal worden voor doorspoeling en peilhandhaving.

Op basis van deze aannamen schatten we in dat de maximale dagelijkse watervraag van Schouwen-Duiveland voor berekening, doorspoeling en peilhandhaving ongeveer 3.5 m³/s is in gemiddelde zomers en ongeveer 6 m³/s in droge zomers (HKV, 2025). De watervraag varieert voor gemiddelde en droge zomers omdat de verdamping in droge zomers veel hoger is. Daardoor zijn de beregenings- en peilhandhavingsvragen dan hoger. De watervraag voor doorspoeling verandert niet sterk in droger jaren in vergelijking met gemiddelde jaren, omdat deze met name door de stand van de zeespiegel wordt beïnvloed.

Uit Deltares (2022) blijkt dat de zoutvracht naar het oppervlakte op Schouwen-Duiveland groter is dan op Goeree-Overflakkee. Hierdoor is de werkelijke doorspoelvraag van Schouwen-Duiveland waarschijnlijk hoger dan hier aangenomen.

Tegengaan verzilting door afwatering eilanden

Door doorspoeling van brak oppervlaktewater op Goeree-Overflakkee en Schouwen-Duiveland en lozing daarvan op de zoete Grevelingen stijgt de zoutconcentratie op het meer. Figuur 8 toont de locaties waar polderlozingen plaatsvinden. Dat zijn voor Goeree-Overflakkee Kilhaven, Herkingen en Battenoord. Voor Schouwen-Duiveland zijn dat Den Osse en Dreischor. Door deze lozingen is het mogelijk dat de zoutconcentratie van het meer boven de grenswaarde stijgt. Dit beperkt de mogelijkheden om dat water te gebruiken voor onttrekkingen. Een mogelijke oplossing is door additioneel zoet water aan te voeren naar de Grevelingen om zo het zoute water richting de Brouwersdam te duwen. Een andere oplossing is het verplaatsen van de lozingspunten naar bijvoorbeeld de Oosterschelde. Deze optie is hier niet nader onderzocht.

Daarnaast stroomt ook direct zout water vanuit de bodem van de Grevelingen naar het oppervlak. Deltares (2022) heeft voor het Volkerak-Zoommeer becijferd dat deze directe zoutlast ongeveer 12% van de totale zoutlast richting het meer is. De indirecte zoutlast door de polderlozingen vormt het grootste gedeelte: 88%. Daarom richten we ons in deze studie op de indirecte zoutlast.

Het doorspoelregime van de eilanden hangt sterk af van het beheer van de waterschappen Hollandse Delta (voor Goeree-Overflakkee) en, indien dat toepasbaar wordt, Scheldestromen (voor Schouwen-Duiveland). In deze studie gaan we uit dat er alleen in het zomerhalfjaar met een constant debiet wordt doorgespoeld.

Ook neemt door zeespiegelstijging de zoutvracht van de omliggende eilanden naar het Volkerak-Zoommeer sterk toe in de toekomst (Deltares, 2022). Dat komt omdat door een stijgende zeespiegel meer brak water vanuit de bodem naar het regionale oppervlaktewater van de eilanden stroomt. Dat beeld zal ook gelden voor een zoet Grevelingen. Het is onduidelijk hoe groot de

benodigde doorspoelvraag is om deze verzilting te mitigeren. Op basis van expert judgement en een gesprek met Deltares is ingeschat dat deze post gedurende het jaar orde grootte $3 \text{ m}^3/\text{s}$ is.



Figuur 8: Schematische representatie van de waterbalans voor de Grevelingen. Figuur afkomstig van <https://www.deltaexpertise.nl/grevelingen/systeemrapportage/waterhuishouding.html>.

Tevens levert de afwatering vanaf de eilanden een nutriëntenlast op. Meststoffen zoals stikstof en fosfaat spoelen bij neerslag uit de percelen naar het oppervlaktewater. Ook dit nutriëntrijke water wordt deels geloosd op het meer. Deze nutriëntenlast is in deze studie niet nader onderzocht.

Schutverliezen en zoutindringing Grevelingensluis

De Grevelingensluis vormt een verbinding tussen de Grevelingen en de Oosterschelde voor de scheepvaart, zie Figuur 8. Er gaat zoet water verloren richting de Oosterschelde indien schepen van de Grevelingen naar de Oosterschelde geschut worden tijdens laagwater op de Oosterschelde. Dit wordt schutverlies genoemd. Bij het schutten richting de Grevelingen dringt zout water de sluis binnen. Een deel van dit zoute water zal na het schutten afstromen naar de zoete kant, in dit geval een zoet Grevelingen. Het zoute water is zwaarder dan het zoete water. Er zal dan een zouttong ontstaan aan de zijde van de Grevelingen. Hierdoor wordt het meer rond de sluis zouter en wordt daar mogelijk niet voldaan aan de streefwaarde voor chloride.

Een mogelijke oplossing voor de zoutindringing is door additioneel zoet water aan te voeren naar de Grevelingen. Een andere oplossing is een zoutvang aan de Grevelingenkant van de sluis (Horvat, 2025). Deze vang kan het zoute water opvangen en met een pomp terugbrengen naar de Oosterschelde. Deze laatste optie vereist geen additionele hoeveelheid zoet water dat naar de Grevelingen gestuurd moet worden.

Het benodigde doorspoeldebiet voor het zoutlek bij de Grevelingensluis is ingeschat door een vergelijking te maken met de naastliggende Krammersluizen in de Philipsdam, zie Tabel 1. Daar is het schutverlies plus doorspoelvraag ongeveer $9 \text{ m}^3/\text{s}$ in zomerperioden (Wijsman et al., 2024).

Het zout-zoutsysteem van de Krammersluizen wordt momenteel vervangen. Ook in de nieuwe situatie zal dezelfde hoeveelheid zoet water gespoeld worden richting de Oosterschelde.

	Grevelingsluis	Krammersluizen
Lengte	85 m	210 m
Breedte	12 m	25 m
Diepgang	4.5 m	6 m
Aantal kolken	1	2
Schutbewegingen	Tussen de 200 en 1000 per maand ² .	13.000 keer per jaar ³

Tabel 1: Dimensies Grevelingsluis en Krammersluizen.

Op basis van deze dimensieverschillen is ingeschat dat het benodigde debiet om de schutverliezen en verzilting op te vangen orde grootte 1 m³/s is. Naar verwachting speelt deze watervraag gedurende het gehele jaar en varieert deze niet voor gemiddelde en droge zomers.

Doorspoeling voor bestrijding blauwalg

In een zoet meer met weinig stroming is in tijden van hoge temperaturen een kans op het ontstaan van blauwalg. Deze problematiek speelt ook in het naastgelegen zoete Volkerak-Zoommeer. In Hoofdstuk 3 wordt in meer detail ingegaan op het risico op blauwalg in een zoet Grevelingen.

Doorspoeling met zoet water wordt als mogelijke oplossing aangedragen. Echter kan op basis van literatuuronderzoek niet vastgesteld worden in welke mate doorspoeling zal leiden tot mitigatie van blauwalgroei en in welke tijd van het jaar doorspoeling nodig zal zijn. Dit blijft een openstaande vraag, zie Hoofdstuk 3.

Synthese geschatte maximale dagelijkse watervraag per gebruiker

Tabel 2 toont samenvattend de geschatte maximale dagelijkse watervraag per gebruikersfunctie voor een gemiddelde en droge zomer voor het huidige klimaat. Een gemiddelde zomer is hier gedefinieerd als een zomer met een zevendaagse gemiddelde Lobith-afvoer die gemiddeld eens per twee jaar voorkomt in de huidige situatie. Een droge zomer is die zomer met een zevendaagse gemiddelde Lobith-afvoer die gemiddeld eens per twintig jaar voorkomt in de huidige situatie.

Aspect	Maximale dagelijkse watervraag gemiddelde zomer [m ³ /s]	Maximale dagelijkse watervraag droge zomer [m ³ /s]
Openwaterverdamping	5	7.5
Doorspoelen zoutlek sluis en schutverlies	1	1
Doorspoelen verwerking verzilting uit grondwater	3 à 5	3 à 5
Regionale onttrekkingen	3.5	6
Doorspoeling voor blauwalg	Leidt niet tot gewenste effecten, zie Hoofdstuk 3	Leidt niet tot gewenste effecten, zie Hoofdstuk 3
Totaal Grevelingen	11.5	~17.5

Tabel 2: Piekwatervragen per gebruikersfunctie voor de huidige situatie.

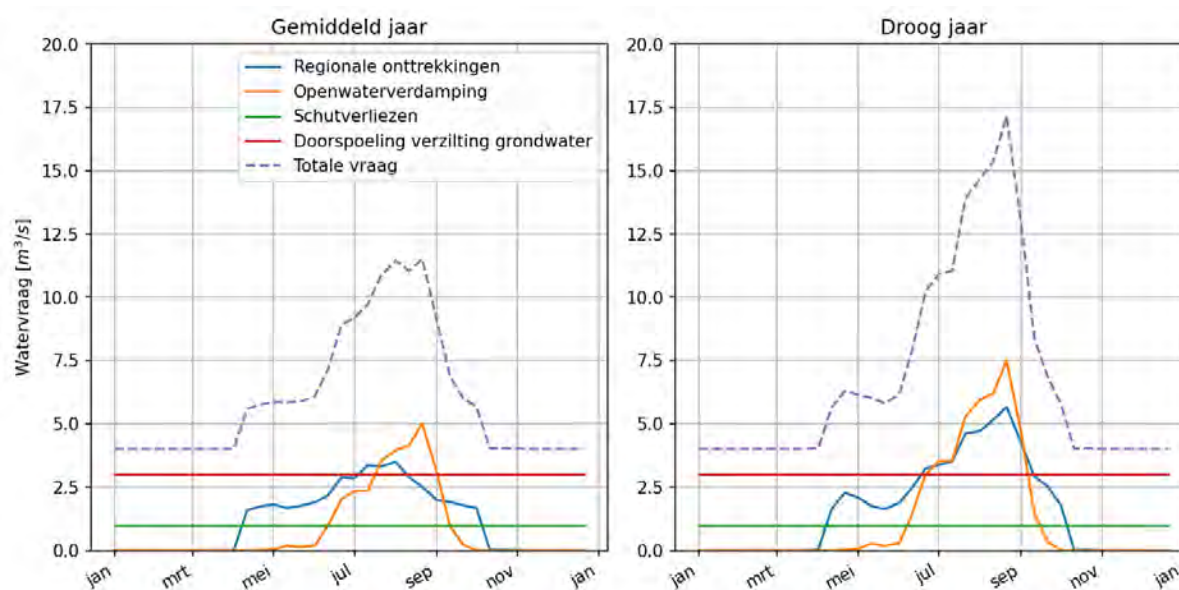
² <https://www.deltaexpertise.nl/grevelingen/systeemrapportage/waterhuishouding.html>

³ <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/deltawerken/philipsdam-krammersluizen>

2.2.2 Verloop door het jaar

De watervraag varieert gedurende het jaar. Zo zijn er vragers die het gehele jaar zoet water vragen en vragers die met name in de zomer zoet water vragen. Figuur 9 toont het geschatte verloop van de dagelijkse watervraag gedurende een gemiddeld en droog jaar. De maximale dagelijkse watervraag is reeds behandeld in vorige paragraaf.

Gedurende het gehele jaar zal er een minimale watervraag zijn van orde grootte 4 m³/s. Dat wordt veroorzaakt door de schutverliezen en doorspoeling voor verziltingsbestrijding bij de Grevelingensluis en het tegengaan van verzilting door polderlozingen. In het zomerhalfjaar stijgt de watervraag, doordat de regionale onttrekkingen toenemen, alsmede de openwaterverdamping sterk stijgt. De watervraag voor regionale onttrekkingen en openwaterverdamping piekt in de maanden juli en augustus. De andere posten vertonen een constant verloop gedurende het zomerhalfjaar. Verder is aangenomen dat de doorspoelvraag plaatsvindt in de periode april tot en met september, gelijk aan de huidige beheerpraktijk op Goeree-Overflakkee.



Figuur 9: Verloop van de watervraag per gebruiker voor een droog jaar in het huidige klimaat en huidige landgebruik.

Goed zichtbaar is dat de totale watervraag in een droog jaar sterk toeneemt ten opzichte van een gemiddeld jaar. Op de dag van de maximale watervraag kan de totale vraag stijgen van 11.5 naar 17.5 m³/s. Dat komt met name door een toenemende vraag van de openwater-verdamping en regionale onttrekkingen. In droge jaren is de verdamping namelijk hoger dan in gemiddelde jaren.

2.2.3 Aandachtspunten

We identificeren hier belangrijke kennishiaten die nog beantwoord moeten worden:

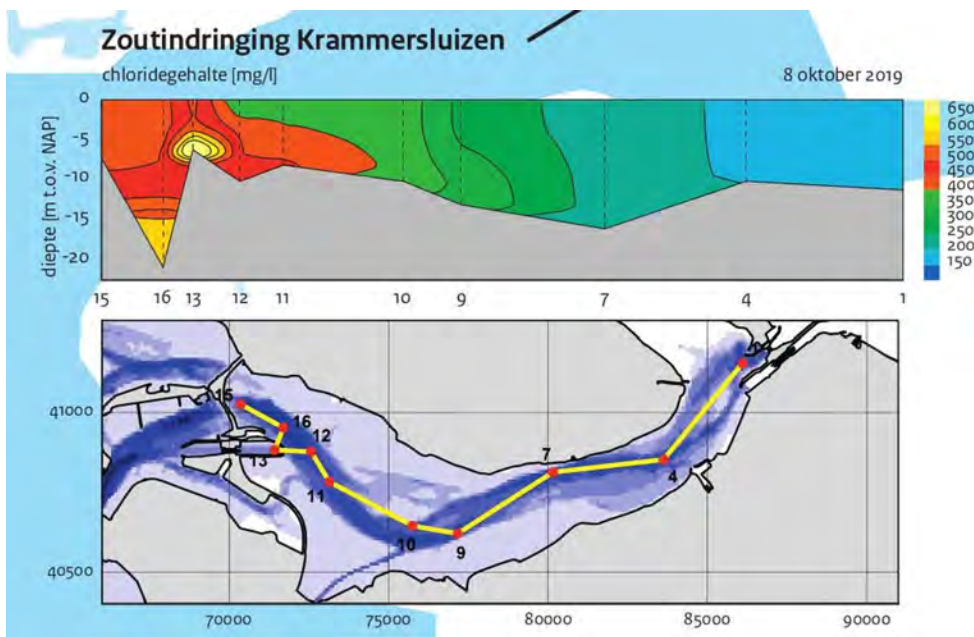
- De watervragen zijn schattingen op basis van bestaande literatuur en expertkennis. Ze geven een indicatie van de orde grootte die verwacht moet worden. Het is aan te bevelen om met vervolgonderzoek de bandbreedte van de verwachte watervraag aan een zoet Grevelingen beter in beeld te krijgen;
- De analyse gaat uit van het huidige landgebruik. Dit gaat mogelijk in de toekomst sterk veranderen door verscheidende sociaaleconomische ontwikkelingen. Deze ontwikkelingen zijn locatiespecifiek. Het is op voorhand niet in te schatten of hierdoor de watervraag stijgt of daalt.

- In deze analyse wordt uitgegaan van wateraanvoer uit het Volkerak-Zoommeer, ervan uitgaande dat dit water voldoet aan de gestelde streefwaarde voor chloridegehalte (450 mg/l Cl). Dat water stroomt ten noorden van de Krammersluizen richting de Flakkeese spuisluis. Echter komt er bij het schutten bij de Krammersluizen zout zeewater vanuit de Oosterschelde het Volkerak-Zoommeer binnen. Dit zout mengt deels met het zoete water. Daardoor is het waarschijnlijk dat het zoete water in het Volkerak-Zoommeer bij de Krammersluizen niet altijd voldoet aan de streefwaarde, zie Figuur 10 en Figuur 11.



Figuur 10: Proces van brakke oplading van het zoete water in het Volkerak-Zoommeer.

Op basis van een gesprek met Deltares blijkt dat er een extra aanvoerdebit van $50 \text{ m}^3/\text{s}$ nodig is om het water in dit deel van het Volkerak-Zoommeer voldoende zoet te laten zijn. Dat water zou dan wegstromen via de Krammersluizen naar de Oosterschelde en is dus niet beschikbaar voor aanvoer naar de Grevelingen. Dat betekent dat de geschatte piekwatervragen in Tabel 2 waarschijnlijk de daadwerkelijke watervraag onderschatten en opgehoogd moeten worden met orde grootte $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit is een aanzienlijke verhoging. Het is daarom aan te bevelen om dit proces in meer detail te analyseren en de impact op de zoetwatervraag te beschouwen.



