Deltares

De zoetwaterbalans van laag Nederland in een warmer klimaat



De zoetwaterbalans van laag Nederland in een warmer klimaat

Auteur(s)
Marjolein Mens
Janneke Pouwels
Otto Weiler
Joost Delsman
Ymkje Huismans

De zoetwaterbalans van laag Nederland in een warmer klimaat

Opdrachtgever	DGWB Directie WOM - Afdeling Bodem en Ondergrond
Contactpersoon	Boris Teunis
Referenties	-
Trefwoorden	-

Documentgegevens	
Versie	0.2
Datum	15-02-2024
Projectnummer	11210362-000
Document ID	11210362-000-ZWS-0001
Pagina's	35
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)		
	Marjolein Mens	
	Janneke Pouwels	
	Otto Weiler	
	Joost Delsman	
	Ymkje Huismans	

Samenvatting

Klimaatverandering, inclusief zeespiegelstijging, zorgen voor een toename van de watervraag in een droge zomer en de afname van waterbeschikbaarheid uit de grote rivieren. De kans op zoetwatertekorten neemt hierdoor toe. De totale waterbalans (vraag versus beschikbaarheid) voor laag Nederland bij zowel klimaatopwarming als versnelde zeespiegelstijging is echter niet goed in beeld. De vraag die in dit rapport wordt beantwoord luidt:

> *Wat is de zoetwaterbalans van laag Nederland tijdens droogte en hoe verandert deze bij klimaatopwarming en zeespiegelstijging van 1 en 2 meter?*

Om deze vraag te beantwoorden zijn gegevens uit verschillende rapporten van zowel Deltaprogramma Zoetwater als Kennisprogramma Zeespiegelstijging gecombineerd en is op basis daarvan de zoetwaterbalans van laag Nederland opgesteld. Dit rapport geeft een toelichting op de gehanteerde werkwijze, een onderbouwing van de getallen, en waar mogelijk duiding aan de onzekerheid van de gebruikte getallen.

Conclusie
Uit de waterbalansfiguren blijkt dat het watertekort (het verschil tussen watervraag en wateraanbod) tijdens extreme droogte flink toeneemt als het klimaat verder opwarmt én de zeespiegel verder stijgt én dezelfde eisen worden gesteld aan de waterkwaliteit als nu. De effecten van zeespiegelstijging, neerslagtekort-toename en lagere rivierafvoeren spelen hierin allemaal een grote rol. In zo'n droge zomermaand is de watervraag, bij 1 en 2 meter zeespiegelstijging, circa twee keer zo groot als de wateraanvoer van de Rijn. De watervraag neemt bij zeespiegelstijging toe doordat meer water nodig is om zoutindringing op het hoofdwatersysteem en in het regionale watersysteem tegen te gaan.

Sommige termen in de waterbalans zijn zeer onzeker en vragen om nader onderzoek, zoals de doorspoelvraag van de Afsluitdijk en het minimum debiet voor de Nieuwe Waterweg. De verwachting is dat met meer onderzoek, en zeker met nader te bepalen maatregelen op de spui- en schutsluizen, de doorspoelvraag voor de Afsluitdijk naar beneden kan worden bijgesteld. Ook de doorspoelvraag van polders is vermoedelijk aan de hoge kant, doordat geen rekening is gehouden met mogelijk hergebruik van water binnen een beheergebied.

Daar staat tegenover dat de regionale watervraag mogelijk naar boven moet worden bijgesteld, omdat 'nieuwe' watervragers nog niet zijn meegenomen, zoals de extra watervraag voor peilbeheer voor het nathouden van de veengebieden en de watervraag van stedelijk gebied.

Het volgende wordt aanbevolen:

- De waterbalans is opgebouwd met veel aannames over en onzekerheden in sommige waterbalanstermen. Het is belangrijk om meer inzicht te krijgen in de grootte van die onzekerheid, en hoe dit doorwerkt in de waterbalans.

- Een goede vervolgstap kan zijn om verschillende oplossingsrichtingen te verkennen en te vertalen in waterbalansfiguren. Te denken valt aan onderzoek naar de effecten van het (tijdelijk) laten toenemen van chlorideconcentraties in het regionale systeem en in het hoofdwatersysteem. En naar structurele maatregelen zoals anti-verziltingsmaatregelen bij spui- en schutsluizen.

- Ook wordt aanbevolen om de scenario's in de tijd te plaatsen, te actualiseren met de nieuwe KNMI'23 scenario's en meer duiding te geven aan de herhalingstijd van een 'zeer droge zomermaand'. Dit geeft inzicht in op welke termijn grote tekorten zijn te verwachten, hoe vaak deze naar verwachting zullen optreden en hoeveel tijd er nog is om ons daarop voor te bereiden. Belangrijk is wel om te beseffen dat extreme droogtes nu ook al voor kunnen komen en de kans op droge zomers in alle KNMI'23 scenario's toeneemt.

Tot slot: het op deze wijze samenvoegen en vereenvoudigd visualiseren van informatie over watervraag en wateraanbod geeft veel inzicht en is communicatief sterk. De keerzijde is echter dat het geen inzicht geeft in de mate van onzekerheid; in vervolgwerk kan hier meer aandacht aan gegeven worden.

Inhoud

	Samenvatting	**4**
1	**Introductie**	**7**
1.1	Aanleiding en vraag	7
1.2	Aanpak en uitgangspunten	8
1.2.1	Uitgangspunten	8
1.2.2	Toelichting op de waterbalanstermen	8
1.2.3	Buiten beschouwing gelaten	9
1.3	Leeswijzer	10
2	**Waterbalans in het huidige klimaat**	**11**
2.1	Wateraanvoer (IN)	11
2.2	Doorspoelvraag hoofdwatersysteem (UIT)	13
2.3	Regionale watervraag (UIT)	15
3	**Waterbalans in de toekomst**	**17**
3.1	Scenario’s voor klimaatopwarming en zeespiegelstijging	17
3.1.1	Toelichting bij het scenario 2°C opwarming en 40 cm zeespiegelstijging	17
3.1.2	Toelichting bij zeespiegelstijging van 1 en 2 meter	19
3.2	Wateraanvoer (IN)	19
3.3	Doorspoelvraag hoofdwatersysteem (UIT)	21
3.4	Regionale watervraag (UIT)	24
4	**Resultaat en interpretatie van de waterbalans**	**26**
4.1	Waterbalans	26
4.2	Wat betekent een groot watertekort?	28
4.3	Waardoor nemen de tekorten toe?	28
4.4	Wat kunnen we eraan doen?	28
4.5	Onzekerheden	29
5	**Conclusie en aanbevelingen**	**31**
5.1	Conclusie	31
5.2	Aanbevelingen	31
6	**Referenties**	**33**

1 Introductie

1.1 Aanleiding en vraag

Grote delen van laag Nederland zijn in de zomermaanden afhankelijk van wateraanvoer vanuit de grote rivieren. Dit water heeft hoge kwaliteitseisen, onder ander met betrekking tot de chlorideconcentratie: het moet zoet zijn. Watergebruikers in het achterliggende gebied (t.b.v. natuur, landbouw, industrie en stedelijk gebied) zijn erop ingesteld dat de waterkwaliteit beheersbaar is door meer door te spoelen indien nodig. En ook drinkwaterinnamepunten rekenen op jaargemiddelde concentratie van <150 mg/l (o.a. Andijk in het IJsselmeer, Nieuwersluis in het Amsterdam-Rijnkanaal en Bergambacht aan de Lek).

De 2018 en 2022 droogtes hebben laten zien dat het steeds lastiger wordt om de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater beheersbaar te houden. In het huidige klimaat komt het al voor dat concentraties verhoogd zijn en er daardoor tijdens droogte lastige afwegingen gemaakt moeten worden, bijvoorbeeld tussen het opleggen van schutbeperkingen bij sluizen en het korten van wateraanvoer naar economische sectoren.

De Knelpuntenanalyse Zoetwater (Mens et al., 2020) wees al uit dat bij sterke klimaatverandering vaker periodes van watertekorten kunnen optreden, en droogtes nog extremer kunnen worden dan in 2018 en 2022. Dit komt omdat bij klimaatopwarming tegelijkertijd de watervraag toeneemt door meer verdamping én omdat de aanvoer via de grote rivieren de Rijn en de Maas terugloopt.

Daar komt bij dat zeespiegelstijging op termijn meer zoutindringing veroorzaakt via de Nieuwe Waterweg, maar ook via gesloten overgangen met zee (via schut- en spuisluizen) en via interne verzilting (zout grondwater komt via kwel in het oppervlaktewater). In het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KPZSS) zijn in 2023 inschattingen gedaan van de toenemende watervraag voor doorspoelen, bij behoud van eenzelfde chloridegehalte als in de huidige situatie als gevolg van versnelde zeespiegelstijging (1, 2, 3 en 5 m.). Dit komt bovenop de schattingen uit de Knelpuntenanalyse Zoetwater.

Zowel de verandering van het klimaat zelf als de zeespiegelstijging zorgen voor een toename van de watervraag in een droge zomer. Al dat water kan niet altijd geleverd worden waardoor de zoetwatertekorten ook toenemen. Het effect van de watervraag op de totale waterbalans voor laag Nederland bij zowel klimaatopwarming als versnelde zeespiegelstijging is echter niet goed in beeld. De vraag die in dit rapport wordt beantwoord luidt:

> *Wat is de zoetwaterbalans van laag Nederland tijdens droogte en hoe verandert deze bij klimaatopwarming en zeespiegelstijging van 1 en 2 meter?*

Om deze vraag te beantwoorden zijn gegevens uit verschillende rapporten van zowel Deltaprogramma Zoetwater als Kennisprogramma Zeespiegelstijging gecombineerd en is op basis daarvan de zoetwaterbalans van laag Nederland opgesteld en in dit rapport in de vorm van een aantal overzichtelijke figuren weergegeven[1], inclusief een toelichting op de gehanteerde werkwijze, een onderbouwing van de getallen, en waar mogelijk duiding aan de onzekerheid van de gebruikte getallen.

[1] De eerste versie van deze figuren is in het najaar van 2023 gepresenteerd op het Future Deltas Congres van Deltares

1.2 Aanpak en uitgangspunten

1.2.1 Uitgangspunten

De belangrijkste uitgangspunten bij de analyse in dit rapport zijn:

- We bouwen grotendeels voort op gepubliceerde rapporten voor het Deltaprogramma Zoetwater en Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Waar nodig wordt een aanvulling gegeven met recente inzichten uit andere programma's;
- We gebruiken de 'oude' KNMI'14 projecties voor klimaatverandering en het 'oude' Deltascenario Stoom uit 2017, omdat voor de KNMI'23 scenario's nog geen modelresultaten beschikbaar waren;
- De waterbalans is gemaakt voor een droge zomermaand zoals in 1976. Het gaat om maandgemiddelde waardes in m^3/s;
- De waterbalans is op landelijk niveau en zonder rekening te houden met verdeling tussen regio's of sectoren. Er is dus geen rekening gehouden met waterverdeling tijdens droogte, waarbij sommige gebruikers (tijdelijk) gekort kunnen worden ten gunste van andere gebruikers. Bij de waterbalans is uitgegaan van de huidige waterbeheerpraktijk, en dus niet de waterbeheerpraktijk in 1976.
- Onze waterbalans geeft inzicht in de zoetwaterproblematiek in een zeer droge zomermaand. De waterbalans geeft daarom de mismatch tussen de wateraanvoer en de watervraag weer, waarbij de UIT-post de gewenste hoeveelheid water betreft om optimaal te voorzien in kwantiteit en kwaliteit voor de grootste gebruikers, namelijk peilbeheer, doorspoeling en beregening. Het gaat dus niet om de 'echte' waterlevering. De waterbalans gaat niet in op het verdelen van het tekort aan water over de verschillende gebruikers.

