

Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II

Systemanalyses zoetwater bovenregionale waterverdeling

Colofon

Deze publicatie maakt deel uit van het **Kennisprogramma Zeespiegelstijging**, een initiatief van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en de deltacommissaris. Het programma levert kennis op over de gevolgen van zeespiegelstijging en hoe Nederland daarmee kan omgaan. Deze kennis wordt gebruikt bij de herijking van het Deltaprogramma in 2026.

Meer informatie over het kennisprogramma en een overzicht van alle publicaties staat op kennisprogrammazeespiegelstijging.nl.

- Opsteller: *Arcadis / Hydrologic*
- Auteurs: *Maarten Spijker, Meike Coonen, Jip Grootveld en Michiel van Reen*
- Geschreven in opdracht van *Rijkswaterstaat WVL* voor het Kennisprogramma Zeespiegelstijging
- Januari, 2023.

Systemeanalyses zoetwater bovenregionale waterverdeling

20 januari 2023

**Kennisprogramma
Zeespiegelstijging**



Samenvatting	1
1 Inleiding	4
1.1 Aanleiding	4
1.2 Doel en scope	4
1.3 Modelleerstrategie	5
1.4 Leeswijzer	5
1.5 Definities en afkortingen	6
2 Het systeem	8
2.1 Inleiding.....	8
2.2 De huidige beheerstrategie	8
2.3 Probleemanalyse zeespiegelstijging.....	9
3 Methodiek	13
3.1 Modelleerstrategie	13
3.2 Bovenregionale waterverdelingstool	15
3.3 Clustering variabelen	18
4 Resultaten.....	21
4.1 Inleiding.....	21
4.2 Verhaallijn stijgende zeespiegel	21
4.3 Verhaallijn dalende Rijnafvoer.....	26
4.4 Zoetwaterperformance matrix.....	28
4.4.1 Handelingsperspectief.....	31
4.4.2 Bovenregionale scharnierpunten	32
5 Bevindingen	35
6 Discussie.....	37
7 Referenties.....	40
Bijlage A: methodiek - uitgangspunten en tabellen	41
Bijlage B: resultaten - overige verhaallijnen.....	47
Verhaallijn Toenemende watervraag	47
Verhaallijn meer debiet door de Haringvlietsluizen	49



Samenvatting

Samenvatting

Onderzoeksdoel

Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KP ZSS) ontwikkelt kennis om Nederland voor te bereiden op zeespiegelstijging tot 5 m. Deze studie is onderdeel van 'Spoor 2 – Zoetwater' waarin de houdbaarheid en oprekbaarheid van vier strategische zoetwaterbuffers en -zones wordt onderzocht door middel van een modelstudie gericht op de verziltingsproblematiek. De resultaten voor deze vier strategische zoetwaterbuffers zijn gerapporteerd in vier aparte rapporten.

Omdat de mate van verzilting in de zoetwaterbuffers onder andere afhangt van de waterbeschikbaarheid en waterverdelingskeuzes in het hoofdwatersysteem (HWS), is tevens een bovenregionale analyse uitgevoerd. Deze richt zich primair op de waterstaatkundige effecten van zeespiegelstijging op bovenregionaal niveau, waarbij de verandering in het totale watertekort centraal staat. Dit rapport bevat de resultaten van deze analyse.

Probleemanalyse en aanpak

Zeespiegelstijging leidt tot extra verziltingsdruk op de (strategische) zoetwaterbuffers en -zones in het IJsselmeer, Volkerakzoommeer, Amsterdam-Rijnkanaal en de Rijnmaasmonding. Hierdoor is naar verwachting meer zoetwater nodig is om zoutindringing tegen te gaan. Naast zeespiegelstijging wordt de strategie Klimaatbestendige Zoetwatervoorziening vanuit het Hoofdwatersysteem (KZH) op de langere termijn op de proef gesteld door klimaatverandering, via toename van de watervraag door verdamping, meer scheepvaart en langere periodes met lagere rivierafvoer. Uit de combinatie van zeespiegelstijging en klimaatverandering volgt de crux van dit vraagstuk: hoeveel (minder) rivierwater is er beschikbaar voor de landelijke zoetwatervoorziening; hoeveel (meer water) daarvan is nodig voor het zoet houden van onze strategische buffers; en welke watervraag (tbv landbouw, drinkwater, industrie, etc.) kan vervolgens (nog) vanuit het HWS worden bediend?

In de bovenregionale analyse zijn de regionale effecten tot een landelijk beeld geïntegreerd. Hiervoor zijn de waterstaatkundige effecten van zeespiegelstijging op de bovenregionale waterverdeling, in combinatie met verschillende rivierafvoeren en watervraagscenario's, modelmatig met elkaar in verband te brengen. Dit is gedaan met behulp van een ontwikkelde bovenregionale waterverdelingstool, waarin de uitkomsten van de studies van de vier regio's als input gelden. Via de tool is inzichtelijk gemaakt wat de behoeftes en knelpunten in de vier regio's zijn, hoe deze zich tot elkaar verhouden en in de regionale watervraag kan worden voorzien zonder consequenties voor een andere regio.

Voor de vier regio's zijn duizenden berekeningen uitgevoerd om zeer veel verschillende combinaties van omstandigheden te exploreren. Hieruit komen inzichten over de mate van (fysische) houdbaarheid van de zoetwaterbuffers en -zones. Om in de bovenregionale analyse niet met duizenden scenario's te hoeven rekenen, zijn de variabelen (zeespiegelstijging, watervraag, surplus en rivierafvoer) geclusterd in een overzichtelijk aantal klassen zodanig dat deze de assen van het speelveld voldoende representeren. De in de tool aangehouden prioritering en gehanteerde uitgangspunten m.b.t. de waterverdeling zijn expliciet vastgelegd.

Uitkomsten

Dit onderzoek is een eerste stap in het verkrijgen van inzicht in de potentiële impact van zeespiegelstijging op de bovenregionale zoetwaterstrategie. Verschillende aspecten van het onderzoek vragen verfijning dan wel verdieping, tevens resteren er een aantal op te vullen kennisleemtes waarvan het minimale benodigde Nieuwe Waterweg debiet een bepalende is voor instandhouding van de zoetwaterbuffers in de Rijn-Maasmonding.

- Zeespiegelstijging vraagt meer water voor verziltingsbestrijding, zowel in het hoofdwatersysteem als de regionale watersystemen. Deze extra zoetwateraanvraag voor verziltingsbestrijding maakt de landelijke zoetwatervoorziening in principe kwetsbaarder, met name wanneer deze hogere wateraanvraag optreedt in perioden met -eveneens met klimaatverandering samenhangende- hogere verdamping en langdurigere lage rivierafvoer.
- Voor een aantal zoetwaterbuffers en -zones, wordt bij een stijgende zeespiegel de wateraanvraag voor watergebruik en verziltingsbestrijding hoger dan de capaciteit van de kunstwerken die wateraanvoer sturen. Dit geldt zowel voor de aanvoer naar het IJsselmeer als de doorvoercapaciteit naar het Amsterdam-Rijnkanaal.
- Bij ongewijzigd beleid wordt uiteindelijk het punt bereikt dat onvoldoende rivierwater beschikbaar is voor alle watervragers; een te groot deel van het schaarser wordende rivierwater is dan nodig voor verziltingsbestrijding en een ander deel verdampt. De dilemma's tussen regio's (scharnierpunten) zullen zich dan frequenter voor doen, waarbij het niet langer mogelijk is om alle regio's vanuit het hoofdwatersysteem optimaal te bedienen.
- Hoewel zeespiegelstijging geleidelijk meer water voor verziltingsbestrijding vraagt, zal de KZH-strategie waterstaatkundig niet direct falen als gevolg van zeespiegelstijging. Zonder forse toename van wateraanvraag en een efficiëntere verziltingsbestrijding kan het merendeel van de wateraanvraag -behoudens het IJsselmeer- aan het hoofdwatersysteem in ieder geval tot aan lage Rijnafvoeren van 600 m³/s worden bediend.
- De houdbaarheid van de KZH-strategie kan verder worden vergroot door de efficiëntie van de verziltingsbestrijding te verbeteren, tijdig gerichte ingrepen bij kunstwerken te treffen en de totale wateraanvraagtoename te beperken.
- De robuustheid van het zoetwaternetwerk kan (op termijn) gericht worden versterkt door: (1) het creëren van een extra aanvoerroute naar het IJsselmeer (2) het uitbreiden van de Amsterdam-Rijnkanaal doorvoercapaciteit bij de Irene- en/of Bernhardsluizen (3) het uitbreiden van de regionale aanvoerroutes vanuit Amsterdam-Rijnkanaal en Lek naar de zoetwaterzone Hollandsche IJssel.



1

Inleiding

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KP ZSS) ontwikkelt kennis om Nederland voor te bereiden op zeespiegelstijging tot 5 m. Spoor 2, 'Systeemverkenningen', binnen het KP ZSS focust zich op de houdbaarheid en oprekbaarheid van de voorkeurstrategieën voor 1) Zandige Kust, 2) Waterveiligheid en 3) Zoet water (verziltingsproblematiek). Deze studie is onderdeel van 'Spoor 2 – Zoet water'. Voor vier strategische gebieden met zoetwaterbuffers en -zones verbonden aan de Klimaatbestendige Zoetwatervoorziening Hoofdwatersysteem en vatbaar voor verzilting is de houdbaarheid en oprekbaarheid onderzocht door middel van een modelstudie. Daarnaast is ook de waterverdeling van het bovenregionale systeem beschouwd:

1. Volkerak-Zoommeer (VZM), (Arcadis/Hydrologic, 2023a)
2. Rijn-Maasmonding (RMM), (Arcadis/Hydrologic, 2023b)
3. Amsterdam-Rijnkanaal en het Noordzeekanaal (ARK-NZK), (Arcadis/Hydrologic, 2022c) IJsselmeer-Markermeer (IJM), (Arcadis/Hydrologic, 2022d)
4. Het bovenregionaal waterverdelingssysteem (BRWVS), (Arcadis/Hydrologic, 2022e)
= voorliggend rapport

Het voorliggende rapport beschrijft de modelstudie en de resultaten van het bovenregionaal waterverdelingssysteem.

1.2 Doel en scope

Het doel van deze rapportage is het vergroten van inzicht in de mate van houdbaarheid van de voorkeurstrategie ten aanzien van zoet water op bovenregionaal niveau onder extreme zeespiegelstijging (3 tot 5 meter) en in de wijze waarop die houdbaarheid eventueel is te vergroten.

"Tot welke zeespiegelstijging blijven de strategische zoetwaterbuffers én het waternetwerk functioneren?" De Klimaatbestendige Zoetwatervoorziening Hoofdwatersysteem (KZH) bestaat uit een netwerk van strategische zoetwaterbuffers /-zones (ZWB). De zeespiegelstijging vergroot de verziltingsdruk op deze ZWB's. Met als mogelijke gevolg dat een ZWB niet meer houdbaar is wanneer a) de benodigde hoeveelheid zoet water voor het bedienen van de watervraag aan de buffer en/of b) het in stand houden van de buffer door voldoende tegendruk/surplus tegen de toegenomen zoutindringing niet meer mogelijk is. Dit ontstaat grofweg door (een combinatie van):

- onvoldoende hoeveelheid rivierwater beschikbaar om aan alle buffers te leveren;
- onvoldoende mogelijkheid om via het huidige netwerk voldoende rivierwater naar de buffer(s) aan te voeren;
- een toename van de watervraag.

Deze studie richt zich enkel op de waterstaatkundige effecten van zeespiegelstijging op bovenregionaal niveau, waarbij de verandering in het totale watertekort centraal staat. De bovenregionale analyse bouwt voort op de resultaten (modellering, uitgangspunten, aannames, etc.) van de regionale analyses naar de impact van zeespiegelstijging op de zoetwatervoorziening en is dus geen op zichzelf staande analyse (Figuur 1). Deze studie heeft nadrukkelijk niet tot doel recente droogtejaren als 2018 of 2022 exact na te bootsen. Tevens vallen aspecten als effectbepaling, varianten-/maatregelenstudie, kosten-batenanalyse, weging/waardering en het bepalen van herhalingstijden (risico analyse) buiten de scope van deze opdracht.

1.3 Modellerstrategie

De houdbaarheid en oprekbaarheid van de vier benedenstroomse systemen is onderzocht door modelmatig de verschillende vrijheidsgraden te exploreren die bepalen hoe zowel waterkwantiteit als chlorideconcentratie reageren op ZSS. De verschillende vrijheidsgraden beschrijven een multidimensionale parameterruimte of *hyperkubus* waarvan elke vrijheidsgraad één as vormt. De systeemrespons binnen deze parameterruimte is geëxploreerd door vele verschillende combinaties van waarden langs de verschillende vrijheidsgraden door te rekenen. Het doel van de bovenregionale analyse is het integreren van de regionale effecten tot een landelijk beeld over de waterstaatkundige effecten van de zoetwaterstrategie onder invloed van zeespiegelstijging. Hiertoe zijn de waterstaatkundige effecten van zeespiegelstijging op de bovenregionale waterverdeling, in combinatie met verschillende rivierafvoeren en watervraagscenario's, modelmatig met elkaar in verband gebracht. Dit is gedaan met behulp van een voor deze studie opgestelde bovenregionale waterverdelingstool, waarin de uitkomsten van de studies van de vier hierboven genoemde strategische zoetwaterbuffers als input gelden (Figuur 1).



Figuur 1. Regionale studies en resultaten als bouwstenen voor de bovenregionale analyse.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat de systeembeschrijving van de KZH, waarin de ligging van de strategische buffers in het hoofdwatersysteem en de mogelijkheden en onmogelijkheden met betrekking tot de waterverdeling worden toegelicht. In hoofdstuk 3 wordt de methodiek, waarmee de bovenregionale waterverdelingstool is ontwikkeld en vooral de uitgangspunten die daarbij zijn gehanteerd, beschreven (deels in de bijlages). Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van model en de waterstaatkundige effecten van deze uitkomsten waarbij in hoofdstuk 5 de belangrijkste bevindingen van deze studie zijn samengevat. In hoofdstuk 6 staat de discussie waarin de onzekerheden van deze modelstudie worden beschouwd, kanttekeningen bij de resultaten worden geplaatst en resterende kennisleemtes en -vragen worden gedefinieerd.

1.5 Definities en afkortingen

Term/afkorting	Betekenis
KP ZSS	Kennisprogramma Zeespiegelstijging
ZWB	Zoetwaterbuffer of zoetwaterzone. De zoetwaterbuffers zijn: IJsselmeer/Markermeer, Brielse Meer, Volkerak-Zoommeer en de Maaspanden. De bovenloop van de Lek, de Hollandsche IJssel en het Amsterdam-Rijnkanaal zijn aangewezen als zoetwaterzones die gericht zoet worden gehouden. In dit rapport worden zowel zoetwaterbuffers als -zones aangeduid met 'buffer' / ZWB.
KZH	Klimaatbestendige Zoetwatervoorziening Hoofdwatersysteem
ZSS	Zeespiegelstijging
VZM	Volkerak-Zoommeer
RMM	Rijn-Maasmonding
BM	Brielse Meer
HIJ	Hollandsche IJssel
NWW	Nieuwe Waterweg
ARK-NZK	Amsterdam-Rijnkanaal en het Noordzeekanaal
IJM	IJsselmeer/ Markermeer
BRWVS	Het bovenregionaal waterverdelingssysteem
KWA	Klimaatbestendige WaterAanvoer West NL
DKW	De Krimpenerwaard route
NRL	Nederrijn-Lek
KPI	Key Performance Indicator
Scenario	Een bepaalde combinatie aan modelinvoer met de bijbehorende modeluitvoer
Surplus	Benodigde hoeveelheid zoet water in m ³ /s waarmee de ZWB, gegeven een bepaalde verziltingsdruk, in stand (zoet) kan worden gehouden
Assen (van de hyperkubus)	De systeemvariabelen die gekozen zijn om te variëren in de modelstudie. Zie ook primaire en secundaire vrijheidsgraden.
Primaire vrijheidsgraad	Randvoorwaarde en/of systeempaarparameter welke van groot belang is voor het gedrag en functioneren van het systeem. Deze variabele vormt doorgaans één van de assen van de hyperkubus.
Secundaire vrijheidsgraad	Randvoorwaarde en/of systeempaarparameter welke van minder groot belang is voor het gedrag en functioneren van het systeem. Deze variabele wordt vaak constant gekozen op een representatieve waarde.



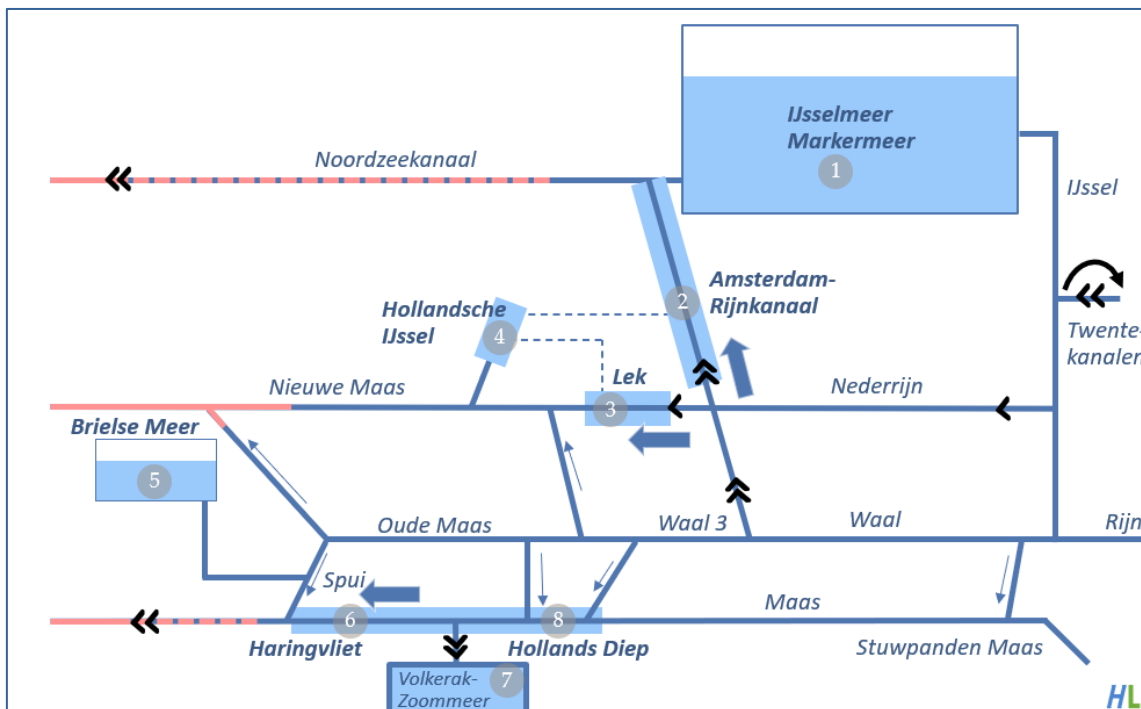
2

Het systeem

2 Het systeem

2.1 Inleiding

De systeemverkenning van het bovenregionale waterverdelingsnetwerk richt zich op het landelijke hoofwatersysteem dat bestaat uit een aantal rivieren, kanalen en grote wateren (Figuur 2). Vanuit de rivieren Rijn (en in minder mate) Maas worden de verschillende zoetwaterbuffers/-zones gevoed zoals het Volkerak-Zoommeer, de buffers van de Rijn-Maasmonding, het Amsterdam-Rijnkanaal en het IJsselmeer (Figuur 2). De zoetwaterbuffers zijn: IJsselmeer/Markermeer, Brielse meer, Volkerak-Zoommeer en de Maaspanden. De bovenloop van de Lek, de Hollandsche IJssel en het Amsterdam-Rijnkanaal zijn aangewezen als zoetwaterzones die gericht zoet worden gehouden. In dit rapport worden zowel zoetwaterbuffers als -zones aangeduid met 'buffer' / ZWB.



Figuur 2. Schematische weergave van het HWS met bovenregionale waterverdeling en enkele regionale aanvoerroutes. De doorgetrokken lijnen betreffen het Nederlands hoofwatersysteem, de gestippelde lijnen betreffen aanvoerroutes die situationeel kunnen worden ingezet en in de basis geen onderdeel zijn van het Nederlandse hoofwatersysteem.

2.2 De huidige beheerstrategie

Het spoor van het bovenregionaal waterverdelingssysteem richt zich op de landelijke waterverdeling bij lage afvoeren en droogte. De rivierafvoer van het Nederlandse hoofwatersysteem komt Nederland binnen bij hoofdzakelijk Lobith (Rijn) en Eijsden (Maas). De Overijsselse Vecht is eveneens een bron van water voor het IJsselmeersysteem, al is deze aanvoer tijdens droge tijden veelal verwaarloosbaar. Het water van de Rijn verdeelt zich over de Waal en het Pannerdens Kanaal bij de Pannerdense Kop, en bij het volgende splitsingspunt IJsselkop vervolgens over de Nederrijn en de IJssel. Er kan extra water richting de zoetwaterbuffer IJsselmeer worden gestuurd door inzet van Stuw Driel. Door deze stuw (deels) te sluiten wordt extra water richting de IJssel gestuurd. Het regelbereik van Stuw Driel is op twee punten gelimiteerd wat betreft het deel van de Rijnafvoer dat kan worden beïnvloed, én het afvoerdomein waarin de beïnvloeding (het meest) effectief is. Ten

eerste; vanuit technisch oogpunt is het regelbereik gelimiteerd omdat de stuw niet meer extra kan stuwen wanneer deze volledig gesloten is, of meer kan doorlaten wanneer deze volledig geopend is. Ten tweede; het regelbereik wordt beperkt door de riviergeometrie bij de splitsingspunten, waar de resulterende afvoerverdeling over Waal en IJssel afhankelijk van is.