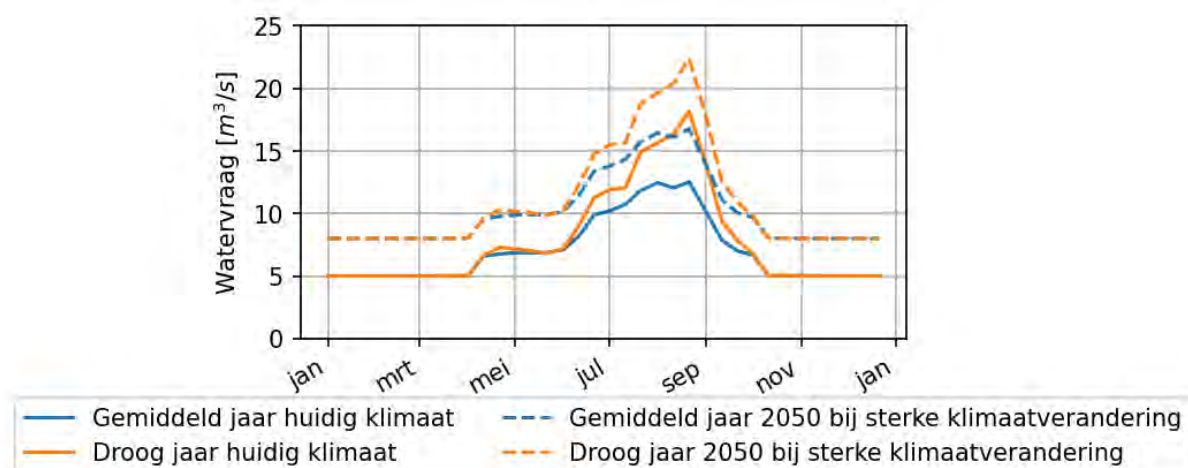
Figuur 11: Zoutindringing bij de Krammersluizen. Figuur afkomstig van de Infographic Operationeel Watermanagement Volkerak-Zoommeer (https://www.deltaexpertise.nl/wiki/index.php/Infographic_Volkerak-Zoommeer_VN).

2.2.4 Toekomstbeeld

Het is de verwachting dat de watervraag door deze brontermen toe gaat nemen in de toekomst door zowel klimaatverandering als sociaaleconomische ontwikkelingen. Het effect van mogelijke toekomstige ontwikkelingen op het Nederlandse waterbeheer is gekwantificeerd aan de hand van de Deltascenario's 2017 (Wolters et al., 2018). De Deltascenario's zijn met het Nationale Water Model doorgerekend om zo tot zoetwaterprognoses voor de toekomst te komen: de basisprognoses 2018⁴. Deze prognoses geven inzicht in de verandering die Nederland op het vlak van zoetwaterbeschikbaarheid te wachten staat.

De basisprognoses 2018 zijn berekend met het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) versie 3.4. Het LHM is het landelijke grond- en oppervlaktewatermodel van Nederland en is gericht op de simulatie van gemiddelde en droge situaties. Het LHM berekent de verdeling van oppervlaktewater over het landelijke waterverdelingsnetwerk en over de regionale oppervlaktewateren in Nederland. Daarmee wordt de beschikbaar van oppervlaktewater op landelijk en regionaal niveau in beeld gebracht voor de huidige situatie en mogelijke toekomstige situaties.

Figuur 12 toont hoe de watervraag van de regionale onttrekkingen in de toekomst gaat veranderen volgens de basisprognoses 2018 in het geval van sterke klimaatverandering. In zowel gemiddelde als droge jaren gaat de dagelijkse watervraag sterk stijgen. Dat wordt met name veroorzaakt omdat de verdamping naar verwachting gaat toenemen in de toekomst. Ook zal zoute kwel en daardoor verzilting van oppervlaktewater toenemen door zeespiegelstijging. Dit laatste aspect is niet beschouwd in deze studie.



Figuur 12: Verandering in watervraag door onttrekkingen in de toekomst.

Het is dus goed mogelijk dat de beschouwde watervraag in deze rapportage een ondergrens vormt en gaat toenemen in de toekomst, zeker bij sterke klimaatverandering. Er zal dan meer zoet water nodig zijn om in de watervraag te voldoen.

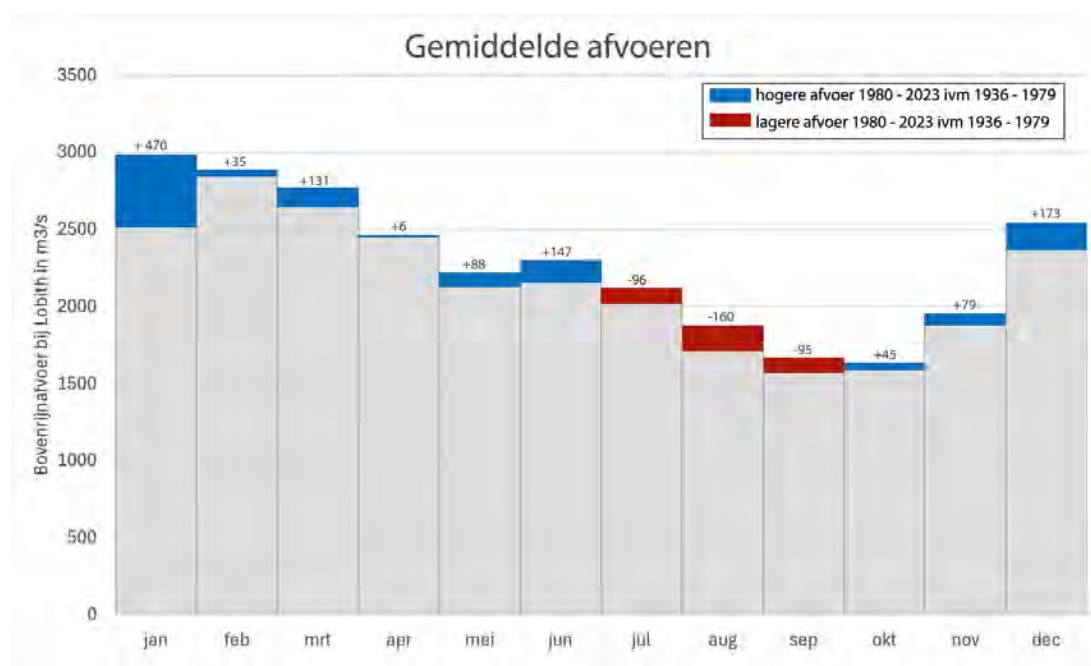
⁴ <https://iplo.nl/thema/water/applicaties-modellen/watermanagementmodellen/nationaal-water-model/basisprognoses/basisprognoses-2018/>

2.3 Beschikbaarheid zoet water uit hoofdwatersysteem

We beoordelen de beschikbaarheid van zoet water uit het hoofdwatersysteem voor twee situaties: (1) de initiële verzoeting van de zoute Grevelingen en (2) op peil houden van een zoet Grevelingen.

2.3.1 Beschikbaarheid voor initiële verzoeting

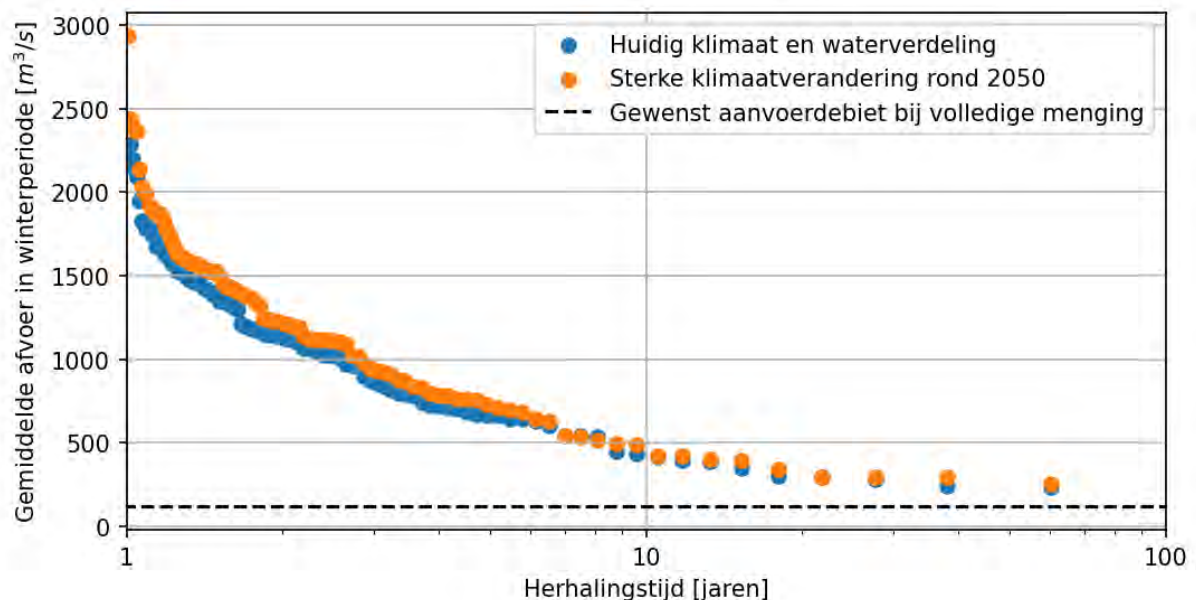
Het overgrote deel van het zoete water dat naar Nederland wordt aangevoerd stroomt via de Rijn bij Lobith het land binnen. Figuur 13 toont de gemiddelde Rijn-afvoer bij Lobith per maand. Een groot deel van de Rijnafvoer, tot wel 70%, wordt in het winterhalfjaar via de Haringvlietsluizen naar de Noordzee gevoerd. Dit zoete water stroomt door het Hollands Diep en zou gebruikt kunnen worden voor verzoeting van de Grevelingen. Daarvoor kan de aanvoerroute via de Volkeraksluizen, het Volkerak-Zoommeer en de Flakkeese spuisluis gebruikt worden.



Figuur 13: Gemiddelde afvoeren van de Rijn bij Lobith over de periode 1936-2023. Figuur afkomstig van <https://www.waterpeilen.nl/berichten/rivierafvoeren-blijven-voorlopig-hoog-voor-de-tijd-van-het-jaar>.

We schatten de beschikbaarheid van zoet water in het winterhalfjaar in door gebruik te maken van de basisprognoses 2018. Figuur 14 toont de herhalingstijd van berekende gemiddelde afvoerdebieten bij de Haringvlietsluizen gedurende het winterhalfjaar dat gedefinieerd is tussen oktober tot en met maart. De figuur toont de gemiddelde debieten voor het huidige klimaat en waterverdeling, alsmede hoe de afvoeren gaan veranderen door klimaatverandering rond 2050.

Op basis van de basisprognoses 2018 is er gemiddeld gedurende het winterhalfjaar voldoende zoet water beschikbaar in het Hollands Diep/Haringvliet voor spoeling van de Grevelingen. In Paragraaf 2.1 is geschat dat het gewenste aanvoerdebiet voor initiële verzoeting tussen de 25 en 100 m³/s bevindt. Figuur 14 toont dat zelfs in droge winters voldoende zoet water beschikbaar is om te voorzien in deze vraag voor initiële verzoeting.



Figuur 14: Gemiddeld spuidebiet bij de Haringvlietsluizen richting de Noordzee gedurende het winterhalfjaar voor het huidige klimaat en waterverdeling en bij sterke klimaatverandering rond 2050.

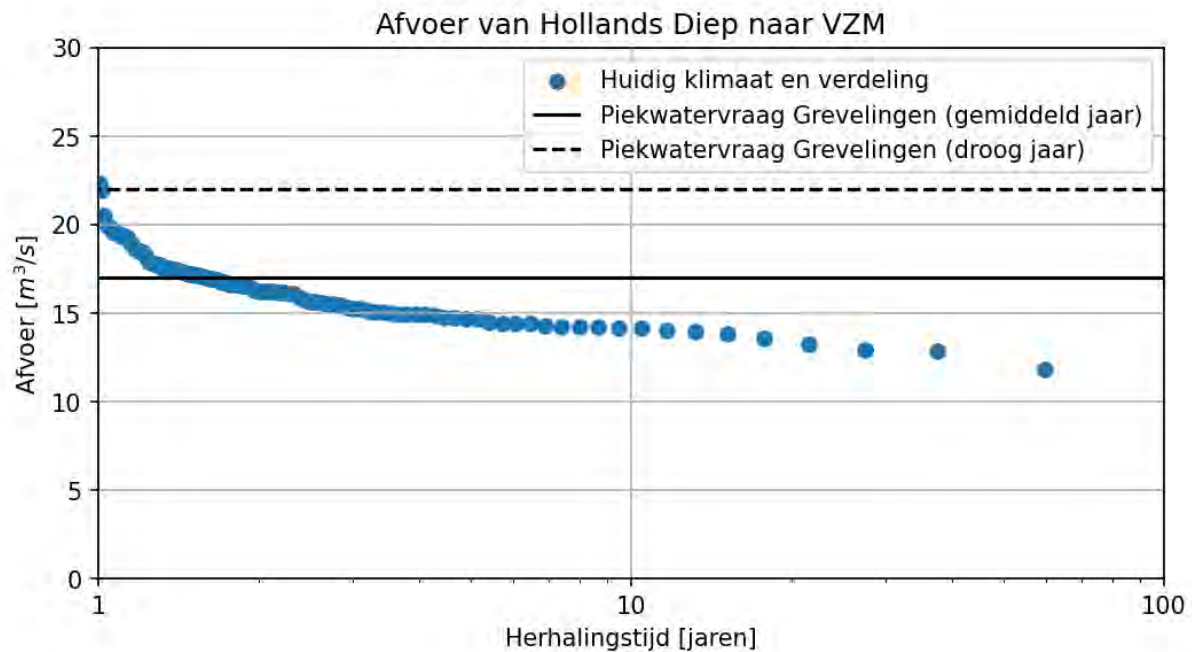
In deze analyse is de beschikbaarheid van zoet water in het hoofdwatersysteem verkend. We verwijzen naar Horvat (2025) voor een analyse van de capaciteit van de huidige infrastructuur in de Volkerakdam en andere relevante kunstwerken om te voorzien in de gewenste aanvoerdebieten.

2.3.2 Beschikbaarheid voor benutting watervraag

We beschouwen in deze paragraaf de beschikbaarheid van zoet water in het hoofdwatersysteem voor benutting van zoet water in het zomerhalfjaar, nadat de Grevelingen eenmalig verzoet is. Dat water zal aangevoerd moeten worden vanuit het Volkerak-Zoommeer. Dat meer is in de zomer sterk afhankelijk van wateraanvoer uit het Hollands Diep.

Figuur 19 toont hoeveel water er in het huidige klimaat en bij de huidige waterverdeling van het Hollands Diep naar het Volkerak-Zoommeer wordt gevoerd op basis van de Basisprognoses 2018. De figuur toont dat in de huidige situatie onvoldoende water naar het Volkerak-Zoommeer wordt aangevoerd om ook in de totale piekwatervraag van de Grevelingen te voorzien. Dat blijkt uit twee aspecten:

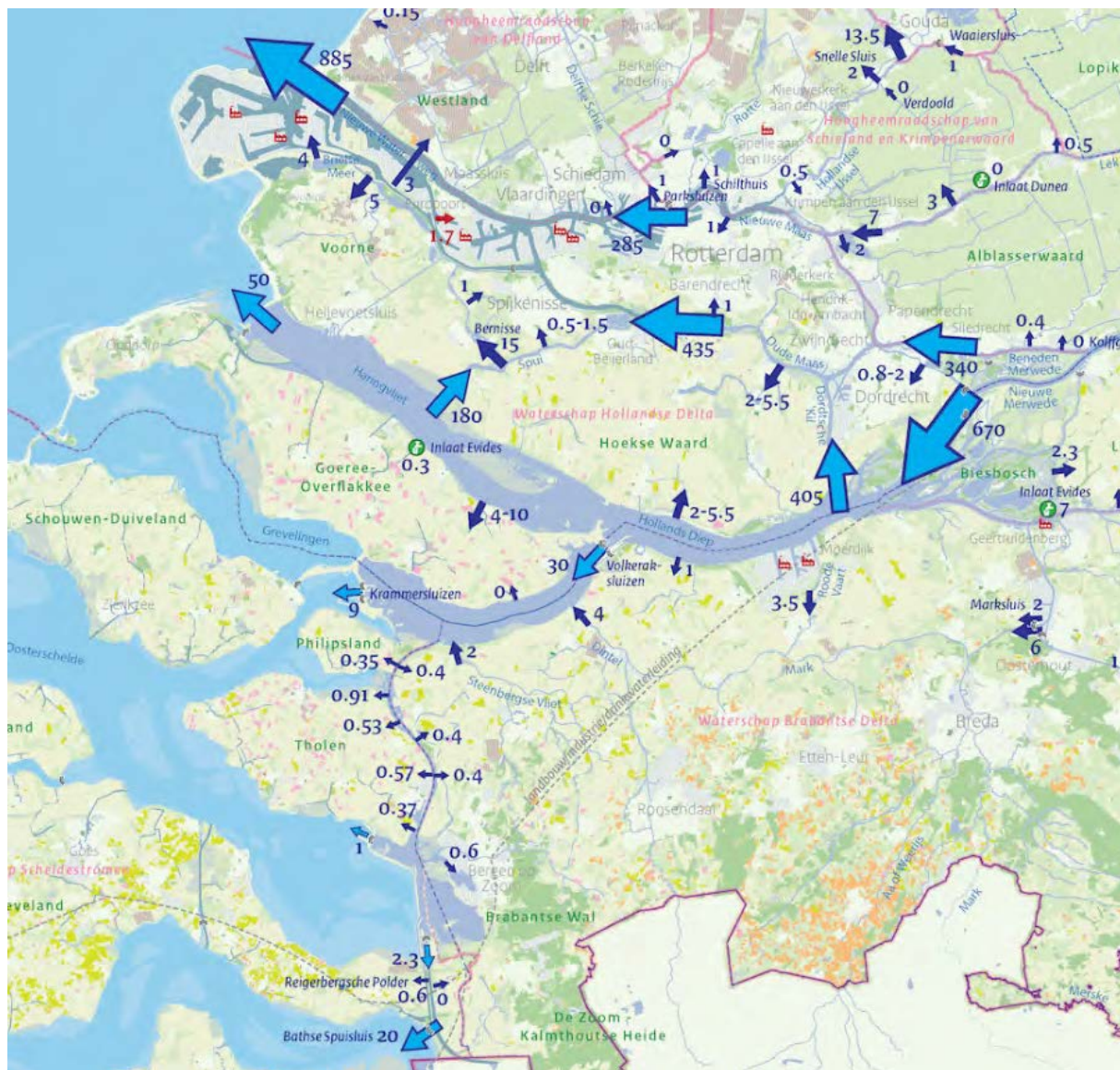
- de huidige aanvoer van het Hollands Diep naar het Volkerak-Zoommeer is zelfs in gemiddelde jaren onvoldoende hoog om in de watervraag van het Grevelingenmeer in droge tijden te voorzien. De analyse in paragraaf 2.2.1 geeft een geschatte piekwatervraag van $11.5 \text{ m}^3/\text{s}$ in gemiddelde jaren en $17.5 \text{ m}^3/\text{s}$ in droge jaren, zie Tabel 2;
- Deze aanvoer voorziet nu in de watervraag van het Volkerak-Zoommeer en is dus niet vrij om te gebruiken. Dat is met name bedoeld voor doorspoeling van het meer. Een klein deel (ongeveer $5 \text{ m}^3/\text{s}$) wordt onttrokken door gebruikers op Philipsland en Tholen.