1.2.2 Toelichting op de waterbalanstermen

Het schaalniveau van de waterbalans is heel Nederland en de invalshoek is de grote rivieren, die Nederland binnenkomen op de grens met Duitsland/België en in het noorden en westen het land weer verlaten richting de Noordzee. Onderweg naar zee wordt er uit het rivierwater onttrokken om in de regionale watervraag te voorzien. Vanwege de grote rivieren als invalshoek beschouwen we enkel die delen van Nederland (Figuur 1.1) die tijdens het groeiseizoen afhankelijk zijn van aanvoer van rivierwater. Alleen de peilbeheerste wateraanvoergebieden worden meegenomen, dus niet de vrij-afwaterende gebieden op de zandgronden. Door de focus op de grote rivieren is bijvoorbeeld gewasverdamping ook geen aparte balansterm, maar is onderdeel van de regionale watervraag (zie verderop).

Waterbalans IN

De debieten van de grote rivieren Rijn en Maas zijn de belangrijkste IN-post van de waterbalans. Er zijn ook kleinere grensoverschrijdende rivieren zoals de Vecht, de Mark, etc. We nemen aan dat deze rivieren tijdens droge zomers niet significant bijdragen. Het kleine volume dat toch nog binnenkomt kan worden weggestreept tegen de kleinere UIT-posten die ook buiten beschouwing worden gelaten.

Waterbalans UIT

De eerste categorie UIT-termen hebben betrekking op de overgangen met de zee. De belangrijkste zijn (van noord naar zuid): de Afsluitdijk, het Noordzeekanaal bij IJmuiden, de Nieuwe Waterweg en het Volkerak-Zoommeer. Op deze plekken wordt zoetwater gebruikt om zoutindringing tegen te gaan. In de waterbalans nemen we de benodigde hoeveelheid op, dus de watervraag. In de praktijk kan door keuzes van waterbeheerders en operationeel beheer en verdringingsreeks de levering kleiner zijn dan de vraag. We gaan hier uit van de watervraag om te laten zien hoeveel water we tekort komen als we optimaal zouden willen leveren in een droge situatie.

De tweede categorie UIT-termen zijn de innamepunten van de regionale waterbeheerders. Het regionale waterbeheer heeft talloze innamepunten op de route van de rivieren van de landsgrens naar zee. In de Knelpuntenanalyse Zoetwater wordt de watervraag aan het hoofdwatersysteem vaak opgeteld binnen 5 Zoetwaterregio's (zie Figuur 1.1). Deze nemen we over. Direct of indirect (via kanalen en boezems) is dit water afkomstig van de grote rivieren. De afhankelijkheid van rivierwater verschilt per regio en dus ook de totale watervraag. Aanvoer via kanalen (bv. Twentekanalen) zit verwerkt in die regionale watervraag.

1.2.3 Buiten beschouwing gelaten

Verdamping en neerslag in de regio wordt niet als aparte waterbalansterm meegenomen. Neerslag en verdamping wordt namelijk indirect al meegenomen in de bepaling van de regionale watervraag.

De grote meren (IJsselmeer/Markermeer/Veluwe-Randmeren) spelen een belangrijke rol in de zoetwatervoorziening van Noord-Nederland, maar de bufferschijf wordt toch niet meegenomen als beschikbaar volume in de waterbalans. Daar zijn twee redenen voor:

1 De bufferschijf is nodig om de verdamping van de meren zelf te compenseren . Als we uitgaan van 3 mm verdamping per dag gedurende een maand, dan komt dit overeen met 10 cm bufferschijf. Dat is de helft van de direct beschikbare bufferschijf.
2 Ten tweede staat een droge maand niet op zichzelf; er gaat droogte aan vooraf waarvoor de buffer ook nodig is. We nemen daarom aan dat de buffer bij de start van de zeer droge maand niet beschikbaar is.

Een bufferschijf van 10 cm staat gelijk aan een volume van 200 Mm^3, of een constant debiet van 75 m^3/s gedurende een maand. We missen zodoende maximaal 75 m^3/s als IN-post van de waterbalans door het niet meenemen van de berging in de grote meren.

Tot slot wordt een aantal termen buiten beschouwing gelaten, om de balans simpel te houden en omdat de hoeveelheden ten opzichte van andere termen klein zijn: de onttrekking van oppervlaktewater ten behoeve van drinkwater, industrie en energie, en de watervraag van stedelijk gebied.



Figuur 1.1 Systeemafbakening met waterbalanstermen en de ligging van de 5 Zoetwaterregio's

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 (huidig) en Hoofdstuk 3 (Toekomst) geven een uitgebreide toelichting op alle termen in de waterbalans, en welke aannames daaraan ten grondslag liggen. Hoofdstuk 4 geeft de resulterende totale waterbalans voor de 3 beschouwde scenario's en een beschouwing daarvan. Hoofdstuk 5 sluit af met conclusies en aanbevelingen voor vervolg.

2 Waterbalans in het huidige klimaat

In dit hoofdstuk worden alle waterbalanstermen toegelicht horend bij het scenario ‘huidig klimaat’. Schattingen van de regionale watervraag zijn overgenomen uit de berekeningen met het Nationaal Water Model (NWM), die voor het Deltaprogramma Zoetwater (fase 2) zijn uitgevoerd om de zoetwaterknelpunten te kwantificeren en effecten van maatregelpakketten te onderbouwen (Mens et al., 2020). Getallen zijn gebaseerd op het scenario Ref2017. Schattingen voor de doorspoelvraag van het hoofdwatersysteem zijn gebaseerd op dezelfde modelanalyses en waar nodig geactualiseerd met recente Waterakkoorden. De droogste maand in het extreem droge jaar 1976 is als basis genomen voor de regionale watervraag. Voor het bepalen van de Rijn- en Maasafvoer die past bij een extreem droge zomermaand is aanvullend gekeken naar meetgegevens van de recente droge jaren 2018 en 2022.

2.1 Wateraanvoer (IN)

De waterbalans gaat uit van een totale aanvoer van de Rijn en de Maas van 930 m^3/s in een droge zomermaand (Tabel 2.1). In het vervolg van deze paragraaf wordt dit in de context geplaatst van historische droge jaren.

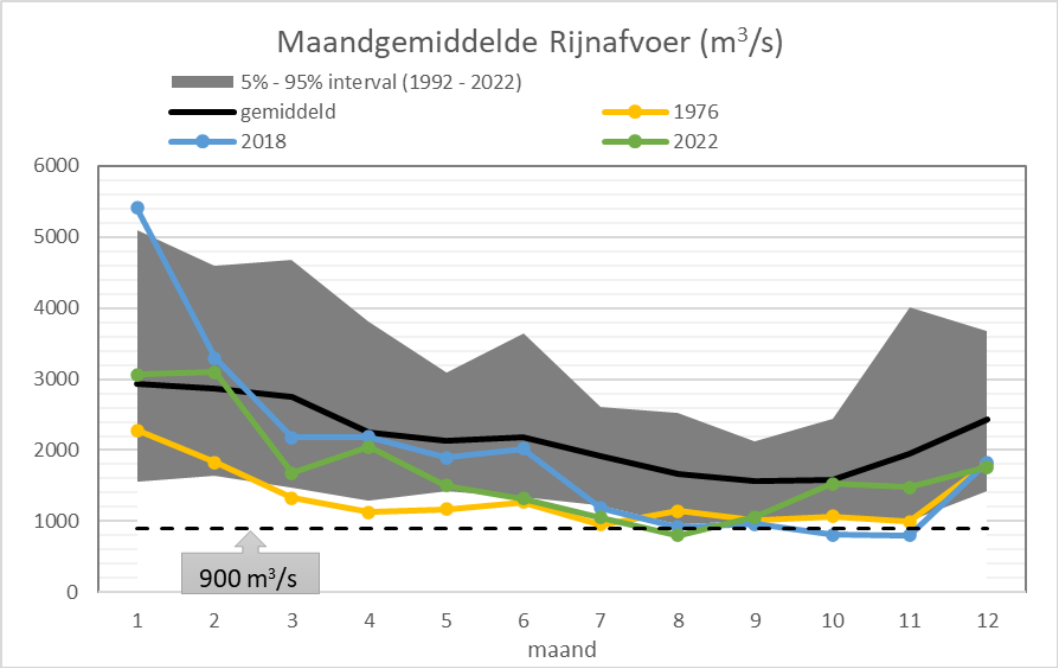
Tabel 2.1 Overzicht van de geschatte wateraanvoer (IN-posten) in het huidige klimaat in een extreem droge zomermaand

Locatie	Wateraanbod (m^3/s) in het huidige klimaat
Rijn (Lobith)	900
Maas (St.Pieter)	30
Totaal	**930**

De grootste hoeveelheid zoet water wordt in een zeer droge zomermaand aangevoerd via de Rijn. Gemiddeld bedraagt de afvoer in juli, augustus en september circa 1700 m^3/s. In 1976 was de gemiddeld juli-afvoer 953 m^3/s. Voor de waterbalans kiezen we een lagere waarde, die beter overeenkomt met recente droogtes. In de afgelopen 30 jaar waren er 3 maanden waarin de maandafvoer lager werd dan 900 m^3/s: in 2018 en in 2022 (Figuur 2.1; Tabel 2.2). Berekend over een historische reeks van 1910 - 2022 (waterinfo.rws.nl) is de frequentie van voorkomen van maandafvoeren lager dan 900 m^3/s ongeveer eens in de 10 jaar.

Tabel 2.2 Maandgemiddelde afvoeren van de Rijn voor een aantal maanden in 3 zeer droge jaren. Waardes lager dan 1000 m^3/s zijn lichtgrijs; waardes lager dan 900 m^3/s zijn donkergrijs

jaar	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov
1976	**953**	1141	1021	1068	994
2018	1187	**915**	**958**	**813**	**806**
2022	1050	**802**	1057	1529	1477

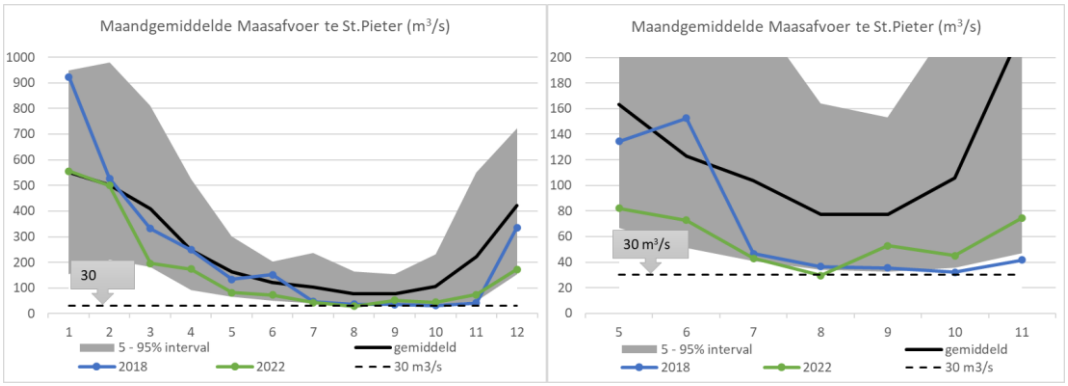


Figuur 2.1 Afvoerregime van de Rijn bij Lobith (maandgemiddelde waarden) en maandgemiddelde afvoer van 3 extreem droge jaren. (bron data: rws.waterinfo.nl)

De Maas voert een veel kleinere hoeveelheid water aan in verhouding tot de Rijn. Deze aanvoer is evenwel belangrijk voor de basisafvoer van de Grensmaas, scheepvaart op het Julianakanaal, innamepunten voor industrie en drinkwater en regionale watervoorziening van het Oostelijke deel van Noord-Brabant. In extreme jaren kan de maandgemiddelde afvoer dalen naar 30 m^3/s of minder. Dit kwam in de afgelopen 30 jaar gemiddeld eens in de 15 jaar voor: in 1991 en in 2022. Ter vergelijking is in Tabel 2.3 en Figuur 2.2 ook het afvoerverloop van 2018 opgenomen. Toen was de gemiddelde afvoer in augustus en september iets lager dan 40 m^3/s en in oktober 32 m^3/s.