Verder benedenstrooms kruisen de Waal en Nederrijn/Lek het Amsterdam-Rijnkanaal. Vanaf rijnafvoeren van rond de 1300 m³/s (+3 m NAP bij Tiel) worden de Bernhardsluizen geopend en kan er meer water worden aangevoerd vanuit de Waal richting het ARK-Betuwapand. De doorvoer vanaf de Waal over het ARK Betuwepand kan indirect (want alleen als er wateronttrekkingen zijn) worden gereguleerd door onttrekkingen aan het pand Hagestein-Amerongen waaronder de Irenesluizen (inlaat naar ARK/NZK) en Stuw Hagestein (doorvoer naar de ongestuwde Lek). De doorvoer naar het ARK/NZK wordt primair geregeld met de Prinses Irenesluizen. Door het verhang van 2-3 m bij de Irenesluizen kan er onder vrij verval max 80 m³/s (Arcadis/HydroLogic, 2023c) water naar het ARK/NZK worden ingelaten. Om dit maximale debiet te realiseren, dient een van de twee kolken voor scheepvaart te worden gestremd. Door inzet van deze twee stuurknoppen (Bernhardsluizen en Irenesluizen) wordt bij lage afvoeren feitelijk de ARK ZWB vanuit de Waal gevoed. Deze route is overigens niet alleen voor het ARK zelf van belang, maar tevens voor de ZWB HIJ, die via de KWA zoetwater ontvangt vanuit het ARK (en Lek).

Benedenstrooms in de Rijn-Maasmonding zijn de primaire stuurknoppen de Haringvlietsluizen, Stuw Hagestein en de Volkeraksluizen. Met de Haringvlietsluizen is het restdebiet over de Nieuwe Waterweg te reguleren, met Stuw Hagestein de ZWB Lek en de Volkeraksluizen vormen de stuurknop voor de zoetwaterbuffer Volkerak-Zoommeer.

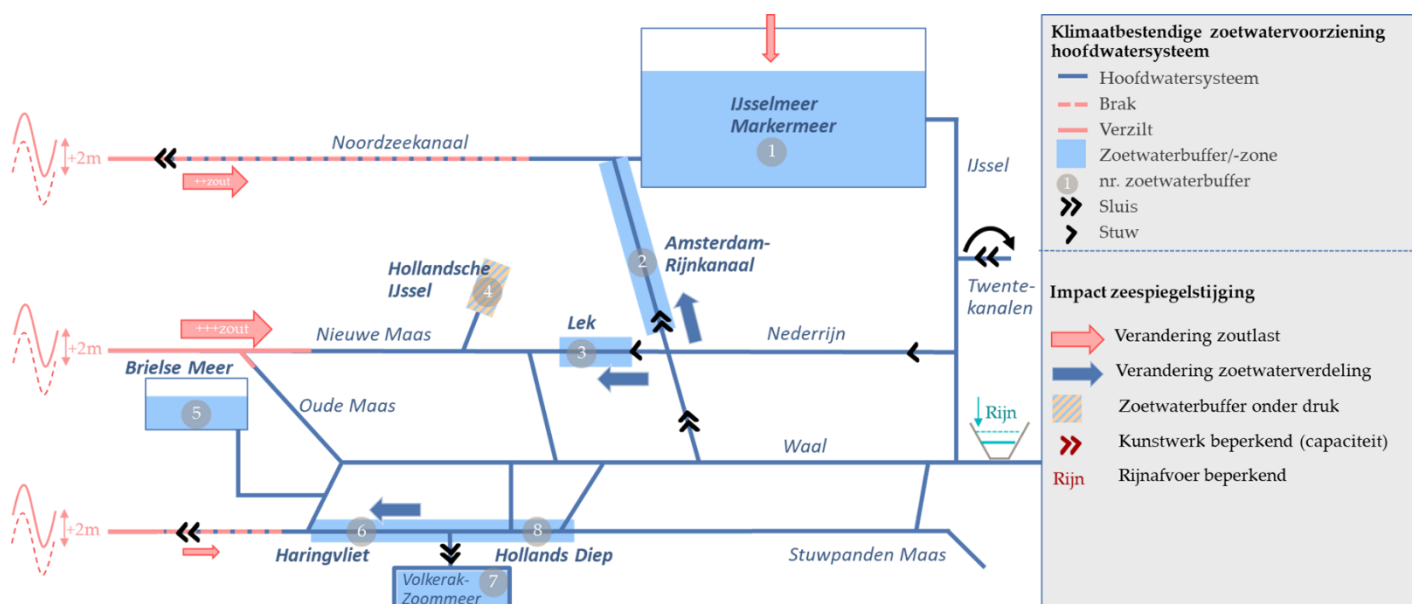
Onderdeel van de KZH is het situationeel sturen in plaats van het hanteren van een vaste verdeling onder alle omstandigheden. Anders dan voorheen is het in de KZH niet meer nodig om zo lang mogelijk voldoende debiet over de Nieuwe Waterweg te creëren zodat Krimpen aan de IJssel zoet blijft. De strategie richt zich op het op een zo efficiënt mogelijke manier (=zo minimaal mogelijk verbruik van zoet water) zoet houden van alle strategische zoetwaterbuffers en -zones. In de RMM zijn dit de ZWB HIJ, Lek en BM. In tijden van verzilting van de Rijn-Maasmonding, kan de Hollandsche IJssel zoet gehouden worden door inzet van twee alternatieve aanvoerroutes: de Klimaatbestendige Wateraanvoerroute vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal (KWA) en de Doorvoerroute Krimpenerwaard vanuit de Lek (DKW).

Efficiënte verziltingsbestrijding bij de sluiscomplexen tussen zoet en zout water (IJmuiden, Krammersluizen, Afsluitdijk, Haringvlietsluizen) is een belangrijke randvoorwaarde voor de landelijke zoetwaterstrategie. Hoe minder zoetwater nodig is voor verziltingsbestrijding, hoe meer beschikbaar voor gebruikers. Ook de scheepvaart speelt hierbij een invloedrijke rol, want intensiever zeescheepvaartverkeer zorgt voor een hogere zoutlast via de sluisen.

2.3 Probleemanalyse zeespiegelstijging

Doel van deze studie is het verkrijgen van inzicht in de waterstaatkundige houdbaarheid van de KZH-strategie bij een stijgende zeespiegel op bovenregionaal niveau, vanuit de hypothese dat zeespiegelstijging leidt tot meer verzilting en mogelijk een afname van de waterbeschikbaarheid. Zo leidt zeespiegelstijging tot een toename van de zoute kwel in de kustzone waardoor de regionale watervraag voor doorspoeling van de regionale gebieden toeneemt (Deltares, 2021). Voorts leidt zeespiegelstijging tot extra druk op de ZWB's waardoor naar verwachting meer zoetwater moet worden gebruikt om zoutindringing tegen te gaan. Dit is in figuur 2 gevisualiseerd als een hogere zoutlast via de sluisen naar de strategische zoetwaterbuffers en bovendien een voortschrijdende zoutindringing in het open RMM-estuarium.

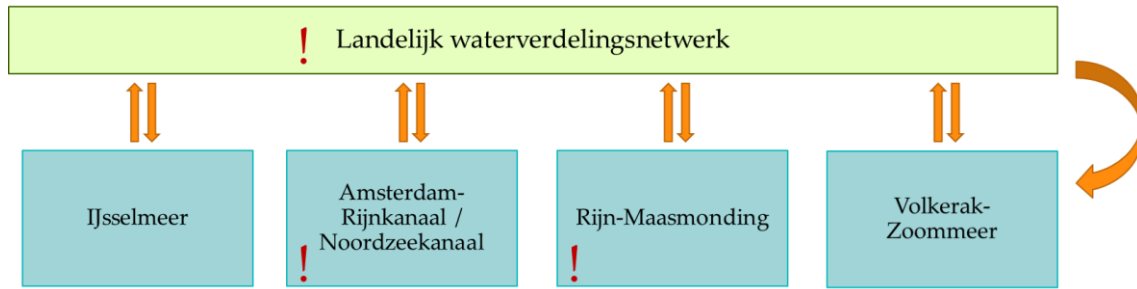
Naast ZSS wordt de KZH-strategie op de langere termijn op de proef gesteld door klimaatverandering. Zo resulteert klimaatverandering mogelijk in een hogere watervraag (verdamping) en langere periodes met lagere rivierafvoer. Uit de combinatie van ZSS (focus voorliggende studie) en klimaatverandering volgt de crux van voorliggend vraagstuk: hoeveel (minder) water is er beschikbaar; hoeveel (meer water) daarvan is nodig voor het beheersen van de ZWB's; en welke watervraag (landbouw, drinkwater, industrie, etc.) kan vervolgens (nog) vanuit het HWS worden bediend.



Figuur 3. Schematische weergave van mogelijk toekomstige opgaves voor het Nederlandse hoofdwatersysteem: zeespiegelstijging, dalende rivierafvoeren.

In de vier regio's (Figuur 4) is in detail de impact van zeespiegelstijging op de zoetwatervoorziening onderzocht. De regio's zijn overigens de delen van het hoofdwatersysteem waar een zekere impact van zeespiegelstijging (vnl. agv toename verzilting) op de (lange termijn) waterbeschikbaarheid wordt verwacht. Zo is er bijvoorbeeld geen effect van ZSS bij Twentekanalen of de Maaspannen voorzien.

Zoals in Figuur 4 is gevisualiseerd, gelden de regionale studies als basis voor de bovenregionale analyse. Feitelijk wordt in de bovenregionale analyse 'enkel' de uitkomsten van de regionale analyses op een logische manier verbonden en in samenhang geanalyseerd. Dit is van belang om de waterstaatkundige houdbaarheid van de gehele strategie te kunnen beoordelen. Immers, er kunnen zowel knelpunten in een regio (onvoldoende zoetwater beschikbaar voor het bedienen van de gebruiksfuncties en/of het zoet houden van de ZWB's) ontstaan alsmede in het landelijke waterverdelingsnetwerk. Ook kan het zijn dat een knelpunt van regio X kan worden opgelost door de aanvoer van extra water maar dat dit water niet via het bovenregionale netwerk kan worden aangevoerd dan wel negatieve consequenties voor een andere regio heeft. In de bovenregionale analyse gaat het erom dergelijke dwarsverbanden in beeld te krijgen.



Figuur 4. Regio's versus landelijke waterverdeling. Er kunnen zowel knelpunten ontstaan in de zoetwatervoorziening van een regio (! bij ARK/NZK en RMM) als het landelijke distributienetwerk.

Zoals aangegeven bouwt de bovenregionale analyse voort op de regionale studies. Hieronder is de essentie van de uitkomst van de regionale studies beknopt weergegeven:

- Grondwaterstudie: zoute kwel neemt lokaal in de kustzone toe door ZSS. Als we dit willen tegengaan volgens het huidige beheer kan de regionale watervraag t.b.v. doorspoeling lokaal fors (x2-4) toenemen. Op termijn is deze benodigde hoeveelheid water voor doorspoeling van de regionale watersystemen in de kustzone noch beschikbaar noch aan te voeren via de regionale watergangen.
- De regionale watervraag kan in alle gebieden -los van bovenstaande doorspoeling-toenemen door droogte (verdamping), ruimtelijke veranderingen en beleid (bijv. watervraag voor vermindering broeikasuitstoot veenweidegebieden).
- ARK-VZM-IJM: door ZSS neemt de zoutlast via de sluisen naar de ZWB's toe. Volgens het huidige beheer resulteert dit in een grote toename van de watervraag voor verziltingsbestrijding (met tot 200% afhankelijk van ZSS en andere factoren), nodig voor het duurzaam in stand houden van de buffers. Voorts is de ontwikkeling van de scheepvaart (aantal schuttingen per dag) zeer bepalend voor de zoutlast naar deze buffers en daarmee de benodigde hoeveelheid water voor verziltingsbestrijding. Hoe meer water nodig is voor verziltingsbestrijding, hoe minder water resteert voor het bedienen van de (toenemende) (regionale) watervraag van de gebruiksfuncties.
- RMM: er is een minimaal NWW-debiet/tegendruk nodig om de verziltings situatie op de randen van de RMM-ZWB's (BM, HIJ, Lek) 'onder controle' te houden zodat de ZWB's met een haalbaar surplus in stand kunnen worden gehouden. Als gevolg van ZSS is het vergroten van het surplusdebiet (tot wellicht één orde grootte) nodig om de HIJ en Lek zoet te houden.



3

Methodiek

3 Methodiek

Voor het inzichtelijk krijgen van de waterstaatkundige houdbaarheid van de KZH-strategie bij zeespiegelstijging is gebruik gemaakt van een bovenregionale waterverdelingstool waarbij de regionale studies als basis gelden. In deze regio analyses zijn de fysische stuurknoppen van het systeem geïdentificeerd en is bijvoorbeeld de toename van de zoutlast als gevolg van ZSS bepaald. Feitelijk worden in de bovenregionale analyse 'enkel' de uitkomsten van de regionale analyses op een logische manier aan elkaar geknoopt en in samenhang geanalyseerd. Via de bovenregionale tool wordt inzichtelijk wat de behoeftes en knelpunten in de vier regio's zijn, hoe deze zich tot elkaar verhouden en in welke behoefte van een regio kan worden voorzien zonder consequenties voor een andere regio.

Er zijn voor de 4 regio's duizenden berekeningen uitgevoerd om zeer veel verschillende combinaties van omstandigheden te exploreren. Hieruit komen inzichten over de mate van (fysische) houdbaarheid van de zoetwaterbuffers en -zones. In de bovenregionale tool is de output van deze studies als input gebruikt voor de bovenregionale waterverdeling. Om niet met duizenden scenario's te hoeven rekenen, heeft er een clustering plaatsgevonden waarbij de variabelen (ZSS (0 - 3m), watervraag (laag-midden-hoog), rivierafvoer (500 - 2000 m³/s)) in een beperkt aantal klassen zijn uitgedrukt, zodanig dat deze de assen van het speelveld voldoende representeren. De wijze waarop de clustering is gebeurd, is verderop in de paragraaf 'Clustering variabelen' toegelicht waarbij het geheel aan gehanteerde waarden is terug te vinden in Bijlage A. Voor de onderbouwing van de waarden wordt verwezen naar de rapportages over de regio studies (Arcadis/HydroLogic, 2023a, b, c, d). Naast de clustering van variabelen in een behapbaar aantal scenario's, zijn er aannames gedaan voor de waterverdeling (prioriteit, capaciteit, volgordelijkheid, etc.), deze zijn onder de kop 'Bovenregionale waterverdelingstool' als uitgangspunten omschreven.

De bovenregionale tool is opgesteld in MS Excel. Binnen deze tool is het eenvoudig mogelijk om verschillende variabelen met betrekking tot watervraag, rivierafvoer en zeespiegel te combineren. Ook is het mogelijk een bepaalde prioritering in het bedienen van de watervraag bij tekorten aan te passen. Zoals hiervoor beschreven, volgen de gehanteerde bandbreedtes per variabele uit de regio studies. De tool is flexibel opgezet, zodat eventuele nieuwe inzichten in de toekomst eenvoudig kunnen worden doorgevoerd. In dit hoofdstuk wordt de opbouw van de tool besproken, gehanteerde uitgangspunten en clustering van variabelen t.b.v. behapbare scenario analyse.

3.1 Modellerstrategie

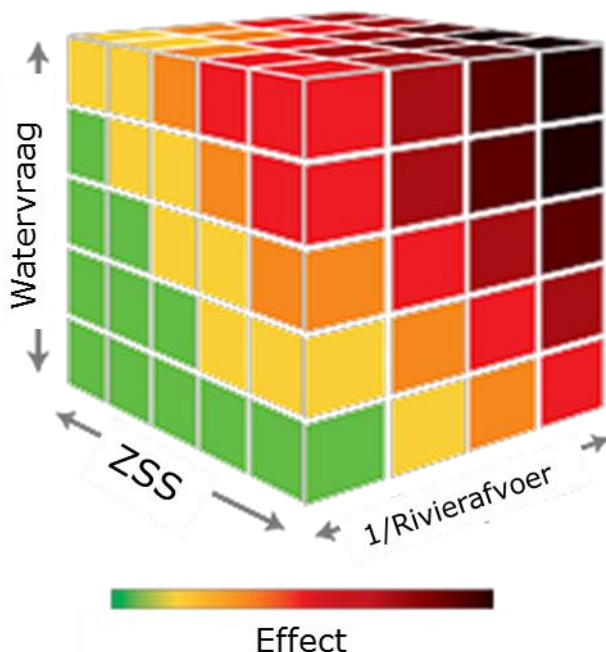
De voorgestelde aanpak in deze modelstudie wordt 'exploratief' genoemd. De werking van de (strategische) zoetwaterbuffers is afhankelijk van de trend en coïncidenties in drie dominante klimaatvariabelen: lage afvoeren van de grote rivieren; neerslag en verdamping (zoetwatervraag); en zeespiegel. Met de huidige stand van de wetenschap is het niet mogelijk om deze drie termen in consistente klimaatscenario's te vatten op een tijdschaal van meerdere eeuwen (de verwachte tijdschaal waarop de zeespiegel 5m toeneemt). Daarbij komt dat de trend in watervraag en rivierafvoer niet alleen afhankelijk is van klimaatverandering, maar ook van socio-economische, technologische ontwikkelingen en (internationaal) waterbeheer. Die ontwikkelingen zijn op de tijdschaal waarover in het KP ZSS gesproken wordt niet redelijkerwijs te voorspellen.

Om deze beperkingen het hoofd te bieden, is gekozen voor gevoeligheidsanalyses waarin deze factoren onafhankelijk van elkaar gevarieerd worden om de kwetsbaarheid onder verschillende combinaties van omstandigheden in beeld te brengen ('wat-als aanpak'). Er is ervoor gekozen de effecten van zeespiegelstijging door te rekenen voor bepaalde vaste zichtwaarden van de zeespiegel boven het huidige niveau (tussen 0m en +5 m) en niet om het tijdspad daar naartoe expliciet te modelleren, wat gedaan wordt bij klimaatscenario's. Zodra in de nabije toekomst informatie (KNMI, Deltascenario's, andere bronnen) beschikbaar komt over wanneer in de tijd bepaalde omstandigheden zich met een bepaalde waarschijnlijkheid voordoen, gegeven bepaalde emissie of socio-economische scenario's,

kunnen de wat-als inzichten bij de diverse zichtwaarden in de tijd geplaatst worden. Kortom, er wordt getracht om alle mogelijke scenario's door te rekenen zodat, wanneer er meer informatie over het toekomstbeeld beschikbaar is, het antwoord tussen de scenario's zit.

In Figuur 3-1 wordt geschetst hoe de 'wat-als' vragen in de vorm van een gevoeligheidsanalyse eruit kunnen zien voor variatie van de 3 hoofdfactoren zeespiegel, watervraag aan de zoetwaterbuffer en wateraanbod via de rivieren. Een zoekruimte van hogere dimensie (een zogenaamde hyperkubus) is voorstelbaar waarbij ook de gevoeligheid voor systeemparameters (bijv. representatief voor inzet van kunstwerken of maatregelen) of bepaalde uitsplitsing in randcondities mogelijk is.

In de systeembeschrijving (Hoofdstuk 2) zijn de systeemvariabelen uiteengezet die de toestand van het te onderzoeken systeem beïnvloeden. De toestand wordt beschreven door middel van doelvariabelen (waterstanden, chlorideconcentraties). De primaire systeemvariabelen (oftewel primaire vrijheidsgraden) zijn een selectie of eventueel combinatie van de belangrijkste systeemvariabelen, omdat ze samen de toestand van het systeem bepalen. Het bereik van de primaire systeemvariabelen wordt dusdanig gekozen dat mogelijke autonome ontwikkelingen (los van hoe waarschijnlijk ze zijn) ook erin worden meegenomen.



Figuur 3-1 Schets van de voorgestelde gevoeligheidsanalyse in matrixstructuur waarin de hoofddassen de te onderzoeken factoren (als randvoorwaarden, systeemparameters) weergeven en de kleuren de waterstaatkundige effecten en in termen van nader te definiëren indicatoren.

In de modeloefening worden de primaire variabelen als een constante flux (semi-stationair) aan het model opgelegd, niet als variabele tijdsreeksen. In werkelijkheid vormen temporele verschillen die zich voordoen (denk aan fluctuaties in rivierafvoeren en meteorologische omstandigheden) natuurlijk wel een belangrijke randvoorwaarde voor de houdbaarheid van de zoetwaterbuffers: de zoetwaterbuffers dienen om een event van een bepaalde duur te kunnen weerstaan. Het gebruik van tijdsreeksen maakt de analyse en interpretatie van modelresultaten veel complexer. Dit heeft meerdere oorzaken:

- de herkomst van zout in een complexe tijdsreeks is vaak niet meer te achterhalen;
- het gebruik van tijdsreeksen op basis van bestaande data is niet echt realistisch omdat er op grotere tijdschalen en in de toekomst gekeken wordt;
- het verzinnen van geschikte tijdsreeksen met verschillende achtereenvolgende typen events maakt de modelleeraanpak veelal complexer en zwaarder.

Al met al wordt de extrapolatie van resultaten uit complexe reeksen tot robuuste inzichten en uitspraken zeer lastig tot onmogelijk gemaakt.

In deze modelexercitie worden de modellen daarom semi-stationair doorgerekend. Hierbij wordt de verandering van de doelvariabelen door de ruimte en tijd geëvalueerd. Op deze manier kan onderzocht worden voor hoe de waterstanden en chlorideconcentraties zich ontwikkelen gegeven een constante set aan primaire variabelen, maar ook hoe snel deze ontwikkeling gaat. Daardoor levert deze werkwijze nog wel inzichten over de ordegrrootte van de eventduur die de buffer wel of niet kan weerstaan. Hier moet wel worden opgemerkt dat de uitgangssituatie (initiële chlorideconcentratie) bij deze semi-stationaire gevoeligheidsanalyse een bepalende factor is.