Figuur 15 Herhalingstijd van de minimale zevendaagse gemiddelde afvoer van het Hollands Diep naar het Volkerak-Zoommeer volgens de Basisprognoses 2018 gegeven de huidige waterakkoorden.

Er is op basis van de huidig afgesproken waterverdeling volgens de landelijke verdringingsreeks zeer beperkt ruimte om extra water via het Hollands Diep en Volkerak-Zoommeer. Figuur 16 toont de huidige waterverdeling bij gemiddelde rivierafvoeren in zomerperioden in het huidig klimaat. De Rijn-Maasmonding ontvangt relatief grote rivierafvoeren ten opzichte van de geschatte watervraag van een zoet Grevelingen. Zo is de afvoer in de Nieuwe Waterweg rond de 900 m³/s. Deze afvoer is hier nodig om de indringing van de zouttong tegen te gaan. Bij afnemende rivierafvoeren zal de zouttong verder landinwaarts trekken, waardoor inlaattekortingen in de omliggende gebieden ontstaan (HKV, 2024; HKV, 2025; Deltares, 2025). Daarnaast stroomt een deel van de Rijnafvoer naar het IJsselmeer om dat gebruikers te voorzien en stroomt een deel richting het Amsterdam-Noordzeekanaal om verzilting aldaar te voorkomen.

Er is dus op basis van de huidige waterverdeling volgens de huidige verdringingsreek beperkt zoet water beschikbaar voor aanvoer naar de Grevelingen. Door klimaatverandering neemt de kans op voldoende zoet water verder af. Zo kan de Rijnafvoer in de toekomst tot 30% afnemen in droge tijden volgens de KNMI'23-klimaatscenario's (Deltares, 2023). Dat betekent niet dat er geen handelingsperspectief is. De huidige waterverdeling is gebaseerd op bestaande afspraken tussen gebruikers van water. Elke zoetwaterregio is zich momenteel aan het voorbereiden op bestuurlijke keuzes op het vlak van waterverdeling, bijvoorbeeld in het Deltaprogramma Zoetwater. Dat vraagt om een discussie op zowel beleids- als bestuurlijke niveaus.



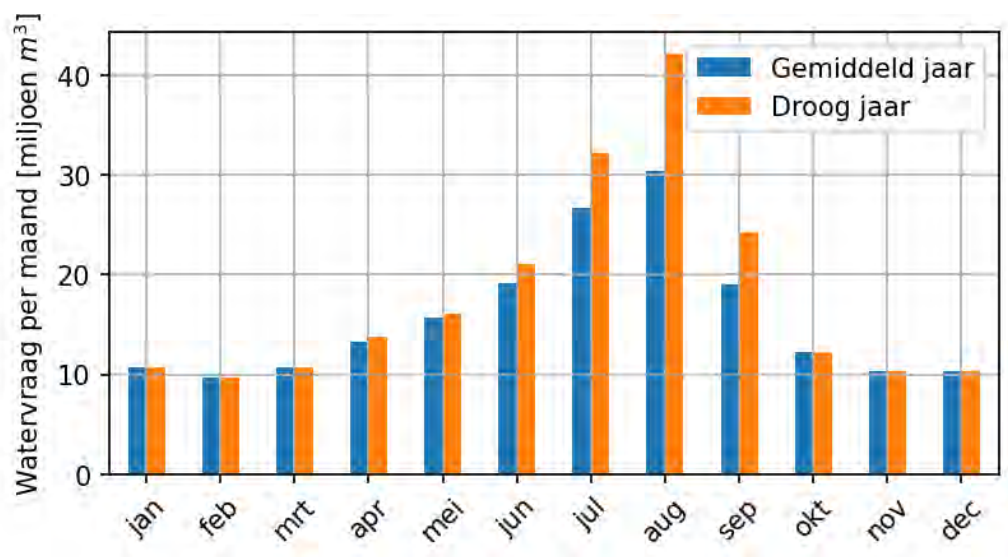
Figuur 16: Huidige praktijk van waterverdeling bij gemiddelde rivierafvoeren in de zomer in het huidige klimaat. De aanvoerdebieten bij de Volkeraksluizen wijken af van de in Figuur 15 getoonde getallen, die gebaseerd zijn op modelberekeningen. De hier getoonde getallen zijn gebaseerd op een inventarisatie met waterbeheerders. Kaart afkomstig van <https://wkaart.github.io/wkaart/waterverdeling>.

2.4 Grevelingen als reservoir

Als alternatief zou de Grevelingen als reservoir ingezet kunnen worden. Het meer zal dan gevuld worden in tijden van wateroverschot, oftewel in de winter. Er is dan ruim voldoende Rijnwater beschikbaar. Het peil in de Grevelingen wordt dan opgezet. Vervolgens kunnen gebruikers in de zomermaanden water onttrekken uit het meer. Het voordeel van dit alternatief is dat er in zomerperioden geen afhankelijkheid is van externe aanvoer van zoet water.

Ter illustratie werken we hier een voorbeeld uit waarbij het peil in de Grevelingen met 0.5 m wordt opgezet in de winter. Op basis van de volumeberekeningen uit Paragraaf 2.1 blijkt dat er dan ongeveer 54 miljoen m³ zoet water opgeslagen kan worden in de Grevelingen. Figuur 17 toont de watervraag aan de Grevelingen per maand uitgedrukt als volume. De figuur toont dat met een buffer van 54 miljoen m³ 1 à 2 maanden in de watervraag van gebruikers in en rond het meer kan worden voorzien.

Wel is het zo dat vanaf april het peil uitzakt door openwaterverdamping. Een deel van de beschikbare buffer wordt dus vanaf de start van het groeiseizoen gebruikt. Dat heeft invloed op het eventuele operationele beheer van de zoetwaterbuffer.



Figuur 17: Watervraag per maand uitgedrukt als volume.

3 Blauwalg

Dit hoofdstuk richt zich op waterkwaliteit, met een specifieke focus op blauwalg. In zoete oppervlaktewateren is er een risico op blauwalg, wat kan leiden tot overlast. Blauwalg beïnvloedt zowel de waterkwaliteit als de ecologie, recreatie en volksgezondheid. Daarom is het cruciaal om de kans op blauwalg in de Grevelingen in te schatten en mogelijke beheersmaatregelen te verkennen.

3.1 Definitie

Blauwalg is een verzamelnaam voor cyanobacteriën: een soort bacteriën die in water leven en op algen lijken. Blauwalgen komen wereldwijd voor in zoet water. Ze komen vooral voor in stilstaand en warm water, zoals meren, plassen en sloten, vooral in de zomer. Ze voeden zich met zonlicht en voedingsstoffen zoals stikstof en fosfaat, die vaak afkomstig zijn van landbouw of riooloverstorten. Blauwalg is vaak zichtbaar als een groene drijflaag aan de oever.

In kleine aantallen vormen blauwalgen geen probleem. Sommige soorten produceren echter gifstoffen die huidirritatie en maag- en darmklachten kunnen veroorzaken en de biodiversiteit bedreigen. Juist deze soorten komen in Nederland relatief vaak voor. Blauwalgbloei wijst op slechte waterkwaliteit, brengt risico's met zich mee voor mens en natuur en leidt vaak tot een zwemverbod. Het is daarom een belangrijk aandachtspunt om blauwalgbloei te mitigeren en te bestrijden voor zowel de volksgezondheid als het milieu.

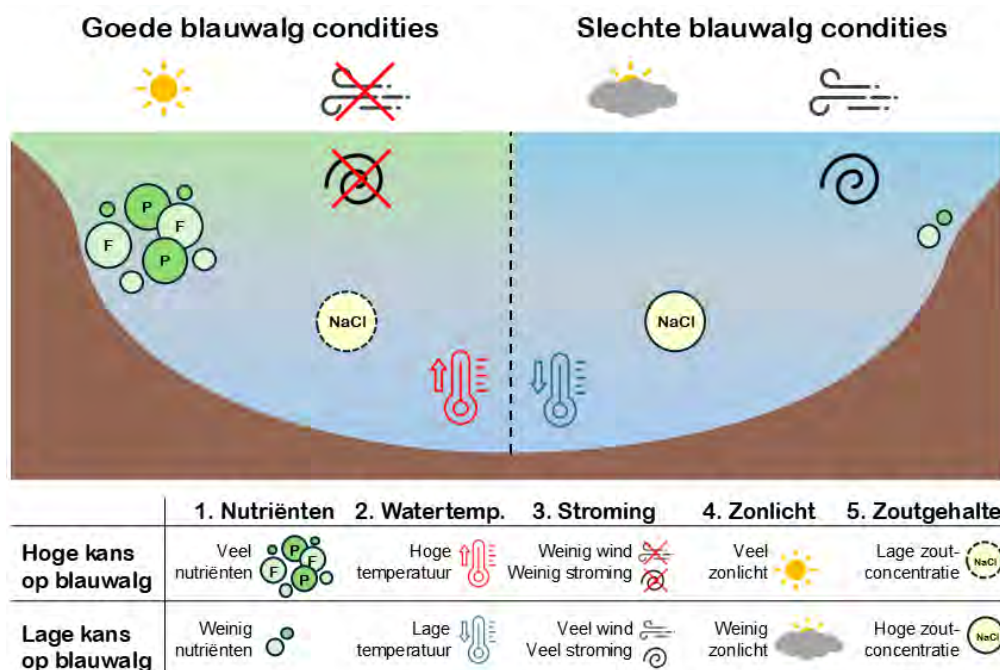
Daarnaast schrijft de Kaderrichtlijn Water (KRW) voor dat de kwaliteit van Europees oppervlaktewater en grondwater uiterlijk in 2027 op orde moet zijn. Dit verplicht landen, waaronder Nederland, om de waterkwaliteit te verbeteren en blauwalgbloei effectiever te beheersen.

In Nederland zijn er richtlijnen voor het bestrijden van blauwalg in zwemwater. Deze richtlijnen zijn vastgelegd in het Blauwalgprotocol 2020 (RIVM, 2020). Dit protocol bepaalt hoe zwemadviezen worden opgesteld. waterbeheerders meten wekelijks of tweewekelijks de concentraties blauwalg en baseren het zwemadvies daarop. Bij concentraties tussen 12 en 75 µg/L wordt een waarschuwing gegeven, en bij meer dan 75 µg/L volgt een negatief zwemadvies.

3.2 Factoren die leiden tot blauwalggroei

Figuur 18 toont de factoren die blauwalggroei beïnvloeden. Dit zijn:

- De voedingsstoffen die in het water zitten (Paerl, 2014);
- De stroomsnelheid van het water;
- De watertemperatuur (Paerl, 2018).



Figuur 18: Conceptueel overzicht van de factoren die invloed hebben op de groei van blauwalg. Figuur is overgenomen van https://www.metagreen.asia/Metagreen_Municipal.html.

3.3 Risico op blauwalg in de Grevelingen

We beschouwen in deze paragraaf het risico op blauwalgvorming in een zoet Grevelingen. We beschouwen daarvoor de blauwalgproblematiek in het Volkerak-Zoommeer. Vervolgens lichten we toe waar de risico's in de Grevelingen het grootst zijn en in welke periode van het jaar blauwalgvorming mogelijk kan plaatsvinden.

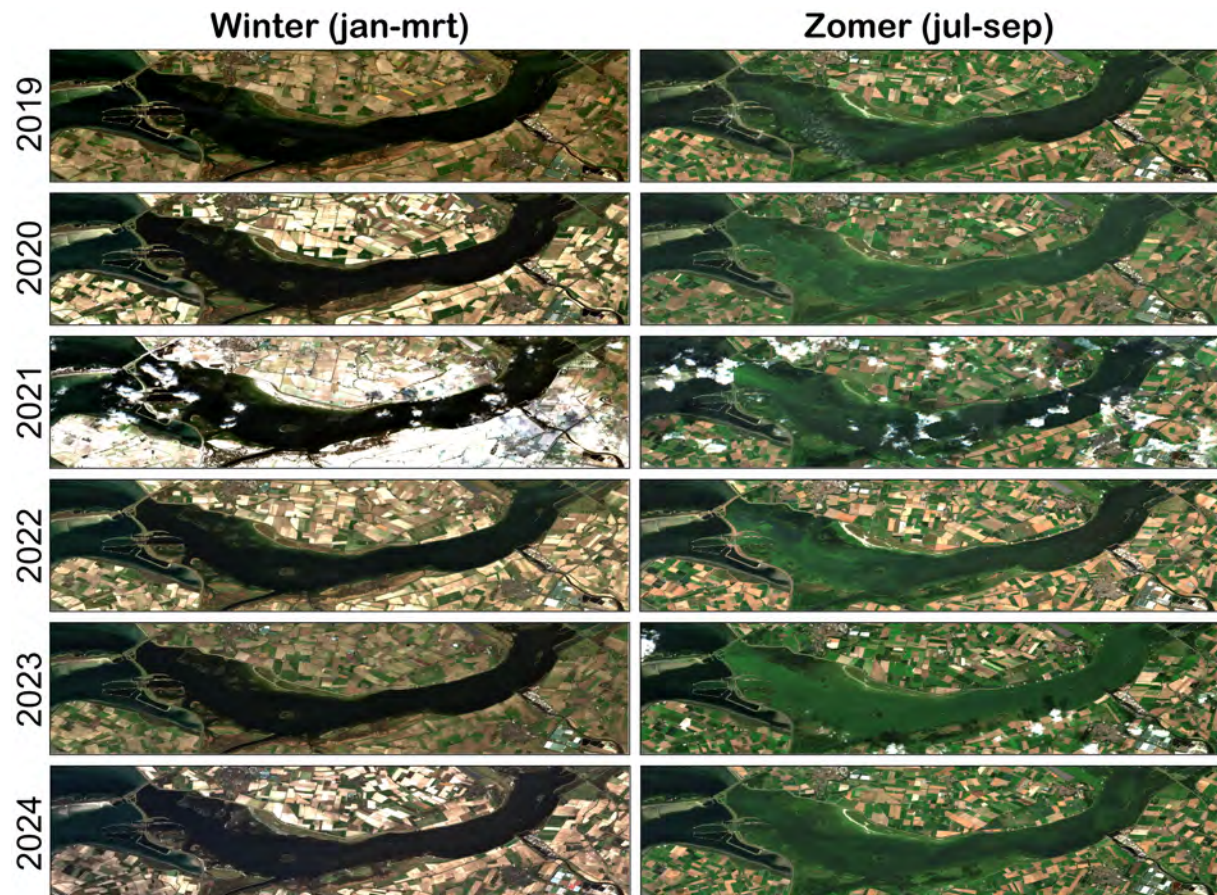
3.3.1 Blauwalg in het Volkerak-Zoommeer

Om het risico op blauwalg in een zoet Grevelingen in kaart te brengen richten we ons allereerst op het aangrenzende Volkerak-Zoommeer. Dit meer ligt ten oosten van de Grevelingen. Sinds de aanleg van het Volkerak-Zoommeer in 1987, waarbij het meer is verzoet, komt er vrijwel elk jaar blauwalgenbloei voor. Er bestaan verschillende soorten/geslachten van blauwalgen. In het Volkerak-Zoommeer komen acht soorten blauwalgen voor (Verspagen, 2005; Deltares, 2021).