Tabel 2.3 Maandgemiddelde afvoeren van de Maas (St. Pieter) voor een aantal maanden in 2 recente, zeer droge jaren. Waardes lager dan 35 m^3/s zijn lichtgrijs gekleurd.

jaar	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov
2018	47	37	36	32	42
2022	43	30	53	45	75



Figuur 2.2 Links: Afvoerregime van de Maas te St. Pieter (maandgemiddelde waarden) en maandgemiddelde afvoer van 3 extreem droge jaren. (bron data: rws.waterinfo.nl). Rechts: ingezoomd voor de range 0 – 200 m^3/s

2.2 Doorspoelvraag hoofdwatersysteem (UIT)

Er zijn tijdens droogte 4 grote locaties waar rivierwater het systeem verlaat:

- Sluizen Afsluitdijk (IJsselmeer),
- Sluizen IJmuiden (Noordzeekanaal),
- Nieuwe Waterweg (Rijn-Maasmonding),
- Krammersluizen en Bathse spuisluis (Volkerak-Zoommeer).

Daarnaast is er nog een aantal kleinere locaties waar geloosd wordt op de Noordzee of de Waddenzee, zoals Delfzijl (Eemskanaal), Harlingen (Van Harinxmakanaal) en Den Helder (Noord-Hollands kanaal), maar deze laten we vanwege de kleine volumes (<5 m^3/s) buiten beschouwing. Bij de IN-posten worden vanwege de kleine volumes de kleinere zijrivieren ook niet meegenomen, er wordt dan ook aangenomen dat deze kleine IN- en UIT-posten elkaar compenseren. In vervolgonderzoek is het aan te bevelen om deze aanname te verifiëren.

Zowel open als gesloten overgangen tussen rivieren en de Noordzee kennen een doorspoelbehoefte om het zoutgehalte in de normaliter zoete systemen te beheersen. De grootste watervragers zijn: de Nieuwe Waterweg (open verbinding), de sluizen in de Afsluitdijk om het IJsselmeer (en het Markermeer) zoet te houden, de sluizen bij IJmuiden om het Amsterdam-Rijnkanaal zoet te houden en de Krammersluizen en Bathse spuisluis om het Volkerak-Zoommeer zoet te houden. We lichten hier kort de systemen en huidig beheer toe en de aangenomen huidige watervraag voor doorspoelen (Tabel 2.4).

Bij de **Afsluitdijk** lekt zout water naar binnen door de gesloten spuisluizen, en er komt zout water binnen door de operatie van schutsluizen t.b.v. de scheepvaart. Hierdoor lopen in droge zomers de zoutconcentraties van het IJsselmeer op. Ongeveer de helft van het water dat binnenkomt door lekkage van de spuisluizen verzamelt zich in erosiekuilen aan de binnenkant hiervan. In het Waterakkoord Noord Nederland (RDO Noord, 2021) is een gemiddeld spuidebiet van **40 m^3/s** vastgelegd voor situaties van extreme droogte. Dit debiet volstaat om de erosiekuilen zoet te spoelen als die geheel zijn gevuld met zout water. De andere helft van het binnenkomende zoute water verzamelt zich niet in de erosiekuilen, maar vermengt zich met het IJsselmeerwater. Dat geldt ook voor het zout dat binnenkomt via de schutsluizen.

Het tegengaan van de verzilting van het IJsselmeer vraagt daarom om maatregelen op de spuisluizen (bv. het verminderen van de lekkage) of om ingrepen op de schutoperatie (minder vaak schutten) of maatregelen op de schutsluizen zoals bellenschermen.

Dergelijke maatregelen zijn niet vertaald in een watervraag en dus ook niet meegenomen in de waterbalans.

Via de sluizen bij **IJmuiden** komt met name door de schutoperatie zout water binnen op het Noordzeekanaal. Verhoging van chlorideconcentraties leidt op het Noordzeekanaal niet meteen tot problemen voor gebruikers, maar het in verbinding staande Amsterdam-Rijnkanaal moet wel zoet blijven voor alle gebruikers die er direct of indirect van afhankelijk zijn (drinkwater, landbouw, natuur). Daarom wordt indien nodig extra zoetwater aangevoerd vanuit de Nederrijn/Lek/Waal. Het afgesproken doorspoeldebiet bedraagt 25 m^3/s bij Weesp/Diemen met hoge prioriteit. Door de aanleg van de nieuwe zeesluis is de zoutindringing potentieel groter geworden. Ter mitigatie van die extra zoutvracht wordt er gebouwd aan de zogenaamde Selectieve Onttrekking. Deze Selectieve Onttrekking zorgt er voor dat het afgevoerde water wordt onttrokken uit de diepste delen van het Noordzeekanaal, waardoor er per kubieke meter water meer zout wordt afgevoerd. Bij dezelfde afvoer wordt er dus meer zout teruggevoerd naar zee. Op basis van expertoordeel is ingeschat dat bij een debiet van 35 m^3/s ter hoogte van IJmuiden, waarvan minimaal 25 m^3/s ter hoogte van Weesp, zoutindringing van het Amsterdam-Rijnkanaal voldoende kan worden tegengegaan. Waar dit water precies vandaan komt is voor de waterbalans minder van belang, maar aangenomen kan worden dat minimaal 25 m^3/s wordt aangevoerd via het Amsterdam-Rijnkanaal en 10 m^3/s via de Oranjesluizen en lozingspunten van regionale waterbeheerders.

De grote rivieren staan via de **Nieuwe Waterweg** / Nieuwe Maas / Oude Maas in open verbinding met zee. Bij lage rivierafvoeren en/of windopzet op de Noordzee, kunnen ook de andere riviertakken van de Rijn-Maasmonding bloot worden gesteld aan verzilting. Het gaat hierbij om de Lek, Hollandsche IJssel, Spui, Dordtsche Kil, Haringvliet, en Hollands Diep. Bij lage rivierafvoeren zorgt het geleidelijk indringen van het zoute water ervoor dat een deel van de inlaatpunten (voor drinkwater, industrie en regionaal waterbeheer) langs de Nieuwe Maas, de Hollandsche IJssel en de Lek kan verzilten. Ook kan via zogenaamde achterwaartse verzilting ten gevolge van windopzet zout water via het Spui in het Haringvliet/Hollands Diep komen, waardoor het inlaatpunt voor het Bernisse-Brielse Meer systeem tijdelijk verzilt. Indien de Haringvlietsluizen voor lange tijd gesloten zijn, kan dit ook tot langdurige verzilting bij de Bernisse inlaat zorgen.

Het huidige beleid is erop gericht om de bovenloop van de Hollandsche IJssel en Lek zoet te houden door actief water te sturen over stuw Hagestein naar de Lek en via het Amsterdam-Rijnkanaal en via de Krimpenerwaard naar de bovenloop van de Hollandsche IJssel. Dit extra water (‘surplusdebiet’) geeft tegendruk voor het zoutere water dat bij lage afvoeren in de monding van de Lek en Hollandsche IJssel komt. Verzilting van de Nieuwe Maas zelf kan worden tegengegaan met een minimum debiet in de Nieuwe Waterweg. Dit debiet is ook nodig om te zorgen dat de zoutdruk aan de mondingen van de Hollandsche IJssel en Lek niet te hoog wordt en om verziltingspieken bij Spijkenisse en Bernisse te beperken.

Voor de waterbalans in dit rapport is ingeschat hoeveel debiet nodig is om zoutindringing in de Nieuwe Waterweg te beperken. Voor de huidige situatie is aangenomen dat het restdebiet van 500 m^3/s over de Nieuwe Waterweg, berekend met Nationaal Water Model, gelijk kan worden gesteld aan de watervraag om de situatie in de hele Rijn-Maasmonding met betrekking tot verzilting beheersbaar te houden. Dit komt grofweg overeen met de restdebieten in 2018 en 2022, toen waterbeheerders alle zeilen bij moesten zetten om de chlorideconcentraties in de Lek en de Hollandsche IJssel te beheersen.
De surplusdebieten richting de Lek en de Hollandsche IJssel zijn niet als aparte post meegenomen in de balans, omdat dit water via een omweg ook weer in de Nieuwe Waterweg terechtkomt en/of al is meegenomen in de regionale watervraag.

De belangrijkste bron van zout in het **Volkerak-Zoommeer (VZM)** wordt gevormd door de Krammersluizen. Deze scheiden het zoete VZM van de zoute Oosterschelde. Bij de sluizen wordt in de nabije toekomst de huidige Zout-Zoet-Scheiding (ZZS) vervangen door de Innovatieve Zout-Zoet-Scheiding (IZZS) waardoor de zoutvracht wordt beperkt door middel van een netto waterafvoer van ca 9 m^3/s in het groeiseizoen en maximaal 29 m^3/s buiten het groeiseizoen. In tijden van droogte is water uit het Hollands Diep via de Volkeraksluizen de enige zoetwaterbron die beschikbaar is om zout te bestrijden, verdamping te compenseren en in de regionale watervraag te voorzien. Voor de doorspoeling van het VZM is daarnaast de Bathse Spuisluis van belang. In de waterbalans nemen we de hoeveelheid water op die totaal via de Volkeraksluizen aangevoerd moet worden om de zoutconcentratie in het VZM onder 450 mg/l te houden en voor verdamping te compenseren, maar we corrigeren dit getal voor de regionale watervraag van 5 m^3/s, om dubbeltelling te voorkomen.

Tabel 2.4 Overzicht van de geschatte watervraag voor doorspoelen van het hoofdwatersysteem in het huidige klimaat

Locatie	Watervraag (m^3/s) in het huidige klimaat
Afsluitdijk (IJsselmeer)	40
IJmuiden (Noordzeekanaal)	35
Rotterdam (Nieuwe Waterweg)	500
Krammersluizen en Bathse Spuisluis (Volkerak-Zoommeer)	35
Totaal	**610**

2.3 Regionale watervraag (UIT)

In Tabel 2.5 is de met NWM berekende regionale watervraag per Zoetwaterregio weergegeven voor de zeer droge zomermaand juli-1976. De indeling van deze regio's is weergegeven in Figuur 1.1. De regionale watervraag betreft de waterbehoefte van het landelijk gebied uit het hoofdwatersysteem, voor zowel beregening, peilbeheer en doorspoeling (zoet houden) van polders en boezemsystemen. De watervraag voor peilbeheer gaat over het benodigde water om het streefpeil van oppervlaktewateren te handhaven en is een resultante van de neerslag, verdamping, drainage en infiltratie in het gebied.