3.2 Bovenregionale waterverdelingstool

De waterverdelingstool is conform onderstaande uitgangspunten/principes opgebouwd:

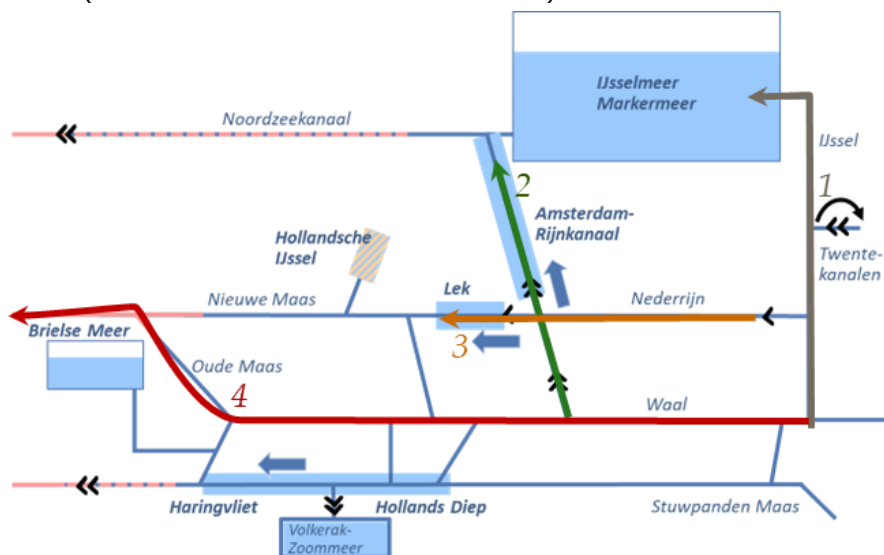
- A. De output van de regio studies geldt als input voor de te simuleren waterverdelingsscenario's.
- B. Voor de scenario analyse zijn de volgende vier variabelen aanpasbaar: zeespiegelstijging, rivierafvoer, surplus (benodigde watervraag voor verziltingsbestrijding) en watervraag gebruiksfuncties (inclusief verdamping).
- C. De output van de regio studies is geclusterd tot een overzichtelijk aantal klassen per (bovengenoemde) variabele, zoals bijvoorbeeld laag-midden-hoog wat betreft de variabele watervraag.
- D. Naast de watervraag aan de buffers zijn er watervragers aan andere delen van het hoofdwatersysteem; deze zijn als vaste (niet gevarieerde, maar wel aanpasbare) waarden opgelegd en betreffen bijvoorbeeld onttrekkingen uit de bovenstroomse delen van de rivieren en Twentekanalen. Het globaal meenemen van deze watervraag is van belang om met een realistische waterbalans en restdebit over de NWW te rekenen. Deze watervraag is globaal (afgerond) bepaald op basis van gangbare analyses in het DPZW en een hieruit af te leiden maatgevende watervraag. De gehanteerde waarden zijn in Bijlage A terug te vinden.
- E. Er vindt geen situationeel waterbeheer plaats, sturing van het water (voor zover mogelijk) gebeurt volgens vast ingestelde regels (die overigens wel aanpasbaar zijn).
- F. De (prioritering) van de waterverdeling vindt volgens vaste regels/principes plaats:
 - a. waterverdeling op de splitsingspunten in de Bovenrijn (IJsselkop, Pannerdensche Kop) gebeurt volgens huidige morfologie. Voor de geselecteerde Rijnafoer is in de bovenregionale tool op basis van het stuwprogramma Driel 2016 (Rijkswaterstaat, 2016) de afvoerverdeling over de Rijntakken bepaald. Aan de Bovenrijnafoer is in het model de afvoer van de Maas gekoppeld; bij lage Rijnafoeren is er dus ook sprake van lage Maasafvoeren.
 - b. voor de kunstwerken wordt als basis de huidige (maximale) capaciteit (Bernhardsluizen (100 m³/s), Irenesluizen (80 m³/s)), beslisregels en beheerregime (Driel, Hagestein, Haringvlietsluizen) gehanteerd. De capaciteiten evenals de beslisregels zijn aanpasbaar in de tool. Dit is in de scenario analyse voor bijvoorbeeld de verkenning van het handelingsperspectief gebeurd.
 - c. prioritering I: watervraag surplus gaat voor watervraag gebruiksfuncties. Bij watertekort zal dus eerst het surplus geleverd worden wat nodig is om de ZWB in stand te houden, het resterende water wordt beschikbaar gesteld aan de gebruiksfuncties. In de output wordt systematisch vastgelegd welk deel van de watervraag bij een bepaald scenario kan worden bediend. Daarmee geldt dat tekorten in principe in de onttrekkingen uit de buffers ontstaan. Vanzelfsprekend kan in de praktijk hiervan worden afgeweken door tijdig een lager surplus te accepteren als bijvoorbeeld aan het einde van het seizoen enig risico op verzilting van het onttrokken water aanvaardbaar wordt geacht.
 - d. Prioritering II: in de basis worden bij tekorten (voor zover mogelijk vanuit het beschikbare rivierwater én waterverdelingsnetwerk) de bovenstrooms gelegen

systemen bediend boven de benedenstroomse delen. Bijvoorbeeld bij een competitie tussen Hagestein en Irenesluizen, krijgt Irenesluizen bij default hogere prioriteit. Overigens is juist dit aspect aanpasbaar (in tool en werkelijkheid) en in de scenario analyse ook regelmatig gebeurt.

- e. Prioritering III: op het ARK wordt via de KWA water onttrokken voor West NL (ZWB HIJ + directe doorvoer via Bodegraven naar Rijnland). Bij tekort op het ARK gaat KWA water boven surplus ARK en/of overige watervraag aan ARK. Idem voor tekort op ZWB Lek: aanvoer (via KWA/DKW) naar ZWB HIJ gaat boven watervraag aan buffer zelf en benodigd surplus in monding.
- f. Standaard wordt er geen water via de ARK-route naar het Markermeer/IJsselmeer aangevoerd. Deze kan wel als maatregel in de tool worden meegenomen.

G. Uit het voorgaande volgen vier hoofdroutes van het rivierwater in het bovenregionale systeem (Figuur 6):

1. Bovenrijn - Pannerdensch Kanaal - IJssel - IJsselmeer (stuurknop Driel)
2. Bovenrijn - Waal - ARK Betuwepand - ARK/NZK (stuurknop Irenesluizen) (aanvulling mogelijk vanuit Nederrijn-Lek (NRL) via Amerongen)
3. Bovenrijn - Pannerdensch Kanaal - Nederrijn/Lek - ongestuwde Lek (stuurknop Hagestein) (aanvulling mogelijk vanuit Waal via ARK Betuwepand)
4. Bovenrijn - Waal - RMM - NWW (stuurknop Haringvlietsluizen) (Waal inclusief restdebit Lek en Maas)



Figuur 6. Schematische weergave van de vier hoofdroutes in de Bovenregionale tool

H. Bij een gesloten Stuw Driel is route 1 niet te beïnvloeden en is het debiet over de IJssel naar het IJsselmeer direct gerelateerd aan de Rijnafvoer. Route 3 is bij gesloten Driel primair een minimaal debiet over de NRL van 20-30 m³/s wat lange tijd voldoende is voor het bedienen van de watervragers aan de NRL. Tot het moment dat de monding van de Lek verzilt en de ZWB op de Lek moet worden ingesteld via stuurknop Hagestein. Bij Hagestein zal dan meer water nodig zijn dan het NRL debiet bij Amerongen, er vindt dan automatisch aanvulling vanuit de Waal via het ARK-Betuwepand plaats. Onder maatgevend droge omstandigheden wordt de ARK aanvoer (route 2) via Irenesluizen primair gevoed vanuit de Waal omdat het restdebit bij Amerongen beperkt is. Evenwel geldt bij geopende Bernhardsluizen (<1300 m³/s) dat het totaal aan benodigde doorvoer bij Hagestein en Irenesluizen (plus de onttrekkingen uit het pand zelf) geleverd moet worden door NRL (restdebit Amerongen) en Waal (via Betuwepand). In de tool wordt de precieze hoeveelheid water berekend die vanuit de Waal moet worden aangevuld. Of dit debiet ook geleverd wordt, hangt af van de ingestelde maximale doorvoer bij de

Benhardsluizen (standaard op 100 m³/s).

De RMM (route 4) wordt primair gevoed door de Waal (benedenstrooms Tiel), aangevuld met het restdebiet van Maas en Lek. Vanuit de totale aanvoer naar de RMM (route 4) wordt het VZM via de Volkeraksluizen gevoed en de watervraag in de RMM zelf bediend. Het overige deel stroomt via de NWW naar zee wat -tot op zekere hoogte- nodig is voor de minimaal benodigde zoetwatertegendruk. Standaard zijn de Haringvlietsluizen gesloten (behoudens een minimaal spoeldebiet) en wordt zodoende het water via de NWW naar zee 'gedwongen'. Evenwel is de verdeling over de NWW en het Haringvliet aanpasbaar, bijvoorbeeld voor het onderzoeken naar de impact van Kier-varianten.

- I. Specifiek voor de waterbeschikbaarheid in de RMM vindt er een rekeniteratie plaats waarbij eerst het restdebiet door de Nieuwe Waterweg wordt bepaald en op basis daarvan:
 1. benodigde inzet van de oostelijke aanvoerroutes KWA en DKW (wat nodig is op het moment dat de ZWB op de HIJ moet worden ingesteld bij (dreigende) verzilting van de monding)
 2. het benodigde surplus per buffer (Lek, HIJ) en resulterende inlaatvenster (BM) wat beiden gekoppeld is aan het NWW-restdebiet. Dit is nodig om de watervraag (surplus) van de zoetwaterzones Lek en Hollandsche IJssel correct te kunnen bepalen, omdat bij lagere afvoer door de Nieuwe Waterweg, een hogere zoutdruk ontstaat richting de zoetwaterzones op de Lek en Hollandsche IJssel. Om de zoetwaterzones in de 'dispersieve' delen van de HIJ/Lek vervolgens in stand te houden is er een hoger surplus nodig. Tevens bepaalt de zoetwaterafvoer via de NWW in belangrijke mate het zoetwaterinlaatvenster op het Spui ter hoogte van de Bernisse, en daarmee het wateraanbod voor RMM zoetwaterbuffer Brielse Meer. Voor een correcte bepaling van het restdebiet via de NWW worden vanzelfsprekend alle bovenstroomse onttrekkingen, IJsselaafvoer, ARK/NZK doorvoer, etc verdisconteerd voor het betreffende scenario.
- J. Prioriteit IV: in de RMM wordt de inlaat naar het VZM 'altijd' bediend, evenals de overige watervragers. De levering van de watervraag aan de ZWB's (Lek, HIJ, BM) hangt af van het bovenstroomse debiet irt benodigd surplus/inlaatvenster. Eea kan leiden tot een (te?) laag ondergrensdebiet op de NWW. Het minimaal benodigde ondergrensdebiet op de NWW is (nog) niet bekend (zie kennisleemte bij discussie) en (mede daarom) wordt hierop niet actief gestuurd (en is vooralsnog een resultante van de totale aanvoer naar de RMM minus onttrekkingen). Dit is een belangrijke aanbeveling voor vervolgonderzoek.
- K. Er heeft geen validatie van de tool plaatsgevonden aan de hand van bijvoorbeeld de recente droogteperiode van 2022. Zeker op detailniveau zal er sprake zijn van afwijkingen met de ervaren praktijk van afgelopen zomer.
- L. Per scenario wordt in ieder geval het totale watertekort alsmede het watertekort per buffer en route berekend. Het tekort per route is relevant omdat uitwisseling tussen routes niet (altijd) mogelijk is en oplossingen per route variëren.
- M. In de voorliggende studie wordt er semi-stationair gerekend en speelt de duur geen rol waardoor niet precies kan worden vastgesteld of (bijvoorbeeld) de IJsselmeerbuffer in een bepaald droogtejaar volstaat.

In Figuur 7 is ter illustratie een voorbeeld gegeven hoe een binnenkomend debiet bij Lobith van 1000 m³/s wordt verdeeld over de Rijntakken. Voor het IJsselmeer is te zien dat er 40 m³/s nodig is ter instandhouding van de buffer, en 150 m³/s voor de regionale watervraag en verdamping. Er wordt 150 m³/s aangevoerd over de IJssel, waardoor er 40 m³/s wordt ingeteerd op de IJM buffer.

Voor surplus zijn drie klassen gedefinieerd:

- Gesloten systemen met scheepvaartsluizen en primaire zoutlast via schutten (ARK/NZK | IJM | VZM)
 - **Laag** - lager surplus door efficiëntere verziltingsbestrijding en/of gemiddelde afname van aantal schutbewegingen
 - **Midden** - huidig, gemiddeld benodigde surplus tijdens maatgevend droogte
 - **Hoog** - benodigd surplus bij substantiële toename scheepvaartintensiteit

De extra zoutlast als gevolg van ZSS en hiervoor benodigde aanvullend surplus is in de regio analyses berekend, zie tabel in bijlage. Bijvoorbeeld IJM midden +0m ZSS vraagt 40 m³/s surplus terwijl IJM Midden +1m bijna 70 m³/s surplus vraagt.

- Voor open estuaria als de RMM hangt de zoutlast niet af van de scheepvaartintensiteit en/of efficiëntie verziltingbestrijdende maatregelen (zo lang daar nog geen sprake van is in de RMM), maar enkel van de ZSS. Daarom is er voor de RMM geen onderscheid gemaakt naar Laag-Midden-Hoog en is het benodigde surplus direct gekoppeld aan het ZSS-scenario.

Voor watervraag zijn op vergelijkbare wijze drie klassen gedefinieerd:

- **Laag** - een (substantieel) lagere watervraag dan huidig maatgevend (midden) bijvoorbeeld als gevolg van water en bodem sturend beleid, sectorale innovaties, afremmende klimaatverandering, efficiënter waterbeheer, etc.
- **Midden** - het geheel aan regionale onttrekkingen (inclusief drinkwater en verdamping) dat globaal overeenkomt met de maximale watervraag in een zeer droge juli/augustus maand bij het huidige klimaat.
- **Hoog** - een forse toename van de watervraag t.o.v. huidig maatgevend (midden) bijvoorbeeld als gevolg van intensiever landgebruik, warmer klimaat etc.

In Bijlage A zijn alle waarden gegeven qua watervraag, surplus en overige (vaste) onttrekkingen. Hierbij is zo nodig toelichting gegeven als er wordt afgeweken van een uitgangspunt. De laag-hoog indeling van de watervraag per regio is op hetzelfde principe gebaseerd met soms enige nuanceverschillen. Voor het doel van deze studie (niet het exact nabootsen van de huidige werkelijkheid maar het op hoofdlijn verkrijgen van inzicht in de houdbaarheid van onze zoetwaterstrategie bij zeespiegelstijging) valt dit ruimschoots binnen de algehele onzekerheidsbandbreedte.

Voor alle combinaties van deze variabelen is in beeld gebracht of er en waar er tekorten optreden en hoe de KZH-strategie als geheel presteert.



4

Resultaten

4 Resultaten

4.1 Inleiding

Conform hetgeen beschreven in het voorgaande hoofdstuk zijn 315 combinaties van zeespiegelstijging (5), rivierafvoer (7), surplus (3) en watervraag (3) doorgerekend. Er zijn veel meer combinaties denkbaar; naast een groter aantal varianten qua watervraag zou deze ook per regio in hetzelfde scenario kunnen worden gevarieerd. In de uitgevoerde analyse is steeds voor alle regio's hetzelfde watervraagscenario gehanteerd.

Aangezien in deze studie de focus ligt op de waterstaatkundige effecten van zeespiegelstijging op de zoetwaterstrategie van het hoofdwatersysteem, is bij de analyse van de 315 simulaties gezocht naar de interessante 'knikpunten' in het systeem. Het beantwoorden van vragen als: hoe ontwikkelt de waterverdeling en -voorziening zich bij stijgende zeespiegel; in welke deel van het hoofdwatersysteem ontstaan tekorten; vanaf welke scenario's levert het waterverdelingsnetwerk knelpunten op; welke onderlinge afhankelijkheden tussen regio's manifesteren zich; is er een punt te identificeren waar de strategie als geheel 'faalt'? De focus ligt op het grotere geheel, niet de details.

Het toelichten van de resultaten gebeurt aan de hand van 'verhaallijnen' waarvan er twee (langs de as zeespiegelstijging en de as rivierafvoer) in de volgende paragraaf worden beschreven en twee andere in de bijlage zijn terug te vinden. Door het stapsgewijs aanpassen van één van de variabelen, en/of het aanvullend inzetten van een bepaalde maatregel, worden de waterstaatkundige effecten inzichtelijk gemaakt.

Aansluitend op de verhaallijnen wordt de performance (uitgedrukt in key-performance indicator, KPI) van de gehele strategie voor alle scenario's getoond in twee matrices waarin de variabelen watervraag en surplus gecombineerd worden weergegeven. Via deze matrices wordt voor elk scenario inzichtelijk gemaakt in welke mate in de watervraag voor de gebruiksfuncties wordt voorzien. Door deze resultaten in één figuur te tonen, worden eventuele kantelpunten in de performance van de landelijke zoetwatervoorziening inzichtelijk gemaakt.

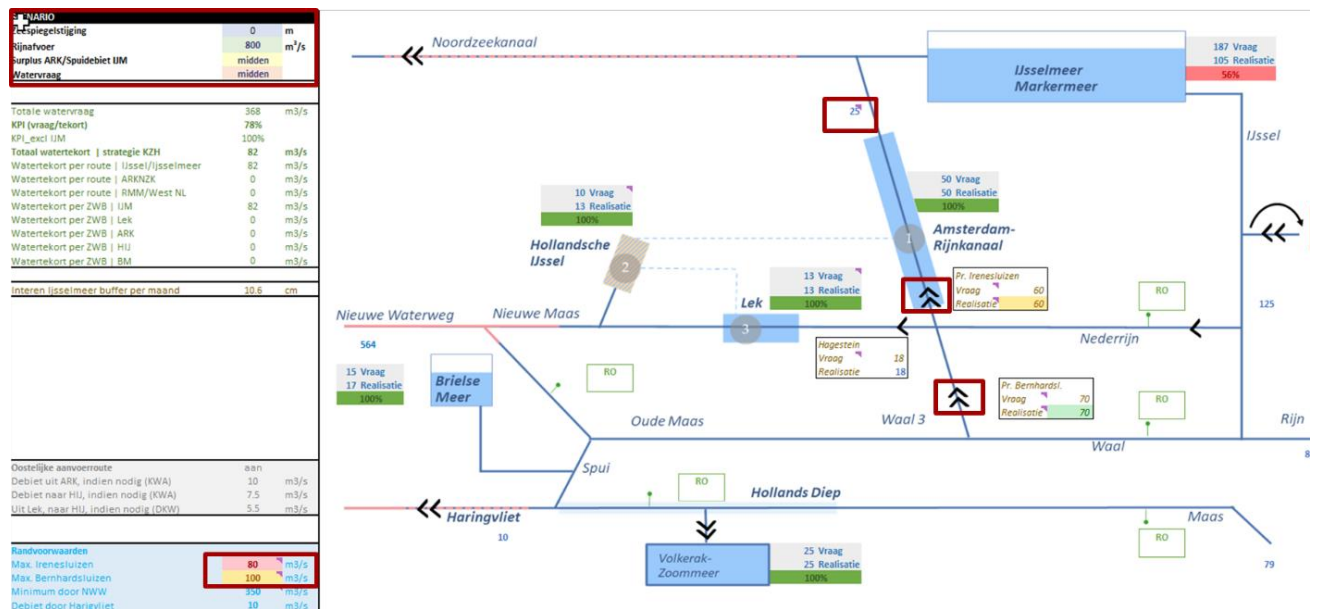
In de laatste twee paragrafen van dit hoofdstuk wordt beknopt ingegaan op respectievelijk de bovenregionale scharnierpunten en het handelingsperspectief. Laatstgenoemde sluit aan bij de verhaallijnen maar laat aanvullend daarop een generieker beeld van de mogelijke maatregelen zien, hoewel een integrale maatregelenverkenning buiten de scope van dit onderzoek valt. Bij de bovenregionale scharnierpunten wordt een beknopte beschouwing gegeven van belangrijke afhankelijkheden en interacties in het systeem. Bijvoorbeeld dat een extra aanvoer naar het IJM zonder consequenties voor andere gebieden mogelijk is, zo lang het ondergrens debiet op de NWW wordt geborgd en de ARK ZWB in stand blijft.

4.2 Verhaallijn | stijgende zeespiegel

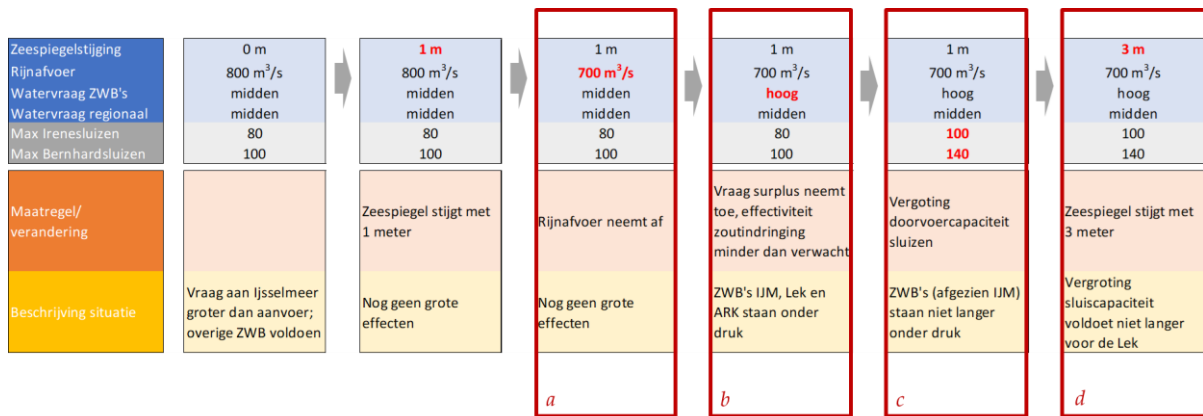
In deze verhaallijn wordt stapsgewijs de impact van ZSS op de zoetwatervoorziening getoond van 0 tot 3 m. In onderstaande zes stappen wordt de zeespiegelstijging geleidelijk verhoogd. Naast de zeespiegelstijging wordt ook de rivierafvoer aangepast, het surplus (watervraag ZWB's) en een ingreep gedaan (verhoging doorvoercapaciteit). Met dit laatste wordt getoond dat de negatieve effecten van ZSS (deels) kunnen worden gemitigeerd door het treffen van adequate maatregelen. Van de zes stappen worden vier keer de dashboards getoond (rood omcirkeld), in onderstaand kader wordt de configuratie van het dashboard toegelicht.