Rond 2008 trad een duidelijke verbetering op. Hoewel er geen consensus is in de literatuur wijzen sommige studies op de komst van de quaggamossel, die mogelijk blauwalgen consumeert (Van Hoorn en Visser, 2012). In de afgelopen tien jaar worden echter weer vaker blauwalgenplagen waargenomen in het Volkerak-Zoommeer (Deltares, 2021).

De ruimtelijke verspreiding van blauwalg in het Volkerak-Zoommeer kan sterk verschillen per seizoen en per jaar, zie Figuur 19. De groene kleuren in het water zijn een indicator van de aanwezigheid van blauwalg. In de winter is vrijwel geen blauwalg aanwezig. Gedurende de periode 2019 tot en met 2024 is er jaarlijks blauwalggroei zichtbaar in de zomer. De ruimtelijke verspreiding daarvan varieert per jaar, al lijkt er met name aan de westkant van het meer een risico op blauwalgvorming te zijn. Volgens Deltares (2021) zijn er voorsnog geen aanwijzingen

dat blauwalgen in het Volkerak-Zoommeer het voedselweb of het ecosysteem negatief beïnvloeden.



Figuur 19: Seizoenaal beeld Volkerak-Zoommeer winter (januari t/m maart) en zomer (juli t/m september) tussen 2019-2024. Beelden zijn afkomstig van de Sentinel-2-satellieten.

3.3.2 Kans op blauwalgvorming Grevelingen

De condities in het Volkerak-Zoommeer zijn dus gunstig voor blauwalggroei: aanvoer van nutriënten uit de omliggende regionale watersystemen en rivierwater, relatief stilstaand water door lage doorspoeldebieten en hoge temperaturen in de zomer.

Vergelijkbare omstandigheden gelden grotendeels voor een zoet Grevelingenmeer, dat geografisch dicht bij het Volkerak-Zoommeer ligt en qua grootte en diepte vergelijkbaar is. Het Volkerak-Zoommeer is circa 80–90 km² groot, het Grevelingenmeer circa 110 km². Beide hebben een gemiddelde diepte van 5 tot 6 meter (Rijkswaterstaat, 2012). Daarnaast lijkt het Volkerak-Zoommeer de meest logische aanvoerbron van zoet water. Daarmee is de nutriëntenlast van het aanvoerwater naar de Grevelingen vergelijkbaar met die van het Volkerak-Zoommeer.

De mogelijke ruimtelijke spreiding van blauwalggroei in een zoet Grevelingen is niet eenduidig te voorspellen zonder aanvullend onderzoek. We observeren het volgende:

- De noordkant van het meer lijkt een verhoogd risico op blauwalgvorming te hebben. Een hoge verblijftijd van water verhoogt de kans op explosie blauwalggroei (Verspagen et al., 2005). Dit is onder meer afhankelijk van de watertemperatuur en de initiële nutriëntenconcentratie. Figuur 6 toont de gemiddelde looptijd van water in de Grevelingen bij inlaat vanaf de

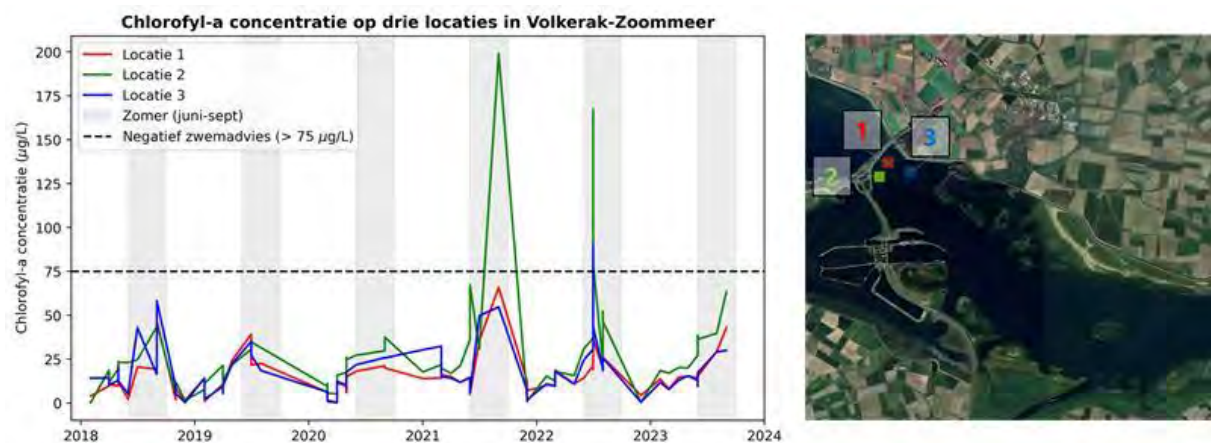
Grevelingendam. Met name in het noordwesten van de Grevelingen is deze looptijd relatief hoog (langer dan 30 dagen);

- Er zijn verschillende kleine inhammen rond de oevers van het meer, waar het water relatief stil staat. Ook hier is een verhoogd risico op blauwalggroei;
- De stroomsnelheden in het meer zullen het hoogst zijn in en rond de geulen, zie Figuur 4. Op die plekken zal het risico op blauwalgvorming relatief laag zijn.

3.3.3 Mogelijk jaarlijks verloop van blauwalggroei Grevelingen

Naar verwachting varieert blauwalggroei, uitgedrukt als concentratie chlorofyl-a, gedurende het jaar. Figuur 19 toonde dat blauwalgbloei in het Volkerak-Zoommeer vooral voorkomt in de zomermaanden van juni tot en met september. Dat blijkt ook uit literatuur. In het Volkerak-Zoommeer is een duidelijke verschuiving zichtbaar: tussen 2004 en 2008 kwamen blauwalgenpieken vooral voor in de maanden april tot juni, terwijl ze sinds 2008 vooral optreden in juli, augustus en september (Deltares, 2018).

Op basis van de Sentinel-2-beelden is een inschatting gemaakt van de concentratie chlorofyl-a voor de periode 2018 tot 2024 op drie locaties in het Volkerak-Zoommeer, zie Figuur 20. Daarin is goed te zien dat (1) blauwalggroei vrijwel elk jaar voorkomt, (2) de blauwalgconcentraties in winterperioden lager zijn dan in de zomer en (3) blauwalggroei met name voorkomt in de periode juni tot september. Het is goed mogelijk dat blauwalggroei eenzelfde jaarlijks verloop zal vertonen in een zoet Grevelingen.



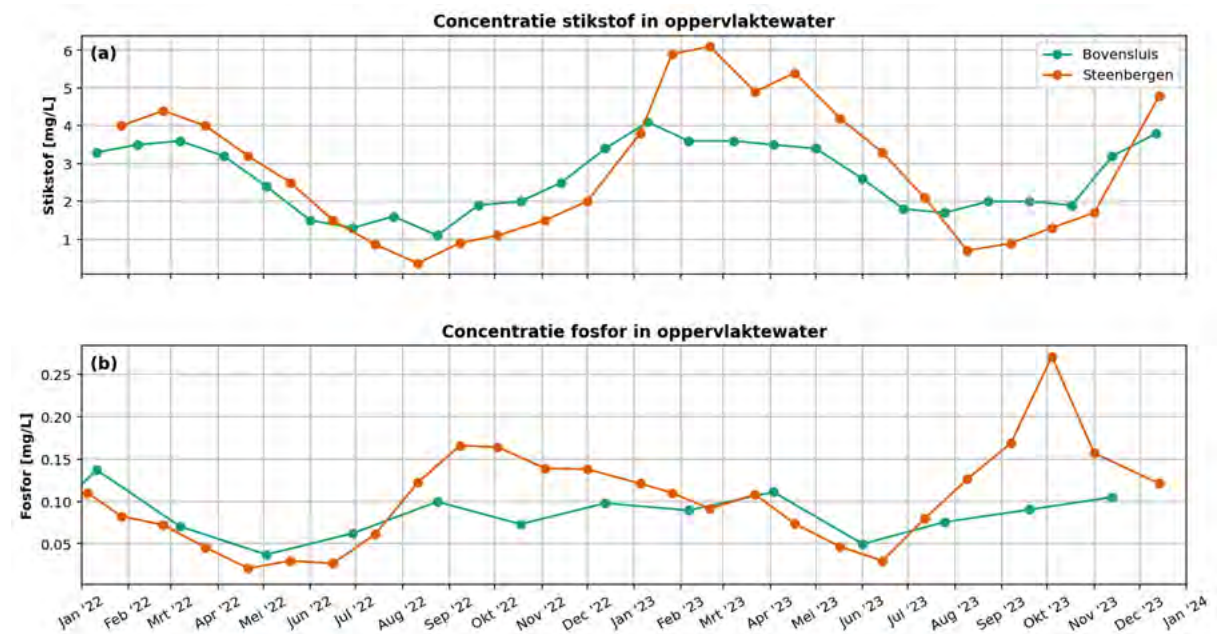
Figuur 20: Verloop van de concentratie chlorofyl-a op drie locaties in het Volkerak-Zoommeer.

3.3.4 Jaarlijkse trends in nutriëntenbelasting en doorstroming

Een hoge nutriëntenlast in het oppervlaktewater is een belangrijke factor in het veroorzaken van blauwalggroei. Deze last wordt hier uitgedrukt in de concentraties stikstof en als fosfaat aanwezig fosfor in het oppervlaktewater.

De nutriëntenlast vertoont een duidelijke seizoensvariatie in het oppervlaktewater in de Zuidwestelijke Delta (RIVM, 2024). Figuur 21 toont het verloop van stikstof- en fosforconcentraties voor meetpunten in het Hollands Diep (Bovensluis) en Volkerak-Zoommeer (Steenbergen). De nutriëntenconcentraties in het Hollands Diep en Volkerak-Zoommeer zijn over het algemeen hoger in de winter dan in de zomer.

Dit verloop hangt samen met de herkomst van de nutriënten. Het grootste deel van de belasting komt uit de landbouw, aangevuld met bijdragen uit rioolwater en natuurlijke af- en uitspoeling (RIVM, 2024). In de winter spoelen bij regenval of dooi overtollige nutriënten uit de bodem naar het oppervlaktewater, terwijl opname door gewassen dan beperkt is. In de zomer worden stikstof en fosfaat juist actiever opgenomen door gewassen en algen, en vinden er processen plaats zoals denitrificatie (stikstofverwijdering) en fosfaatvastlegging in de bodem.



Figuur 21: Verloop van stikstof- en fosforconcentraties bij de meetpunten Bovensluis (Hollands Diep) en Steenberg (Volkerak-Zoommeer). Gegevens zijn afkomstig van <https://waterinfo.rws.nl>.

Deze seizoensvariatie kan relevant zijn voor het strategisch inlaten van water in een zoet Grevelingen. Tegelijkertijd kan de lagere nutriëntenconcentratie in de zomer ook het gevolg zijn van opname door verschillende vormen van ecologie, waaronder mogelijk schadelijke blauwalgen. Daarom is het aan te raden om niet alleen de chemische, maar ook de biologische samenstelling van het instromende water structureel te monitoren. Dit geldt niet alleen voor de nutriëntenlast, maar ook voor de chlorideconcentratie, die in de zomer iets hoger kan zijn.

3.4 Handelingsperspectief

Er is dus een groot risico op blauwalgvorming in een zoet Grevelingen. We behandelen hier maatregelen om blauwalg te bestrijden en waar deze toegepast zijn⁵.

Doorspoelen

Door aanvoer van extern water kan de verblijftijd van het water worden verkort, zodat blauwalgen minder tijd hebben om te bloeien. Deze optie is onderzocht voor het Volkerak-Zoommeer, waar de verblijftijd zou worden verkort van 14 naar 3 weken in het Volkerak en van 10 naar 5 weken in het Zoommeer bij een doorspoeldebiet van 150 m³/s. Hoewel dit de groei van blauwalg beperkt, blijkt uit berekeningen dat er nog steeds een grote kans is op drijfslagen met de bijbehorende overlast

⁵ Een gedetailleerd overzicht van bestrijdingsmethoden wordt gegeven op <https://www.wur.nl/nl/show-longread/Blauwalg-bestrijden-wat-werkt-nuecht.htm>.

(MER, 2012). Daarnaast is er in de zomer beperkte aanvoer van zoet water vanuit het Hollands Diep mogelijk, wat de effectiviteit van de doorspoeling beperkt.

Verminderen instroom van nutriënten

Het verminderen van de nutriënteninstroom is een beloftevolle methodiek. Dit kan door water in te laten op momenten met lage nutriëntenconcentraties, bijvoorbeeld via gecontroleerde peilfluctuaties en strategische spuimomenten. Real-time monitoring van nutriëntenlast en daarop sturen van waterpeil wordt nog niet veel toegepast. Voorbeelden zijn het Zippingu-reservoir (China) en Lower Darling River (Australië). Voor toepassing in het Grevelingenmeer zou het opstellen van een nutriëntenbalans nodig zijn en is het noodzakelijk om de nutriëntenlast in het oppervlaktewater continue te monitoren (STOWA, 2022).

Verminderen reeds aanwezige nutriëntenlast

Een tweede methode om de nutriëntenlast te verlagen, is reeds aanwezige nutriënten uit het water te verwijderen. Er wordt een pilot uitgevoerd in het Volkerak-Zoommeer gedurende 2024-2025, waarin fosfaat en stikstof worden gezuiverd uit de Binnenschelde⁶. De eerste resultaten worden later in 2025 verwacht. Verder wordt in de Kralingse Plas geëxperimenteerd met vlokmiddelen die fosfaat binden, waardoor blauwalgen minder voedingsstoffen hebben om te groeien. Eerder werden vlokmiddelen effectief toegepast in onder andere (Phoslock Europe, n.d.):

- Noord-Brabant (zwemplas De Rauwbraken en zwemplas de Kuil);
- Duitsland (Behlendorfer See, Bärensee), en;
- Het Verenigd Koninkrijk (Hyde Park, Loch Flemington).

Lokaal toegepaste technieken

Lokaal toegepaste technieken zoals mengers, beluchters en schermen kunnen helpen blauwalgenbloei te beperken. In Vlietland, Zegerplas en De Nieuwe Meer worden mengers en beluchters gebruikt die de stratificatie verstoren. Deze werken al jaren en blijken voldoende in staat te zijn om explosieve blauwalgengroei te voorkomen. In Almere Haven werden in 2007 schermen geïnstalleerd om blauwalg te weren uit recreatiezones. Deze worden vanaf 2026 geleidelijk verwijderd vanwege bezuinigingen. Er zijn ook technieken zoals het toevoegen van verdunde waterstofperoxide of plantenextracten aan het water, ultrasound, en het inzetten van natuurlijke vijanden zoals driehoeksmosselen. De effectiviteit hiervan is echter nog niet duidelijk.

Hoewel de effecten van technieken als mengers, beluchters en schermen vaak tijdelijk en lokaal zijn, kunnen deze technieken waardevol zijn in gebieden waar recreatie of volksgezondheid onder druk staan. Hierbij moet rekening worden gehouden met energieverbruik, onderhoud en mogelijke bijwerkingen, zoals opwarming of zuurstoftekort in afgesloten zones.

Verziltten

Blauwalgen komen niet voor in zout water, waardoor verzilting een effectieve maatregel tegen blauwalgen is. Hoewel verzilting als optie werd onderzocht voor het Volkerak-Zoommeer, werd deze afgewezen vanwege de ingrijpende gevolgen voor de zoetwatervoorziening en bodemverzilting. In het kader van dit onderzoek is verzilting niet een logische maatregel.

⁶ Pilot van Nutreact: <https://nutreact.eu/pilot-blauwalg-binnenschelde/>

4 Hoogwaterveiligheid

4.1 Inleiding

De Rijn–Maasmonding is het gebied van de benedenloop van de grote rivieren Rijn en Maas en de Rijnmond–Drechtsteden ten noorden van de Zuidwestelijke Delta. Rivier en zee komen hier samen. Dit gebied bevat veel te beschermen belangen, zowel wat betreft inwoners als economische activiteiten. Sinds 2015 kan het Volkerak–Zoommeer rivierwater bergen in situaties dat afvoer naar zee niet mogelijk is door storm op de Noordzee. In een dergelijke situatie stroomt rivierwater tijdelijk (van enkele uren tot max. 1,5 dag) richting de Zuidwestelijke Delta. Hierdoor dalen de hoogwaterstanden op met name het Haringvliet en Hollands Diep. Met het oog op klimaatverandering zou uitbreiding van de waterberging in het Volkerak–Zoommeer met de Grevelingen een optie kunnen zijn om de verhoging van de waterstanden in Rijnmond–Drechtsteden bij hoge rivierafvoeren verder te reduceren.

De onderzoeksvragen voor hoogwaterveiligheid binnen dit onderzoek zijn:

- Wat is het effect van waterberging in de Grevelingen op de waterstanden in de Rijnmond, als aanvulling op de waterberging in het Volkerak–Zoommeer?
- Wat is de toename van de waterstanden op het Volkerak–Zoommeer en de Grevelingen als gevolg van de waterberging?

