

IMPRES Risicobenadering zoetwater - synthese



IMPREX Risicobenadering zoetwater - synthese

Trefwoorden

Droogterisicobenadering, IMPREX, zoetwaterbeheer, droogte, watertekorten, economische effecten

Samenvatting

Binnen het Horizon 2020 onderzoeksprogramma IMPREX is een risicobenadering voor droogte ontwikkeld met als doel beleidsmakers inzicht te geven in het huidige en toekomstige droogterisico en het bepalen van de baten van zoetwatermaatregelen. De eerste vraag waarmee het onderzoek gestart is, was: Is het mogelijk om een risicobenadering voor droogte te ontwikkelen, en zo ja, heeft deze meerwaarde. Om deze vraag te beantwoorden is een de risicobenadering toegepast in twee casestudies: het peilbeheerste Amsterdam-Rijnkanaal Noordzeekanaal gebied (ARK-NZK) en het in Hoog-Nederland gelegen stroomgebied van de Berkel. Daarnaast is er onderzoek gedaan naar droogte-extremen en onzekerheden.

In de droogterisicobenadering wordt rekening gehouden met de kans op droogte én de potentiële negatieve gevolgen van droogte voor de maatschappij. Hiervoor wordt zowel de variabiliteit van droogtecondities (waaronder neerslagtekort, afvoertekort, de combinatie daarvan en verloop in de tijd) als de impact van droogte op de belangrijkste watergebruikers gekwantificeerd en zo mogelijk vertaald in een economisch effect. Het droogterisico is gedefinieerd als de verwachtingswaarde van de (economische) gevolgen van droogte berekend over een zo groot mogelijke range aan droogtecondities.

Met de risicobenadering wordt systematisch en stapsgewijs met alle watergebruikers en -beheerders de mogelijke gevolgen van droogte in beeld gebracht. De volgende 5 stappen worden doorlopen:

1. Bepalen doel en afbakening
2. Samen met belanghebbenden:
 - a. Potentiële effecten droogte identificeren
 - b. Potentiële effecten maatregelen identificeren
3. Doorrekenen langjarige neerslag- en afvoerreeks met hydrologisch model
4. Doorrekenen fysieke en economische effecten met effectmodules
5. Resultaten analyseren en duiden, eventueel gebruik in MKBA

De belangrijkste bevindingen zijn:

- Het is mogelijk gebleken een risicobenadering te ontwikkelen en toe te passen op een aantal case studies. Deze risicobenadering biedt meerwaarde.
- De risicobenadering leidt tot aantoonbaar betere resultaten door te werken met een langjarige reeks in plaats van karakteristieke jaren omdat een langjarige reeks beter de spreiding in ruimte en tijd van droogtegebeurtenissen beschrijft.
- Uit de analyses blijkt dat kansen koppelen aan een combinatie van neerslag- en afvoertekorten en hun spreiding in ruimte en tijd niet goed mogelijk is en geen inzicht geeft op het effect op verschillende sectoren. Vandaar dat er wordt aanbevolen om kansen te koppelen aan gevolgen, zoals watertekort of economisch effect op de landbouw, in plaats van aan neerslag- en afvoertekorten.
- Persistentie in het systeem (de opeenvolging van relatief droge dagen/weken/maanden) is voor extreme droogteperioden substantieel groter dan tijdens minder extreme droogteperioden. Deze persistentie vergroot de kans op extreme droogteperioden zoals in 1976 en 2018. Dit wijst er op dat extreme

droogteperioden zoals in 1976 en 2018 vaker voorkomen dan op basis van de meetreeksen wordt verwacht.