Kader Toelichting dashboard

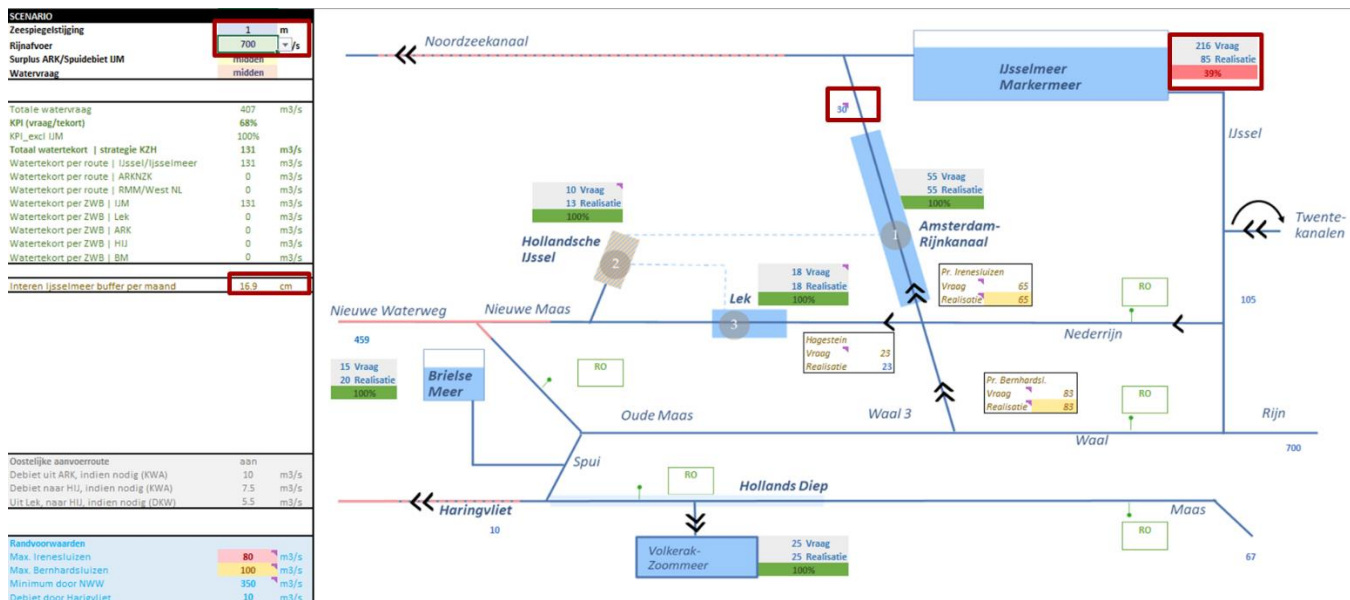
Onderstaande figuur toont het dashboard van de bovenregionale waterverdelingstool. Deze laat voor een bepaald scenario de waterverdeling over het netwerk zien en evenals de zoetwatervoorziening per zoetwaterbuffer. Voor elk van de zes zoetwaterbuffers (3x RMM, IJM, ARK en VZM) wordt expliciet gemaakt wat de watervraag is en in hoeverre deze wordt gerealiseerd. Doordat in onderstaand voorbeeld (scenario 0 m ZSS, 800 m³/s, surplus midden en watervraag midden) de watervraag -behoudens IJM- volledig kan worden geleverd zijn de buffers groen gekleurd (100%). In het dashboard zijn tevens de overige regionale geclusterde onttrekkingen zichtbaar, op deze locatie wordt de in de bijlage gegeven hoeveelheid water uit het hoofdwatersysteem onttrokken. Tevens worden de debieten op de belangrijke takken van het hoofdwatersysteem getoond (bijvoorbeeld Lobith, NWW, IJssel). Ook wordt de doorvoer bij belangrijke stuurknoppen in midden Nederland getoond (Hagestein, Irenesluizen, Bernhardsluizen). Aan te passen maximale doorvoercapaciteiten staan linksonder in het schema, evenals daarboven de gehanteerde doorvoerdebieten van de oostelijke regionale aanvoerroutes naar de ZWB HIJ. Linksmidden, onder de scenario definitie, wordt de output in termen van watertekort weggeschreven: zowel totaal, als per route. Tevens wordt de algehele KPI van de strategie uitgedrukt in een percentage dat aangeeft welk deel van de watervraag in het betreffende scenario kan worden bediend. Deze KPI komt verderop in de matrix terug waarin alle scenario's vertegenwoordigd zijn. Hierbij wordt zowel een KPI met als zonder IJM getoond. De reden hiervoor is het bijzondere karakter van de IJsselmeerbuffer met een enorm te benutten watervolume in droge tijden waardoor een verschil in wateraanvoer (IJssel) en waterverbruik (verziltingsbestijding Afsluitdijk, verdamping, onttrekkingen) in deze studie pas als een tekort wordt beschouwd wanneer de waterstand op het IJsselmeer onder de -0.4 m NAP daalt.



Het in kader beschreven basisscenario (800 m³/s, 0 m ZSS en watervraag & surplus midden) is als vertrekpunt voor de verhaallijn genomen. Zoals zichtbaar is, wordt in deze situatie de watervraag aan de buffers volledig bediend. Bij het IJM zorgt het verschil tussen aanvoer en verbruik voor een daling van het IJsselmeerpeil met 10 cm als deze situatie zich 1 maand voordoet. Mits de buffer voorafgaand de droge zomer volledig gevuld is, zal dit in de praktijk niet snel tot een tekort in de IJsselmeerregio leiden. In stap 2 wordt de zeespiegel met een meter verhoogd, de overige variabelen blijven hetzelfde. Deze stijging van de zeespiegel zorgt weliswaar voor een hogere zoutlast door de sluisen en verdergaande zoutindringing in de RMM, maar er is voldoende zoetwater beschikbaar voor het leveren van dit extra benodigde surplus. Dit gaat in dit scenario nog niet ten koste van het bedienen van de gebruiksfuncties. In stap 3 daalt de Rijnafvoer met 100 m³/s naar 700 m³/s bij dezelfde ZSS van +1 m. Dashboard a van deze verhaallijn laat de zoetwaterperformance van het gehele systeem zien. Ook met deze lagere Rijnafvoer kunnen de ZWB's, behoudens IJM, volledig bediend worden, inclusief het hogere benodigde surplus in de monding van het ARK (rood omcirkeld). In het IJM neemt het verschil tussen vraag en aanbod toe, enerzijds door de lagere aanvoer van



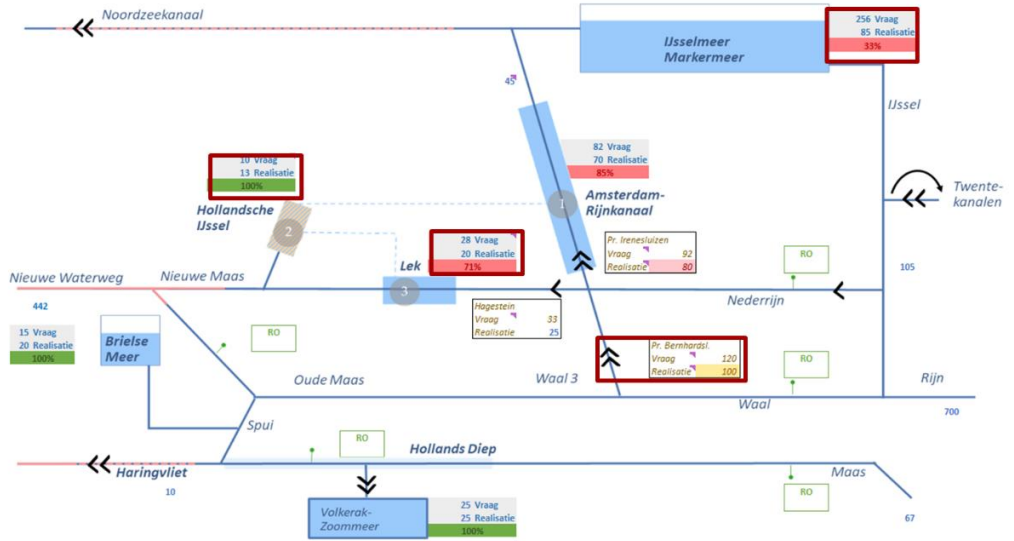
de IJssel (800 versus 700 m³/s), anderzijds door het hogere verziltings-surplus bij de Afsluitdijk als gevolg van ZSS. T.o.v. stap 1 in de verhaallijn (basisscenario) daalt het IJsselmeerpeil in 1 maand 7 cm verder (naar 16.9 cm), waarmee het systeem kwetsbaarder wordt.



Figuur 8. Dashboard Stijgende zeespiegel (a) | 700 m³/s afvoer i.c.m. +1 m ZSS en watervraag midden.

In Dashboard b wordt, aanvullend op de vorige stap, het benodigde surplus van midden naar hoog veranderd. Dit kan het gevolg zijn van intensiever scheepvaartverkeer via IJmuiden en Afsluitdijk (meer schuttingen dus meer zoutlast) dan wel een (forse) achteruitgang van de efficiëntie van de verziltingsbestrijding bij deze sluizen. Ofwel, er is meer zoetwater nodig om voldoende zout uit het systeem te krijgen opdat de ZWB in stand blijft. Zoals in onderstaande figuur is te zien, gaat dit ten koste van het bedienen van de watervraag. Bij het IJM wordt de kloof tussen aanvoer en vraag fors (33%) en zou het peil in 1 maand 22 cm dalen. Hiermee is de kans op tekorten in het IJM aannemelijk (afhankelijk van de duur van de droogte/laagwaterperiode). Tevens ontstaan voor het eerst rode arceringen bij de buffers in midden Nederland. Zowel de watervraag van de Lek als het ARK kan niet volledig worden bediend. Hierbij is het belangrijk te beseffen dat de KWA/DKW routes vanuit ARK/Lek richting de ZWB HIJ voorrang krijgen (zie uitgangspunt prioritering), waardoor de ZWB HIJ groen blijft kleuren. Het moge duidelijk zijn dat in de operationele praktijk andere keuzes denkbaar zijn. Voorts is in het dashboard zichtbaar dat de capaciteit van zowel de Irene- als Bernhardsluizen beperkend is voor de wateraanvoer naar de Lek en het ARK.

SCENARIO	
Zeespiegelstijging	1 m
Rijnafvoer	700 m ³ /s
Surplus ARK/Spuidebiet IJM	hoog
Watervraag	midden
Totaal watervraag 484 m ³ /s	
KPI (vraag/tekort)	61%
KPI_excl IJM	91%
Totaal watertekort strategie KZH	190 m ³ /s
Watertekort per route IJssel/IJsselmeer	171 m ³ /s
Watertekort per route ARKNZ	12 m ³ /s
Watertekort per route RMM/West NL	8 m ³ /s
Watertekort per ZWB IJM	171 m ³ /s
Watertekort per ZWB Lek	8 m ³ /s
Watertekort per ZWB ARK	12 m ³ /s
Watertekort per ZWB HIJ	0 m ³ /s
Watertekort per ZWB BM	0 m ³ /s
Interen IJsselmeer buffer per maand 22,1 cm	
Oostelijke aanvoerrote aan	
Debiet uit ARK, indien nodig (KWA)	10 m ³ /s
Debiet naar HIJ, indien nodig (KWA)	7,5 m ³ /s
Uit Lek, naar HIJ, indien nodig (DKW)	5,5 m ³ /s
Randvoorwaarden	
Max. Irenesluizen	80 m ³ /s
Max. Bernhardsluizen	100 m ³ /s
Minimum door NWW	350 m ³ /s
Debiet door Haringvliet	10 m ³ /s

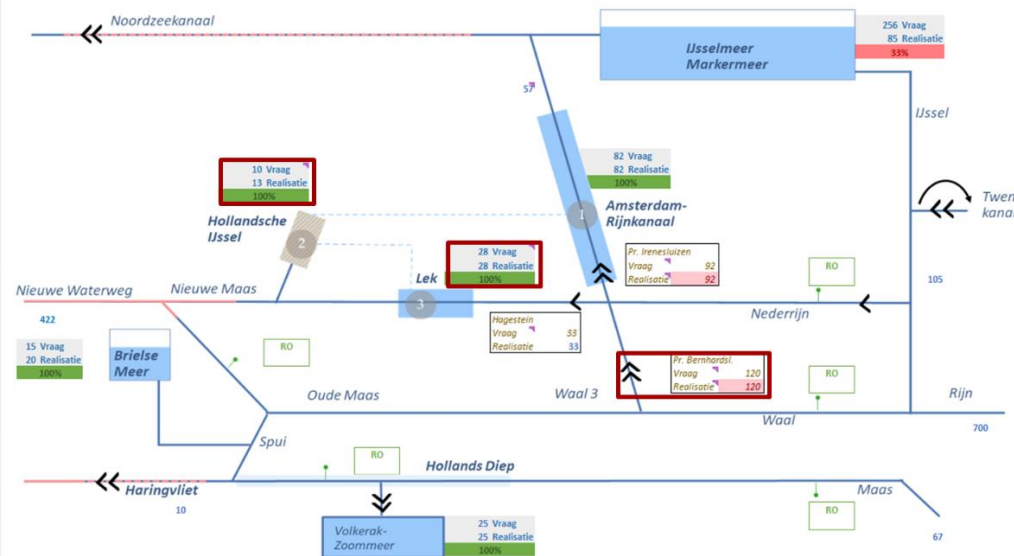


Figuur 9. Dashboard Stijgende zeespiegel (b) | 700 m³/s afvoer i.c.m. +1 m ZSS en watervraag hoog.

Het verhogen van de doorvoercapaciteit van beide sluisen op het ARK is dan ook de logische volgende stap, met als doel om de watervraag in de Lek en ARK ZWB's weer volledig te kunnen bedienen. Onderstaand dashboard c laat zien dat deze maatregel het gewenste effect sorteert. Ook is zichtbaar dat deze hogere doorvoer naar het ARK -in dit scenario- geen negatief effect heeft op de andere buffers. Wat betreft het IJM wellicht logisch omdat deze twee aanvoerroutes onafhankelijk van elkaar zijn in de situatie met een gesloten Stuw Driël.

Benedenstrooms in de RMM komt door deze ingreep minder water terecht, zoals te zien is in het restdebiet op de NWW (422 i.p.v. 442 m³/s). Omdat deze hoeveelheid groter is dan het benodigde ondergrensdebiet op de NWW (hoewel minimale ondergrens nog dient te worden vastgesteld, is vanuit de regio studie RMM bekend dat 400 m³/s voldoende is voor het in stand kunnen houden van de buffers met een passend surplus) kunnen evenwel de buffers in de RMM met het beschikbare zoetwater in stand worden gehouden en de gebruiksfuncties bedienen.

SCENARIO	
Zeespiegelstijging	1 m
Rijnafvoer	700 m ³ /s
Surplus ARK/Spuidebiet IJM	hoog
Watervraag	midden
Totaal watervraag 484 m ³ /s	
KPI (vraag/tekort)	65%
KPI_excl IJM	100%
Totaal watertekort strategie KZH	171 m ³ /s
Watertekort per route IJssel/IJsselmeer	171 m ³ /s
Watertekort per route ARKNZ	0 m ³ /s
Watertekort per route RMM/West NL	0 m ³ /s
Watertekort per ZWB IJM	171 m ³ /s
Watertekort per ZWB Lek	0 m ³ /s
Watertekort per ZWB ARK	0 m ³ /s
Watertekort per ZWB HIJ	0 m ³ /s
Watertekort per ZWB BM	0 m ³ /s
Interen IJsselmeer buffer per maand 22,1 cm	
Oostelijke aanvoerrote aan	
Debiet uit ARK, indien nodig (KWA)	10 m ³ /s
Debiet naar HIJ, indien nodig (KWA)	7,5 m ³ /s
Uit Lek, naar HIJ, indien nodig (DKW)	5,5 m ³ /s
Randvoorwaarden	
Max. Irenesluizen	100 m ³ /s
Max. Bernhardsluizen	140 m ³ /s
Minimum door NWW	350 m ³ /s
Debiet door Haringvliet	10 m ³ /s

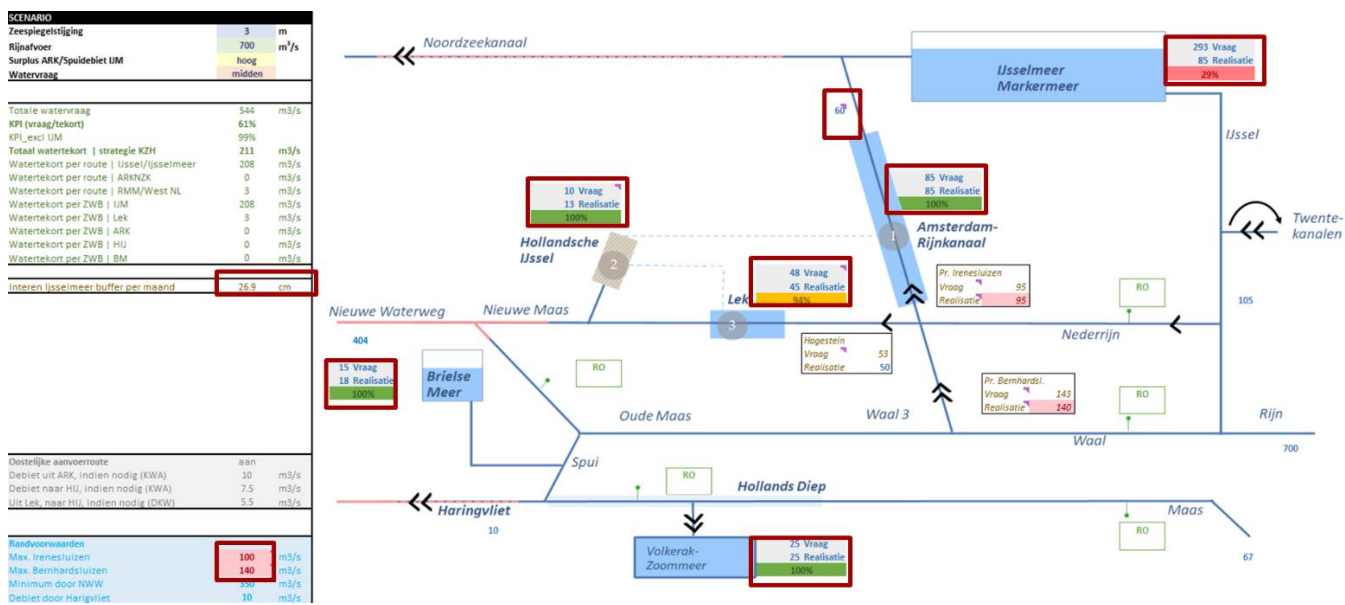


Figuur 10. Dashboard Stijgende zeespiegel (c) | 700 m³/s afvoer i.c.m. +1 m ZSS, watervraag hoog en maatregel kunstwerken ARK.

In de laatste stap d stijgt de zeespiegel met 3 m. Deze stijging zorgt voor een aanzienlijk hogere zoutlast via de verschillende sluisen. Dit vraagt een hoger surplus voor verziltingsbestrijding zoals zichtbaar is in bijvoorbeeld het ARK en IJsselmeer. Overigens wordt in dit scenario ook nog steeds gerekend met surplus hoog, wat overeenkomt met ofwel een veel intensievere scheepvaart dan nu of een fors afnemende efficiëntie van de verziltingsbestrijding. In dit scenario is de vraag aan het IJsselmeer bijna 300 m³/s terwijl er maar 85 m³/s door de IJssel wordt aangevoerd. Dit grote verschil zorgt voor een snelle uitputting van de buffer met 27 cm per maand. Grote tekorten in het IJsselmeergebied mogen worden verwacht als deze situatie zich in een zomer langdurig voordoet.

Hoewel in de buffers in midden en west Nederland nog steeds een groot deel van de watervraag kan worden bediend, wordt het systeem kwetsbaarder. Grotere hoeveelheden water worden via het ARK naar het noorden gestuurd waardoor er minder water voor de RMM overblijft. De tegendruk op de NWW neemt af naar 400 m³/s, en komt dichterbij de buurt van -het nog niet bekende- ondergrensdebiet op de NWW. Mogelijk moet in dit scenario flink worden ingegrepen op de scheepvaart zodat er minder surplus nodig is en ook forse hoeveelheden water via sluisen kan worden doorgevoerd.

Bij een verdere daling van de Rijnaafvoer naar bijvoorbeeld 600 m³/s (niet getoond in dashboard, zie volgende verhaallijn) komt het systeem verder onder druk te staan. De tekorten in het IJM nemen verder toe, en de grote watervraag van het ARK gaat mogelijk strijden met het minimaal benodigde NWW debiet. Het gehele waterverdelingsnetwerk inclusief regionale doorvoerroutes wordt maximaal ingezet, een tijdelijke onderbreking (incident, gemaaluitval) zal vrij snel tot problemen leiden voor de waterleveringen.