Het uitgangspunt hierbij is het huidige watersysteem, de oprekmogelijkheden daarvan, de in- en uitlaatcapaciteiten van de Volkeraksluizen en een nieuwe opening in de Grevelingendam.

4.1.1 Uitgangspunten

- Voor alleen waterberging in het Volkerak–Zoommeer is de huidige omvang van de spuisluisen in de Volkerakdam optimaal (Termes et al., 2010). De huidige afmetingen van de spuisluisen, 570 m², geven geen effectieve inzet van berging op de Grevelingen (Botterhuis, 2013). Dat komt doordat het doorstroomoppervlak onvoldoende is om meer rivierwater van het Hollands Diep naar het Volkerak–Zoommeer te krijgen. Een uitbreiding van de afmetingen naar 1.350 m² of 2.000 m² laat een duidelijke toename zien in het effect van de inzet van de Grevelingen. Daarmee kan binnen een stormperiode de berging op de Grevelingen geheel benut worden. Met de huidige te kleine capaciteit van de spuisluisen wordt de berging op de Grevelingen niet geheel benut. Daarnaast is voor een effectieve inzet van waterberging op de Grevelingen ook een doorlaatmiddel in de Grevelingendam met een vergelijkbare capaciteit noodzakelijk.
- We gebruiken de resultaten van het onderzoek naar de strategieverlengde maatregelen (Ter Horst et al., 2025) om de effectiviteit van waterberging op de Grevelingen voor Vitaal Grevelingen te duiden. Die studie bevat deze uitgangspunten:
 - De betrouwbaarheid van een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg kan verbeterd worden tot een faalkans van 1 maal per 5.000 sluitingen;
 - De opening in de Grevelingendam is net als de opening in de Volkerakdam gelijk genomen aan 2000 m² (bij een waterstand van NAP+1 m op het Hollands Diep);

- Er kan een gezamenlijke gemaalcapaciteit van maximaal 10.000 m³/s gerealiseerd worden op het tracé tussen Rozenburg en de Maeslantkering en op de Haringvlietdam tussen de spuisluizen en de noordoever;
- De gangbare rekentrein van hydraulische berekeningen (Sobek3), probabilistische berekeningen (Hydra-NL) en versterkingsberekeningen (Okader) is toegepast;
- Voor de doorrekening van de huidige situatie zijn de uitgangspunten van BOI2023 gevolgd. Voor de doorrekening van de toekomstige situaties zijn de uitgangspunten van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging gevolgd. Voor een gedetailleerde beschrijving hiervan wordt verwezen naar Ter Horst et al. (2025).

Invloed betrouwbaarheid Europoortkering en Volkeraksluizen op waterberging

Net als voor de Europoortkering (EPK) bestaat er een kans dat de Volkeraksluizen en een mogelijk toekomstig doorlaatmiddel in de Grevelingendam niet naar behoren werken. De waterberging op het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen wordt alleen ingezet als de Europoortkering gesloten is. Als de Europoortkering faalt, dan dalen de waterstanden op het Hollands Diep en Haringvliet niet bij inzet van waterberging.

Bij de huidige faalkans van de Europoortkering leidt uitbreiding van de waterberging met de Grevelingen tot een kleine aanpassing van de veiligheidsopgave van de Rijn-Maasmonding. De waterstanden als gevolg van het falen van de Europoortkering zijn dominant voor het ontwerp van de waterkeringen en deze worden niet verlaagd door uitbreiding van de waterberging.

Het is niet gangbaar om te rekenen met een faalkans van de Volkeraksluizen. Bij de huidige betrouwbaarheid van de Europoortkering maakt het voor de hydraulische belastingen bij Rotterdam en Dordrecht niet uit of rekening wordt gehouden met het falen van de waterberging (Botterhuis, 2013).

Als de betrouwbaarheid van de sluiting van de Nieuwe Waterweg echter aanzienlijk zou verbeteren ten opzichte van de huidige betrouwbaarheid, leidt het rekenen met een faalkans voor de Volkeraksluizen groter dan 1/100 wel tot hogere hydraulische belastingen, ook bij Rotterdam. Hoeveel hoger is in Botterhuis (2013) niet uitgerekend.

4.1.2 Context eerdere studies

In het verleden zijn meerdere studies naar de inzet van extra waterberging uitgevoerd:

- In de Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta is gekeken in hoeverre waterberging kan bijdragen aan de waterveiligheid van de Rijn-Maasmonding (Termes et al., 2010);
- In het Nader onderzoek Extra waterberging Zuidwestelijke Delta is onderzoek gedaan naar waterberging in de Grevelingen mét en zónder de mogelijkheid om water af te voeren via een getijdecentrale in de Brouwersdam in relatie tot de waterveiligheidsopgave van de Rijn-Maasmonding (Botterhuis, 2013).

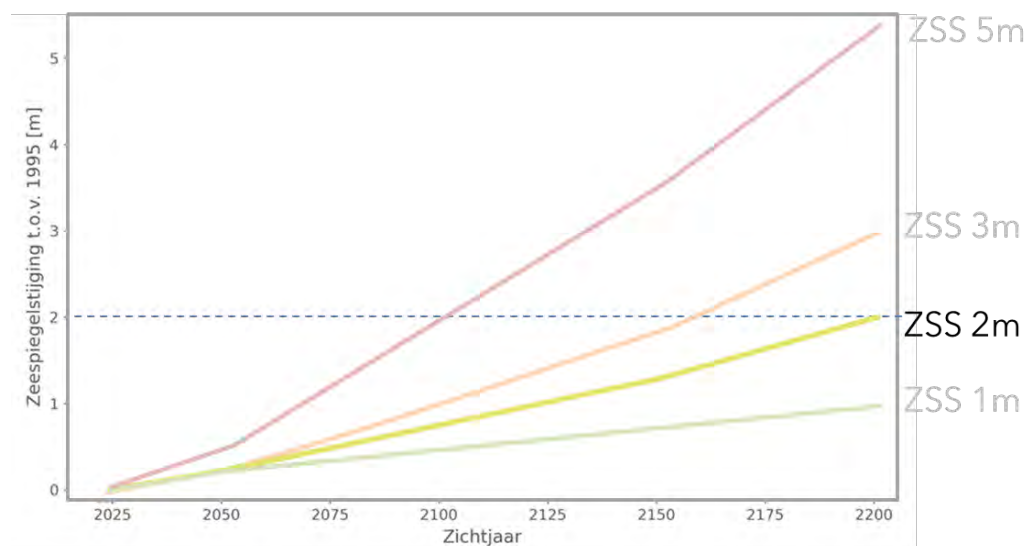
In de studie Strategieverlengende maatregelen KP-ZSS voor de Rijn-Maasmonding (Ter Horst et al., 2025) is onderzoek gedaan naar de maximale "oprekmogelijkheden" van de huidige voorkeursstrategie van het Deltaprogramma voor de Rijn-Maasmonding. De huidige voorkeursstrategie gaat uit van een open-afsluitbare verbinding met de Noordzee. Om de houdbaarheid van deze strategie te verlengen is de effectiviteit onderzocht van een maximalisatie

van de betrouwbaarheid van de Europoortkering, de beschikbare waterberging en de installatie van een aanzienlijke gemaalcapaciteit.

4.2 Verlaging waterstand te Dordrecht

In deze paragraaf beantwoorden we de eerste onderzoeksvraag: Wat is het effect van waterberging op de Grevelingen op de waterstanden in de Rijnmond, als aanvulling op de waterberging in het Volkerak-Zoommeer? Dit bespreken we aan de hand van de resultaten van Ter Horst et al. (2025).

We beschouwen de effecten van de waterberging op de Grevelingen op de waterstanden bij Dordrecht. Dit doen we voor de zichtjaren 2023, 2050, 2100 en 2200, waarbij de klimaatverandering verloopt volgens de tijdlijn Gematiqd van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (HKV, 2023), zie Figuur 22. Deze tijdlijn beschrijft een scenario waarbij de zeespiegel met 0,75 m stijgt rond 2100 en met 2 m in 2200. De Rijnafvoer (T1000) neemt met 6% toe in 2100 ($\pm 935 \text{ m}^3/\text{s}$) en neemt met 7,5% toe in 2200 ($\pm 1125 \text{ m}^3/\text{s}$). De windsterkte in 2100 en 2200 blijft gelijk aan de huidige situatie. We gaan uit van deze tijdlijn omdat daarmee een vertaling te maken is van de waterstandseffecten van de extra waterberging bij zeespiegelstijging.



Tijdlijnen zijn hypothetisch (geen klimaatscenario's) en opgesteld i.s.m. KNMI

Figuur 22: Tijdlijnen Kennisprogramma Zeespiegelstijging met tijdlijn Gematiqd (geel) met zeespiegelstijging van 0,75 m in 2100 en 2 m in 2200 (Ter Horst, 2025).

Opgemerkt wordt dat dit een ander – aanzienlijk 'natter' – scenario is dan voor de analyse van de zoetwaterbeschikbaarheid in Hoofdstuk 2 is gehanteerd⁷. We beschouwen de effecten van de waterberging voor drie strategieën:

- Voor de huidige faalkans van de Europoortkering, namelijk 1 maal per 100 sluitingen;
- Voor de situatie met een verbeterd zeefront van de Europoortkering (kerende hoogte groter en dus niet overstroombaar⁸) en kleinere faalkans sluiting (namelijk 1/5.000 per sluitvraag);

⁷ De baten voor waterveiligheid kunnen derhalve niet zonder nadere beschouwing bij de baten voor zoetwaterbeschikbaarheid worden opgeteld.

⁸ Bij de huidige hoogte van de EPK is deze overstroombaar vanaf NAP +5 m.

- Voor een theoretische variant waarin het zeefront 100% betrouwbaar afsluit (faalkans van 0) en het beschikbaar bergend oppervlak oneindig groot is. Deze laatste variant maakt het mogelijk om de resultaten te valideren en de effectiviteit van een eventuele verdere optimalisatie te bespreken.

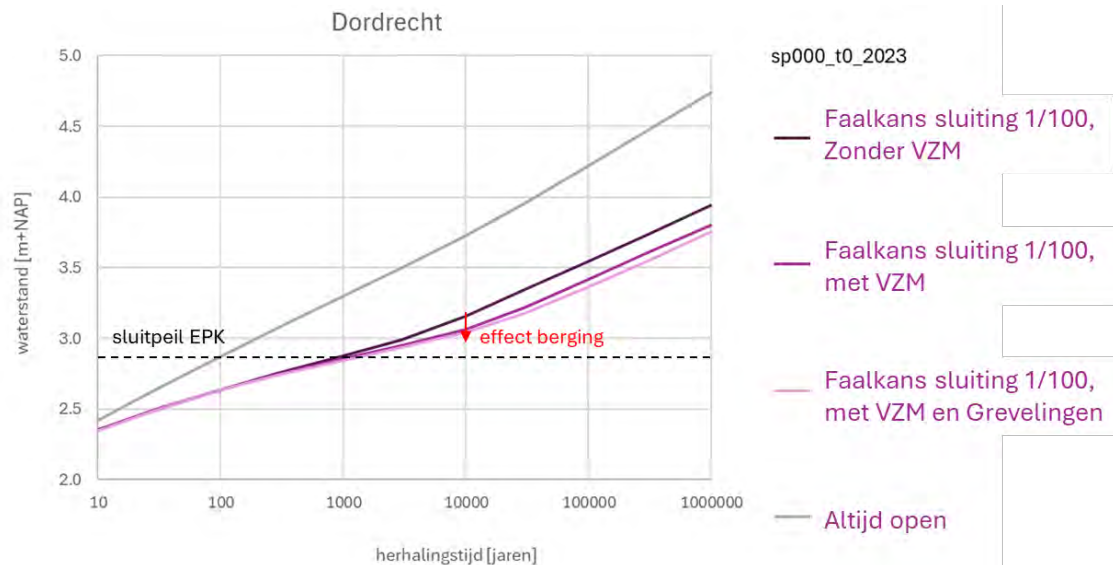
In deze studie wordt de waterberging ingezet bij voorspelde overschrijding van de waterstand van NAP+2,6m te Willemstad (meetstation Rak Noord) voor de periode 2023 t/m 2100. De berekende inzetfrequentie neemt hierbij toe van 1 maal per 1750 jaar in 2023 naar 1 maal per 46 jaar in 2100 op basis van tijdlijn Gematigd. Ook voor de Europoortkering wordt gedurende de periode 2023 t/m 2100 het huidige sluitpeil gehanteerd (NAP+3 m te Rotterdam en NAP+2,9 m te Dordrecht). Hierdoor neemt de berekende sluitfrequentie van de Europoortkering toe van 1 maal per 19 jaar in 2023 naar 7 maal per jaar in 2100 op basis van tijdlijn Gematigd. Een verdere toename van de inzet- en sluitfrequentie na 2100 is in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging als onrealistisch beschouwd. Hierdoor zijn de inzet- en de sluitpeilen in zichtjaar 2200 met 1,25 m verhoogd. Gevolg is, ondanks een verdere toename van de zeespiegel en de rivierafvoer, een berekende inzetfrequentie van de waterberging 1 maal per 49 jaar en een berekende sluitfrequentie van de Europoortkering 1 maal per 6 jaar.

In onze duiding van de resultaten richten we ons op de resultaten van de probabilistische berekening van de waterstand bij Dordrecht. We bespreken de waterstand bij herhalingstijden van $T = 3.000$ en 10.000 jaar, omdat de waterveiligheidsnormering deze daar hanteert.

4.2.1 Huidige faalkans EPK (1/100 per sluitvraag)

In Figuur 23 tonen we het resultaat van vier probabilistische berekeningen:

- De bovenste grijze frequentielijn toont de waterstand die ontstaat als de Europoortkering nooit sluit. Met deze lijn kunnen we de effectiviteit van het huidige zeefront uitleggen;
- Het verschil tussen deze lijn en de bovenste donkerpaarse lijn is de daling van de waterstand die ontstaat als de Europoortkering sluit met de huidige betrouwbaarheid – een faalkans van 1 maal per 100 sluitingen. Het verschil ontstaat alleen door het sluiten van het zeefront;
- Als aanvullend het Volkerak-Zoommeer wordt inzet, daalt de bovenste donkerpaarse lijn naar de middelste paarse lijn (0,04 m bij T3000 jaar en 0,09 m bij T10.000 jaar);
- De onderste lichtpaarse lijn wordt berekend als naast de waterberging van het VZM ook de Grevelingen (optimaal) wordt ingezet. Het verschil tussen deze onderste lijnen is klein, namelijk 0,01 m bij T3.000 jaar en 0,02 m bij T10.000 jaar.

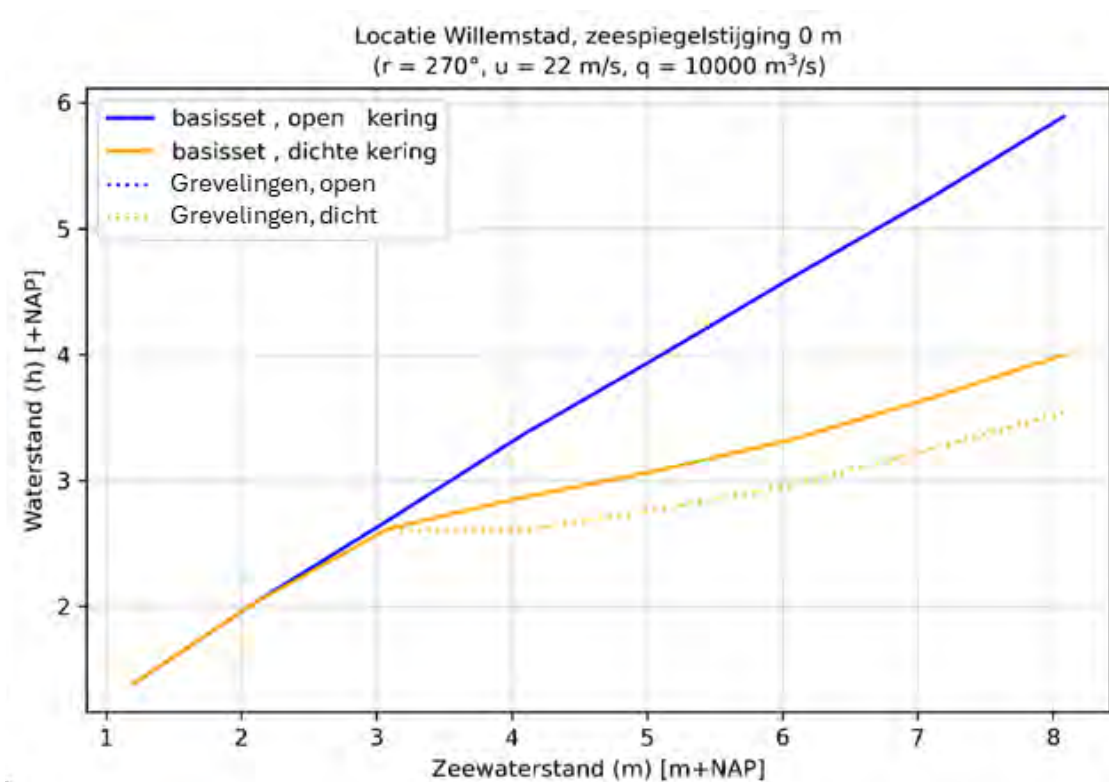


Figuur 23: Waterstandfrequentie te Dordrecht in 2023 voor vier berekeningen: (1: donkerpaarse lijn) Europoortkering 1/100 zonder waterberging VZM, (2: middelste paarse lijn) Europoortkering 1/100 plus waterberging VZM, (3: lichtpaarse lijn) Europoortkering 1/100 plus waterberging VZM + Grevelingen en (4) Europoortkering sluit niet, geen inzet waterberging (grijze lijn).