Tabel 2.5 Overzicht van de berekende watervraag in het huidige klimaat (bron: Pouwels et al., 2021)

Regio	Regionale watervraag uit oppervlaktewater (m^3/s) in het huidige klimaat
Hoge Zandgronden	40
Rivierengebied	70
Noord	140
West	60
Zuidwestelijke delta	15
Totaal	**325**

Regio Noord kent de grootste regionale watervraag, dat komt voornamelijk omdat deze regio het grootst is.
Deze regio wordt van water voorzien vanuit het IJsselmeergebied (IJsselmeer, Markermeer, randmeren) en vanuit de IJssel via de Twentekanalen.

De regio beslaat grofweg de provincies Noord-Holland, Flevoland, Friesland, Groningen, Drenthe en een gedeelte van Overijssel. Het grootste deel van de watervraag van regio Noord is nodig voor peilhandhaving, die vooral groot is in het Fries Gronings kustgebied.

Regio West wordt van water voorzien vanuit ingelaten rivierwater (Nederrijn/Lek en Waal) en vanuit de waterbuffers Hollands Diep, Volkerak Zoommeer en Brielse Meer. Het deel van de Zuidwestelijke Delta mét wateraanvoermogelijkheden wordt ook onder Regio West gerekend. Normaliter wordt het rivierwater aangevoerd via de Hollandsche IJssel. Bij verzilting van de monding van de Hollandsche IJssel is dit niet meer mogelijk en wordt zoetwater via de Klimaatbestendige wateraanvoer (KWA) aangevoerd. Deze regio heeft te maken met interne en externe verzilting en heeft daarom een grote doorspoelvraag. In een droog zomerhalfjaar is ongeveer de helft van de totale watervraag nodig voor de doorspoeling van boezems en polders.

Regio Rivierengebied is het peilgestuurde gebied rond de Maas en de Nederrijn-Lek, en het deel van West Nederland dat zoetwater vanuit de Hollandsche IJssel en Lek aanvoert. Het grootste deel van de regionale watervraag is nodig voor peilhandhaving. Regio Midden West Nederland (het deel van Rivierengebied ten noorden van de Lek) bestaat uit veengronden waar het boezemsysteem wordt doorgespoeld. Doorspoeling is daarom ook een grote watervrager in deze regio.

Regio Hoge Zandgronden beslaat een groot deel van Nederland: de zuidelijke zandgronden in Brabant en Limburg, het gebied tussen de Veluwe en de Utrechtse heuvelrug en de zandgronden in de Achterhoek en Twente. In een groot deel van deze regio's is geen wateraanvoer mogelijk, waardoor water voor beregening grotendeels uit het grondwater afkomstig is. In een deel van Noord-Brabant wordt water aangevoerd vanuit de Maas via een kanalenstelsel. En in sommige delen van de centrale hoge zandgronden is wateraanvoer mogelijk uit de Veluwerandmeren. Waarschijnlijk is de watervraag uit het hoofdwatersysteem iets kleiner dan de berekende 40 m^3/s, omdat sommige gebieden (zoals de Gelderse Vallei) hun watervraag uit hoger gelegen delen aanvoeren en niet, zoals het Nationaal Water Model (NWM) aanneemt, vanuit het hoofdwatersysteem.

Regio Zuidwestelijke Delta Zonder Aanvoer beslaat het grootste gedeelte van de provincie Zeeland, waar bijna geen wateraanvoer mogelijk is. Sinds 1992 voorziet Evides via de ‘landbouwwaterleiding’ met name fruittelers in Zuid-Beveland van zoet water dat wordt aangevoerd vanuit de Biesbosch. Dit is de enige regionale watervraag uit het hoofdwatersysteem in deze regio (orde grootte van een paar m^3/s), maar dit zat destijds nog niet in de modelberekeningen. De met het NWM berekende 15 m^3/s watervraag is vermoedelijk een overschatting van de watervraag uit het hoofdwatersysteem doordat het model uitgaat van een ‘theoretische’ vraag om te voorkomen dat slootpeilen uitzakken. In de praktijk kan deze watervraag dus niet worden geleverd.

3 Waterbalans in de toekomst

3.1 Scenario's voor klimaatopwarming en zeespiegelstijging

Er zijn voor 3 toekomstscenario's waterbalansfiguren gemaakt: waterbalansfiguren voor 3 toekomstscenario's:

1 Met 2°C opwarming en 0,4 m zeespiegelstijging
2 Met 2°C opwarming én 1 meter zeespiegelstijging
3 Met 2°C opwarming én 2 meter zeespiegelstijging

Het gaat bij alle scenario's om 2 graden wereldwijde opwarming, ten opzichte van de referentieperiode 1981 – 2010 (conform KNMI'14). Dit staat gelijk aan een wereldwijde opwarming van 2,7 graden ten opzichte van pre-industrieel. In Nederland betekent dit een opwarming naar 12,4 °C in 2050 volgens het oude KNMI'14 scenario Wh. Volgens het nieuwe KNMI'23 H scenario (passend bij het hoge emissiescenario SSP5-8.5) wordt dit net iets later dan 2050 bereikt. In de nieuwe, lage KNMI'23 scenario's stijgt de temperatuur niet verder dan 11,3 graden in 2050 en daarna.

In het oude Wh scenario past ook een zeespiegelstijging van 0,4 m (ten opzichte van 1981 – 2010) in zichtjaar 2050. Een verdere stijging van 1 en 2 m zeespiegelstijging (in scenario's 2 en 3) is pas tegen het einde van eeuw te verwachten. In het nieuwe, lage uitstootscenario stijgt de zeespiegel tot 2100 redelijk sterk (26-73 cm), bij een hoge uitstoot nog meer (59-124 cm) (KNMI, 2023).

Het eerste scenario's is zodoende bedoeld om de bovenkant van de bandbreedte te schetsen voor 2050, de andere twee scenario's hebben geen duidelijke tijdshorizon, maar 1 m zeespiegelstijging is plausibel voor 2100 en 2 m stijging voor na 2100. Hierin is echter het versneld smelten van de Antarctische ijskap niet meegenomen. Om het eenvoudig te houden is de opwarming niet verder doorgetrokken naar 2100. Hierdoor wordt het relatieve effect van zeespiegelstijging op de waterbalans zichtbaar.

3.1.1 Toelichting bij het scenario 2°C opwarming en 40 cm zeespiegelstijging

Het scenario 2°C (wereldwijde) opwarming met 40 cm zeespiegelstijging is gebaseerd op Deltascenario Stoom2050 (Wolters et al., 2018), een toekomstscenario van Nederland in 2050 bij snelle klimaatverandering (2°C opwarming in Nederland ten opzichte van de periode 1981 – 2010) en socio-economische groei.

Klimaatverandering

Dit Deltascenario Stoom gaat uit van het Wh scenario van de KNMI'14 klimaatscenario's (KNMI, 2015). De KNMI'14 scenario's maken onderscheid tussen een gematigde klimaatverandering (G scenario's) en een warme variant (W scenario's) op basis van de wereldwijde temperatuurstijging. Daarnaast is ook de verandering van het luchtstromingspatroon van belang. Hier wordt een lage (L scenario's) en een hoge (H scenario's) verandering onderscheiden. De hoge scenario's hebben een nattere winter en een drogere zomer dan de lage scenario's.

In KNMI'14 scenario W_H stijgt de temperatuur in Nederland met 2,3°C in 2050 ten opzichte van de periode 1981 – 2010. De zomerneerslag neemt gemiddeld gezien af met 13% en de potentiële verdamping in de zomer neemt toe met 11%.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de relatieve veranderingen van een aantal meteorologische parameters in alle KNMI'14 scenario's.

Voor NL betekent het Wh scenario een opwarming naar 12,4 graden. Dit bereiken we volgens de nieuwe, hoge KNMI'23 scenario's tussen 2040 en 2080 (scenario's Hd/Hn passend bij het hoge-emissie scenario SSP5-8.5; KNMI, 2023). In de lage scenario's (passend bij lage-emissie scenario SSP1-2.6) stijgt de temperatuur in NL in 205 naar 11,4 graden (+0,9 tov nu) en neemt daarna niet verder toe.

Tabel 3.1 Verandering neerslag, potentiele verdamping, gemiddelde temperatuur bij de KNMI'14 scenario's G_L, G_H, W_L en W_H, ten opzichte van de referentieperiode 1981 - 2010, voor het zichtjaar 2050 (KNMI, 2014)

		G_L	G_H	W_L	W_H
Jaarrond	**Temperatuur**	+1	+1,4	+2	+2,3
Winter	Neerslag	+3.0%	+8.0%	+8.0%	+17.0%
	Gemiddelde temperatuur	+1,1	+1,6	+2,1	+2,7
Zomer	Gemiddelde neerslag	+1,2%	-8,0%	+1,4%	-13,0%
	Potentiele verdamping	+4,0%	+7,0%	+4,0%	+11,0%
	Gemiddelde temperatuur (graden Celsius)	+1,0	+1,4	+1,7	+2,3

In de Deltascenario's is een autonome adaptatie van de landbouw aan klimaatverandering verondersteld die zich manifesteert in een toename van het beregeningsareaal. In Deltascenario Stoom neemt het areaal toe met 60%. Hierbij is geen rekening gehouden met vigerend beleid om beregening te reguleren. Door de toename van het beregeningsareaal neemt ook de watervraag voor beregening toe.

Door klimaatverandering verandert ook het afvoerregime van de Rijn en de Maas. In het Whdry[2] scenario worden de verschillen tussen zomer- en winterafvoer duidelijk pregnanter waardoor de lage afvoeren nog lager worden (Klijn et al., 2015). De maandgemiddelde laagwaterafvoeren van de Rijn bij Lobith nemen in de nazomer met 20% af. De lage afvoeren van de Maas nemen in de nazomer en herfst af met 45%.

Zeespiegelstijging
Het KNMI'14 W_H-scenario schetst een zeespiegelstijging van 20 tot 40 cm tot aan 2050 en ten opzichte van 1995. In Deltascenario Stoom is de bovenkant van deze brandbreedte gebruikt.

Socio-economische groei
Deltascenario Stoom2050 beschrijft een toekomstbeeld bij socio-economische groei conform WLO-scenario Hoog (WLO'15: CPB & PBL, 2015), waarbij het aantal inwoners in 2050 is gegroeid met 12% en de economie met 2% per jaar groeit. In dit scenario verandert het landgebruik: het stedelijk gebied neemt toe en het areaal natuur en recreatie groeit, beiden ten koste van het landbouwareaal.

[2] Voor de rivierafvoeren is het Whdry scenario gebruikt. Dit scenario betreft een correctie op het Wh scenario ten behoeve van lage Rijn en Maasafvoeren (zie ook Mens et al., 2020).

In Deltascenario Stoom verdubbelt de watervraag voor polderdoorspoeling in de droogmakerijen. De toename wordt deels veroorzaakt door de autonome verzilting, waarbij de zoutlast vanuit het grondwater de komende tientallen jaren verder toeneemt. Daarnaast staat in scenario Stoom de hoge landbouwproductie voorop met hoge eisen aan de waterkwaliteit.