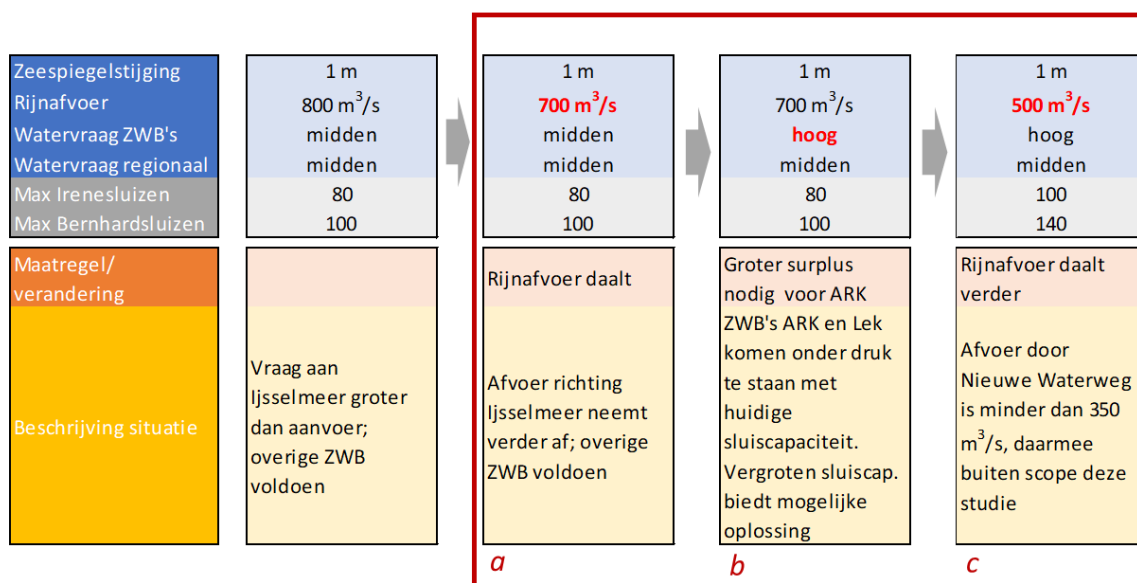


Figuur 11. Dashboard Stijgende zeespiegel (d) | 700 m³/s afvoer i.c.m. +3 m ZSS, watervraag hoog en maatregel kunstwerken ARK.

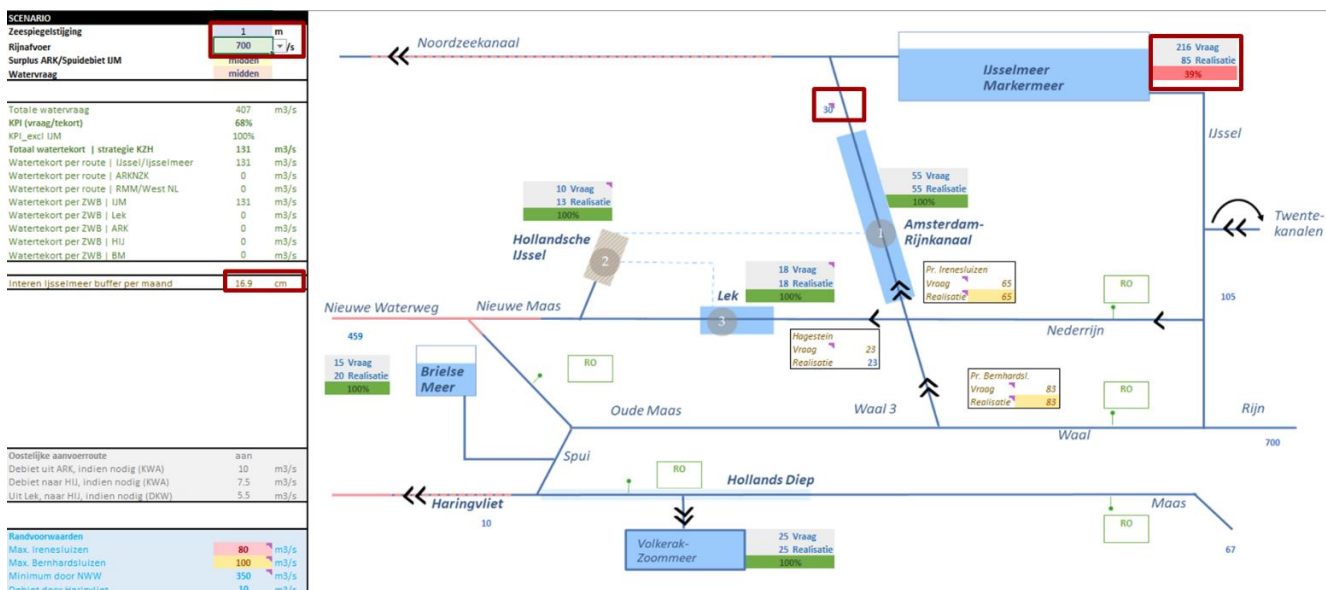
Samengevat zien we dat een stijgende zeespiegel tot een toename van het benodigd surplus voor verziltingsbestrijding leidt. Als dit de enige ontwikkeling is, zijn de waterstaatkundige effecten tot op zekere hoogte te overzien. Vooral omdat de toename van het benodigde surplus agv 'ZSS-alleen' voor ARK, VZM en RMM te mitigeren is. Echter als ZSS samenvalt met een toename van de watervraag, lagere rivierafvoeren en mogelijk ook een toename van de scheepvaart komen de grenzen van het systeem eerder in zicht. Ook lukt het dan niet meer om via het waterverdelingsnetwerk het water op de juiste plek te krijgen. Via gerichte aanpassingen in het netwerk (verhoging capaciteit ARK kunstwerken, extra aanvoerroute naar IJM) kan dit voor een deel worden opgelost waarmee de houdbaarheid van de strategie wordt opgerekt. Tot aan het moment dat er onvoldoende rivierwater het land binnenkomt om alle ZWB's te bedienen, inclusief minimaal benodigd debiet op de NWW.

4.3 Verhaallijn | dalende Rijnafvoer

De tweede verhaallijn vertrekt bij een scenario met een Rijnafvoer van 800 m³/s in combinatie met een 1 m hogere zeespiegel en surplus/watervraag midden. In deze eerste stap kan in de watervraag aan de buffers worden voorzien. Bij een dalende Rijnafvoer naar 700 m³/s geldt min of meer hetzelfde, zoals we ook al in de vorige verhaallijn hebben gezien. Wel neemt de aanvoer via de IJssel naar het IJsselmeer af en is er in het IJsselmeer door de ZSS meer water nodig voor verziltingsbestrijding. In Dashboard a is dit zichtbaar via het sneller uitputten (17 cm i.p.v. 10 cm per maand) van de IJsselmeerbuffer. De andere zoetwaterbuffers kunnen in dit scenario de verschillende gebruiksfuncties blijven bedienen, ondanks een hoger benodigde surplus voor verziltingsbestrijding. Voor de Hollandse IJssel geldt wel dat de regionale aanvoerroutes de benodigde hoeveelheden (zie bijlage) systematisch weten door te voeren.



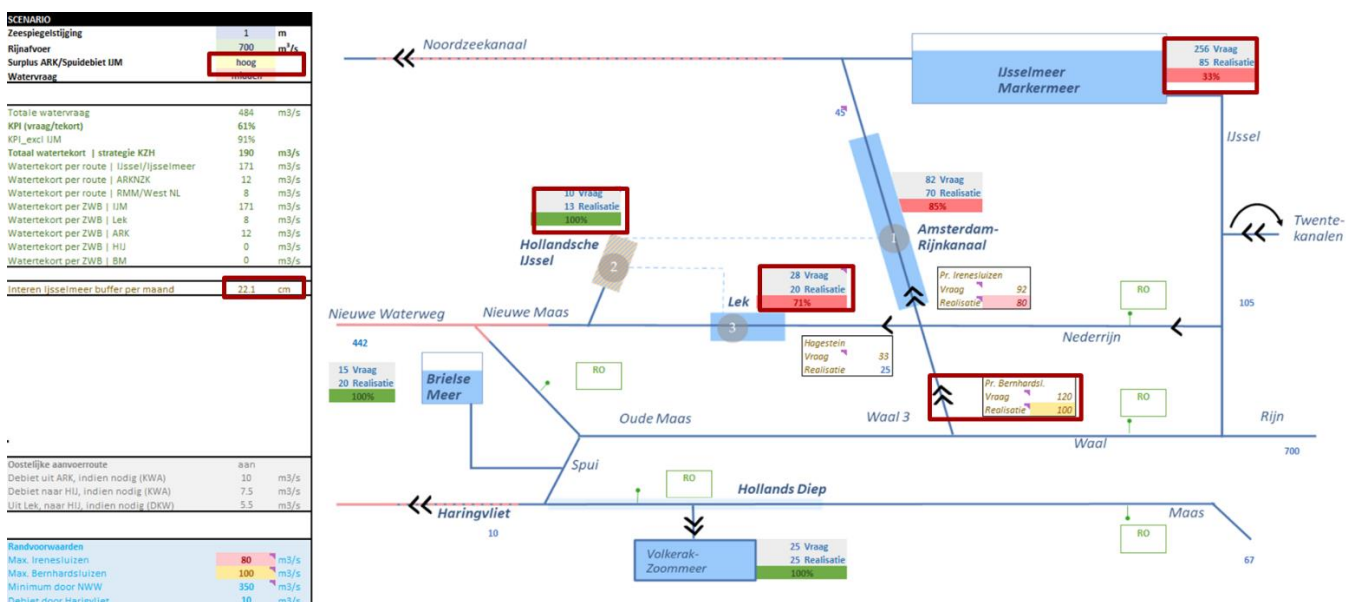
Figuur 12. Verhaallijn dalende Rijnafvoer.



Figuur 13. Dashboard Dalende Rijnafvoer (a) | 700 m³/s afvoer i.c.m. +1 m ZSS en watervraag midden.

Stap 3 (dashboard b, Figuur 14) laat een ander beeld zien, bij gelijkblijvende Rijnafvoer maar met een aanzienlijk hoger surplus voor IJM en ARK. Bijvoorbeeld als gevolg van een forse intensivering van de scheepvaart via de sluisen bij IJmuiden en in de Afsluitdijk. Veel meer water is dan nodig om ARK en IJM zoet te houden, waardoor de buffer op het IJM sneller slinkt (22 cm i.p.v. 17 cm in 1 maand) en bovendien de watervraag op het ARK niet volledig kan worden bediend (85%), mede omdat er onvoldoende water kan worden doorgevoerd via de Bernhard- en Irenesluizen. Hier is sprake van een potentieel knelpunt in het waterverdelingsnetwerk, tenminste als er op termijn grotere hoeveelheden water naar het ARK en/of de Lek moeten worden getransporteerd. Vanzelfsprekend hangt dit samen met de efficiëntie van de verziltingsbestrijding bij IJmuiden, ontwikkeling van de watervraag in west Nederland en de scheepvaartbewegingen bij IJmuiden. In het geval van een limiterende doorvoercapaciteit bij de Bernhardsluizen is er sprake van competitie tussen ARK (Irenesluizen) en Lek (Hagestein). In de praktijk zullen afwegingen situationeel worden gemaakt; in de waterverdelingstool is de prioritering zo dat eerst het ARK wordt bediend (85%, vanwege maximale inlaatcapaciteit Irenesluizen) boven doorvoer naar de Lek (71%). Zoals eerder benoemd is de prioriteit van de HIJ ZWB weer hoger dan ARK (en Lek), deze wordt vanuit ARK en Lek van water voorzien.

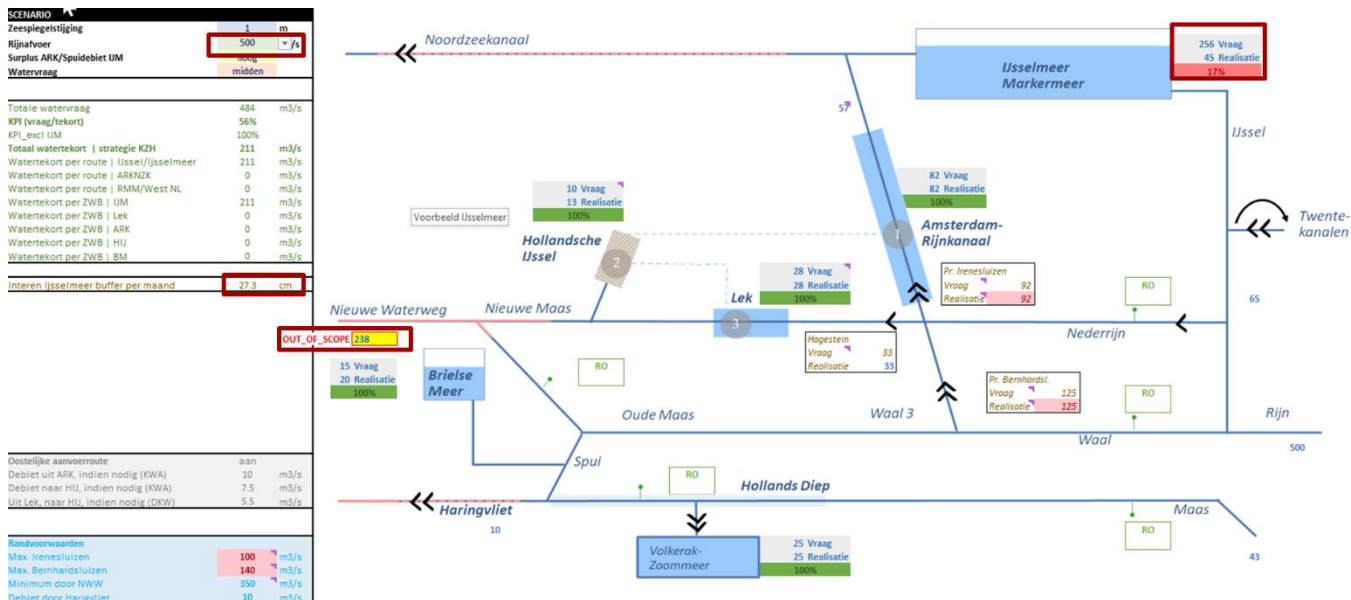
Wanneer de doorvoer door de sluisen zou worden vergroot, lost dit de potentiële watertekortknelpunten in deze buffers op. Echter, als de Rijnafvoer vervolgens afneemt naar 500 m³/s, wordt er onderweg een dusdanige hoeveelheid water onttrokken dat de afvoer door de Nieuwe Waterweg onder de 350 m³/s komt. Hiermee valt deze situatie buiten de onderzochte bandbreedte in deze studie (Figuur 15). Het is voornamelijk niet bekend wat het minimaal benodigde ondergrensdebiet op de NWW ter instandhouding van de RMM-ZWB's.



Figuur 14. Dashboard Dalende Rijnafvoer (b) | 700 m³/s afvoer i.c.m. +1 m ZSS en watervraag hoog.

In de laatste stap (Dashboard c) daalt de Rijnafvoer naar 500 m³/s in combinatie met een verhoogde doorvoercapaciteit van de kunstwerken op het ARK (Figuur 15). Dit lijkt de 'oplossing' voor de zoetwaterknelpunten in midden west Nederland te zijn waar de buffers weer groen kleuren. Tegelijkertijd zien we in het dashboard dat het NWW debiet afneemt naar 239 m³/s. Omdat dit ruim onder de modelmatig beschouwde minimale NWW debieten in de regio studie RMM ligt, kunnen hierover geen uitspraken worden gedaan. Het is buiten de beschouwde bandbreedtes, vanwaar dat de tool 'out-of-scope' aangeeft. Belangrijk is om nader inzicht in het minimaal benodigde ondergrensdebiet op de NWW te krijgen: de hoeveelheid zoetwatertegendruk op de NWW die nodig is om de RMM-zoetwaterbuffers (HIJ, Lek, BM) in stand te kunnen houden met een enigszins haalbaar surplus. Bij dit scenario zien we in het IJsselmeer een vanuit zoetwaterperspectief beschouwd extreem problematische situatie ontstaan waarbij slechts 17% van de watervraag door de IJssel wordt aangevoerd, resulterend in een daling van de buffer met 27 cm in 1 maand. Hoewel dit een extreem

scenario is, is dit een situatie waarin een extra -situationeel inzetbare- aanvoerroute naar het IJM wenselijk is. De vraag is wel of de grenzen van de KZH dan onder bepaalde omstandigheden eerder bereikt worden, omdat een extra aanvoerroute waarschijnlijk een extra verlaging van de zoetwatertegendruk op de NWW met zich mee zou brengen. Door zeespiegelstijging neemt de noodzaak voor een extra aanvoerroute naar het IJsselmeer toe, naast het realiseren van een efficiënte verziltingsbestrijding bij de Afsluitdijk.



Figuur 15. Dashboard Dalende Rijnafvoer (c) | 500 m³/s afvoer i.c.m. +1 m ZSS en watervraag hoog.

4.4 Zoetwaterperformance matrix

In de voorgaande verhaallijnen met dashboards is aan de hand van individuele uitsnedes (die een van de 315 scenario's representeren) het verloop van de waterstaatkundige effecten bij een stijgende zeespiegel beschreven. In onderstaande matrices is het eindresultaat van alle scenario's in één matrix geplott, waarbij de variabelen surplus en watervraag zijn gebundeld. Daar waar 'midden' staat, betekent dit dat zowel voor surplus als watervraag het midden scenario wordt getoond. In de matrices wordt 'slechts' één KPI (key performance indicator) getoond die informatie geeft over de performance van de algehele strategie. Het moge duidelijk zijn dat het resultaat hiermee wordt platgeslagen, evenwel heeft de toepassing van een KPI als voordeel dat de performance van de strategie op hoofdlijn voor alle scenario's in een figuur wordt getoond. In de dashboardfiguren is de KPI per route, buffer en voor het gehele systeem getoond. Deze staan weergegeven in de kolom aan de linkerkant van het dashboard.

In Figuur 16 wordt de KPI getoond voor de gehele zoetwatervoorziening vanuit het hoofdwatersysteem, exclusief het IJsselmeer. Deze KPI geeft het percentage van de watervraag weer waaraan voldaan kan worden. Bijvoorbeeld scenario 1-800-midden heeft een watervraag van 191 m³/s (excl. IJsselmeergebied) die volledig kan worden geleverd, waardoor de KPI 100% is. Deze KPI daalt bij scenario 3-500-midden naar 88% aangezien van de 231 m³/s watervraag in 204 m³/s kan worden voorzien. Zoals voor de gehele studie geldt, betreft het de watervraag aan het hoofdwatersysteem (oppervlaktewater), niet de watervraag op perceelsniveau. Tevens betreft het niet alleen de watervraag aan de strategische zoetwaterbuffers (waar deze studie zich op focust) maar ook de overige onttrekkingen aan het hoofdwatersysteem. Voorts is een deel van de matrix grijs gearceerd vanwege de nog openstaande kennisleemte m.b.t. het ondergrensdebiet voor de Nieuwe Waterweg. Het opvullen van deze kennisleemte zal een zekere impact hebben op de KPI in dit deel van de matrix. Wel kunnen we nu al stellen dat het in het linkerdeel van de matrix

(de lagere Rijnafvoeren) veel uitmaakt of het minimale ondergrensdebiet ordegrrootte 400, 350, 300 of 250 m³/s zal zijn.

In Figuur 17 wordt separaat de KPI voor het IJsselmeer getoond. De reden hiervoor is de grote aanwezige buffer waardoor een mismatch tussen vraag en aanbod niet als tekort kan worden beschouwd. Feitelijk is er pas sprake van een tekort als de buffer onder de -0.4 m NAP daalt en de buffer van 30 cm is opgebruikt. Daarom is de KPI voor het IJsselmeer getoond als het aantal cm benodigde buffer om aan de volledige watervraag te voldaan, als het betreffende scenario 2 maanden aanhoudt (60 dagen). Bijvoorbeeld scenario 1-800-midden heeft een waterschijf nodig van 29 cm, die in principe beschikbaar zou moeten zijn als er tijdig is opgezet. De benodigde waterschijf neemt toe naar 54 cm voor bijvoorbeeld het scenario 3-500-midden, deze waterschijf is gegeven de huidige afspraken normaliter niet beschikbaar. Voor dit soort scenario's kan een grotere buffer en/of een extra aanvoerroute via het ARK mogelijk soelaas bieden, al zal dat laatste ten koste gaan van de tegendruk op de NWW. Voor de zoetwatervoorziening is van belang dat in ieder geval het ondergrensdebiet op de NWW niet wordt onderschreden.

KPI (excl IJM)		Rijnafvoer (m ³ /s)						
Watervraag	Zss	500	600	700	800	1000	1500	2000
laag	0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
laag	0.5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%
laag	1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
laag	2	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
laag	3	94%	96%	100%	100%	100%	100%	100%
midden	0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
midden	0.5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
midden	1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
midden	2	94%	95%	96%	100%	100%	100%	100%
midden	3	88%	89%	90%	100%	100%	100%	100%
hoog	0	86%	86%	86%	87%	94%	98%	98%
hoog	0.5	87%	87%	87%	88%	92%	98%	98%
hoog	1	87%	87%	87%	88%	92%	98%	98%
hoog	2	85%	85%	85%	85%	91%	97%	98%
hoog	3	81%	81%	81%	82%	89%	94%	94%

Figuur 16. KPI van alle zoetwaterbuffers en -zones exclusief het IJsselmeer. De KPI geeft de aan in welk deel van de watervraag aan het hoofdwatersysteem in het betreffende water wordt voorzien. In de grijze arcering is aangegeven voor welk deel van de matrix de output KPI mede afhangt van de nog vast te stellen ondergrensdebiet voor de NWW.

Uit bovenstaande matrix (exclusief IJsselmeer) volgt dat tot aan Rijnafvoeren van 600 m³/s en watervraag/surplus midden de performance van de strategie goed te noemen is. Dit is een belangwekkende constatering gegeven de huidige praktijk waarin Rijnafvoeren beneden de 700 m³/s zeldzaam zijn. In vrijwel al deze scenario's kan de watervraag aan het hoofdwatersysteem worden bediend. Daar waar de KPI onder de 100% daalt, bijvoorbeeld 3-700-midden, is de doorvoercapaciteit van de ARK kunstwerken de beperkende factor.

Over de performance van het systeem bij lagere afvoeren dan 600 m³/s is het nu niet mogelijk uitspraken te doen, vanwege de kennisleemte m.b.t. ondergrensdebiet NWW. Dit is een belangrijk punt voor vervolgonderzoek.