Bij de huidige klimaatcondities⁹ en de huidige betrouwbaarheid van de Europoortkering heeft aanvullende waterberging op de Grevelingen nauwelijks effect op de hydraulische belastingen bij Dordrecht. In individuele gebeurtenissen kan het effect van waterberging op de Grevelingen aanzienlijk zijn, maar in de probabilistische analyse dragen deze gebeurtenissen nauwelijks bij aan een wijziging van de overschrijdingskans van de waterstand. Figuur 24 en Figuur 25 tonen de maximale waterstand te Willemstad als functie van de zeewaterstand bij een Rijnafvoer van 10.000 m³/s en 16.000 m³/s voor het huidige klimaat. In alle gevallen is een westelijke windrichting ($r = 270^\circ$ t.o.v. N) en een windsnelheid van $u = 22$ m/s gehanteerd. Bij andere windrichtingen is het beeld vergelijkbaar. Bij een windsnelheid groter dan 32 m/s wordt de scheefstand op het Haringvliet en Hollands Diep ook bepalend voor de waterstand te Willemstad.

Als de afvoer laag is, wordt berging niet ingezet (zelfs niet bij de extreemste stormcondities). Dit komt omdat het inzetpeil van NAP+2,6 m te Willemstad in deze belastingcombinatie niet wordt overschreden. Bij een Rijnafvoer van $Q = 10.000$ m³/s verandert dit, zie Figuur 24. De blauwe lijnen geven de waterstand die ontstaat als de Europoortkering niet wordt gesloten en de berging niet wordt ingezet. De oranje lijnen tonen de waterstand achter een gesloten Europoort-kering en bij inzet van de berging. De stippellijnen tonen de waterstand voor een geopende (blauw) en een gesloten EPK (oranje) als naast het Volkerak-Zoommeer óók de Grevelingen wordt ingezet. Het is logisch dat de blauwe stippellijn onder de doorgetrokken lijn ligt. Als de Europoortkering niet sluit, wordt ook de berging niet ingezet. In de situatie getoond in Figuur 24 wordt de berging wel ingezet, vanaf een zeewaterstand van NAP+4 m.

⁹ Rond 2023



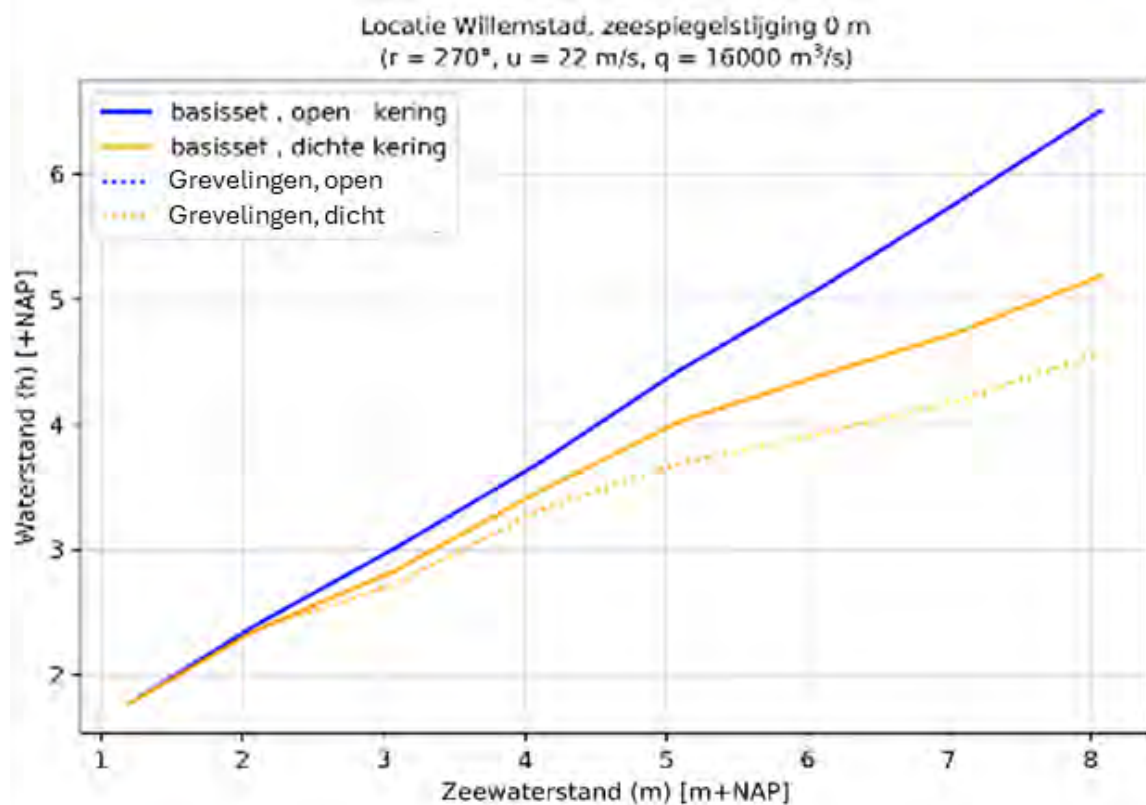
Figuur 24: Effect waterberging Grevelingen op de waterstand bij Rak Noord bij $Q = 10.000$ m³/s bij Lobith.

Bij een storm van NAP+4 m i.c.m. een Rijnaafvoer van 10.000 m³/s is het deltabekken van Nieuwe Maas, Oude Maas en Haringvliet zodanig gevuld dat het inzetpeil van de waterberging wordt overschreden en tot inzet wordt overgegaan. De hoeveelheid water die dan naar de berging stroomt, is ten opzichte van de Rijnaafvoer dusdanig groot dat een daling van de waterstand ontstaat van ongeveer 25 cm door de inzet van de Grevelingen (verschil tussen doorgetrokken oranje en gestippelde oranje lijn). Bij een sterkere storm (hogere zeewaterstand) blijft de Europoortkering langer dicht en neemt het effect van aanvullende berging op de Grevelingen toe tot een verlaging van zo'n 40 cm bij een zeewaterstand van NAP+8 m.

Kortom, de situaties waarbij berging verlaging geeft, zijn situaties met een verhoogde rivierafvoer (10.000 – 13.000 m³/s) i.c.m. een storm op zee waardoor de Europoortkering sluit.

Bij een Rijnaafvoer van $Q = 16.000$ m³/s wordt het beeld weer anders, zie Figuur 25. De berging wordt dan al ingezet bij een zeewaterstand van NAP+3 m, omdat dan het inzetpeil wordt gehaald. De hogere rivierafvoer zorgt er voor dat na het sluiten van de Europoortkering het inzetpeil eerder wordt overschreden. Bij een zeewaterstand van NAP+5 m is de waterstand in de afgesloten situatie bijna 1 m hoger ten opzichte van een afvoer van 10.000 m³/s. De hoeveelheid water die naar de berging stroomt is ten opzichte van de grotere Rijnaafvoer kleiner, waardoor de daling door de aanvullende inzet van de Grevelingen ongeveer de helft kleiner is. Bij hogere zeewaterstanden (NAP+5 m t/m NAP+8 m) neemt de daling door de inzet van Grevelingen toe, omdat de Europoortkering langer gesloten blijft.

Kortom, bij hogere rivierafvoeren in combinatie met een beperkte storm is de effectiviteit van de aanvullende berging kleiner dan bij hogere rivierafvoeren in combinatie met extreme stormen.



Figuur 25: Effect waterberging Grevelingen op de waterstand bij Rak Noord bij $Q = 16.000$ m³/s bij Lobith.

Rondom Dordrecht onderscheiden we drie categorieën belastingcombinaties die bijdragen aan de overstromingskans bij de norm:

- Zeewaterstanden tussen NAP+3 en +4 m in combinatie met een Rijnaafvoer tussen 10.000 en 13.000 m³/s. Dit zijn de situaties waarvoor de extra berging een extra verlaging geeft in de waterstanden;
- Zeewaterstanden kleiner dan NAP+3m in combinatie met een Rijnaafvoer groter dan 13.000 m³/s. Dit zijn situaties waarbij de Europoortkering niet sluit en dus de berging niet wordt ingezet. Er worden dan hoge waterstanden door een hogere rivierafvoer gehaald;
- Zeewaterstanden kleiner dan NAP+4 m met een falende Europoortkering en dus ook geen inzet van de berging. Dit zijn situaties waarbij hoge waterstanden ontstaan, omdat de stormvloedkeringen niet goed functioneren.

Er zijn veel meer gebeurtenissen die kunnen optreden dan de drie hierboven genoemde categorieën. Die gebeurtenissen dragen echter niet of nauwelijks bij aan de overstromingskans bij de normfrequentie te Dordrecht. Een extreme rivierafvoer (>16.000 m³/s) in combinatie met een aanzienlijke storm op de Noordzee levert weliswaar hoge waterstanden bij Dordrecht. De kans van voorkomen van een dergelijke situatie is echter veruit ondergeschikt aan die van de drie hierboven genoemde categorieën.

Wil aanvullende berging goed werken, dan mogen zowel de afvoeren en zeewaterstanden niet te hoog, maar ook niet te laag worden én mogen de stormvloedkeringen niet falen:

- Als de stormvloedkeringen falen, wordt waterberging niet ingezet en veranderen de waterstanden dus niet;
- Als de afvoer te hoog is, neemt ten eerste de relatieve effectiviteit af zoals in Figuur 25. Ten tweede is de kans van voorkomen ontzettend klein. Verlaging van de waterstanden in een

dergelijke situatie draagt dus nauwelijks bij aan het verkleinen van de overstromingskans bij Dordrecht. Hetzelfde geldt ook voor situaties met een extreem hoge zeewaterstand of voor combinaties van beide.

Hoewel in een specifieke belastingsituatie¹⁰ de aanvullende berging een verlaging van enkele decimeters kan opleveren, hoeft dit in andere belastingsituaties, bijvoorbeeld hoge rivierafvoer, zonder storm op zee, juist geen enkele verlaging op te leveren. Al met al gewogen naar de kans van voorkomen zorgt de aanvullende waterberging voor een verlaging van de frequentielijn, maar veel minder dan het effect op de waterstand van een individuele belastingsituatie. Stel dat in 50% van de belastingsituaties een verlaging van 40 cm wordt gerealiseerd en in de andere 50% van de belastingsituaties geen enkele verlaging wordt gevonden. Probabilistisch ("gewogen naar kans van voorkomen") geeft dit een verlaging van 20 cm.

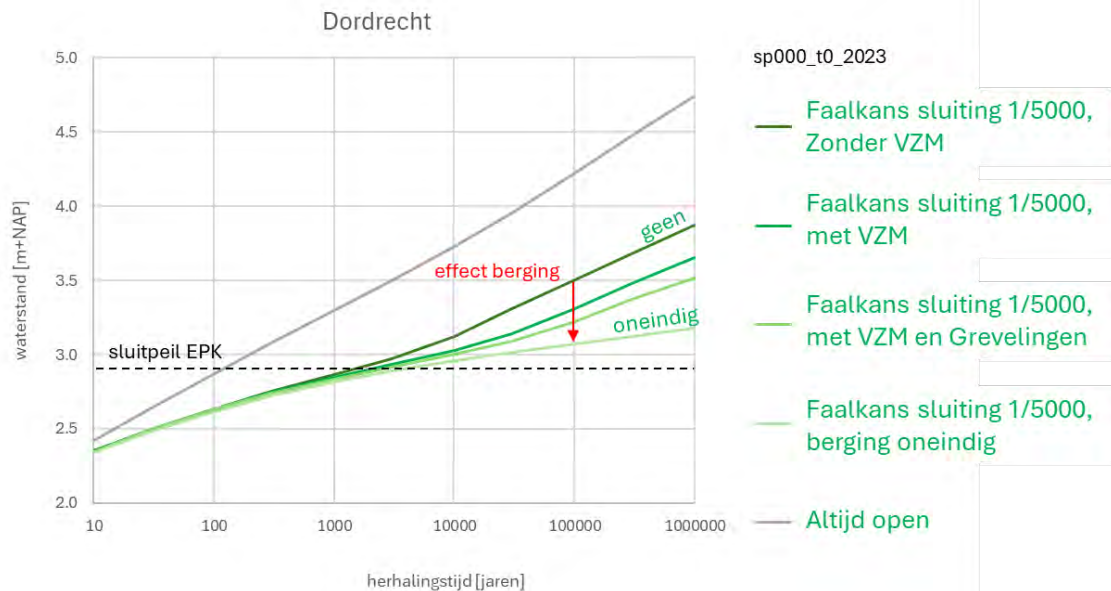
4.2.2 Verkleinde faalkans EPK (1/5000 per sluitvraag)

In Figuur 26 tonen we het resultaat van vijf probabilistische berekeningen, waarmee duidelijk wordt welk effect een verbetering van de betrouwbaarheid van de Europoortkering heeft op de effectiviteit van de waterberging.

We zien het volgende:

- De bovenste grijze frequentielijn toont wederom de waterstand die ontstaat als de Europoortkering nooit sluit;
- Het verschil tussen de bovenste grijze frequentielijn en de bovenste donkergroene lijn is de daling van de waterstand bij Dordrecht die ontstaat als de Europoortkering sluit met een verbeterde betrouwbaarheid: een faalkans van 1 maal per 5.000 sluitingen. We hanteren hier een faalkans die in de studie naar de Hollandkering is gehanteerd als stip op de horizon (Botterhuis et al., 2023). Bij T10.000 jaar geeft de verbetering van alleen de betrouwbaarheid van het zeefront een daling van de waterstand te Dordrecht met 0,03 m en bij T3.000 jaar met 0,02 m. De bovenste donkergroene lijn ligt iets lager dan de bovenste donkerpaarse lijn van Figuur 23. Voor extremere waterstanden bij grotere herhalingstijden heeft de verbetering van de faalkans een groter effect;
- Met de inzet van de waterberging van het Volkerak-Zoommeer daalt de bovenste groene lijn naar de tweede groene lijn (0,04 m bij T3.000 jaar en 0,10 m bij T10.000 jaar). Ondanks de verbeterde betrouwbaarheid van het zeefront, heeft de inzet van het Volkerak-Zoommeer tot T10.000 jaar nauwelijks een groter effect bij de huidige klimaatcondities;
- De derde lichtgroene lijn is berekend met waterberging op zowel het Volkerak-Zoommeer als op de Grevelingen. Het verschil tussen de tweede en derde lijn toont het effect van aanvullende berging op de Grevelingen. Dit effect is klein en vergelijkbaar met het effect bij huidige Europoortkering, namelijk 0,01m bij T3.000 jaar en 0,02 m bij T10.000 jaar.

¹⁰ Bijvoorbeeld een afvoer van 10.000 m³/s bij Lobith tezamen met een zeewaterstand van NAP+4 m.



Figuur 26: Waterstandfrequentie te Dordrecht in 2023 voor 5 berekeningen: (1) EPK 1/5000 zonder waterberging, (2) EPK 1/5000 plus waterberging VZM, (3) EPK 1/5000 plus waterberging VZM + Grevelingen, (4) EPK 1/5000 plus theoretisch oneindige berging en (5) EPK sluit niet plus waterberging wordt niet ingezet

4.2.3 (Theoretisch) maximaal haalbare waterstandsverlaging

Om te valideren of een verdere vergroting van de beschikbare waterberging effectief is in de strategie "afsluitbaar zeefront" voor de Rijn-Maasmonding, is in Ter Horst et al. (2025) een rekenexperiment uitgevoerd. In het experiment is aangenomen dat de waterstand in de Rijn-Maasmonding na sluiting van de Europoortkering, gelijk is aan de waterstand bij gemiddeld getij. Het verhang van de rivierafvoer en de scheefstand van de windsterkte is aanwezig in de waterstand, maar de toename van de benedenstroomse waterstand doordat de rivierafvoer moet worden geborgen is kunstmatig uit de berekening verwijderd. In het experiment stijgt de waterstand niet, omdat de hoeveelheid berging voor de rivierafvoer oneindig groot is aangenomen.

Het resultaat is weergegeven met de onderste zeer lichtgroene lijn in Figuur 26. De waterstand kan alleen boven het sluitpeil van de Europoortkering uitkomen door:

- de scheefstand als gevolg van extreme windsterkte (> 32 m/s), of;
- de voorspelfout bij een sluiting van de Europoortkering, of;
- het falen van de Europoortkering.

Ten opzichte van de derde groene lijn (waterberging VZM + Grevelingen) is de waterstand in het experiment 0,04 m (bij $T = 10.000$ jaar) en 0,02 m (bij $T = 3.000$ jaar) lager. Bij de huidige klimaatcondities en de beschikbaarheid van een zeer betrouwbaar zeefront is de maximale daling door waterberging 0,16 tot 0,08 m, zie de verticale rode pijl bij $T10.000$ jaar tot $T3.000$ jaar. Door de inzet van het Volkerak-Zoommeer plus de Grevelingen wordt hiervan 75% - 67% gerealiseerd, namelijk 0,12 tot 0,05 m.