- De risicobenadering biedt meerwaarde door de gestructureerde manier waarmee de kansen op en gevolgen van droogte voor verschillende gebruiksfuncties en gebieden gekwantificeerd worden. Door dit samen met de alle belanghebbenden te doen brengt het een dialoog op gang en versterkt dit het gezamenlijk beeld van de problematiek en de oplossingen.
- De risicobenadering maakt het mogelijk de baten van maatregelen te integreren voor verschillende droogtegebeurtenissen en voor verschillende functies en gebieden. Dit kan besluitvorming ondersteunen met informatie die eerder niet beschikbaar was.
- Uit de casestudies zijn geen effectieve maatregelen naar voren gekomen om het droogterisico te verkleinen. Dit zegt echter weinig over hoe zinvol de benadering is, maar lijkt er eerder op te duiden dat maatregelen niet altijd het verwachte effect hebben en dat het niet eenvoudig is om maatregelen te bedenken die 'snelle winst' opleveren.
- Het blijkt niet altijd vanzelfsprekend te zijn dat de bestaande modellen in staat zijn het effect van de voorgenomen maatregelen op het watersysteem uit te rekenen. Zo ontbrak voor de case studie van de Berkel de koppeling van het grondwatermodel met modellering van het oppervlaktewater en de landbouwproductie, en zo bleek er voor het ARK-NZK gebied geen goede modelbeschrijving beschikbaar van de sturing onder droge omstandigheden.
- De effecten van droogte op natuur zijn niet of lastig uit te drukken in monetaire eenheden. Het blijft daardoor een uitdaging deze resultaten met economische effecten voor andere sectoren te vergelijken. De oplossing hiervoor wordt gezocht in het uitdrukken van het effect op natuur in zogenaamde 'natuurpunten', zodat er een afweging gemaakt kan worden tussen economische uitgedrukte welvaartseffecten enerzijds en natuureffecten anderzijds.

Status

Definitief, 24 oktober 2019

Auteurs:

HKV

Susanne Groot
Cor-Jan Vermeulen

Deltares

Femke Schasfoort
Marnix van der Vat
Ferdinand Diermanse

Inhoud

1 Synthese	3
2 Droogterisicobenadering	9
2.1 Doel en aanpak	9
2.2 Korte beschrijving Methode	9
2.3 Beschrijving droogterisicotool	11
3 Case ARK-NZK	13
3.1 Doel en aanpak	13
3.2 Resultaat	14
3.3 Conclusies ten aanzien van droogterisicobenadering voor ARK-NZK	16
4 Case Berkel	17
4.1 Doel en aanpak	17
4.2 Resultaat	17
4.3 Conclusies ten aanzien van droogterisicobenadering voor case Berkel	19
5 Onzekerheden	21
5.1 Doel en aanpak	21
5.1.1 Doel	21
5.1.2 Aanpak	21
5.2 Resultaat	21
5.2.1 IJsselmeergebied	21
5.2.2 Overige deelsystemen hoofdwatersysteem	24
5.3 Conclusies	25
6 Extremen	27
6.1 Doel en aanpak	27
6.1.1 Doel	27
6.1.2 Aanpak	27
6.2 Resultaten	29
6.2.1 Validatie van synthetische reeksen	29
6.2.2 Persistentie van droogteperioden	32
6.2.3 Herhalingstijden van extreme droogtejaren	33
6.2.4 Tijdsverloop van extreme gebeurtenissen	34
6.2.5 Doorrekenen van lange tijdreeksen	35
6.3 Conclusies	36
7 Referenties	39

1 Synthese

Introductie

De afgelopen 100 jaar heeft Nederland verschillende droge jaren gekend. Voorbeelden zijn het recordjaar van 1976 waarin het neerslagtekort tot grote hoogte opliep, maar ook het jaar 1921 waar de rivierafvoeren op zijn laagst waren. Vorig jaar (2018) is er weer een nieuw zeer droog jaar bijgekomen. Het neerslagtekort was het op 2 na hoogst in de afgelopen 100 jaar, terwijl de waterstand in het najaar zo ver uitzakte dat de scheepvaart grote problemen ondervond. Het jaar 1921, 1976 en 2018 waren allemaal zeer droog maar de combinatie van neerslag- en afvoertekort en daardoor het economische effect was geen enkel jaar hetzelfde.

De variabiliteit in opbouw en type droogte (meteorologisch of hydrologisch) resulteert in een diversiteit aan (economische) effecten. De landbouw op de hoge zandgronden is vooral kwetsbaar wanneer het neerslagtekort in het groeiseizoen hoog is, terwijl problemen voor de scheepvaartsector vooral optreden als de rivierwaterstanden op (voornamelijk) de Waal langdurig laag zijn. Om inzicht te krijgen in de (economische) effecten van droogte is het daarom van belang om verschillende type droogtejaren te analyseren.