Bij de scenario's watervraag/surplus hoog loopt de performance van de strategie al eerder terug, zowel als gevolg van ZSS als lagere rivierafvoeren. Wel belangrijk om te beseffen dat

in deze scenario's zowel de watervraag fors toeneemt als mede het benodigde surplus bij IJM en ARK t.b.v. verziltingsbestrijding. Dit laatste niet vanwege ZSS alleen maar als gevolg van bijvoorbeeld veel intensiever scheepvaartverkeer. Uit het onderste deel van de matrix volgt de constatering dat de zoetwaterperformance aanzienlijk afneemt in het geval van een forse toename van de watervraag (los van de reden: verdamping, onttrekkingen of extra surplus). Stel dat de totale watervraag op termijn verdubbelt, dan zullen er eerder in het afvoer- en/of zeespiegelstijgingsdomein tekorten ontstaan; de kwetsbaarheid van het systeem neemt toe.

Uitputting IJM buffer duur 2 maanden (60 dgn)		500	600	700	800	1000	1500	2000
laag	0	10	5	0	0	0	0	0
laag	0.5	11	6	0	0	0	0	0
laag	1	13	7	2	0	0	0	0
laag	2	16	11	6	1	0	0	0
laag	3	20	15	10	4	0	0	0
midden	0	37	32	26	21	11	0	0
midden	0.5	41	36	31	26	15	0	0
midden	1	44	39	34	29	18	0	0
midden	2	49	44	39	34	23	0	0
midden	3	54	49	43	38	28	2	0
hoog	0	76	71	66	60	50	24	0
hoog	0.5	80	75	70	65	54	28	2
hoog	1	83	78	73	68	57	31	5
hoog	2	89	83	78	73	62	36	10
hoog	3	93	88	83	77	67	41	15

Figuur 17. KPI van IJsselmeersysteem uitgedrukt in cm benodigde waterschijf per scenario om de volledige watervraag (verdamping, onttrekkingen, surplus) gedurende een periode van twee maanden te kunnen bedienen. In het huidige systeem is in principe een buffer van 30 cm beschikbaar.

De matrix in Figuur 17, specifiek over IJM, laat een vergelijkbaar patroon zien als de voorgaande figuur. Zij het dat het kantelpunt (vanaf wanneer kan niet meer in de volledige watervraag worden voorzien) op een eerder punt in de matrix ontstaat dan in KZH-excl. IJM. Uitgaande van een huidige buffer van 30 cm (met ook nog een risico op het niet tijdig opzetten) kan bijvoorbeeld niet tot aan 600 m³/s rivierafvoer, 2-3 m ZSS en watervraag/surplus midden in de gehele watervraag worden voorzien. Het is wel van belang om hierbij aan te tekenen dat de keuze voor een duur van 2 maanden sterk bepalend -en in zekere mate arbitrair- is. Evenwel lijkt het erop dat het IJsselmeer systeem gevoeliger/kwetsbaarder is dan de andere strategische zoetwaterbuffers in het hoofdwatersysteem. Een beeld dat overigens aansluit bij ervaringen uit de recente droogtejaren en uitkomsten van studies als stresstest IJsselmeer.

Uit bovenstaande matrix volgt duidelijk de constatering dat zowel bij zeer lage rivierafvoeren als bij vrijwel alle 'hoog' scenario's de huidige bufferomvang van het IJsselmeer niet volstaat. In tegenstelling tot de RMM, speelt bij lagere afvoeren niet de onzekerheid rondom het minimaal benodigde ondergrens debiet op de NWW. Bij lage rivierafvoeren loopt voor het IJsselmeergebied de afvoer van de IJssel dusdanig terug dat een steeds kleiner deel van watervraag door de IJssel wordt aangevuld (op een gegeven moment minder dan 30%), zoals in de eerder beschreven verhaallijnen terugkomt. Deze situaties kunnen -gegeven de huidige omvang van de buffer- niet te lang (in termen van weken) voortduren. Om dit soort scenario's in de toekomst het hoofd te kunnen bieden, zijn maatregelen nodig. In de volgende paragraaf is beknopt uitgewerkt hoe verschillende type maatregelen voor het

IJsselmeer in het consistent kunnen worden afgewogen op het gebied van zoetwaterperformance.

Ook bij scenario's surplus/watervraag hoog neemt de benodigde omvang van de buffer snel toe, hierbij is de plus van zeespiegelstijging duidelijk zichtbaar. Het moge duidelijk zijn dat de grenzen van het IJsselmeersysteem op het gebied van zoetwatervoorziening sneller worden bereikt dan de meeste andere delen van het hoofdwatersysteem. Een combinatie van ZSS met een toename van de watervraag en afname van de Rijnafvoer zorgt voor substantiële achteruitgang van de zoetwaterperformance.

4.4.1 Handelingsperspectief

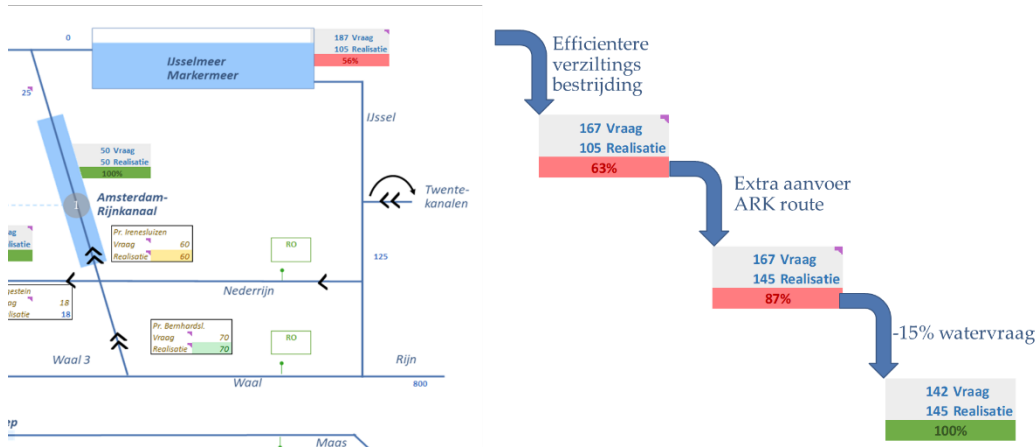
Het uitvoeren van een maatregelverkenning naar effectieve ingrepen ter verbetering van de zoetwatervoorziening vanuit het hoofdwatersysteem valt buiten de scope van deze studie. Evenwel volgen uit de voorgaande analyses (waterstaatkundige) beperkingen die op termijn in het waterverdelingsnetwerk kunnen ontstaan. Een belangrijke is de doorvoercapaciteit van de ARK kunstwerken Bernhardsluizen en Irenesluizen. Het handelingsperspectief voor deze beperking zou het vergroten van de doorvoercapaciteit kunnen zijn. De effectiviteit hiervan is in de verhaallijn stijging zeespiegel getoond (dashboard c) waarbij aan de watervraag aan de buffers Lek en ARK door deze maatregel vervolgens wordt voldaan

Naast bovenstaande maatregel in het waterverdelingsnetwerk wordt in deze paragraaf een tweede voorbeeld geïllustreerd m.b.t. het handelingsperspectief in het IJsselmeergebied. Uit voorgaande matrixanalyse komt naar voren dat de zoetwaterperformance van het IJsselmeergebied afneemt bij (combinaties van) zeespiegelstijging, afname rivierafvoer en/of toename watervraag. Door maatregelen te treffen kan de performance/robuustheid van het systeem worden verbeterd. Een mogelijk aanpak hierbij is 1. het verkennen en doorrekenen van individuele maatregelen 2. het opstellen van maatregelenpakket(ten) 3. het toetsen van deze maatregelenpakketten op de zoetwaterperformance voor een breed scala aan omstandigheden en scenario's. Een zinvolle manier kan zijn om de matrix uit de vorige paragraaf te gebruiken om de effectiviteit van een maatregelenpakket systematisch op zoetwaterperformance te beoordelen. Om vervolgens vast te kunnen stellen of het maatregelenpakket het gewenste effect oplevert, niet allen voor een specifiek scenario maar voor de gehele matrix. Op deze manier kunnen ook regio's onderling worden vergeleken (benchmarken) en extra prioriteit worden gegeven aan regio's/gebieden/systemen waar de performance benedengemiddeld is. Of de kwetsbaarheid voor toekomstige ontwikkelingen als zeespiegelstijging hoger is.

Ter verbetering van de zoetwatervoorziening in het IJsselmeergebied zijn er verschillende type maatregelen denkbaar; ingrijpend op watervraag, -aanbod en/of verdeling:

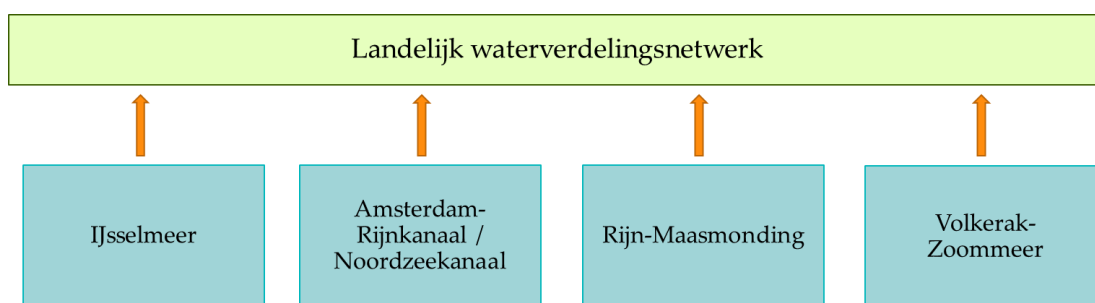
- bodemerosie bovenrijn | suppleren | IRM: doel voor IJsselmeer gunstigere waterverdeling op splitsingspunt Waal/Pannerdensch kanaal zodat een groter deel van de bovenrijnafvoer naar het noorden stroomt.
- Innovatieve verziltingsbestrijding Afsluitdijk: doel om meer zout weg te spoelen met minder zoetwater, ofwel zo zout mogelijk water afvoeren. Daardoor meer water overhouden voor het bedienen van de watervraag.
- Buffer IJM vergroten: doel om meer water beschikbaar te hebben in droge tijden, bijvoorbeeld 50 cm i.p.v. 30 cm. Daarmee kunnen langere droge periodes worden overbrugd en hoeft er pas later te worden gekort op de onttrekkingen.
- Watervraag IJM gebied aanpassen: doel de watervraag aan het IJM ten tijde van maatgevende droogtes beperken/verminderen. Bijvoorbeeld in de geest van 'water en bodem sturend'.
- Herijking stuwprogramma Driel: doel om beheerregime zodanig aan te passen dat deze de zoetwatervoorziening vanuit het IJsselmeer bevordert.
- ...

Vanzelfsprekend kunnen logische combinaties van maatregelen ontstaan die gezamenlijk een groter effect sorteren dan individuele maatregelen. Onderstaand figuur laat conceptueel het cumulatieve effect van maatregelen zien op de waterbeschikbaarheid van het IJsselmeergebied, geïllustreerd voor een van de scenario's uit de matrix. Vervolgens is het zinvol om de effectiviteit van een maatregelenpakket voor de gehele matrix uit te rekenen, daarmee een robuust beeld gevend van de toegevoegde waarde voor de zoetwatervoorziening van het IJsselmeergebied op korte en langere termijn.



4.4.2 Bovenregionale scharnierpunten

In deze paragraaf worden enkele scharnierpunten in de landelijke zoetwatervoorziening benoemd. De meeste zijn al eerder in het resultaten hoofdstuk ter sprake gekomen en zijn hieronder bullitgewijs opgesomd. Het zijn feitelijk de dilemma's die tussen regio's en/of het landelijke waterverdelingsnetwerk kunnen gaan spelen (op termijn). Waarbij het van belang is te beseffen, dat deze dilemma's niet altijd gelden maar zich op een zeker moment (in het lagere afvoerdomein, bij hogere zeespiegelstijgingsscenario's, etc.) kunnen gaan voordoen. Dit zijn ook de situaties waarbij de oplossing voor het ene gebied een knelpunt voor een andere regio kan betekenen, dan wel de kwetsbaarheid van de andere regio vergroot. Om het systeem als geheel goed te laten functioneren en naar de toekomst toe waar mogelijk robuuster te maken, is inzicht in deze samenhang van belang.



Uit de analyses volgen in ieder geval onderstaande scharnierpunten/dilemma's:

- **NWW ondergrensdebiet versus totale ARK watervraag** - zo lang het NWW ondergrensdebiet niet wordt overschreden, is een toename van de doorvoer naar het ARK geen probleem voor de zoetwatervoorziening in de RMM. Bij zeer lage afvoeren i.c.m. ZSS kan hier een conflict gaan ontstaan. Vanwege kennisleemte m.b.t. ondergrensdebiet is deze nog niet exact aan te wijzen.
- **Lek watervraag versus ARK watervraag.** Door zeespiegelstijging en/of andere ontwikkelingen neemt de watervraag aan zowel de Lek en ARK ZWB toe. Bij lage Rijnafoeren (laag NRL restdebiet bij Amerongen) wordt deze door beide buffers

voornamelijk uit de Waal onttrekken via het ARK-Betuwepand/Bernhardsluizen. De capaciteit van de Bernhardsluizen (nu vastgesteld op maximaal 100 m³/s) wordt op een gegeven moment limiterend voor het volledig kunnen bedienen van de gewenste inlaat bij Hagestein en Irenesluizen. Mede afhankelijk van de maximale inlaatcapaciteit bij Irenesluizen, treedt er mogelijk competitie op bij lage afvoeren tussen Lek en ARK.

- **Lek/ARK watervraag versus IJM** bij doorvoerroute ARK naar Markermeer. Let wel, dit is een mogelijke variant voor de toekomst en nog niet de huidige praktijk. Mogelijk dat in de toekomst het ARK gaat worden ingezet om extra water naar het Markermeer door te voeren ter aanvulling van de ZWB IJM/MM (zodat deze minder snel uitzakt in droge tijden). Mogelijk dat, in het verlengde van voorgaande bullit, bij lagere afvoeren/hogere ZSS een potentieel conflict tussen belangen Lek en ARK (voorgaande punt) wordt uitgebreid met IJM ZWB. De mate waarin deze competitie optreedt, hangt af van de doorvoercapaciteit op het ARK. Mogelijk dat deze uitgebreid moet worden als de extra aanvoerroute via het ARK naar het IJM onder alle omstandigheden moet kunnen worden ingezet. Tevens kan dit conflict worden uitgebreid met RMM, op het moment dat er zoveel water via het ARK uit de Waal wordt onttrokken, dat het ondergrensdebiet op de NWW dreigt te worden onderschreden.
- **Haringvliet zoetspoeldebiet (kieren) versus NWW ondergrensdebiet.** Ook dit is een mogelijke toekomstige variant waarbij het wenselijk kan zijn een meer of minder permanent zoetspoeldebiet op het Haringvliet beschikbaar te hebben waarmee de vismigratie (kieren) wordt gefaciliteerd. Wederom vooral in het (zeer) lage afvoerdomein kan dit op termijn gaan conflicteren met het -nog te bepalen- minimale ondergrensdebiet via de NWW, dat nodig is om de RMM ZWB's duurzaam in stand te houden.



5

Bevindingen

5 Bevindingen

Dit onderzoek dient als eerste, globale stap te worden beschouwd in het verkrijgen van inzicht omtrent de potentiële impact van zeespiegelstijging op de landelijke/bovenregionale zoetwaterstrategie. Verschillende aspecten van het onderzoek vragen verfijning dan wel verdieping, tevens resteren er een aantal op te vullen kennisleemtes waarvan het minimale benodigde NWW-debiet (ondergrensdebiet) een bepalende is (zie discussie). Evenwel tekenen zich een aantal duidelijke lijnen uit betreffende de waterstaatkundige effecten van zeespiegelstijging op de KZH strategie en de hierin bepalende mechanismen:

1. Zeespiegelstijging vraagt meer water voor verziltingsbestrijding, zowel in het hoofdwatersysteem als de regionale watersystemen (agv toename zoute kwel in de kustzone). Deze extra zoetwatervraag voor verziltingsbestrijding maakt de landelijke zoetwatervoorziening in principe kwetsbaarder, in combinatie met een -eveneens met klimaatverandering samenhangende- hogere verdamping en langdurigere lage rivierafvoer.
2. Voor een aantal zoetwaterbuffers en -zones, wordt bij een stijgende zeespiegel de watervraag voor watergebruik en verziltingsbestrijding hoger dan de capaciteit van de kunstwerken die wateraanvoer sturen. Dit geldt zowel voor de aanvoer naar het IJsselmeer (via de IJssel, waterverdeling splitsingspunten in de bovenrijn) als de doorvoercapaciteit van Bernhardsluizen en Ireneu sluizen in het Amsterdam-Rijnkanaal.
3. Uit de matrixanalyse volgt dat het IJsselmeersysteem het meest kwetsbaar lijkt voor (combinaties van) zeespiegelstijging, lagere Rijnafvoeren en toename van de watervraag. Versterking van de robuustheid van de zoetwatervoorziening van het IJsselmeergebied verdient hoge prioriteit omdat dit systeem als eerste tegen haar grenzen lijkt aan te lopen.
4. Bij ongewijzigd beleid wordt uiteindelijk het punt bereikt dat onvoldoende rivierwater beschikbaar is voor alle watervragers; een te groot deel van het schaarser wordende rivierwater is dan nodig voor verziltingsbestrijding en een ander deel verdampt. De dilemma's tussen regio's (zie scharnierpunten) zullen zich dan frequenter voor doen, waarbij het niet langer mogelijk is om alle regio's vanuit het hoofdwatersysteem optimaal te bedienen. Overigens vallen uitspraken over herhalingstijden en zichtjaren buiten de scope van het onderzoek (zie discussie).
5. Hoewel zeespiegelstijging geleidelijk meer water voor verziltingsbestrijding vraagt, zal de KZH-strategie waterstaatkundig niet direct falen als gevolg van zeespiegelstijging. Zonder forse toename van watervraag en/of surplus (scenario midden) en een efficiëntere verziltingsbestrijding kan het merendeel van de watervraag aan het hoofdwatersysteem in ieder geval tot aan lage Rijnafvoeren (600 m³/s) worden bediend. Anders geformuleerd: als we erin slagen om zowel de watervraag op het huidige niveau te houden als de verziltingsbestrijding zo zuinig mogelijk in zoet water te maken, blijft de performance van de bovenregionale zoetwatervoorziening in vele situaties op peil.
6. De houdbaarheid/robuustheid van de KZH-strategie kan worden vergroot door de efficiëntie van de verziltingsbestrijding te verbeteren, tijdig gerichte ingrepen bij kunstwerken te treffen (2) en de totale watervraagtoename te beperken (5).
7. De robuustheid van het zoetwaternetwerk en haar strategische zoetwaterbuffers kan (op termijn) gericht worden versterkt door: (1) het creëren van een extra aanvoerroute naar het IJM (2) het uitbreiden van de ARK doorvoercapaciteit bij de Irene- en/of Bernhardsluizen (3) het uitbreiden van de regionale aanvoerroutes vanuit ARK en Lek naar zoetwaterzone HIJ. Het bepalen van de precies benodigde ingrepen in het waterverdelingsnetwerk valt buiten de scope van het voorliggende onderzoek.



6

Discussie

6 Discussie

Dit onderzoek mag als eerste stap te worden beschouwd in het verkrijgen van een globaal inzicht omtrent de potentiële impact van zeespiegelstijging op de landelijke/bovenregionale zoetwaterstrategie. Verschillende aspecten van het onderzoek vragen verfijning dan wel verdieping, tevens resteren er een aantal op te vullen kennisleemtes. Voor een belangrijk deel hebben deze betrekking op de regio analyses en zijn deze als zodanig in de betreffende deelrapportages benoemd. Op bovenregionaal niveau graag aandacht voor de volgende punten inclusief eventuele aanbevelingen:

- **Ondergrens afvoer Nieuwe Waterweg:** inzicht in het minimaal benodigde ondergrensdebiet op de Nieuwe Waterweg dat nodig is voor een duurzame instandhouding van de RMM - zoetwaterbuffers: Brielse Meer (*geen zoetwaterinlaatvenster meer op Bernisse*), Hollandsche IJssel (*benodigd surplus > regionale aanvoer*), Lek (*benodigd surplus > beschikbare aanvoer via Hagestein*) en Haringvliet (*structurele achterwaartse verzilting via Spui*). In deze studie is gerekend met minimale NWW afvoeren van 400 m³/s waarbij de ZWB HIJ in stand kan worden gehouden met een benodigd surplus voor de ZWB HIJ dat kleiner is dan de regionale aanvoer (KWA/DKW) naar de HIJ. Evenwel is inzicht nodig in de impact van lagere NWW debieten op de zoetwatervoorziening in de RMM, om vervolgens vast te kunnen stellen of het ondergrensdebiet ordegrrootte 400-350-300-250-200 m³/s betreft.
- **Beheerpeilen zoetwaterbuffers en bodemligging:** de aanname waarbij het huidige hoofdwatersysteem als vertrekpunt wordt genomen terwijl de verwachting is dat bijvoorbeeld een zeespiegelstijging van 3 m tot aanpassing van de beheerpeilen op IJM en ARK/NZK leidt. Voorts is in de RMM aangenomen dat de huidige bodemligging op bijvoorbeeld de Nieuwe Waterweg/Nieuwe Maas gehandhaafd blijft (maar ook m.b.t. de bovenrivieren, splitsingspunten bij Pannerden e.d.) en daarmee de vaardiepte (en exposure naar zee) toeneemt van circa 16.5 naar 19.5 (bij +3 m ZSS) thv splitsing Oude Maas-Nieuwe Maas. Aanbevolen wordt om in vervolgonderzoek deze variabele mee te nemen en vast te stellen wat de waterstaatkundige effecten hiervan zijn.
- **Watervraag verziltingsbestrijding:** het hanteren van een realistische bandbreedte qua benodigde hoeveelheid zoetwater voor adequate verziltingsbestrijding bij de scheepvaartsluizen IJmuiden (ARK), Afsluitdijk (IJM) en Krammer (VZM). Ook op bovenregionaal niveau is dit in potentie een substantiële hoeveelheid zoetwater bij lage afvoeren. Zeespiegelstijging leidt tot een toename van de zoutlast bij gelijkblijvende scheepvaartintensiteit. Vervolgens is de uitdaging technieken te ontwikkelen waardoor per deel zoetwater zoveel mogelijk zout wordt weggespoeld. Het rendement hiervan zal - samen met de verwachte scheepvaartintensiteit- in belangrijke mate bepalen in hoeverre de watervraag voor verziltingbestrijding toeneemt (of eventueel zelfs kan worden verminderd). Aanbevolen wordt meer kennis te ontwikkelen over realistische bandbreedtes voor verziltingsbestrijding per sluis.
- **Verfijning/detaillering surplusanalyses:** vanwege praktische redenen zijn er een relatief beperkt aantal surplusanalyses uitgevoerd in zowel ARK/NZK als RMM. Aanbevolen wordt deze analyse te verfijnen op zowel de assen surplus (bijv. in de HIJ om de kuub i.p.v. 2-5-10 m³/s of in ARK 15-35-55 m³/s) als Rijnafvoer zodat preciezere uitspraken kunnen worden gedaan m.b.t. minimaal benodigde surplus. In de voorliggende analyse zijn er verschillende interpolaties gedaan om de matrix gevuld te krijgen, daarmee een bepaalde onzekerheid introducerend.
- **Ontwikkeling watervraag:** Het hanteren van een realistische bandbreedte wat betreft toekomstige watervraag inclusief onderscheid naar het wel (landgebruik, waterverbruik gebruiksfunctie) en nauwelijks (verdamping) beïnvloedbare deel van de watervraag. Logischerwijs leiden de extremere watervraagtoename scenario's eerder tot het 'falen'

van de landelijke zoetwaterstrategie dan scenario's met geleidelijke toename dan wel gelijkblijvende of afnemende watervraag op nationaal niveau. Ook hier de aanbeveling deze bandbreedte vast te stellen en vervolgens toe te passen bij een verfijningslag van voorliggende analyse.