4.2.4 Effect bij klimaatverandering

Door klimaatverandering stijgt de zeespiegel en veranderen rivierafvoeren in de toekomst. In Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5 worden de resultaten van twaalf berekeningen gepresenteerd voor de

zichtjaren 2050, 2100 en 2200 van tijdlijn Gematigd van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Rood omkaderd zijn de resultaten van waterberging op het Volkerak-Zoommeer plus Grevelingen in combinatie met de huidige faalkans van de Europoortkering. Naast de hiervoor besproken varianten is aanvullend een analyse met een theoretisch faalkans van 0 voor de Europoortkering toegevoegd. Een verdere verbetering van de betrouwbaarheid van het zeefront levert geen extra effectiviteit van waterberging op de Grevelingen.

In de berekening van de strategieverlengde maatregelen (Ter Horst et al., 2025) is aangenomen dat het streefpeil op het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen niet of nauwelijks wijzigt tot 2200. De waterstand op de meren bij inzet van de waterberging is gelijk aan NAP+0 m. Ter herinnering, de inzet- en sluitpeilen van de waterberging en de Europoortkering veranderen tot en met 2100 niet en na 2100 zijn deze peilen verhoogd met 1,25 m. Als door klimaatverandering de waterstand op het Hollands Diep stijgt, neemt het verval over de Volkerakdam toe. Er zal daardoor in 2050, 2100 en 2200 meer water naar het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen kunnen stromen.

Niet alleen de gezamenlijke inzet van Volkerak-Zoommeer en Grevelingen wordt effectiever, ook de inzet van alleen het Volkerak-Zoommeer wordt effectiever. Aanvullend op de inzet van het Volkerak-Zoommeer kan door maximale waterberging de waterstand te Dordrecht in 2050 met 0,07 tot 0,13 m worden verlaagd. Door inzet van de Grevelingen wordt hiervan orde 30% gerealiseerd (0,02 tot 0,05 m). In 2100 wordt door inzet van de Grevelingen 40% gerealiseerd (0,08 tot 0,12 m). In 2200 is mede door aanpassing van de peilen de inzet van alleen het Volkerak-Zoommeer toegenomen tot een verlaging van de waterstand te Dordrecht met 0,2 tot 0,3 m bij respectievelijk de huidige betrouwbaarheid en een verbeterde betrouwbaarheid van het zeefront. Door inzet van het Volkerak-Zoommeer plus de Grevelingen wordt aanvullend een daling van 0,08 m bij de huidige betrouwbaarheid en 0,18 m bij een verbeterde betrouwbaarheid gerealiseerd.

Het effect van waterberging in de Grevelingen op waterstanden bij Dordrecht is in 2023 bij norm ongeveer 2 cm. In vergelijking met alleen inzet Volkerak-Zoommeer is dat 20% extra verlaging van de waterstand. Bij een zeespiegelstijging +1m geeft inzet van de Grevelingen 50% extra verlaging waterstand, namelijk ongeveer 10 cm.

Tabel 3: Berekende waterstanden te Dordrecht in 2050 voor 12 berekeningen – rood omkaderd inzet Grevelingen bij huidige faalkans EPK: vier varianten van de waterberging (zonder VZM, basis, VZM+Grevelingen en theoretisch maximaal) gecombineerd met drie varianten van de faalkans (huidig 1/100, verbeterd 1/5000 en theoretisch maximaal faalkans 0).

zss+0,5m

faalkans = 0

faalkans = 1/5000

faalkans = 1/100

Dordrecht	zonder VZM - max	basis - max	met GrvIn - max	maximaal - max	zonder VZM - vkl	basis - vkl	met GrvIn - vkl	maximaal - vkl	zonder VZM - org	basis - org	met GrvIn - org	maximaal - org
10	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5	2.5	2.4
30	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
100	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
300	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.8	2.8	2.8
1000	3.0	2.9	2.9	2.9	3.0	2.9	2.9	2.9	3.0	2.9	2.9	2.9
3000	3.1	3.0	3.0	3.0	3.1	3.0	3.0	3.0	3.1	3.0	3.0	3.0
10000	3.3	3.1	3.1	3.0	3.3	3.1	3.1	3.0	3.3	3.2	3.2	3.1
30000	3.5	3.3	3.2	3.1	3.5	3.3	3.2	3.1	3.5	3.4	3.3	3.2
100000	3.7	3.5	3.4	3.1	3.7	3.5	3.4	3.1	3.7	3.6	3.5	3.4
300000	3.9	3.6	3.5	3.2	3.9	3.6	3.5	3.2	3.9	3.7	3.7	3.6
1000000	4.1	3.8	3.6	3.2	4.1	3.8	3.6	3.2	4.1	3.9	3.9	3.9

Tabel 4: Berekende waterstanden te Dordrecht in 2100 voor 12 berekeningen – rood omkaderd inzet Grevelingen bij huidige faalkans EPK: vier varianten van de waterberging (zonder VZM, basis, VZM+Grevelingen en theoretisch maximaal) gecombineerd met drie varianten van de faalkans (huidig 1/100, verbeterd 1/5000 en theoretisch maximaal faalkans 0).

zss+1,0m: faalkans = 0 faalkans = 1/5000 faalkans = 1/100

Dordrecht	zonder VZM - max	basis - max	met Grvln - max	maximaal - max	zonder VZM - vkl	basis - vkl	met Grvln - vkl	maximaal - vkl	zonder VZM - org	basis - org	met Grvln - org	maximaal - org
10	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
30	2.9	2.8	2.8	2.8	2.9	2.8	2.8	2.8	2.9	2.8	2.8	2.8
100	3.0	2.9	2.9	2.9	3.0	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	2.9	2.9
300	3.1	3.0	3.0	3.0	3.1	3.0	3.0	3.0	3.2	3.1	3.0	3.0
1000	3.3	3.2	3.1	3.0	3.3	3.2	3.1	3.0	3.3	3.2	3.2	3.1
3000	3.5	3.3	3.2	3.1	3.5	3.3	3.2	3.1	3.5	3.4	3.3	3.2
10000	3.7	3.5	3.4	3.1	3.7	3.5	3.4	3.1	3.7	3.6	3.5	3.4
30000	3.9	3.7	3.5	3.2	3.9	3.7	3.5	3.2	3.9	3.8	3.7	3.6
100000	4.1	3.9	3.7	3.2	4.1	3.9	3.7	3.2	4.1	4.0	3.9	3.8
300000	4.3	4.0	3.8	3.2	4.3	4.0	3.8	3.3	4.3	4.1	4.1	4.0
1000000	4.5	4.2	3.9	3.3	4.5	4.2	4.0	3.5	4.5	4.4	4.3	4.3

Tabel 5: Berekende waterstanden te Dordrecht in 2200 voor 12 berekeningen – rood omkaderd inzet Grevelingen bij huidige faalkans EPK: vier varianten van de waterberging (zonder VZM, basis, VZM+Grevelingen en theoretisch maximaal) gecombineerd met drie varianten van de faalkans (huidig 1/100, verbeterd 1/5000 en theoretisch maximaal faalkans 0).

zss+2,0m: faalkans = 0 faalkans = 1/5000 faalkans = 1/100

Dordrecht	zonder VZM - max	basis - max	met Grvln - max	maximaal - max	zonder VZM - vkl	basis - vkl	met Grvln - vkl	maximaal - vkl	zonder VZM - org	basis - org	met Grvln - org	maximaal - org
10	3.9	3.9	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8
30	4.0	4.0	3.9	3.9	4.0	4.0	3.9	3.9	4.0	4.0	4.0	3.9
100	4.1	4.1	4.0	4.0	4.1	4.1	4.0	4.0	4.1	4.1	4.1	4.1
300	4.2	4.1	4.1	4.1	4.2	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.1	4.1
1000	4.4	4.2	4.2	4.2	4.4	4.2	4.2	4.2	4.5	4.3	4.2	4.2
3000	4.6	4.3	4.3	4.3	4.6	4.3	4.3	4.3	4.7	4.5	4.4	4.4
10000	4.8	4.5	4.3	4.3	4.8	4.5	4.3	4.3	4.9	4.7	4.6	4.6
30000	5.0	4.7	4.4	4.4	5.0	4.7	4.4	4.4	5.1	4.9	4.9	4.9
100000	5.3	4.9	4.5	4.4	5.3	4.9	4.5	4.4	5.4	5.2	5.1	5.1
300000	5.5	5.1	4.6	4.5	5.5	5.1	4.7	4.5	5.6	5.4	5.4	5.4
1000000	5.8	5.3	4.7	4.5	5.8	5.3	4.9	4.8	5.9	5.7	5.7	5.7

4.3 Toename waterstand op de Grevelingen en Volkerak-Zoommeer

In deze paragraaf beantwoorden we de tweede onderzoeksvraag: Wat is de toename van de waterstanden op het Volkerak-Zoommeer en Grevelingen als gevolg van de waterberging? In Ter Horst et al. (2025) zijn de waterstanden op beide meren in een aanvullende analyse onderzocht. We benadrukken dat het hier om een eenvoudige analyse gaat en dat we met de destijds beschikbare informatie zo goed mogelijk de waterstanden van de Grevelingen en het Volkerak-Zoommeer in kaart hebben gebracht. De analyse bevat de volgende stappen:

- Toename van de inzetfrequentie van de waterberging;
- Toename van de waterstand bij inzet;
- Effect op de hydraulische belastingen.

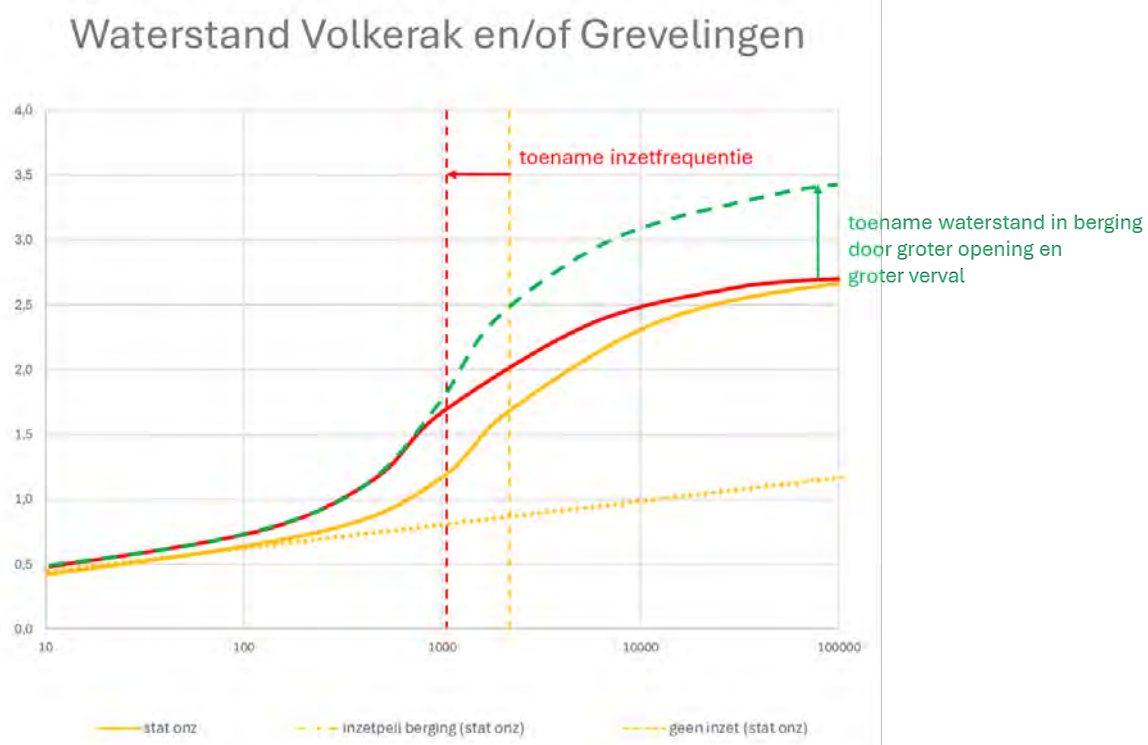
De inzetfrequentie van de waterberging is gelijk gesteld aan de overschrijdingsfrequentie van het inzetpeil bij Willemstad (meetstation Rak Noord). Bij een overschrijding van het inzetpeil in de voorspelling van de waterstand achter een gesloten Europoortkering wordt de waterberging

ingezet. In de standaard hydraulische databases is de resulterende waterstand na inzet van de waterberging weggeschreven. Voor de analyse van de inzetfrequentie gebruiken we berekeningen, waarin de Europoortkering wel wordt gesloten, maar de berging niet beschikbaar is.

Om een inschatting te maken van de toename van de hydraulische belastingen op het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen, is het ook noodzakelijk om de toename van de waterstand na inzet van de waterberging te bepalen. Er zijn geen hydraulische databases met locaties langs de beide meren beschikbaar voor de probabilistische berekeningen. We hebben deze inschatting gemaakt op basis van de hydraulische berekeningen uit Ter Horst (2025). We onderscheiden drie effecten:

- Doordat de opening in de Volkerakdam als maatregel wordt vergroot, kan er bij eenzelfde verval meer water richting de berging stromen. Dit heeft een **verhogend effect** op de maximale waterstand op de meren bij inzet ten opzichte van de referentiesituatie;
- Doordat met de opening in de Grevelingendam het bergend oppervlak aanzienlijk wordt uitgebreid, zal er bij eenzelfde waterstand op het Volkerak-Zoommeer een veel groter volume op de meren zijn geborgen. Dit heeft een **verlagend effect** op de maximale waterstand op de meren bij inzet ten opzichte van de referentiesituatie;
- Door klimaatontwikkeling zal de waterstand op het Hollands Diep toenemen. Daarnaast is aangenomen dat het peilbeheer op het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen ongewijzigd blijft. Gevolg is dat het verval over de Volkerakdam zal toenemen, waardoor meer water richting de berging zal stromen. Dit heeft een **verhogend effect** op de maximale waterstand op de meren bij inzet ten opzichte van de referentiesituatie.

We combineren deze drie effecten met de toename van de inzetfrequentie om de verandering van de hydraulische belastingen op het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen in te schatten. Figuur 27 schetst op welke wijze de frequentielijn van de waterstand op het VZM en/of Grevelingen verandert door toename van de waterstand op de meren na inzet van de berging.



Figuur 27: Schets wijziging waterstand op het Volkerak en/of de Grevelingen door een toename van inzetfrequentie en een toename van de waterstand na inzet.

We bepalen de mate van de verticale verschuiving door op de beschikbare herhalingsstijden de gebeurtenissen te analyseren die het meeste bijdragen in de probabilistische berekening (Hydra-NL). Alhoewel deze locatie niet op de meren gelegen is, is dit wel de best beschikbare indicator voor de maatgevende gebeurtenis op de meren voor elke frequentie.

In de probabilistische berekening van de waterstand te Willemstad (station Rak Noord) hebben enkele stochasten een ander effect op de waterstand. Bijvoorbeeld, falen van de Europoortkering heeft bij Rak Noord een verhogend effect. Op de meren zal bij dezelfde stochastencombinatie een lagere waterstand ontstaan als de Europoortkering faalt. Immers, dan wordt de waterberging niet ingezet.

Er is een interpretatie van de gegevens gemaakt. Per frequentie zijn in het illustratiepunt voor de gesloten situatie van de Europoortkering¹¹ de rivieraftoer en de zeewaterstand bepaald door per windrichting het gewogen gemiddelde te bepalen. Met deze combinatie is de waterstand op de meren uit de hydraulische resultaten opgezocht en gekoppeld aan de frequentie. Op deze wijze kunnen we voor de gevraagde tijdlijn een frequentielijn van de waterstand op de meren bepalen. In Tabel 6 en Tabel 7 staan de resultaten van de uitgevoerde analyse voor de huidige situatie, de toekomstige situatie met alleen de inzet van het Volkerak-Zoommeer en de toekomstige situatie met inzet van Volkerak-Zoommeer+ Grevelingen voor zichtjaren 2050, 2100 en 2200.

Door waterberging nemen de waterstanden op Grevelingen met orde grootte 0,75 tot 1,5 m toe in 2100. Op het Volkerak-Zoommeer blijven de waterstanden ongeveer gelijk of nemen beperkt toe.