De verwachting is dat Nederland in de toekomst steeds vaker te maken krijgt met watertekorten. Dit komt onder andere doordat de vraag naar zoetwater kan toenemen, bijvoorbeeld vanuit de land- en tuinbouw en de industrie. Tegelijkertijd laten sommige klimaatscenario's zien dat het aanbod van zoetwater kan afnemen. Beleidsmakers willen graag weten in hoeverre het droogterisico toeneemt en welke (zoetwater)maatregelen maatschappelijk rendement opleveren. Om deze vragen te beantwoorden is binnen het onderzoeksprogramma IMPREX (Improving Predictions of Hydrological Extremes) onderzocht of het ontwikkelen en toepassen van een risicobenadering voor droogte mogelijk en zinvol is.

Droogterisico wordt gedefinieerd als de combinatie van kans en gevolg van een droogtegebeurtenis en uitgedrukt als het jaargemiddelde economisch effect van een droogte. We spreken van droogte wanneer er schade optreedt doordat er als gevolg van neerslagtekort en/of lage rivierafvoeren minder water beschikbaar is dan gevraagd wordt door de verschillende functies.

Het IMPREX onderzoek is opgedeeld in de volgende onderdelen:

- ontwikkeling risicobenadering;
- extreme droogteomstandigheden en tijdsopbouw van droogtegebeurtenissen;
- invloed van onzekerheden in het bepalen van droogte;
- toepassing van de benadering in een casestudie in peilbeheerst laag Nederland: Amsterdam Rijnkanaal – Noordzeekanaal (ARK-NZK);
- toepassing van de benadering in een casestudie in hoog Nederland: de Berkel.

In dit synthesesedocument worden de belangrijkste lessen uit elk onderdeel apart besproken (zie hoofdstuk 2 t/m 6). In voorliggend hoofdstuk worden de belangrijkste lessen en aanbevelingen kort samengevat.

Droogterisicobenadering

De droogterisicobenadering is ontwikkeld om beleidsmakers inzicht te geven in het huidige en toekomstige droogterisico. Hierdoor ontstaat inzicht in de investeringsruimte om de negatieve effecten van droogte te verminderen en kunnen de baten van zoetwatermaatregelen worden berekend. Het risico kan worden bepaald per deelgebied en per watergebruiksfunctie (zoals landbouw, scheepvaart en natuur).

Waarom een risicobenadering?

- De kans op een droogtegebeurtenis is niet te bepalen op basis van cumulatief neerslagtekort en afvoerdeficiet van de grote rivieren alleen. Ook de opbouw van het neerslagtekort (over het seizoen) is bepalend, evenals de aaneengesloten duur van een periode zonder neerslag. Per gebruiksfunctie is de karakteristiek van een tekort anders: voor scheepvaart is de rivierafvoer van belang, voor fruitteelt de waterbeschikbaarheid voor nachtvorstbestrijding en voor bijvoorbeeld aardappelteelt de waterbeschikbaarheid in het groeiseizoen. Hierdoor kan geen kans worden toegekend aan individuele jaren droogtejaren. Het jaar 1976, gezien als het droogtejaar met een kans van 1/100, heeft historisch het grootste neerslagtekort, maar niet de laagste rivierafvoer. Beter inzicht in het droogterisico kan helpen bij het inschatten van toekomstige kansen en gevolgen van droogte.
- Om zoetwatermaatregelen beter te kunnen afwegen is economische onderbouwing gewenst. In eerdere Maatschappelijke Kosten Baten Analyses (MKBA's) voor zoetwatermaatregelen werden enkel de landbouweffecten economisch doorvertaald. Het kwantificeren van andere belangrijk economische effecten is nodig om een vollediger beeld te krijgen van het droogterisico en de effecten van zoetwatermaatregelen op de maatschappelijke welvaart.
- De sprong van een droog jaar naar een extreem droog jaar is relatief groot. De kans op en de gevolgen van een extreem droogtejaar zijn onvoldoende in beeld.
- Droogterisico's worden door verschillende belanghebbenden, zowel tussen als binnen sectoren, anders ervaren. Kwantitatieve onderbouwing kan helpen een gesprek aan te gaan over het droogterisico en de noodzaak maatregelen te nemen.