- **Prioritering watervragen:** deze studie had primair tot doel om de omvang van het totale watertekort inzichtelijk te maken bij zeespiegelstijging. Hierbij is een vaste prioritering qua bediening van regio's en type watervraag bij afnemende waterbeschikbaarheid gehanteerd. De wijze waarop dit is gedaan is beschreven in het rapport en in zekere mate arbitrair. Evenwel is het mogelijk een andere prioritering te hanteren indien gewenst. Aanbevolen wordt om in een gevoeligheidsanalyse de invloed van de prioritering te onderzoeken.
- **Stuw Hagestein:** vanaf circa +2 m ZSS functioneert Stuw Hagestein niet meer naar behoren en zal deze moeten worden opgetrokken omdat deze dan haar stuwende werking verliest. (Arcadis/Hydrologic, 2023b). Er zijn verschillende opties denkbaar om hier in de toekomst mee om te gaan, variërend van een aanpassing aan het kunstwerk of aanpassing van het gehele stuwregime op de NRL. Met mogelijk een andere waterverdeling Waal-Lek (via ARK-Betuwapand) tot gevolg. Nadere verdieping is nodig wat de implicaties hiervan zijn.
- **Kennisontwikkeling i.r.t. herhalingstijden:** in de kennisontwikkeling rondom de impact van zeespiegelstijging is het wenselijk om op termijn uitspraken te kunnen doen over de herhalingstijd van bepaalde events in combinatie met het simuleren van (dynamische) droogtejaren waarin de duur en werkelijke droogtedynamiek waarheidsgetrouw wordt meegenomen. Zoals bijvoorbeeld de kans dat een hoge watervraag tegelijkertijd in verschillende regio's optreedt en tevens samenvalt met extreem lage Rijnafvoer in augustus maand.



7

Referentie

7 Referenties

Arcadis/HydroLogic, 2023a. Eindrapportage KP ZSS Systeemanalyses zoetwater regio Volkerak-Zoommeer.

Arcadis/HydroLogic, 2023b. Eindrapportage KP ZSS Systeemanalyses zoetwater regio Rijn-Maasmonding.

Arcadis/Hydrologic, 2023c. Eindrapportage KP ZSS Systeemanalyses zoetwater regio Amsterdam-Rijnkanaal - Noordzeekanaal.

Arcadis/Hydrologic, 2023d. Eindrapportage KP ZSS Systeemanalyses zoetwater regio IJsselmeer - Markermeer.

Deltares, 2021. KP ZSS grondwaterstudie.

HydroLogic, 2019. Evaluatie inlaten droogte 2018.

HydroLogic, 2020. Waterbeschikbaarheid WSHD.

Rijkswaterstaat, 2016. Stuwprogramma Nederrijn-Lek.

TwynstraGudde & HydroLogic, 2021. Klimaatbestendig Hoofdwatersysteem. Achtergronddocument bij uitvoeringsagenda Klimaatbestendige netwerken, Deelsysteem en object: Gemaal Eefde en de Twentekanalen.

Bijlage A: methodiek - uitgangspunten en tabellen

Randvoorwaarden overig

Tabel 1. Randvoorwaarden en uitgangspunten van de Bovenregionale tool.

Randvoorwaarde/Uitgangspunt	Debiet (m ³ /s)	
Oostelijke aanvoerroute	Debiet uit ARK, doorvoer via Bodegraven naar Rijnland indien nodig (KWA)	10
	Debiet naar ZWB HIJ via Waaiersluis, indien nodig (KWA)	4.5
	Debiet naar ZWB HIJ uit Lek, via DKW indien nodig (KWA)	5.5
Randvoorwaarden	Max. inlaatcapaciteit Irenesluizen	80
	Max. doorvoercapaciteit Bernhardsluizen	100
Minimaal spoeldebiet Haringvlietsluizen	10	

Afvoer Rijntakken en Maas

In de bovenregionale tool wordt op basis van de gekozen Bovenrijnafvoer middels het stuwprogramma Driel van 2016 de afvoerverdeling over de Rijntakken bepaald (Rijkswaterstaat, 2016). De afvoer van de Maas wordt ook bepaald op basis van de Bovenrijnafvoer, aan de hand van relaties opgesteld binnen het spoor 'waterveiligheid' met behulp van beoordelingsinstrumentarium WBI2017. De debieten zijn opgenomen in Tabel 2.

Tabel 2. Afvoerverdeling over de Rijntakken en de Maas, op basis van de Bovenrijnafvoer, zoals toegepast in de bovenregionale waterverdelingstool.

Bovenrijn (m ³ /s)	Waal (m ³ /s)	Pannerdens Kanaal (m ³ /s)	Nederrijn (m ³ /s)	IJssel (m ³ /s)	Maas (m ³ /s)
500	424	76	10	65	43
600	502	98	13	85	55
700	579	121	15	105	67
800	657	143	18	125	79
1000	812	188	22	166	103
1500	1199	301	34	267	162
2000	1587	413	47	368	222

Bij zeer lage afvoeren opent Stuw Driel om een negatief verval (benedenstroomse waterstand hoger dan bovenstroomse waterstand) te voorkomen. Er wordt dan feitelijk gestuwd met de benedenstrooms gelegen Stuw Amerongen. Bij Amerongen zal er dan waarschijnlijk een minimale hoeveelheid water worden doorgelaten, omdat de watervraag aan Stuw Hagestein, de Prinses Irenesluizen en het ARK Betuwepand dan volledig worden bediend vanuit de Waal. Vanwege de watervraag in het pand Amerongen-Driel (voor Rivierenland, Vallei en Veluwe, scheepvaartschuttingen bij Amerongen) zal evenwel nog een beperkt debiet van 10-20 m³/s door de Nederrijn (onder de geopende Stuw Driel door) stromen.

(Regionale) watervraag

De regionale watervraag is de vraag aan de zoetwaterbuffers of deelsystemen vanuit de omliggende gebieden. Het betreft de watervraag voor peilhandhaving in de regio, onttrekking voor drinkwater, doorspoeling en beregening.

In Tabel 3 is de regionale watervraag van het Amsterdam-Rijnkanaal, de Hollandsche IJssel, de Lek en het Volkerak-Zoommeer opgenomen. De vraag van het Amsterdam-Rijnkanaal is gebaseerd op Arcadis/HydroLogic, met als basis DPZW analyses met het LHM (2023c). Deze watervraag (midden) is exclusief het debiet nodig voor de doorvoer via de KWA (zie Tabel 1). De watervraag aan de Hollandsche IJssel en Lek betreft de watervraag die er gedurende een langere periode in een droge zomer gemiddeld wordt onttrokken en is gebaseerd op gemeten debieten van de zomer van 2022 (watervraag midden, excl. KWA en DKW en surplus voor monding). De watervraag aan het Volkerak-Zoommeer is gebaseerd op Arcadis/HydroLogic (2023a).

Variante midden uit de tabel mag worden beschouwd als de min of meer huidige maximale watervraag. In de toekomst kan deze toenemen door bijvoorbeeld intensivering van landgebruik en/of een warmer klimaat (hogere verdamping). Aan de andere kant is een afname van de watervraag ook een mogelijk scenario, bijvoorbeeld door water/bodem sturend te maken of innovaties in waterverbruik.

Tabel 3. Regionale watervraag Amsterdam-Rijnkanaal, Hollandsche IJssel, Lek en Volkerak-Zoommeer.

Variante	Amsterdam-Rijnkanaal (m ³ /s)**	Hollandsche IJssel (m ³ /s)	Lek (m ³ /s)*	Volkerak-Zoommeer (m ³ /s)
Laag	20	5	5	3
Midden	25	7.5	10	5
Hoog	30	15	15	10

*de watervraag aan de Lek zoetwaterbuffer is exclusief surplus en exclusief de KWA (Koekoek) en DKW (Krimpenerwaard) onttrekkingen

In Tabel 4 is de regionale watervraag aan het Brielse Meer, Twentekanal, Nederrijn en Waal opgenomen. De vraag aan het Brielse Meer is gebaseerd op HydroLogic (2020). De watervraag aan de IJssel bij de Twentekanal is gebaseerd op de studie door TwynstraGudde & HydroLogic (2021). De watervraag voor variant 'midden' aan de Nederrijn en Waal is gebaseerd op een analyse naar de regionale inlaten in de droge zomer van 2018 (HydroLogic, 2019). Om tot de varianten 'laag' en 'hoog' te komen is de watervraag respectievelijk verlaagd of verhoogd met 5-10 m³/s. De overige onttrekkingen in de Rijn-Maasmonding, die niet onder een van bovenstaande deelsystemen geschaard kunnen worden, staan in de tabel opgenomen. Dit betreffen hoofdzakelijk de regionale inlaten van Waterschap Hollandsche Delta. De debieten zijn gebaseerd op de studie van HydroLogic (2020).

Tabel 4. Regionale watervraag Brielse Meer, Twentekanal, Nederrijn, Waal en overige onttrekkingen Rijn-Maasmonding.

Variante	Brielse Meer (m ³ /s)	Twentekanal (m ³ /s)	Nederrijn (m ³ /s)	Waal (m ³ /s)	Overige RMM (m ³ /s)
Laag	10	15	8	10	5
Midden	15	20	16	20	10
Hoog	20	25	24	30	15

Voor het IJsselmeer is open waterverdamping een belangrijke post in de regionale watervraag. De watervraag als gevolg van verdamping en de onttrekkingsvraag zijn opgenomen in Tabel 5. Deze getallen volgens uit de regio analyse van het IJsselmeer (Arcadis/HydroLogic, 2023d).

Tabel 5. Regionale watervraag IJsselmeer.

Variant	Verdamping (m ³ /s)	Onttrekkingsvraag (m ³ /s)	Totale regionale watervraag (m ³ /s)
Laag	42 (ca. 2 mm per dag)	42	84
Midden	63 (ca. 3 mm per dag)	84	147
Hoog	85 (ca. 4 mm per dag)	168	253

Surplus ter instandhouding zoetwaterbuffers

Voor de strategische zoetwaterbuffers en -zones Hollandsche IJssel, Lek, Amsterdam-Rijnkanaal, IJsselmeer en Volkerak-Zoommeer is een surplus zoetwater in de vorm van doorspoel- of spuidebiet nodig om verzilting tegen te gaan. De benodigde watervraag voor het tegengaan van verzilting is afhankelijk van de mate van zeespiegelstijging, omdat dit een sterke invloed heeft op de zoutlast vanaf zee. Voor de Lek en Hollandsche IJssel is ook de afvoer door de Nieuwe Waterweg bepalend voor het benodigde surplus, omdat dit de tegendruk tegen het zoute water bepaald. Er is niet gerekend met een afvoer door de Nieuwe Waterweg van lager dan 500 m³/s, daarom zijn voor dit domein geen waardes opgenomen (zie aanbeveling ondergrensdebiet NWW). Bij het Brielse Meer is er geen surplus nodig, maar zijn de inlaatmogelijkheden -tot op zekere hoogte- afhankelijk van het debiet door de Nieuwe Waterweg i.c.m. het verhang bij het inlaatkunstwerk bij de Bernisse. Zeespiegelstijging zorgt voor een toename van het verhang over de inlaat en daarmee een hogere inlaatcapaciteit, mits het water op het Spui ter hoogte van de inlaat zoet is. Het Amsterdam-Rijnkanaal, IJsselmeer en Volkerak-Zoommeer zijn afgesloten van zout buitenwater door middel van kunstwerken. Hier speelt hoofdzakelijk de effectiviteit van verziltingsbestrijdingsmaatregelen bij de kunstwerken een rol om de zoutlast als gevolg van het schutten en spuien te beheersen; daarom is de watervraag onderverdeeld in een 'laag', 'midden', en een 'hoog' variant. Hierbij is 'midden' de watervraag die overeenkomt met de huidige situatie tijdens een extreme droogte, 'laag' een situatie met een hoger verziltingsbestrijdingsrendement bij de sluisen (of minder scheepvaart), en 'hoog' een situatie met een hogere scheepvaartintensiteit en/of lagere efficiëntie van de verziltingsbestrijding.

Lek

Het benodigd surplus op de Lek is afhankelijk van zeespiegelstijging i.c.m. de zoetwatertegendruk op de Nieuwe Waterweg (Tabel 6)(Arcadis/HydroLogic, 2023b). Voor de Lek is de aanname gedaan dat Hagestein zijn stuwende functie verliest bij grote zeespiegelstijgingen, omdat dan de benedenstroomse waterstand (een deel van het getijde) hoger is dan de gehanteerde bovenstroomse waterstand. Op basis van een indicatieve berekening is vastgesteld dat bij een openstaande Stuw Hagestein en een zeespiegelstijging van 2-3 m een deel van de Waalafvoer via ARK-Betuwepand over de Lek naar de NWW stroomt en op die manier voorziet in het benodigde surplus. In de bovenregionale tool is daarom een schatting aangenomen voor het surplus bij 2 en 3 m zeespiegelstijging.

Tabel 6. Watervraag voor in standhouden zoetwaterzone op de Lek. In rood zijn - ten behoeve van het mogelijk maken van berekeningen met de bovenregionale tool - schattingen van het benodigd surplus opgenomen.

Zeespiegelstijging (m)	Afvoer Rijn (m ³ /s)			
	<500	500-1000	1000-1500	1500-2000
0 <i>onbekend</i>		10	3*	3*
0.5 <i>onbekend</i>		10	3	3
1 <i>onbekend</i>		20	10	3
2 <i>onbekend</i>		**20	**20	**3
3 <i>onbekend</i>		**20	**20	**10

*er is altijd gerekend met een minimaal surplus in de regio studie, daarmee niet bedoelend dat deze ook bij hogere afvoeren nodig is

**vanaf 2m ZSS wordt Hagestein in de RMM analyse uit bedrijf gehaald en wordt de ZWB niet meer actief in stand gehouden. Uit analyse blijkt er dan op natuurlijke wijze meer water over de Lek te stromen dan gereguleerd met Hagestein, waardoor feitelijk de zoetwatervoorziening vanuit de Lek in stand wordt gehouden. In de bovenregionale analyse is evenwel gerekend met bovenstaande waardes, die -afhankelijk van de in de toekomst te implementeren waterstaatkundige oplossing t.b.v. functie Hagestein- af kan wijken van het werkelijke benodigde/realiseerbare surplus in de nieuwe situatie.

Hollandsche IJssel

Het benodigd surplus op de Hollandsche IJssel is afhankelijk van zeespiegelstijging en de tegendruk op de Nieuwe Waterweg. Binnen de systeemverkenning van de Rijn-Maasmonding zijn hiervoor de volgende surplusdebieten bepaald (Tabel 7) (Arcadis/HydroLogic, 2023b).

Tabel 7. Watervraag voor in standhouden zoetwaterzone op de Hollandsche IJssel.

Zeespiegelstijging (m)	Afvoer Rijn (m ³ /s)			
	<500	500-1000	1000-1500	1500-2000
0 <i>onbekend</i>		3	2	2*
0.5 <i>onbekend</i>		3	2	2
1 <i>onbekend</i>		5	2	2
2 <i>onbekend</i>		5	3	2
3 <i>onbekend</i>		10	5	2

*er is altijd gerekend met een minimaal surplus in de regio studie, daarmee niet bedoelend dat deze ook bij hogere afvoeren nodig is

Brielse Meer

Er kan alleen zoetwater worden ingelaten naar het Brielse Meer om aan de watervraag te kunnen voldoen, als het water van voldoende kwaliteit is én als de buitenwaterstand zodanig is dat er genoeg verval is om in te laten. Door zeespiegelstijging neemt het verval over de inlaat toe, bij gelijkblijvend peil op het Brielse Meer, en daarmee de inlaatcapaciteit. Hierdoor kan er in korte tijd meer water worden ingelaten en is een kleiner inlaatvenster voldoende om aan de achterliggende watervraag te voldoen. Evenwel dient rekening te worden gehouden met de hydraulische capaciteit van de Bernisse, waardoor het water naar het Brielse Meer stroomt. Bij stijgende zeespiegel zal dan niet de inlaatcapaciteit van het kunstwerk limiterend zijn maar de doorvoercapaciteit van de Bernisse zijn. Door de gunstige ligging van het Brielse Meer treedt er pas bij zeer lage afvoeren 'voorwaartse' verzilting op. Door zeespiegelstijging zal het inlaatpunt eerder verzilten, tegelijkertijd kan er dan in kortere tijd meer water worden ingelaten. Een aantal waardes in Tabel 8 zijn bewust geel gearceerd omdat de modeluitkomsten hier met enige onzekerheid gepaard gaan en de waterstromen over de verschillende takken in - met name de zuidrand van- de RMM nader dienen te worden beschouwd.

Tabel 8. Waterinlaatmogelijkheden Brielse Meer in m³/s. Doorvoercapaciteit op de Bernisse is (conservatief) gemaximeerd op 25 m³/s, zodat er niet meer dan 25 m³/s kan worden ingelaten. Overigens is de huidige maximale watervraag aan het Brielse Meer circa 10 m³/s, waarmee deze een orde hoger ligt.

Zeespiegelstijging (m)	Afvoer Nieuwe Waterweg (m ³ /s)	<500	500-1000	1000-1500	1500-2000
0	Onbekend	15	15	15	15
0.5	Onbekend	20	20	20	20
1	Onbekend	25	25	25	25
2	Onbekend	15	25	25	25
3	Onbekend	5	20	25	25

Amsterdam-Rijnkanaal

In de systeemverkenning van het Amsterdam-Rijnkanaal is een inschatting gemaakt van de zoutvracht bij IJmuiden onder verschillende scenario's. Op basis van de zoutvracht is vervolgens op basis van modelberekeningen een inschatting gemaakt van de benodigde zoetwatertegendruk in de monding van het ARK om de intrusielengte van de zouttong vanaf het Noordzeekanaal te beperken tot Diemen. Deze hoeveelheid water dient primair via de Irenesluizen te worden ingelaten (bovenop de onttrekkingen uit het ARK en eventuele KWA inzet). Hierbij is de huidige praktijksituatie van 25 tot 30 m³/s zoetwatertegendruk thv Diemen in een droge zomer als uitgangspunt genomen voor de variant 'Midden'. 'Laag' gaat van een efficiëntere verziltingsbestrijding bij IJmuiden of minder scheepvaart terwijl 'Hoog' een scenario is met fors meer scheepvaartschuttingen.

Tabel 9. Benodigd zoetwatersurplus voor instandhouding ZWB Amsterdam-Rijnkanaal

Zeespiegelstijging (m)	Laag (m ³ /s)	Midden (m ³ /s)	Hoog (m ³ /s)
0	20	25	55
0.5	22	28	56
1	24	30	57
2	28	35	58
3	32	40	60

IJsselmeer

Het benodigd zoetspoeldebiet bij de Afsluitdijk is afhankelijk van zeespiegelstijging, scheepvaartintensiteit en de efficiëntie van de verziltingsbestrijding (ofwel: hoeveel zoet water is er nodig om de zoutlast te beheersen/hoe minder delen zoet water per ingestroomd deel zout water nodig zijn om deze wet te spoelen hoe hoger het rendement). Het benodigd debiet is onderzocht in de regio studie van het IJsselmeer (Arcadis/HydroLogic, 2023d). In de bovenregionale tool is voor de variant 'Midden' met 0 m zeespiegelstijging uitgegaan van het huidige spuidebiet in de praktijk in een droge zomer waarmee de inkomende zoutlast tot op zeker hoogte kan worden beheerst. Overigens is in de afgelopen zomer gebleken dat er ook bij dit regime nog sprake is van een netto zoutflux naar het IJsselmeer (er wordt nog niet evenveel zout weggespoeld als er via de schutsluizen binnenkomt). Scenario laag heeft betrekking op een situatie met veel efficiëntere verziltingsbestrijding en/of scheepvaartintensiteit. Scenario Hoog heeft betrekking op een mogelijke toekomst met aanzienlijk meer scheepvaartschutting bij de Afsluitdijk t.o.v. nu.