Tabel 6: Geschatte gemiddelde waterstand op het Volkerak-Zoommeer bij drie berekeningen voor tijdlijn Gematigd: referentie (huidig klimaat + huidige afmetingen 570 m²), alleen inzet Volkerak-Zoommeer (toekomstig klimaat + huidige afmetingen 570 m²) en inzet Volkerak-Zoommeer + Grevelingen 2000 m²).

	referentie				alleen inzet VZM				inzet VZM + Grevelingen			
VKZM	t0_2023	t2_2050	t2_2100	t2_2200	t2_2050	t2_2100	t2_2200		t2_2050	t2_2100	t2_2200	
10	0.5	0.5	0.7	0.7	0.5	0.7	0.7		0.5	0.7	0.7	
30	0.6	0.6	0.9	0.9	0.6	0.9	0.9		0.6	0.9	0.9	
100	0.7	0.8	1.4	1.4	0.8	2.0	3.0		0.8	2.0	3.0	
300	0.8	1.0	2.0	2.0	1.0	2.3	3.3		1.0	2.3	3.3	
1,000	1.2	1.6	2.4	2.4	1.6	2.4	3.4		1.6	2.4	3.4	
3,000	1.9	2.1	2.5	2.5	2.1	2.5	3.7		2.1	2.5	3.7	
10,000	2.3	2.4	2.7	2.7	2.4	2.7	3.7		2.4	2.7	3.7	
30,000	2.5	2.6	2.8	2.8	2.6	2.8	3.8		2.6	2.8	3.8	
100,000	2.6	2.7	3.0	3.0	2.7	3.0	3.9		2.7	3.0	3.9	
300,000	2.8	2.9	3.1	3.1	2.9	3.1	4.1		2.9	3.1	4.1	
1,000,000	2.9	3.0	3.2	3.2	3.0	3.2	4.4		3.0	3.2	4.4	

¹¹ Dan is inzet van de berging mogelijk.

Tabel 7: Geschatte gemiddelde waterstand op de Grevelingen bij drie berekeningen voor tijdlijn Gematigd: referentie (huidig klimaat + huidige afmetingen 570 m²), alleen inzet Volkerak-Zoommeer (toekomstig klimaat + huidige afmetingen 570 m²) en inzet Volkerak-Zoommeer + Grevelingen 2000 m²).

	referentie				alleen inzet VZM				inzet VZM + Grevelingen			
GRVN	t0_2023	t2_2050	t2_2100	t2_2200	t2_2050	t2_2100	t2_2200		t2_2050	t2_2100	t2_2200	
10	0.2	0.2	0.2	0.2	0.22	0.43	0.42		0.22	0.43	0.42	
30	0.2	0.2	0.2	0.2	0.32	0.64	0.63		0.32	0.64	0.63	
100	0.3	0.3	0.3	0.3	0.46	1.33	2.38		0.46	1.33	2.38	
300	0.4	0.4	0.4	0.4	0.73	1.72	2.66		0.73	1.72	2.66	
1,000	0.5	0.5	0.5	0.5	1.32	2.09	2.87		1.32	2.09	2.87	
3,000	0.5	0.5	0.5	0.5	1.83	2.25	3.09		1.83	2.25	3.09	
10,000	0.6	0.6	0.6	0.6	2.13	2.40	3.16		2.13	2.40	3.16	
30,000	0.7	0.7	0.7	0.7	2.28	2.53	3.24		2.28	2.53	3.24	
100,000	0.8	0.8	0.8	0.8	2.43	2.67	3.38		2.43	2.67	3.38	
300,000	0.9	0.9	0.9	0.9	2.56	2.80	3.58		2.56	2.80	3.58	
1,000,000	1.0	1.0	1.0	1.0	2.70	2.94	3.84		2.70	2.94	3.84	

5 Conclusies en discussie

5.1 Conclusies

In dit project zijn kansen en aandachtspunten met betrekking tot het verzoeten van de Grevelingen in kaart gebracht voor het huidige klimaat en voor het klimaat rond 2050 en 2100. Hierbij richten we ons op de volgende onderzoeksvragen:

1. Zoetwaterverdeling: Hoe kan de Grevelingen verzoet worden en zoet worden gehouden? Is er voldoende zoet water beschikbaar in het hoofdwatersysteem voor die verzoeting?
2. Waterkwaliteit: wat zijn de aandachtspunten met betrekking tot blauwalg en andere waterkwaliteitsproblemen gedurende droge tijden bij het verzoeten van een zoutwatermeer?
3. Berging bij hoogwater op de Grevelingen en de Rijnmond: wat is het effect van berging op de waterstanden op de Grevelingen, Volkerak-Zoommeer en de Rijnmond, gegeven het huidige watersysteem, de oprekmogelijkheden daarvan en verschillende in- en uitlaatcapaciteiten?

Verzoeting en watergebruik

Door verzoeting van de Grevelingen ontstaat naar verwachting een gelaagde waterkolom met een zoete bovenlaag tot circa NAP-16 m. De aanvoerdebieten voor initiële verzoeting variëren tussen 25 en 100 m³/s, afhankelijk van de mate van menging. Het meer zal dan verzoeten in 1 à 2 jaar. In de praktijk zal de menging een tussenvorm aannemen. Daarnaast is de inschatting bij volledige menging waarschijnlijk een onderschatting. In die berekening wordt uitgegaan van een gelijkmatige menging in het gehele meer. Mogelijk zijn er delen die moeilijker meedoen met het mengproces, en langdurig na blijven leveren. Ook is het goed mogelijk dat er door stormen uitwisseling plaats gaat vinden tussen het zoute en zoute grensvlak in het meer. Hierdoor zijn er in de praktijk hogere doorspoeldebieten nodig.

Een zoet Grevelingen kan een nieuwe bron van zoet water vormen voor onder meer landbouw op Schouwen-Duiveland, verdampingcompensatie en het tegengaan van verzilting. De geschatte watervraag bij het huidige landgebruik loopt in gemiddelde zomers op tot circa 11.5 m³/s en in droge zomers tot circa 17.5 m³/s voor het huidige klimaat. In de toekomst gaat deze watervraag door klimaatverandering sterk toenemen, waardoor meer zoet water nodig is.

De benodigde aanvoerhoeveelheden zijn beschikbaar in het hoofdwatersysteem gedurende het winterhalfjaar. In droge zomers is structurele aanvoer van zoet water niet mogelijk op basis van de huidige waterverdeling op het hoofdwatersysteem. Als alternatief zou de Grevelingen als zoetwaterbuffer ingezet kunnen worden. Het meer kan dan gevuld worden met zoet water in tijden van wateroverschot voor gebruik in zomerperioden.

Risico op blauwalgvorming

Verzoeting van de Grevelingen brengt risico's met zich mee voor waterkwaliteit, met name vanwege potentieel blauwalgrijke condities. In het aangrenzende Volkerak-Zoommeer komt sinds de verzoeting in de zomer vrijwel jaarlijks blauwalggroei voor. Dat komt omdat (1) het aanvoerwater hoge nutriëntenconcentraties bevat, (2) relatief traag stromend water in het meer en (3) hoge watertemperaturen in de zomer. Naar verwachting zal een zoet Grevelingen ook deze condities kennen, waardoor er ook een risico op blauwalgvorming in de Grevelingen is.

In een zoet Grevelingen zijn vooral de delen aan de noordrand gevoelig vanwege hun lange verblijftijden. Van de maatregelen beschikbaar om blauwalgenvorming te mitigeren verdienen in ieder geval het verlagen van de nutriëntenlast van het aanvoerwater en het verlagen van de nutriëntenlast in het meer zelf nadere uitwerking. Verdere praktijkproeven en onderzoek naar nutriëntreductie zijn nodig om het risico beheersbaar te maken.

Baten hoogwaterveiligheid

Gegeven de uitbreiding van de spuicapaciteit in de Volkerakdam en een nieuwe opening in de Grevelingen zijn de effecten van berging in de Grevelingen op de waterstandsverlaging in de Rijn-Maasmonding bepaald. Bij de huidige betrouwbaarheid van de Europoortkering (faalkans 1/100) is de extra bijdrage van waterberging in de Grevelingen aan waterstandverlaging bij Dordrecht beperkt (0,01 tot 0,02 m) voor zichtjaar 2023 ten opzichte van de situatie met alleen de inzet van Volkerak-Zoommeer als waterberging.

In de toekomst kan de effectiviteit van waterberging toenemen (klimaatscenario's 2050–2200), vooral door toename van rivierafvoeren en doordat er meer water naar het Volkerak-Zoommeer kan stromen door toename van het verval. Bij een verbeterde betrouwbaarheid van de Europoortkering (faalkans 1/5.000) kan in 2200 de inzet van het Volkerak-Zoommeer en Grevelingen samen een extra daling tot 0,18 m bij Dordrecht realiseren ten opzichte van alleen de inzet van VZM.

De waterstanden op de Grevelingen zullen tot 2100 stijgen met orde grootte 0,75 m tot 1,5 m stijgen door inzet van de berging. Op het Volkerak-Zoommeer blijven de waterstanden dan ongeveer gelijk of nemen beperkt toe.

5.2 Discussie en aanbevelingen

Het verzoeten van de Grevelingen is een ingrijpend project met een groot aantal afhankelijkheden. De potentie om bij te dragen aan regionale zoetwatervoorziening is significant, maar gaat gepaard met substantiële technische en beheersmatige uitdagingen. Daarnaast speelt ecologie een grote rol. Het risico op blauwalgenbloei vormt hierin een belangrijk knelpunt. Vervolgonderzoek is daarom nodig op in ieder geval de volgende punten:

Hydraulische modellering van menging en zoutverdeling in het meer

Het benodigd aanvoerdebiet voor initiële verzoeting is in dit rapport ingeschat aan de hand van vuistregels. Voor verdere uitwerking is het noodzakelijk om in meer detail de mate van menging te beschouwen. Dat kan door het uitvoeren van hydraulische berekeningen. Daarbij dient in ieder geval aandacht besteed te worden aan (1) hoe het zoete water van de Flakkeese spuisluis naar de Brouwerssluis stroomt, (2) in hoeverre alle delen van het meer bediend worden door de zoetweraanvoer en (3) hoe het zoute water door het zoete water via de selectieve onttrekking naar de Noordzee wordt afgevoerd.

Effectiviteit van nutriëntreductie voor vermindering van blauwalgengroei

De waterkwaliteit vormt een belangrijk aandachtspunt. Er is een risico op blauwalgengroei in de Grevelingen. Op het moment is het niet duidelijk wat een juiste mitigatiestrategie is. Op basis van het literatuuronderzoek in dit rapport lijkt inzet op nutriëntenreductie een mogelijke strategie. Vervolgonderzoek zal moeten leiden tot inzicht in de effectiviteit van deze strategie.

Operationele strategieën voor aanvoer van zoet water en buffering

Er zijn meerdere mogelijkheden om het operationeel beheer van een zoet Grevelingen op te zetten. Daarbij moeten keuzes gemaakt worden in aanvoer van zoet water vanuit het Volkerak-Zoommeer en Hollands Diep in zomerperioden of juist gebruik maken van de reservoirfunctie door zoet water te bufferen in tijden van wateroverschot. Het verdient aanbeveling om operationele strategieën te verkennen voor het beheer in zowel droge als natte perioden. Daarmee wordt inzicht verkregen in het meest optimale operationele beheer van een zoet Grevelingen in combinatie met de huidige beheerpraktijk van het Volkerak-Zoommeer.

Beschouwing impact natuur en ecologie

In dit project is de impact op de aspecten natuur en ecologie buiten beschouwing gehouden. De impact van een zoet Grevelingen op deze aspecten dient uitgewerkt te worden in vervolgonderzoek.

6 Referenties

Provincie Zeeland (2021) Zeeuws Deltaplan Zoet Water.

Botterhuis, T. (2013). Nader onderzoek Extra waterberging Zuidwestelijke Delta: MHW- en HBN-berekeningen (incl. aanvullende berekeningen). Ton Botterhuis. In opdracht van Rijkswaterstaat, HKV rapport PR2450.10, januari 2013.

Botterhuis, T., Knops, T., Zethof, M., Stijnen, J. en Kind, J. (2023). QuickScan tweede stormvloedkering, Systeemanalyse Rijnmond-Drechtsteden t.b.v. een tweede stormvloedkering. In opdracht van Min. I&W, HKV rapport PR4892.10,

De Carvalho Bueno, R. (2019) Wind-induced internal waves in closed basins: a laboratory experiment and field study. Dissertation. Universidade Federal do Paraná

Deltares (2008) Verkenning van de waterkwaliteit en ecologische toestand bij een open verbinding tussen het Grevelingenmeer en een (zout) Volkerak-Zoommeer.

Deltares (2014) Deltafact Zoutindringing.

Deltares (2018) Data-analyse en modelvalidatie van het Volkerak-Zoommeer-ecosysteem.

Deltares (2021). Blauwalgen in het ecosysteem van het Volkerak-Zoommeer.

Deltares (2022) Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II: Grondwaterverzilting en watervraag bij een stijgende zeespiegel

Deltares (2023) Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse.

Deltares (2025). Zoetwaterbeschikbaarheid in de Rijn-Maasmonding in een warmer klimaat: integrale verkenning van bouwstenen om zoutindringing te beperken.

HKV (2023) Kennisprogramma Zeespiegelstijging spoor II - Systeemanalyse waterveiligheid; Deelrapport Rijn-Maasmonding en Rivierengebied. PR4682.10

HKV (2024) Kennisprogramma Zeespiegelstijging systeemverkenningen: systeemanalyses zoetwater regio Rijn-Maasmonding

HKV (2025) Zoetwaterbeschikbaarheid Waterschap Hollandse Delta. PR5189.10

Horvat & Partners (2025) Technische haalbaarheid en kosten Vitaal Zoet Grevelingen. 24052-R-001.

- Jansen, F. A., Uijlenhoet, R., Jacobs, C. M. J., and Teuling, A. J.** (2022) Evaporation from a large lowland reservoir – observed dynamics and drivers during a warm summer, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 26, 2875–2898, <https://doi.org/10.5194/hess-26-2875-2022>.
- KNMI** (2023) KNMI National Climate Scenarios 2023 for the Netherlands Scientific report; WR-23-02.
- MER** (2012) Milieueffectrapportage waterkwaliteit Volkerak-Zoommeer
- Mishra, S., en Mishra, D.R.** (2012) Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sensing of Environment*. Volume 117. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.016>.
- Paerl, HW** (2014) Mitigating harmful cyanobacterial blooms in a human- and climatically-impacted world. *Life* 4: 988-1012.
- Paerl, HW** (2018) Mitigating toxic planktonic cyanobacterial blooms in aquatic ecosystems facing increasing anthropogenic and climatic pressures. *Toxins* 10, 76.
- Phoslock Europe** (n.d.). *Case studies*. Beschikbaar via: <https://www.phoslock.eu/nl/case-studies> (geraadpleegd op 12 mei 2025).
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM** (2024) Landbouwpraktijk en waterkwaliteit in Nederland; toestand (2020-2023) en trend (1992-2023).
- Rijkswaterstaat** (2006) Flakkeese Spuisluis in ere hersteld: studie naar de effecten van de ingebruikname van de Flakkeese Spuisluis op het Grevelingenmeer.
- Rijkswaterstaat** (2012) Ontwerpbesluit tot wijziging van het peilbesluit Volkerak-Zoommeer.
- Rijkswaterstaat** (2023) Kiezen voor systeemherstel? Eindrapport Taskforce Getij Grevelingen.
- Rijkswaterstaat Zee en Delta, Waterschap Brabantse Delta, Waterschap Hollandse Delta, Waterschap Scheldestromen, Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid en Rijkswaterstaat Zuid Nederland.** (2016) Waterakkoord Volkerak-Zoommeer.
- RIVM** (2020) Blauwalgenprotocol 2020. RIVM rapport 2020-0107.
- Verspagen, J.M.H., Boers, P., Laanbroek, H.L. en J. Huisman.** (2005) Doorspoelen of opzouten? Bestrijding van blauwalgen in het Volkerak-Zoommeer.
- STOWA** (2022) Handreiking gebiedsgerichte monitoring nutriëntenverliezen vanuit de landbouw.
- Termes, P., Slootjes, N. en Van den Berg, T.** (2010). Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta, Achtergrond-rapport Hydraulica, DHV – HKV rapport pr1823
- Van Hoorn, I. en Visser, S.** (2012) Zoetwater Rapportage 2012. Op weg naar een duurzame zoetwatervoorziening in de Zuidwestelijke Delta.

De Waterwerkers (2025) Verkenning kosten en baten Vitaal Zoet Grevelingen, fase 1.

Wetsteijn, L. P. M. J. (2011). Grevelingenmeer: meer kwetsbaar? Lelystad: Rijkswaterstaat Waterdienst.

Wijsman, J., Van der Pool, J., Breunese, S., Cornelisse, S., Van der Ende, D. en Suykerbuyk, W. (2024) T0-monitoring effecten Innovatieve Zoet-Zout-Scheiding Krammersluizen. Wageningen: Wageningen Marine Research.

Wolters, H.A., Van den Born, G.J., Dammers, E. en Reinhard, S. (2018) Deltascenario's voor de 21^e eeuw, actualisering 2017. Deltares: Utrecht.

Witteveen+Bos (2012) MIRT Verkenning Grevelingen: milieueffectrapport

Wolters, H.A., Van den Born, G.J., Dammers, E. en Reinhard, S. (2018) Deltascenario's voor de 21^e eeuw, actualisering 2017. Deltares: Utrecht.



HKV lijn in water BV

Locatie Lelystad

Botter 11-29
8232 JN Lelystad

Locatie Delft

Informaticalaan 8
2628 ZD Delft

Locatie Amersfoort

Berkenweg 7
3818 LA Amersfoort

0320 294242
info@hkv.nl
www.hkv.nl