Er is een aanpak en een tool ontwikkeld voor het analyseren van het droogterisico (Hoofdstuk 2). Deze zijn toegepast in twee case studies: Amsterdam-Rijnkanaal – Noordzeekanaal (ARK-NZK, Hoofdstuk 3) en de Berkel (Hoofdstuk 4). Verder is er onderzoek gedaan naar de invloed van modelonzekerheden op de resultaten van de risicobenadering (Hoofdstuk 5) en naar de kwantificering van droogtegebeurtenissen met een kans van voorkomen kleiner dan 1/30 jaar (Hoofdstuk 6). Deze onderzoeken tezamen geven inzicht in de toepasbaarheid en meerwaarde van de risicobenadering voor droogte.

De volgende bevindingen zijn afgeleid uit de ontwikkeling en toepassing van de risicobenadering:

- Het is mogelijk gebleken een risicobenadering te ontwikkelen en toe te passen op een aantal case studies.
- De risicobenadering leidt tot aantoonbaar betere resultaten door te werken met een langjarige reeks in plaats van karakteristieke jaren en het risico uit te drukken per gebruiksfunctie, omdat een langjarige reeks beter de spreiding in ruimte en tijd van droogtegebeurtenissen beschrijft. Dit maakt het mogelijk gericht investeringsbeslissingen te nemen.
- Uit de analyses blijkt dat het koppelen van kansen aan een combinatie van neerslag- en afvoertekorten en hun spreiding in ruimte en tijd niet goed mogelijk is en geen inzicht geeft op het effect op verschillende sectoren. Vandaar dat er wordt

aanbevolen om kansen te koppelen aan gevolgen, zoals watertekort of economisch effect op de landbouw, in plaats van aan neerslag- en afvoertekorten.

- De mate van persistentie (de opeenvolging van relatief droge dagen/weken/maanden) is voor extreme droogteperioden substantieel groter dan tijdens minder extreme droogteperioden. Deze persistentie vergroot de kans op extreme droogteperioden zoals in 1976 en 2018. Dit wijst er op dat extreme droogteperioden zoals in 1976 en 2018 vaker voorkomen dan op basis van de meetreeksen wordt verwacht.
- De risicobenadering biedt meerwaarde door de gestructureerde manier waarmee de kansen op en gevolgen van droogte voor verschillende gebruiksfuncties en gebieden gekwantificeerd worden. Door dit samen met de alle belanghebbenden te doen brengt het een dialoog op gang en versterkt dit het gezamenlijk beeld van de problematiek en de oplossingen.
- De risicobenadering maakt het mogelijk de baten van maatregelen te integreren voor verschillende droogtegebeurtenissen en voor verschillende functies en gebieden. Dit kan besluitvorming ondersteunen met informatie die eerder niet beschikbaar was.
- Uit de casestudies zijn geen effectieve maatregelen naar voren gekomen om het droogterisico te verkleinen. Dit zegt echter weinig over hoe zinvol de benadering is, maar lijkt er eerder op te duiden dat maatregelen niet altijd het verwachte effect hebben en dat het niet eenvoudig is om maatregelen te bedenken die 'snelle winst' opleveren.
- Het blijkt niet vanzelfsprekend te zijn dat de bestaande modellen in staat het effect van de voorgenomen maatregelen op het watersysteem uit te rekenen. Zo ontbrak voor de case studie van de Berkel de koppeling van het grondwatermodel met modellering van het oppervlaktewater en de landbouwproductie en zo bleek er voor het ARK-NZK gebied geen goede modelbeschrijving beschikbaar van de sturing onder droge omstandigheden.
- Daarnaast stellen maatregelen eisen aan de modellen: In het model moet een maatregel goed te schematiseren zijn om het effect te kunnen berekenen.
- De effecten van droogte op natuur zijn niet of lastig uit te drukken in monetaire eenheden. Het blijft daardoor een uitdaging deze resultaten met de economische effecten voor andere sectoren te vergelijken. Daarbij is de kennis over natuureffecten nog in ontwikkeling. De oplossing hiervoor wordt gezocht in het uitdrukken van het effect op natuur in zogenaamde 'natuurpunten', zodat er een afweging gemaakt kan worden tussen economische uitgedrukte welvaartseffecten enerzijds en natuureffecten anderzijds.