Tabel 10. Spuidebiet Afsluitdijk

Zeespiegelstijging (m)	Laag (m ³ /s)	Midden (m ³ /s)	Hoog (m ³ /s)
0	5	40	80
0.5	7	57	97
1	14	69	109
2	29	89	129
3	43	106	146

Volkerak-Zoommeer

De chlorideconcentratie in het Volkerak-Zoommeer laadt op als gevolg van kwel, zoutindringing bij de sluisen en afvoer van verzilt water van de omringende waterschappen. Het benodigd doorspoeldebiet is onderzocht in de systeemverkenning Volkerak-Zoommeer (Arcadis/HydroLogic, 2023). Hierbij wordt uitgegaan van een succesvolle winterdoorspoeling en een werkende IZZS (innovatieve zoet-zout scheiding), waarbij een gunstige uitgangssituatie aan het begin van het groeiseizoen kan worden gerealiseerd. Gedurende het groeiseizoen mag de chlorideconcentratie oplopen tot 450 mg/l: over het algemeen kan dit met een relatief beperkt debiet over de Volkeraksluisen worden gerealiseerd. Scenario Midden representeert het benodigde surplus voor een maatgevende droogte in de huidige situatie; scenario laag een lager benodigd surplus agv efficiëntere verziltingsbestrijding en/of lagere scheepvaartintensiteit terwijl scenario hoog een toename van de scheepvaart impliceert.

Tabel 11. Doorspoeldebiet Volkerak-Zoommeer

Zeespiegelstijging (m)	Laag (m ³ /s)	Midden (m ³ /s)	Hoog (m ³ /s)
0	10	20	60
0.5	10	20	60
1	10	20	60
2	10	20	60
3	10	20	60

Bijlage B: resultaten - overige verhaallijnen

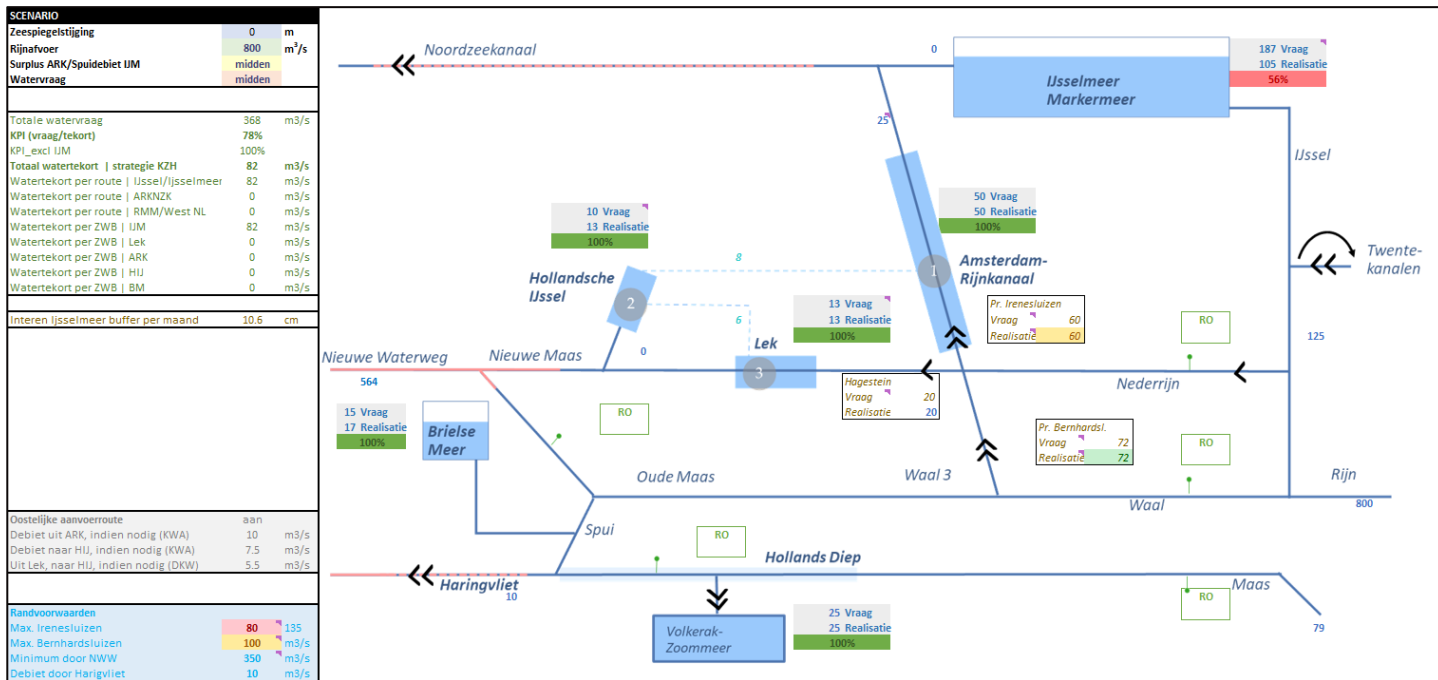
Verhaallijn | Toenemende watervraag

watervraag Rijnafvoer Watervraag ZWB's Watervraag regionaal Max Irenesluizen Max Bernhardsluizen	0 m 800 m ³ /s midden midden 80 100	0 m 800 m ³ /s hoog hoog 80 100	0 m 800 m ³ /s hoog hoog 100 140
Maatregel/ verandering		Verhoogde watervraag	Vergoting doorvoercapaciteit sluisen
Beschrijving situatie	Vraag aan IJsselmeer groter dan aanvoer; overige ZWB voldoen	ZWB's staan onder druk	ZWB's (afgezien IJM en BM) staan niet langer onder druk

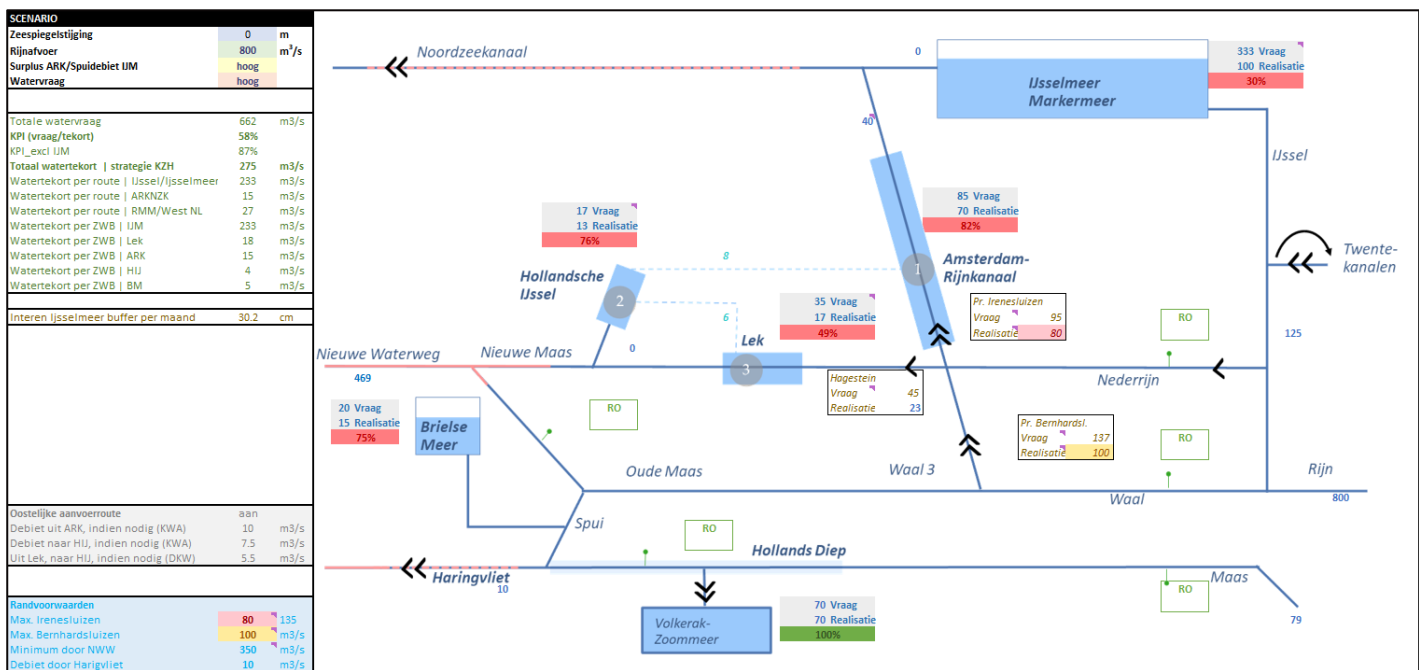
Figuur 18. Verhaallijn 1: Toenemende watervraag.

Deze verhaallijn zoomt in op een toenemende watervraag. Vanuit het basisscenario met een gemiddelde droge zomermaand in de huidige praktijk, een Rijnafvoer van 800 m³/s, geen zeespiegelstijging en een -voor de huidige situatie- hoge watervraag. In deze situatie kan er grotendeels aan de watervraag worden voldaan, alleen de aanvoer naar het IJsselmeer is minder dan de vraag (Figuur 19). Dit is voor het IJsselmeer niet direct een probleem in de zomer, immers hiervoor is de grote IJsselmeerbuffer bedoeld, maar wanneer deze situatie te lang aanhoudt kunnen er uiteindelijk wel tekorten ontstaan. Ter indicatie: het IJsselmeerpeil zal naar verwachting 10 cm uitzakken per maand in deze situatie wat acceptabel is binnen de grenzen van het peilbesluit. Voorts is bij deze Rijnafvoer van 800 m³/s Stuw Driel volledig gesloten, en kan er niet méér water naar de IJssel gestuurd worden. De binnen KZH te onderzoeken extra aanvoerroute naar het IJM is hier niet meegenomen.

Wanneer de watervraag toeneemt, zowel vanuit de regio's als voor het in standhouden van de zoetwaterbuffers en -zones, komen de zoetwaterregio's onder druk te staan: bij een aantal van de buffers is er sprake van een tekort (wateraanbod > 50% van watervraag, Figuur 20). Deze toename in watervraag kan onder andere worden veroorzaakt door een hoge verdamping, meer/andere watervragers, meer schutting bij sluisen of door afname van de efficiëntie van maatregelen tegen verzilting (bijvoorbeeld door falen of aanpassing aan kunstwerken). In deze situatie met een verhoogde vraag, staan de zoetwaterbuffers Hollandsche IJssel, Lek, Amsterdam-Rijnkanaal, IJsselmeer en Brielse Meer onder druk, omdat de vraag groter is dan het aanbod. De aanvoer naar het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek is ontoereikend omdat er onvoldoende doorvoercapaciteit is bij de Prins Bernhardsluizen en de Prinses Irenesluizen om het water vanuit de Waal aan te kunnen voeren. De verwachting voor het Brielse Meer is dat er bij een Rijnafvoer van 800 m³/s onvoldoende inlaatcapaciteit beschikbaar is voor de hoge watervraag. Er hoeft in deze situatie nog niet direct sprake te zijn van een watertekort, omdat er vaak mogelijkheden zijn om ofwel de watervraag vanuit de regio kortdurend te beperken, ofwel in te teren op de buffer (BM en IJM). Houdt deze situatie echter langer aan, dan neemt de kans op watertekort toe.

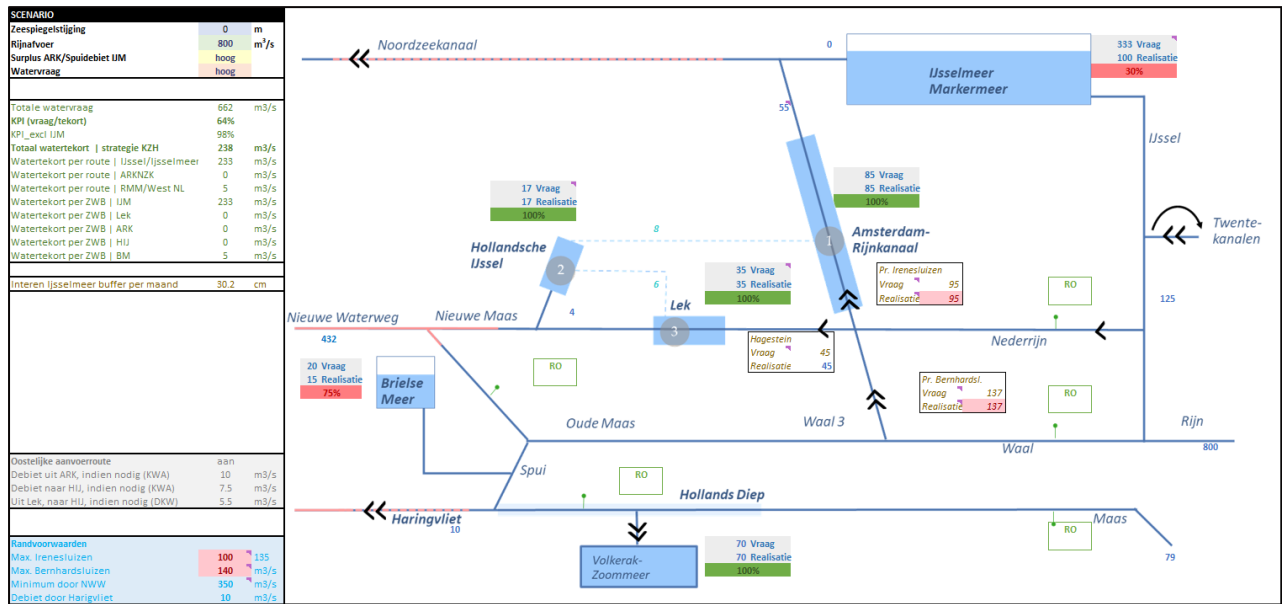


Figuur 19. Een schermafbeelding van het basisscenario in de Bovenregionale waterverdelingstool. In de rood gearceerde cellen zijn de buffers weergegeven waar de watervraag groter is dan de aanvoer.



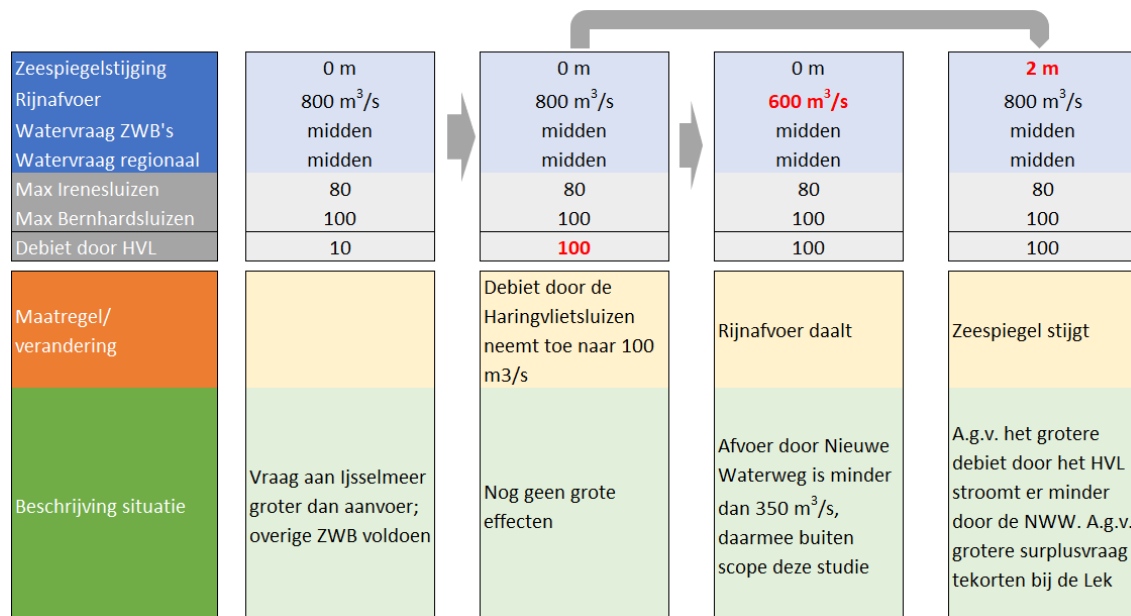
Figuur 20. De situatie in de bovenregionale tool waarbij de watervraag is verhoogd ten opzichte van het basisscenario. Naast de zoetwaterbuffer op het IJsselmeer komen ook de zoetwaterbuffers op het ARK, Lek en Hollandsche IJssel onder druk te staan.

Als de doorvoercapaciteit van de Prins Bernhardsluizen wordt vergroot van 100 naar 140 m³/s en die van de Prins Irenesluizen van 80 naar 100 m³/s, zou er wel voldoende aangevoerd kunnen worden naar het Amsterdam-Rijnkanaal, Hollandsche IJssel en de Lek om aan de watervraag te kunnen voldoen.



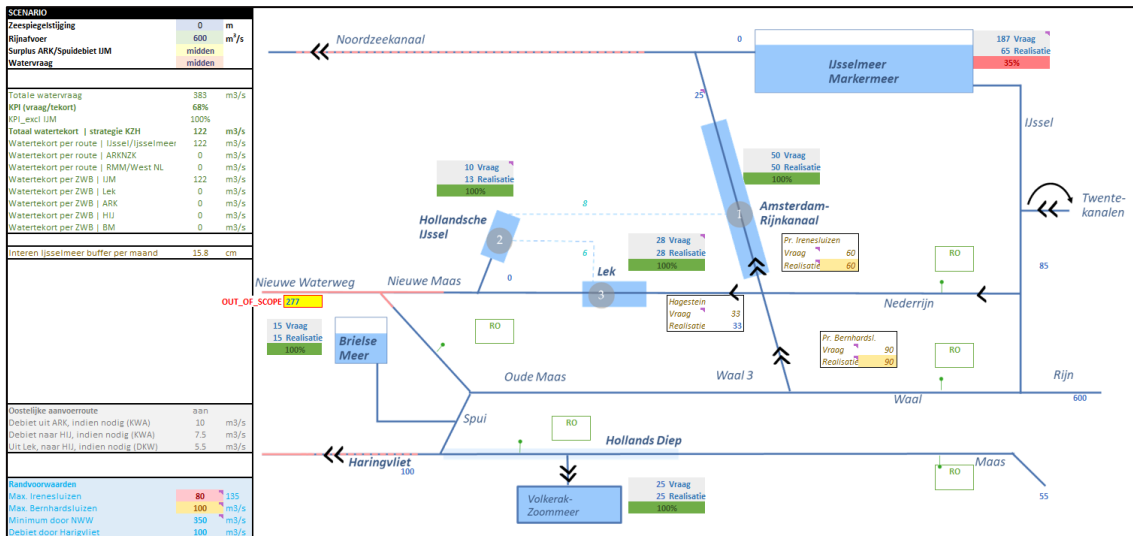
Figuur 21. De waterverdeling na vergroting van de capaciteit bij de Prinses Irenesluizen en de Prins Bernhardsluizen.

Verhaallijn | meer debiet door de Haringvlietsluizen

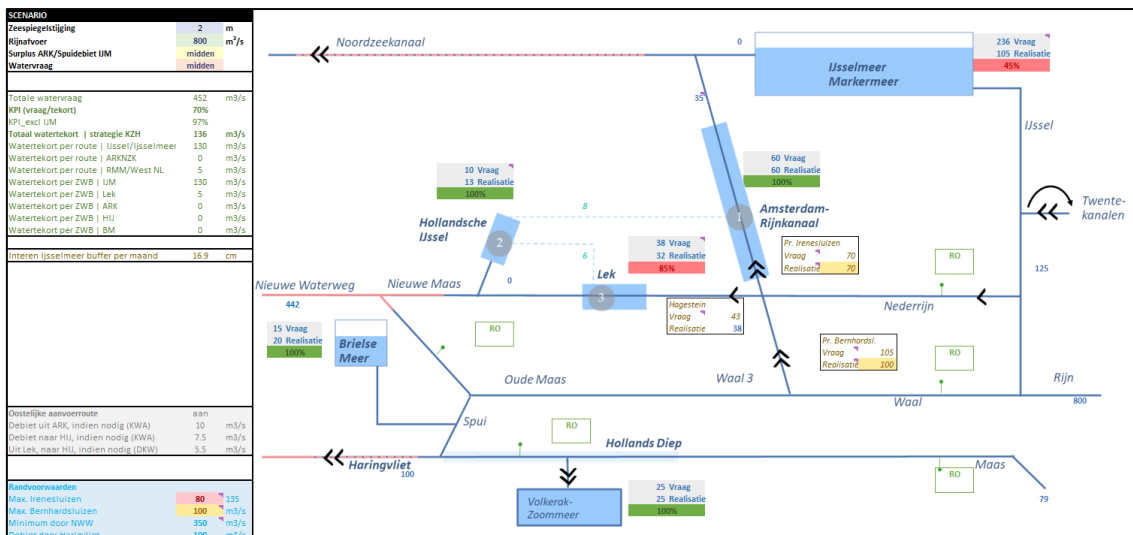


Figuur 22. Verhaallijn 4: Meer debiet door de Haringvlietsluizen.

Een van de mogelijke toekomstige veranderingen in het Nederlandse hoofdwatersysteem is dat er meer water door de Haringvlietsluizen wordt gestuurd. Dit wordt onderzocht in het onderzoeksprogramma Kierbesluit Haringvlietsluizen. Een (al dan niet) permanente zoetwaterstroom van ordegrootte 100 m³/s is bij behoorlijk lage Rijnafvoeren in de huidige praktijk niet direct een probleem. Echter, wanneer de Rijnafvoer zeer laag wordt (Figuur 23), of de zeespiegel stijgt (Figuur 24), is de afname van het debiet door de Nieuwe Waterweg (waarmee de Haringvlietsluizen 'concurreren') groter. Dit zorgt onder bepaalde omstandigheden voor een vergroting van de tekorten voor het bedieningsgebied van de Lek.



Figuur 23. Dashboard voor de situatie met een verhoogd debiet door de Haringvlietsluizen en een Rijnafvoer van 600 m³/s.



Figuur 24. Dashboard voorsituatie met 2 meter zeespiegelstijging en een verhoogd debiet door de Haringvlietsluizen.

Over Arcadis

Arcadis is de leidende wereldwijd opererende ontwerp en consultancyorganisatie op het gebied van de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij helpen onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Wij zijn met 36.000 mensen actief die in ruim zeventig landen meer dan €4,2 miljard aan omzet genereren. Wij helpen UN Habitat met onze mensen, die kennis en expertise leveren om de moeilijke leefomstandigheden te verbeteren in gebieden die lijden onder de gevolgen van klimaatverandering.

www.arcadis.com

Contactpersoon



Michiel van Reen
Projectleider Water

E michiel.vanreen@arcadis.com
T 06-50736328