3.1.2 Toelichting bij zeespiegelstijging van 1 en 2 meter

Om het relatieve effect van zeespiegelstijging op de waterbalans inzichtelijk te maken, bouwen we voort op het waterbalans in het scenario Stoom2050 en voegen daar alleen de extra watervraag door zeespiegelstijging aan toe. Volgens het hoge-uitstoot scenario (SSP5-8.5), is 1 m zeespiegelstijging mogelijk vanaf 2090. De twee scenario's met 1 en 2 zeespiegelstijging houden dus nog geen rekening met mogelijke verdere opwarming tussen 2050 en 2100, waardoor de regionale watervraag verder kan toenemen en de wateraanvoer van de rivieren verder kan afnemen in 2100 (KNMI, 2023).

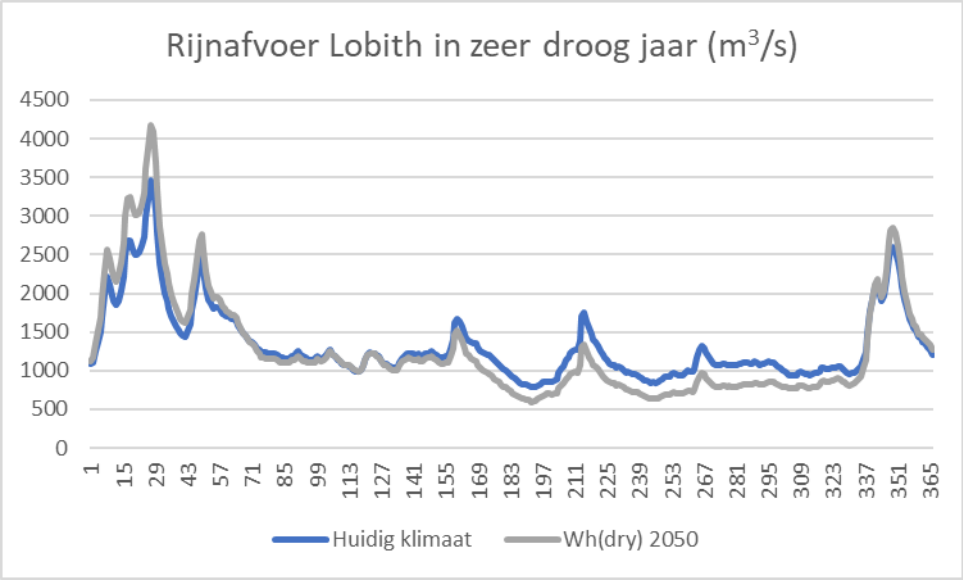
Het effect van een stijgende zeespiegel op verzilting van het grondwatersysteem en doorspoelwatervraag is in KPZSS onderzocht met behulp van een langjarige berekening met LHM zoet-zout voor 0,5 m, 1 m en 3 m zeespiegelstijging (Delsman et al., 2022). De verandering in de zoutvracht is in dat onderzoek vertaald naar een veranderde doorspoelwatervraag, onder de aanname dat huidige Chloride-concentraties in het regionale oppervlaktewater gehandhaafd moeten worden.

Het effect van een stijgende zeespiegel op externe verzilting van de Nieuwe Waterweg en de zoutvracht via sluizen is ook in KPZSS onderzocht en gedocumenteerd in Arcadis/Hydrologic (2023A t/m E). De verandering van de zoutvracht is in die onderzoeken vertaald naar een doorspoelvraag van Afsluitdijk, Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal, het Volkerak-Zoommeer en de Lek en Hollandsche IJssel.

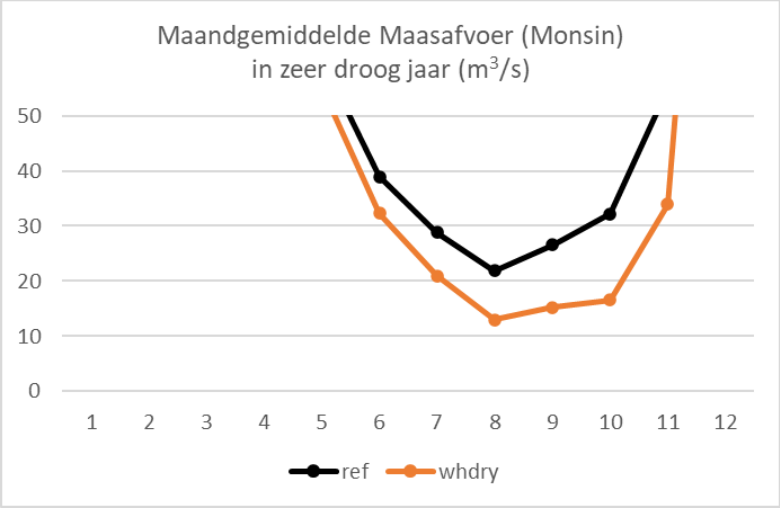
3.2 Wateraanvoer (IN)

De afvoer van de Rijn zal in de zomermaanden in de toekomst afnemen, volgens de twee warme scenario's van KNMI'14. Volgens het Whdry2050 scenario neemt de afvoer met gemiddeld 200 m^3/s af in de zomermaanden van een zeer droog jaar (1976), zie Figuur 3.1. De Maasafvoer (te Monsin) neemt in het Whdry scenario in een extreem droog jaar af met circa 10 m^3/s (Figuur 3.2). De laagste maandafvoer bedraagt 13 m^3/s. Een deel (circa 20%) is echter bestemd voor Vlaanderen via het Albertkanaal. Hiervoor gecorrigeerd wordt in de waterbalans een debiet van 10 m^3/s aangenomen. Zie Tabel 3.1 voor een overzicht van de IN-posten.

Het afvoerregime van de Rijn en de Maas bleef in de gematigde scenario's van KNMI'14 ongeveer hetzelfde als in het huidige klimaat. De nieuwe KNMI'23 scenario's wijzen echter allemaal in de richting van een afname van de zomerafvoer (Buitink et al., 2023).



Figuur 3.1 De Rijnafvoer (dagbasis) in het droge jaar 1976 en dezelfde tijdreeks getransformeerd volgens het KNMI'14 Whdry scenario voor zichtjaar 2050. In de zomermaanden is de afvoer circa 200 m³/s lager



Figuur 3.2 De maandgemiddeld Maasafvoer in het zeer droge jaar 1976 en dezelfde tijdreeks getransformeerd naar het KNMI'14 Whdry scenario voor zichtjaar 2050. De y-as is ingezoomd op de range 0 - 50 m³/s

Tabel 3.1 Overzicht van de geschatte wateraanvoer (IN-posten) in het huidige klimaat in een extreem droge zomermaand en in de drie toekomstscenario's

Locatie	Huidig	2°C opwarming + 0,4 m zeespiegelstijging	2°C opwarming + 1 m zeespiegelstijging	2°C opwarming + 2 m zeespiegelstijging
Rijn (Lobith)	900	700	700	700
Maas (St.Pieter)	30	10	10	10
Totaal	**930**	**710**	**710**	**710**

3.3 Doorspoelvraag hoofdwatersysteem (UIT)

De watervraag schattingen voor het doorspoelen van het hoofdwatersysteem worden in Tabel 3.3 gegeven.
Door ZSS zal de zoutindringing via de kunstwerken in de **Afsluitdijk** toenemen en daardoor ontstaat een toenemende behoefte aan doorspoeldebiet voor het IJsselmeer. De onderzoeken in het kader van het KPZSS keken met name naar de schutsluizen. Daaruit bleek dat bij een ZSS van 0,5 m (*ceteris paribus*) in een droge zomer ongeveer 17 m^3/s extra doorspoelwater nodig is om de toegenomen chloridelast te compenseren en de streefwaarde bij Andijk op de huidige 150 mg/l te houden. De benodigde zoetspoeldebieten nemen verder toe bij stijgende zeespiegel: naar ca 70 m^3/s bij 1 m, via ca. 90 m^3/s bij 2 m tot ruim 100 m^3/s bij 3 m.
De zoutlast neemt niet alleen toe door zeespiegelstijging, maar ook door een toename in de schutoperatie samenhangend met economische groei. In Arcadis/Hydrologic (2023E) zijn meerdere scenario's afgeleid waarin beide ontwikkelingen worden gecombineerd in een schatting van de doorspoelvraag (Tabel 3.2). We gebruiken voor de waterbalans de maximale schatting (scenario Hoog), passend bij een toename van schutbewegingen en aannemende dat hiertegen geen maatregelen worden genomen bij de schutsluizen. In de praktijk zal vermoedelijk tijdens watertekortsituaties wel sprake zijn van schutbeperkingen (in lijn met de verdringingsreeks), waardoor de doorspoelvraag teruggebracht wordt.

Het is onduidelijk in hoeverre er bij deze schattingen rekening is gehouden met de toename van de zoutlek door de spuisluizen; deze lekkage (door kieren tussen de deuren en de sponningen) zal namelijk ook toenemen met de ZSS. De huidige werkwijze is dat de erosiekuilen worden leeggespoeld als ze vol met zout water zitten. Met toenemende ZSS is er echter steeds minder mogelijkheid om te spuien en zal op een zeker moment het spuien moeten worden vervangen door pompen, ook voor het peilbeheer. Hierbij zal dan minder water nodig zijn om de kuil te legen (door het diep en daarmee selectief aanzuigen van het zoutste water), maar nog steeds zal een deel van het steeds groter wordende lekdebiet zich mengen met het water van het IJsselmeer. Die invloed hiervan op de zoutconcentraties van het IJsselmeerwater zijn nog niet goed in beeld en ook is dit nog niet vertaald in een doorspoelbehoefte om de norm bij Andijk te blijven halen.

Er is dus onduidelijkheid over de doorspoelbehoefte die volgt uit de zoutindringing door de combinatie van schut- en spuisluizen. Om die reden zijn nu de hoogste waarden aangehouden zoals gerapporteerd in het KPZSS.

Tabel 3.2 Geschatte doorspoelvraag (m^3/s) bij de Afsluitdijk bij verschillende scenario's (Arcadis/Hydrologic, 2023^E). Scenario Laag heeft betrekking op een situatie veel efficiëntere verziltingsbestrijding en/of scheepvaartintensiteit ten opzicht van de huidige praktijk. Scenario Hoog gaat uit van een minder efficiënte verziltingsbestrijding en een toename van de scheepvaartintensiteit

Zeespiegelstijging (m)	Scenario Laag	Scenario Midden	Scenario Hoog
0	5	40	80
0,5	7	57	97
1	14	69	109
2	29	89	129

Voor **IJmuiden** blijkt uit de berekeningen van Arcadis/Hydrologic (2023B) dat de zoutvracht door de sluizen toeneemt bij zeespiegelstijging. Hierdoor nemen de chlorideconcentraties in het Amsterdam-Rijnkanaal ook toe.

Bij 5 meter zeespiegelstijging is berekend dat het effect kan worden gecompenseerd door het surplus (=doorspoeldebiet bij Weesp) met 20 m^3/s te verhogen. Indien ook de schutintensiteit sterk groeit (ruim buiten de nu 'vergunde ruimte' bepaald door de Nieuwe Zeesluis en de Selectieve Onttrekking maar zonder gebruik van de Noordersluis) is nog eens 20 m^3/s extra doorspoeldebiet nodig. Een vuistregel is dus 4-8 m^3/s extra surplus per meter ZSS voor beide ontwikkelingen samen. Voor de waterbalans nemen we 5 m^3/s aan per meter zeespiegelstijging. Dit komt bovenop de huidige 35 m^3/s (zie Hoofdstuk 2). Dit betekent een doorspoelvraag *bij IJmuiden* van 40 m^3/s (35 + 5) bij 1 m en 45 (35 + 10) bij 2 m.