Voortzetting en aandachtspunten

Binnen het Deltaprogramma Zoetwater wordt de droogterisicobenadering toegepast. In dit kader zijn ook effectmodules ontwikkeld om effecten van droogte op gebruiksfuncties te kunnen kwantificeren. Om de benadering succesvol te kunnen toepassen is verdere ontwikkeling en validatie van de effectmodules gewenst, evenals koppeling van de effectmodules aan regionale modellen. De effectmodule voor natuur is nog in ontwikkeling.

In de pilots ARK-NZK en de Berkel hebben lokale waterbeheerders inzicht verkregen in het regionale droogterisico en handelingsperspectief. Verder heeft toepassen van de methode geholpen bij het doordenken van de effecten van droogte op de maatschappij. Een aandachtspunt is de beschikbaarheid van een regionaal modelinstrumentarium met een grond- en oppervlaktewater koppeling. Zonder een dergelijk instrumentarium is het lastig om watertekorten en de effecten op ander andere landbouw en natuur te kwantificeren. Een ander aandachtspunt zijn bovenregionale effecten. Een hogere watervraag in het ene gebied

kan leiden tot een lagere waterbeschikbaarheid in een ander gebied. Bij de ARK-NZK pilot is gebleken dat dit effect buiten beeld kan vallen.

Waterbeheerders zien ook perspectief in de droogterisicobenadering in een operationele setting ter ondersteuning van beslissingen in het dagelijkse waterbeheer, ook al is dit in de pilots niet aan de orde gekomen. Meerwaarde van de droogterisicobenadering in een beleidssetting wordt vooral gezien in het kwantitatief onderbouwen van maatregelen, bijvoorbeeld uitgedrukt in de verwachtingswaarde van het risico of de kans op een bepaalde hoeveelheid watertekort of gevolg van droogte. Meerwaarde van een operationele toepassing kan het onderbouwd sturen in droogtesituaties zijn.

Voor operationele toepassingen kunnen goede korte- maar vooral ook lange-termijnvoorspellingen nuttig zijn. Binnen het IMPREX project is bij onder andere het KNMI en Europese partners zoals het Met Office (UK) onderzoek gedaan naar het verbeteren en toepassen van lange-termijn voorspellingen van neerslag en temperatuur. Met betrouwbare voorspellingen kan onderbouwd gestuurd worden op het bergen van water in de bodem en bijvoorbeeld in peilopzet van het IJsselmeer. Voor het IJsselmeer wordt de toepasbaarheid van de lange-termijnvoorspellingen onderzocht door het KNMI binnen onderzoeksproject SWM-Evap. Voor de toepassing op grondwaterstanden zijn binnen IMPREX berekeningen gemaakt voor de Berkel. Vooralsnog is de conclusie dat de waarde van de voorspellingen beperkt is tot de korte termijn van minder dan twee weken. Niettemin is dit een onderwerp waarop ontwikkeling plaats zal vinden, zowel binnen Nederland als erbuiten, en dat ook voor het Nederlandse waterbeheer toegepast kan worden.

Aanbevelingen

Gebaseerd op de inhoudelijke resultaten en de conclusies zoals in dit hoofdstuk beschreven, leidt het onderzoek tot een aantal aanbevelingen:

- Bepaal of het hydrologisch model geschikt is om de te onderzoeken maatregelen te simuleren. Als het gesimuleerde effect van een maatregel te ver afligt van wat wordt verwacht, verlaagd dit het vertrouwen in het model en de droogterisicobenadering.
- Verbeter de hydrologische modellen. De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de modellen is bepalend voor de objectieve onderbouwing van het droogterisico. In de cases is gebleken dat het essentieel is dat de belanghebbenden de modelresultaten herkennen. Voor de Berkel is om deze reden besloten het onderzoek toe te spitsen op een deelstroomgebied waarvoor speciaal een model ontwikkeld is. Het in eerste instantie toegepaste landelijke model is onvoldoende geschikt voor toepassing op het stroomgebied van de Berkel.
- Vervolg de ontwikkeling van effectmodules en valideer ze, voor bijvoorbeeld landbouw, scheepvaart en natuur. De bestaande effectmodules zijn niet gevalideerd. Het wordt aanbevolen de effectmodules verder te ontwikkelen door ze te valideren aan de 2018 droogte en uit te breiden met recente kennis uit andere trajecten, zoals de Waterwijzer Landbouw.
- Neem natuur mee in risicobepaling. Ontwikkel een effectmodule voor natuur, zodat natuur op gelijke waarde kan worden meegenomen in de risicobepaling. Dit is nodig om een zo volledig en objectief mogelijke afweging te kunnen maken. Hierbij kan recente kennis zoals in de Waterwijzer Natuur worden benut.
- Pas de werkwijze met werksessies en het gesprek met belanghebbenden toe in deelgebieden door heel het land (aansluitend op het waterbeschikbaarheidstraject) voor gedeeld begrip en inzicht. Ook als na de eerste sessie(s) blijkt dat de verwachte effecten van droogte en dus het droogterisico niet groot zal zijn, is het waardevol dit gesprek te voeren. Het gedeelde inzicht en begrip over effecten van droogte is

waardevol. De ideeën hierover blijken subjectief en men is geneigd het risico te overschatten.

- Om ook de effecten van kleinere herhalingstijden in te schatten is aan te bevelen om watertekorten te berekenen op basis van de in IMPRES ontwikkelde stochastische reeks. Dit geeft goed inzicht in de mate van onzekerheid in het watertekort bij een gebeurtenis met kleinere herhalingstijden (vanaf 1/30 jaar). Dit geeft meer inzicht in extreme droogtes en de kans van voorkomen van effecten, omdat langere combinaties van meteorologische en hydrologische omstandigheden worden doorgerekend. Op basis hiervan kan onderzoek worden gedaan naar de kans op potentieel ontwrichtende gevolgen van droogte. Een aandachtspunt hierbij zijn de rekentijden. Er is enerzijds behoefte aan een sneller (dus eenvoudiger) model om de rekentijden te beperken, anderzijds is er behoefte aan resultaten uit gedetailleerde regionale modellen.
- Neem het gedrag van watergebruikers beter mee in de analyse. Watergebruikers handelen niet puur rationeel. Om beter in te schatten wat gebruikers zullen doen onder bepaalde omstandigheden, moet het gedrag van gebruikers geanalyseerd worden. Het gedrag van gebruikers kan van invloed zijn op het effect van droogte, zowel in vermindering van negatief effect (bijvoorbeeld beregning verlaagd negatief effect voor landbouw), als in het vergroten van effecten elders (bijvoorbeeld door beregning vanuit grondwater heeft aangrenzende natuur meer droogtestress). Meer aandacht voor gedrag (of anders gezegd autonome adaptatie) helpt om realistischere inschattingen te maken van voornamelijk de watervraag en onomkeerbare en/of ontwrichtende effecten.
- Onderzoek effecten van meerjarige droogte. Momenteel wordt verondersteld dat individuele droogtejaren onafhankelijk zijn van elkaar. De gevolgen worden daardoor enkel bepaald op basis van een individueel droog jaar. De droogte van 2018 en 2019 hebben aangetoond dat de effecten van meerjarige droogte groot kunnen zijn, o.a. op de natuur, doordat grondwaterstanden nog niet hersteld zijn, en landbouw, door uitputting ruwvoer voorraad. De (economische) effecten van twee opeenvolgende droge jaren zijn dus mogelijk groter dan de som van twee individuele droge jaren. Aan te bevelen is aandacht te besteden aan de effecten van meerjarige droogte. Mogelijk kan het risico in de toekomst beter worden gedefinieerd op basis van ensembles.
- Onderzoek potentiële toepassingen in andere landen. Met de IMPRES partners is besproken dat in alle watersystemen waar water meerdere gebruiksfuncties bedient het van nut kan zijn om het droogterisicoprofiel te bepalen. Dit kan bijvoorbeeld een afweging zijn tussen water in een stuwmeer benutten voor waterkracht of voor landbouw, of een afweging tussen water vasthouden in een stuwmeer voor landbouw, of bijdragen aan voldoende vaardiepte in rivier benedenstrooms.
- Betrek andere IMPRES bevindingen bij het Nederlands waterbeheer. Binnen IMPRES is bijvoorbeeld aandacht besteed aan de volgende onderwerpen die ook voor Nederland van nut kunnen zijn:
 - Inschatten van water gerelateerde risico's als gevolg van afhankelijkheden van andere regio's, onder klimaatverandering en hydrologische extremen. De Nederlandse economie heeft ook een droogte-risico door afhankelijkheden (via de handelsbalans) van waterbeschikbaarheid in andere delen van de wereld. Bijvoorbeeld door import van koffie en cacao. Dit kan een significant economisch risico zijn. (IMPRES werkpakket 12.)
 - Toepassing van meteorologische lange-termijn voorspellingen op beschikbaarheid van water. Zowel voor oppervlaktewater (bijvoorbeeld het IJsselmeerpeil) als grondwater. Voor het optimaal benutten van de grondwaterbuffer kunnen betrouwbaardere voorspellingen tot maanden vooruit