KPZSS heeft nog geen eenduidig antwoord kunnen geven op de vraag welk restdebiet via de **Nieuwe Waterweg** (NWW) *minimaal* nodig is bij zeespiegelstijging.
Door zeespiegelstijging zal de zoutdruk vanuit zee toenemen en zullen – in periodes van lage afvoer – de zoutconcentraties in de mondingen van de Hollandsche IJssel en Lek toenemen. Om de bovenlopen van deze rivieren zoet te houden is dan extra water ('surplusdebiet') nodig om tegendruk te geven. Volgens Arcadis/Hydrologic (2023C) lijkt een extra surplus effectief in het tegengaan van verzilting op de **Hollandsche IJssel** ten gevolge van zeespiegelstijging, mits voldoende surplusdebiet beschikbaar is en aangevoerd kan worden met de huidige infrastructuur. De precieze effectiviteit kon nog niet worden vastgesteld, omdat het model voor de Hollandsche IJssel de verzilting onderschat en daarmee het effectiviteit van een surplusdebiet overschat (Van der Kaaij et al., 2022, Arcadis/Hydrologic., 2023C).

Inzichten over de effectiviteit en stuurbaarheid van de surplusdebieten om inlaatpunten zoet te houden zijn onzeker en verschillen voor de Lek en de Hollandsche IJssel:

- Voor de Lek geldt dat het knikpunt vooral bepaald wordt door het functioneren van stuw Hagestein. Volgens Arcadis/Hydrologic (2023C) is de zoetwaterzone van de **Lek** in elk geval niet meer functioneel bij 2 meter zeespiegelstijging, door gebrek aan verval bij stuw Hagestein. De stuw moet bij negatief verval namelijk open worden gezet. Bij welke mate van zeespiegelstijging dit op gaat treden, en hoe vaak en hoe lang, wordt op dit moment onderzocht. Het is goed mogelijk dat dit knikpunt al bij minder dan 2 m zeespiegelstijging optreedt (expertoordeel). Wat dit betekent voor de chlorideconcentraties bij de inlaatpunten moet nog worden onderzocht.
- Voor de Hollandsche IJssel is het nog onzeker of het met de huidige infrastructuur technisch mogelijk is om de surplusdebieten voor de Hollandsche IJssel voldoende te vergroten en tot welke mate van zeespiegelstijging.

Vanwege de grote onzekerheden over de stuurbaarheid en effectiviteit van de surplusdebieten voor de Lek en de Hollandsche IJssel, wordt in de waterbalans aangenomen dat met zeespiegelstijging het minimum benodigd debiet door de NWW hoger wordt dan 500 m^3/s. Verkennende berekeningen uit een andere studie (Laan et al., 2023) geven aan dat zonder extra surplusdebieten het benodigde NWW debiet om te voorkomen dat inlaatpunten verzilten bij 80 cm zeespiegelstijging rond de 80 m^3/s hoger ligt dan in de huidige situatie[3]. Voor 2 m zeespiegelstijging is dit ruim 200 m^3/s hoger (expertoordeel). Als vuistregel kan hieruit worden afgeleid dat de watervraag van de NWW toeneemt met 100 m^3/s voor elke meter zeespiegelstijging[4]. Als wel wordt uitgegaan van toename van de surplusdebieten voor de Hollandsche IJssel dan zal dit restdebiet lager zijn, maar hoeveel lager is nu nog niet te zeggen.

[3] Afgeleid uit de kritische Lobith-afvoer voor de Hollandsche IJssel en uitgaande van dat bij lage afvoer 7/9 deel van de Lobith afvoer naar de Rijn-Maasmonding stroomt (afvoer Waal en Lek).
[4] Het gaat hierbij om een niet lineair proces, waarbij verwacht wordt dat met meer zeespiegelstijging verhoudingsgewijs meer afvoer nodig is. Maar voor de huidige extrapolatie gaan we uit van een lineaire trend.

Tot slot moet worden opgemerkt dat het minimum restdebiet voor de Nieuwe Waterweg ook nodig is om de verzilting richting het Spui te beperken. Wanneer de afvoer over de NWW te ver afneemt, kan de Bernisse inlaat te maken krijgen met dagelijkse zoutpieken en neemt de gevoeligheid voor achterwaartse verzilting toe. Het is nog niet bekend welk minimum restdebiet op de NWW hiervoor nodig is.

Krammersluizen en Bathse Spuisluis (Volkerak-Zoommeer)
Wanneer de zeespiegel stijgt neemt de doorspoelbehoefte van de Krammersluizen toe en de spuicapaciteit bij Bath af (huidige infrastructuur en Innovatieve Zoet-Zoutscheiding (IZZS) bij de Krammersluizen).

Door inzet van pompen met een nader te bepalen capaciteit bij de Krammersluizen (waardoor de IZZS blijft werken) en de Bathse Spuisluis kan de chlorideconcentratie in het Volkerak-Zoommeer gehandhaafd blijven (<450 mg/l) met de volgende doorspoeldebieten bij de Volkeraksluizen (Arcadis/Hydrologic, 2023D):

- Bij 1 m ZSS mits minimaal 60 m^3/s bij Volkeraksluizen
- Bij 2 m ZSS mits minimaal 80 m^3/s bij Volkeraksluizen

De onttrekkingen uit het VZM voor regionaal gebruik zijn geschat op circa 5 m^3/s in een droge zomer (expertoordeel gebaseerd op regionale gegevens en modelberekeningen). De hierboven getoonde getallen zijn hiervoor gecorrigeerd om dubbeltelling te voorkomen. De doorspoelvraag neemt in het eerste scenario (met 2 graden opwarming en 0,4 m zeespiegelstijging) nauwelijks toe. Omdat de getallen zijn afgerond op 5-tallen, is die toename hier niet zichtbaar.

Tabel 3.3 Overzicht van de doorspoelvraagposten van het hoofdwatersysteem, voor huidig klimaat en de 3 scenario's

Locatie	**Watervraag (m^3/s)**			
	Huidig	**2°C opwarming + 0,4 m zeespiegelstijging**	**2°C opwarming + 1 m zeespiegelstijging**	**2°C opwarming + 2 m zeespiegelstijging**
Afsluitdijk (IJsselmeer)	40	100	110	130
IJmuiden (Noordzeekanaal)	35	35	40	45
Rotterdam (Nieuwe Waterweg)	500	540	600	700
Krammersluizen en Bathse Spuisluis (Volkerak-Zoommeer)	35	35	55	75
Totaal	**610**	**710**	**805**	**950**

3.4 Regionale watervraag (UIT)

De grootste regionale watervraag aan het hoofdwatersysteem komt uit de regio's West en Noord. Daar is relatief veel oppervlaktewater en daardoor veel watervraag voor peilbeheer, en deze regio's zijn het meest blootgesteld aan interne verzilting, waardoor de doorspoelvraag groot is.

De regionale watervraag neemt het sterkst toe in regio Noord, tevens de grootste regio (Tabel 3.4). In het scenario met 2 graden opwarming en 0,4 meter zeespiegelstijging bedraagt de toename meer dan 60%, door zowel de verdampingstoename (wat tot uiting komt in de toegenomen watervraag voor peilbeheer) als de toegenomen watervraag voor doorspoelen. In regio West verdubbelt de watervraag voor doorspoeling in dit scenario.

Uit onderzoek van Delsman et al. (2022) voor KPZSS blijkt dat de toename van de kwelflux, door zeespiegelstijging, zorgt voor een toename van de zoutvracht naar het oppervlaktewater, omdat meer brak grondwater naar de oppervlakte stroomt. Over een langere tijdschaal trekt hierdoor ook dieper, zouter grondwater naar de oppervlakte, waardoor ook de zoutconcentratie van de kwel verder toeneemt. Indien de huidige eisen voor chlorideconcentratie in het regionale oppervlaktewater behouden blijven, resulteert een toegenomen zoutvracht in een grotere doorspoelvraag.

Delsman et al. (2022) berekenen een toename in de doorspoelvraag van polders van 20 m^3/s (huidig) tot ongeveer 50, 90 en 270 m^3/s voor respectievelijk 0,5 m, 1 m en 3 m zeespiegelstijging. Hier komt de doorspoelvraag van boezems nog bij. Er is deels hergebruik mogelijk binnen een beheergebied, maar hier is geen rekening mee gehouden. Deze berekende waardes zijn bijna volledig toe te schrijven aan de Zoetwaterregio's West en Noord. De regio's Oost en Zuid staan niet onder invloed van een toename van zoute kwel door zeespiegelstijging. Voor de waterbalans zijn deze doorspoelvragen uitgesplitst naar Zoetwaterregio en is tussen 1 en 3 meter geïnterpoleerd om een schatting te krijgen voor het scenario met 2 m zeespiegelstijging.

In de andere regio's neemt de watervraag met name toe door de opwarming en heeft de zeespiegelstijging veel minder tot geen invloed. In de regio Rivierengebied neemt de watervraag voor peilbeheer het sterkst toe. De watervraag voor beregening neemt toe doordat Deltascenario Stoom een uitbreiding van het landbouwareaal en het aantal beregeningsinstallaties veronderstelt in deze regio, en door meer verdamping.

In de Zuidwestelijke Delta neemt de watervraag voor beregening toe als gevolg van een uitbreiding van het aantal beregeningsinstallaties en meer verdamping in Deltascenario Stoom. In de Hoge Zandgronden neemt de watervraag uit het oppervlaktewater toe als gevolg van een hogere beregeningsvraag (door een toename in het aantal beregeningsinstallaties) en een hogere watervraag voor peilbeheer.

Tabel 3.4 Overzicht van de gemiddelde regionale watervraag in een zeer droge zomermaand, uitgesplitst naar zoetwaterregio (bron: Pouwels et al., 2021, Delsman et al., 2022)

Zoetwaterregio	**Regionale watervraag (m^3/s) in het huidige klimaat**	**Regionale watervraag (m^3/s) bij 2°C opwarming + 0,4 m zeespiegelstijging**	**Regionale watervraag (m^3/s) bij 2°C opwarming + 1 m zeespiegelstijging**	**Regionale watervraag (m^3/s) bij 2°C opwarming + 2 m zeespiegelstijging**
Hoge Zandgronden	40	50	50	50
Rivierengebied	70	75	75	75
Noord	140	230	265	325
West	60	85	105	150
Zuidwestelijke Delta	15	20	25	25
totaal	**325**	**460**	**520**	**625**

4 Resultaat en interpretatie van de waterbalans

4.1 Waterbalans

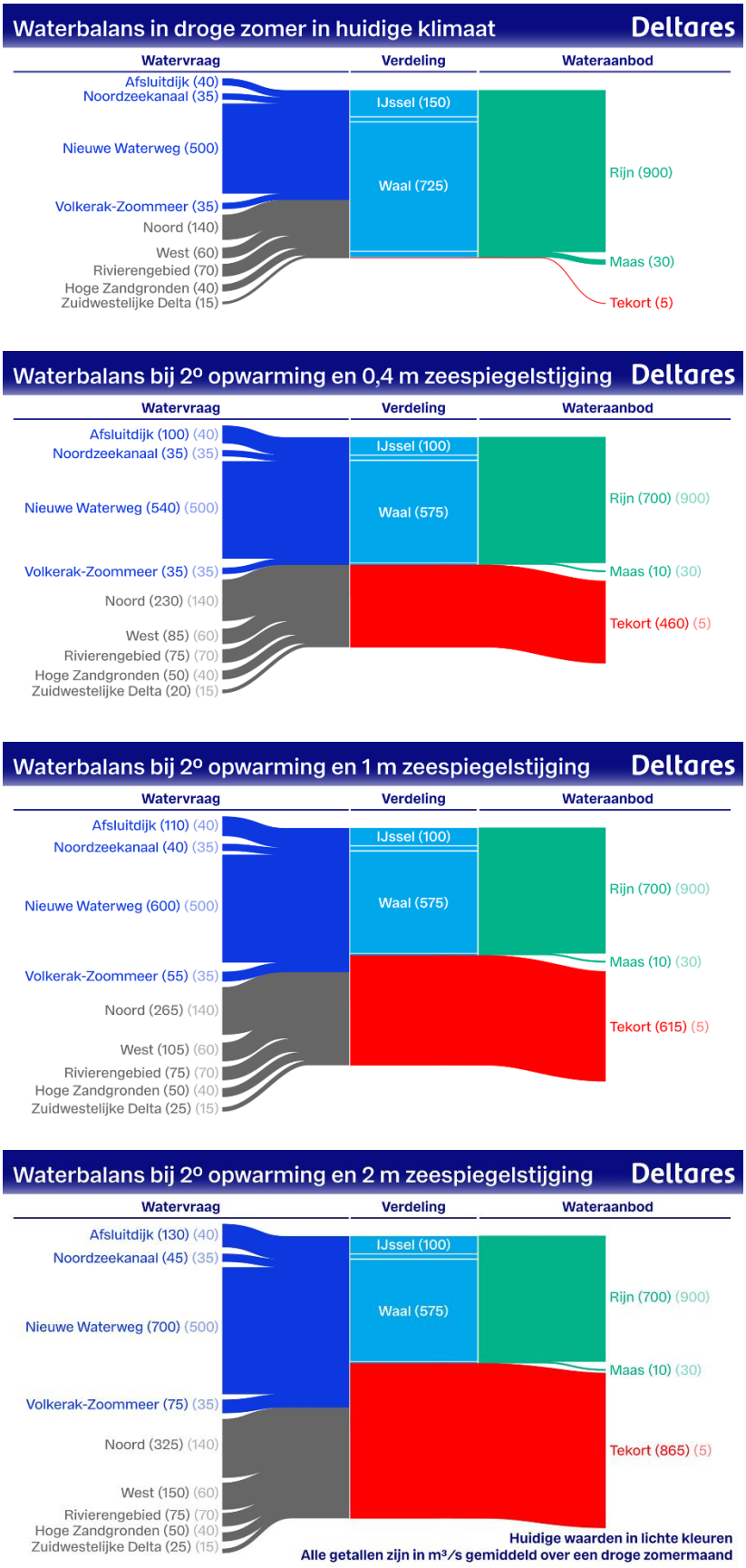
De waterbalansen laten zien hoe groot het watertekort voor heel laag-Nederland kan worden in een extreem droge zomermaand, voor het huidige systeem in het huidige klimaat en voor 3 toekomstscenario's. Een extreem droge zomermaand komt in het huidig klimaat naar schatting (gebaseerd op de statistiek van afgelopen 100 jaar) gemiddeld eens in de 30 à 50 jaar voor, en is vergelijkbaar met de situatie in augustus in 2018 en in 2022. De waterbalansen zowel qua neerslagtekort als qua afvoertekort vergelijkbaar met de situatie in augustus in 2018 en in 2022. De waterbalans in de toekomstscenario's gaan uit van een toename van de intensiteit en duur van droogte bij (combinatie van neerslagtekort en afvoertekort) met ongeveer dezelfde herhalingstijd van 30 à 50 jaar, al is het lastig om deze herhalingstijden goed te bepalen. De wateraanvoer vanuit de grote rivieren verandert dus alleen tussen huidig en het scenario met 2 graden opwarming en 0,4 m zeespiegelstijging.

De waterbalans in Figuur 4.1 geeft de optelsom van de inkomende en uitgaande debieten in m^3/s voor een zeer droge situatie in het huidige klimaat. De Rijn is de grootste leverancier en de Nieuwe Waterweg de grootste 'watervrager'. Om het hoofdwatersysteem zoet te houden ter plaatse van innamepunten voor drinkwater en regionale waterbeheerders is circa 2/3 van de Rijnaanvoer nodig. De overige 1/3 gaat naar regionale innamepunten om te voorkomen dat oppervlaktewaterpeilen uitzakken, te voorzien in beregening en de waterkwaliteit van sloten, boezems en kanalen te beheersen. Als we de watervraag van de wateraanvoer afhalen, dan is er een watertekort in de huidige situatie van circa 5 m^3/s (maandgemiddeld).

Het watertekort in een extreem droog jaar neemt flink toe als het klimaat verder opwarmt en de zeespiegel stijgt (Figuur 4.1). In de scenario's met 2 graden opwarming (ten opzichte van 1981 – 2010) en 1 of 2 meter zeespiegelstijging is het watertekort in dezelfde orde van grootte als de aanvoer. Er is dan grofweg twee keer zoveel water nodig als via de rivieren wordt aangevoerd. Maar ook al bij 0,4 meter zeespiegelstijging is het tekort al 50% van het huidige Rijndebiet. Wat ook opvalt is dat de *toename* van het tekort vrijwel lineair is met de zeespiegelstijging. De toename van het tekort wordt veroorzaakt door een toename van de vraag van vooral de Afsluitdijk, regio's Noord en West en de Nieuwe Waterweg in combinatie met een lagere Rijnafvoer.

Hoewel dit rapport alleen ingaat op de totale waterbalans voor heel Nederland, laten de verschillende termen al zien dat in sommige regio's de tekorten relatief groot kunnen worden. De regionale watervraag van regio Noord en de doorspoelvraag van de Afsluitdijk en het Noordzeekanaal is in het huidige klimaat (zeer droog jaar) al groter dan de aanvoer via de IJssel (215 m^3/s versus 150 m^3/s).

We merken op dat een scenario met de precieze combinatie van 2 graden opwarming (ten opzichte van 1981 – 2010) en 2 m zeespiegelstijging niet als zodanig voorkomt in de KNMI scenario's.



Figuur 4.1 Waterbalansen voor een extreem droge zomermaand (jaarlijkse herhalingstijd van ongeveer 30 tot 50 jaar) in het huidige klimaat en in de 3 verschillende scenario's. De waardes van het huidige klimaat zijn tussen haakjes weergegeven.

4.2 Wat betekent een groot watertekort?

Als er geen water van goed kwaliteit uit het hoofdwatersysteem beschikbaar is om in de regionale watervraag te voorzien, dan:

- Neemt de waterkwaliteit in poldersloten en boezems af, omdat er te weinig water is om te verversen. Chlorideconcentraties en nutriëntenconcentraties nemen dan toe, met gevolgen voor gebruikers zoals landbouwberegening, drenking van vee, aquatische natuur, recreatie (zwemwater), industrie.
- Zakken slootpeilen en boezempeilen uit, omdat dit verdampt en infiltreert en niet kan worden aangevuld. Dit kan gevolgen hebben voor de stabiliteit van veenkades, en het versnelt het uitzakken van grondwaterstanden in veengebieden, waardoor veen oxideert (=CO_2 uitstoot), de bodem daalt en mogelijk onherstelbare schade ontstaat aan veennatuur. Dit kan mogelijk voorkomen worden door water met hogere chlorideconcentraties in te laten, maar daar is in de praktijk nog weinig ervaring mee.

4.3 Waardoor nemen de tekorten toe?

Het watertekort neemt bij 2 graden klimaatopwarming met name toe doordat er meer water verdampt vanuit het regionale oppervlaktewatersysteem. Deze verdamping moet worden aangevuld vanuit het hoofdwatersysteem, omdat de sloot- en boezempeilen anders uitzakken. Een andere oorzaak van de toename van het watertekort is de afname van de beschikbaarheid uit de grote rivieren. Ook dat heeft te maken met hogere verdamping en tekort aan neerslag, maar dan in de stroomgebieden van de Rijn en de Maas. De zoutvracht vanuit het grondwater is tijdens droogte laag in vergelijking met de winter, maar de potentiële zoutconcentratie van het oppervlaktewater is juist het hoogst aangezien het zoute grondwater dan slechts zeer beperkt wordt gemengd met zoete neerslag. Om toch de waterkwaliteit van sloten, boezems en kanalen op orde te houden, worden watergangen doorgespoeld met water uit het hoofdwatersysteem. Als het droger wordt is er zodoende meer doorspoelwater nodig.

Door zeespiegelstijging neemt de zoutvracht via de Nieuwe Waterweg en via de schut- en spuisluizen toe. Naar verwachting zal dit leiden tot een hoger benodigd debiet over de Nieuwe Waterweg om de inlaatpunten langs de Lek en de Hollandsche IJssel zoet te houden. Dit grotere benodigde debiet draagt bij aan het totale tekort. De bestrijding van de zoutvracht via schut- en spuisluizen vraagt ook een groter doorspoeldebiet. Dit betreft het IJsselmeer, het NZK en het VZM. Tot slot neemt de watervraag voor het doorspoelen van polders en boezems, met name in regio's Noord en West, flink toe om de zoutvracht die vanuit het grondwater via kwel in het oppervlaktewater terechtkomt weg te spoelen. In totaal is door zeespiegelstijging dus meer doorspoelwater nodig voor zowel het hoofdwatersysteem als het regionale systeem.

4.4 Wat kunnen we eraan doen?

In de waterbalans wordt een situatie geschetst die ervan uitgaat dat de huidige (strenge) waterkwaliteitseisen ten aanzien van chloride in de toekomst zo blijven. Voor regio's dicht langs de kust neemt de doorspoelvraag op termijn relatief veel toe. Ter inspiratie wordt hier een aantal oplossingsrichtingen genoemd om watertekorten te verkleinen. Deze lijst is niet uitputtend.

Tijdelijke maatregelen (tijdens droogte):

- Tijdens droogte kan verzilting worden tegengegaan door schutbeperkingen op te leggen bij sluiscomplexen zoals op de Afsluitdijk en in IJmuiden. Hiermee wordt de doorspoelvraag tijdelijk gereduceerd. In de praktijk (zie 2018 en 2022) gebeurt dit al, maar vooralsnog wordt het gezien als noodmaatregel omdat de gevolgen voor de scheepvaartsector groot kunnen zijn. De waterbalans laat zien dat dit soort afwegingen tijdens droogte moeilijker worden, omdat tekorten groter worden.
- Regionaal water aanvoeren met (tijdelijke) verhoogde chlorideconcentraties kan watertekorten reduceren. Dit kan bijvoorbeeld voorzien in de watervraag voor peilbeheer, al is niet goed bekend in hoeverre de natuur hiertegen bestand is. Tijdelijke zoutschokken kunnen in zoetwaternatuurgebieden onherstelbare schade aan ecosystemen veroorzaken, maar tegen een lichte verhoging zijn deze wellicht bestand. Het is van belang om goed te onderzoeken waar die grens ligt en in hoeverre operationeel gestuurd kan worden op chlorideconcentraties in het regionale systeem. Voor landbouw is een lichte verhoging van chlorideconcentratie in het oppervlaktewater voor veel gewassen geen probleem, maar te hoge concentraties in het bodemvocht leidt tot opbrengstderving.

Structurele maatregelen (lange termijn):

- Een van de oplossingsrichtingen is om structureel hogere chlorideconcentraties te accepteren in het regionale watersysteem. Dit betekent dat landbouw- en natuurgebieden zich daarop zullen moeten aanpassen. In de kabinetsbrief ‘Water + Bodem Sturend’ is al aangegeven dat op termijn niet alle gebieden met dezelfde waterkwaliteitseisen kunnen worden doorgespoeld.
- Bronmaatregelen op of nabij de schutsluizen zijn mogelijk (denk aan: bellenscherm, zoutvang, Selectieve Onttrekking). Daarmee is de zoutindringing en dus de doorspoelvraag van het hoofdwatersysteem te reduceren. Dergelijke maatregelen zijn wel kostbaar, vooral als het gaat om grote en diepe sluizen voor de zeevaart. Zoutindringing door lekkage van spuisluizen is te beperken door maatregelen op die spuisluizen zelf. Het doorspoeldebiet kan daarnaast worden beperkt door het binnenkomende zoute water selectief uit de diepste kuilen weg te pompen.
- Zoutindringing via de Nieuwe Waterweg is moeilijk tegen te gaan. De waterbalans gaat er vanuit dat een minimum debiet nodig is om structurele verzilting te voorkomen. Nieuw beleid is erop gericht om meer zoutindringing in dit gebied toe te staan en zoetwater vanuit de rivieren zo te verdelen dat inlaatpunten langs de Hollandsche IJssel en Lek in elk geval zoet blijven. Er is op dit moment nog veel onzekerheid over het benodigde debiet en of dat met de huidige infrastructuur aangevoerd kan worden.
- Er wordt ook weleens geopperd om de Nieuwe Waterweg af te sluiten, maar dit is niet automatisch een oplossing voor de zoetwaterproblematiek. Verkennende berekeningen laten zien dat er om de benodigde afvoer werkelijk te reduceren er alleen sluizen voor binnenvaartschepen gebouwd kunnen worden, die dan ook nog voorzien moeten worden van maatregelen om de zoutindringing te beperken (Deltares, 2022). De locatie van deze sluizen zou dan zo gekozen moeten worden dat zeeschepen buiten de sluizen geladen en gelost kunnen worden.

4.5 Onzekerheden

De waterbalans geeft geen inzicht in de onzekerheid van de individuele balanstermen. De onzekerheid is echter groot. Dit komt door kennisleemtes (we weten het nog niet goed genoeg), modelonzekerheid (we kunnen niet alle processen reproduceren in modellen en de waterbalans is een versimpeling van de werkelijkheid), en onzekere ontwikkelingen die niet in de scenario’s gevat konden worden.

We stippen hier een aantal van deze onzekerheden aan, maar het viel buiten de scope van dit onderzoek om de onzekerheden te kwantificeren. Het verdient aanbeveling om hier in een vervolgtraject wel meer aandacht aan te besteden.

Kennisleemtes en modelonzekerheid:

- Een aantal termen is niet in de waterbalans opgenomen, onder de aanname dat ze klein zijn in hoeveelheid of tegen elkaar weggestreept kunnen worden. Deze aanname zou in vervolgonderzoek geverifieerd moeten worden. Het gaat onder andere om de aanvoer via kleine zijrivieren zoals de Mark, Roer en Vecht. En de watervraag voor zoutbestrijding van kleinere sluizen zoals bij Harlingen en Delfzijl;
- De regionale doorspoelvraag voor het zoet houden van polders en boezems heeft een onzekerheidsband van circa 25% (Delsman et al., 2022). Daarnaast is onzeker in hoeverre hergebruik van water binnen een gebied mogelijk is. Hierdoor zou de doorspoelvraag in de praktijk lager kunnen uitvallen;
- Doorspoelvraag Afsluitdijk: de gehanteerde aanname over een toename van de schutoperatie leidt naar verwachting tot een overschatting van de doorspoelvraag, omdat in de praktijk schutbeperkingen zullen worden opgelegd. Ook is het aannemelijk dat maatregelen bij sluizen worden getroffen om toename van de zoutvracht door b.v. grotere scheepvaartsluizen te mitigeren. Tot slot is nog geen rekening gehouden met de overstap van spuien op pompen. Recente inzichten geven aan dat bij pompen de benodigde ‘doorspoelvraag’ lager wordt.
- Het minimum benodigd debiet voor de Nieuwe Waterweg is zeer onzeker, omdat er nog te weinig kennis is over de effectiviteit van het zoet houden van de Hollandsche IJssel en de Lek.

Onzekere ontwikkelingen die niet zijn meegenomen:

- Nathouden veenweidegebieden (naar schatting kan dit tot +11% meer regionale watervraag leiden; Pouwels et al., 2021);
- Toename van de watervraag voor stedelijk gebied.

5 Conclusie en aanbevelingen

5.1 Conclusie

Dit rapport heeft laten zien hoe het watertekort (het verschil tussen watervraag en wateraanbod) tijdens extreme droogte in laag Nederland zich ontwikkelt bij een combinatie van klimaatopwarming en versnelde zeespiegelstijging en wat de grootste componenten hierin zijn. Hiervoor zijn inzichten uit de Knelpuntenanalyse Zoetwater en het Kennisprogramma Zeespiegelstijging gecombineerd in een waterbalans voor een extreem droge zomermaand met een geschatte herhalingstijd van 30 tot 50 jaar. Uit de waterbalans blijkt dat de watertekorten tijdens extreem droge zomers flink toenemen als het klimaat verder opwarmt én de zeespiegel verder stijgt. Bij 1 meter zeespiegelstijging is de watervraag ongeveer twee keer zo groot als de wateraanvoer via de Rijn. De toename van het tekort wordt veroorzaakt door een toename van de vraag van vooral de Afsluitdijk, regio's Noord en West en de Nieuwe Waterweg in combinatie met een lagere Rijn- en Maasafvoer.

Sommige termen in de waterbalans zijn zeer onzeker en vragen om nader onderzoek, zoals de doorspoelvraag van de Afsluitdijk en het minimum debiet voor de Nieuwe Waterweg. De verwachting is dat met meer onderzoek, en zeker met nader te bepalen maatregelen op de spui- en schutsluizen, de doorspoelvraag voor de Afsluitdijk naar beneden kan worden bijgesteld. Ook de doorspoelvraag van polders is vermoedelijk aan de hoge kant, doordat geen rekening is gehouden met mogelijk hergebruik van water binnen een beheergebied.

Daar staat tegenover dat sommige termen in de waterbalans nu niet zijn meegenomen, waardoor de regionale watervraag voor peilbeheer wordt onderschat, zoals de extra watervraag voor peilbeheer voor het nathouden van de veengebieden, en de mogelijke toename van watervraag voor stedelijk gebied door onder andere klimaatadaptatiemaatregelen. Lopende onderzoeken naar en meer inzicht in de uitwerking van het Klimaatbeleid in veengebieden en adaptatiemaatregelen in steden zullen naar verwachting meer inzicht geven in de toekomstige regionale watervraag.

5.2 Aanbevelingen

De waterbalans is opgebouwd met veel aannames over en onzekerheden in sommige waterbalanstermen. Het is belangrijk om meer inzicht te krijgen in de grootte van die onzekerheid, en hoe dit doorwerkt in de waterbalans.

Een goede vervolgstap kan zijn om verschillende oplossingsrichtingen te verkennen en te vertalen in waterbalansfiguren. Te denken valt aan onderzoek naar de effecten van het (tijdelijk) laten toenemen van chlorideconcentraties in het regionale systeem en in het hoofdwatersysteem. En onderzoek naar anti-verziltingsmaatregelen bij spui- en schutsluizen.

Ook wordt aanbevolen om de scenario's in de tijd te plaatsen, te actualiseren met de nieuwe KNMI'23 scenario's en meer duiding te geven aan de herhalingstijd van een 'zeer droge zomermaand'. Dit geeft inzicht in op welke termijn grote tekorten zijn te verwachten, hoe vaak deze naar verwachting zullen optreden en hoeveel tijd er nog is om ons daar op voor te bereiden. Belangrijk is wel om te beseffen dat extreme droogtes nu ook al voor kunnen komen en de kans op droge zomers in alle KNMI'23 scenario's toeneemt.

Tot slot: het op deze wijze samenvoegen en vereenvoudigd visualiseren van informatie over watervraag en wateraanbod geeft veel inzicht en is communicatief sterk, echter, een keerzijde is dat nuances over met name onzekerheden hierin niet zichtbaar zijn; in vervolgwerk kan hier meer aandacht aan gegeven worden.

6 Referenties

Arcadis/Hydrologic (2023A) Systeemanalyses zoetwater: regio IJsselmeer – Markermeer. Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II. Rapportnummer 30101791.4.P1319

Arcadis/Hydrologic (2023B) Systeemanalyses zoetwater regio Amsterdam-Rijnkanaal – Noordzeekanaal. Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II. Rapportnummer 30101791.3.ANL

Arcadis/Hydrologic (2023C) Systeemanalyses zoetwater regio Rijn-Maasmonding. Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II. Rapportnummer 30101791.2.P1319

Arcadis/Hydrologic (2023D) Systeemanalyses zoetwater regio Volkerak-Zoommeer. Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II. Rapportnummer 30101791.1.ANL

Arcadis/Hydrologic (2023E) Systeemanalyses zoetwater bovenregionale waterverdeling. Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II. Rapportnummer 30101791.5.P1319

CPB en PBL (2015) Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Nederland in 2030 en 2050: twee referentiescenario's. Planbureau voor de Leefomgeving en Centraal Planbureau, Den Haag, PBL-publicatienummer: 1689

Delsman, J., I. America en T. Mulder (2022). Grondwaterverzilting en watervraag bij een stijgende zeespiegel. Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II. 11208039-001-BGS-0001.

Klijn, F., Hegnauer, M., Beersma, J. en Sperna Weiland, F. (2015) Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas? Deltares rapport 1220042-004, Deltares en KNMI.

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

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

Laan, S., Y. Huismans, S. Rodrigo, L. Leummens, W. Kranenburg (2023) Effect bodemligging op verzilting Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas en Lek ten behoeve van de Basisrivierbodemligging (BRL) Deltares rapport, 2023

Mens, M., Hunink, J. C., Delsman, J. R., Pouwels, J. and Schasfoort, F. (2020): Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II, Deltares rapport 11203734-003, Delft.

Pouwels, J. I. America, J. Delsman en M. Mens (2021). Stresstest voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II. Het effect van nieuwe inzichten op knelpunten in de zoetwatervoorziening. Deltares rapport 11206829-002-ZWS-0001.

RDO Noord, 2021. Bestuursovereenkomst Waterverdeling regio IJsselmeer gebied. Afspraken over de regionale uitwerking van de landelijke verdringingsreeks.

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

Van der Kaaij, T., V. Chavarrias, W. Kranenburg (2022) RMM 3D, een nieuw 3D model van de RijnMaasmonding in D-HYDRO, Vergelijking met zout- en debietmetingen najaar 2018. Theo van der Kaaij Victor Chavarrias Wouter Kranenburg. Deltares rapport. Link: RMM 3D, een nieuw 3D model van de RijnMaasMonding in D-HYDRO (deltares.nl)

Wolters, H.A., G.J. van den Born, E. Dammers, S. Reinhard, (2018). Deltascenario's voor de 21e eeuw, actualisering 2017. Rapport 11202240-010. Deltares, PBL en WUR.

Websites:

Deltares (2022) Sluizen in Rotterdam: geen rechtdoorzee oplossing voor droogteprobleem | Deltares. www.deltares.nl, 6 september 2022

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

Deltares

www.deltares.nl