van grote meerwaarde zijn. De voorspellingen zijn voor toepassing in Nederland nog niet voldoende betrouwbaar, maar gebleken is dat er al locaties en toepassingen zijn waar ze waardevol zijn. De ontwikkelingen hierin gaan door. (IMPREX werkpakket 3 en 4.)

- Hydrologische voorspellingen voor scheepvaart op de Rijn in Duitsland. Hier is aan gewerkt door een Duitse partner. Schippers blijken blij te zijn met de voorspellingen van de waterstand (tot twee weken vooruit) waarin ook de hele range aan verwachtingen ('de pluim') is opgenomen. Dit helpt hen in de besluitvorming over in te zetten schepen, hoeveelheid te vervoeren lading et cetera. Mogelijk is of wordt een dergelijke toepassing voor de grote rivieren in Nederland ook haalbaar. (IMPREX werkpakket 9.)

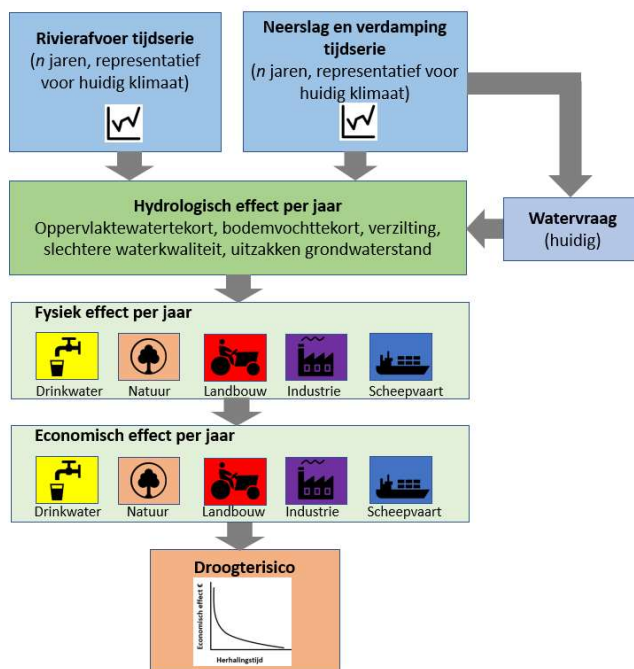
2 Droogterisicobenadering

2.1 Doel en aanpak

De droogterisicobenadering is ontwikkeld om beleidsmakers inzicht te geven in het huidige en toekomstige droogterisico en de baten van zoetwatermaatregelen. Binnen het IMPREX onderzoeksproject is de droogterisicobenadering eerst ontwikkeld om vervolgens toe te passen in twee casestudies: ARK-NZK en de Berkel. Op basis van deze ervaringen is de risicobenadering verder aangepast. Om de berekening van het droogterisico eenvoudiger te maken is de droogterisicotool ontwikkeld. Hiermee kan snel een overzicht worden verkregen van het droogterisico per deelgebied en per gebruiksfunctie. Dit hoofdstuk beschrijft eerst de risicobenadering methode, waarna de droogterisicotool wordt beschreven.

2.2 Korte beschrijving Methode

Met een risicobenadering wordt bedoeld dat rekening wordt gehouden met de kans op droogte én de potentiële negatieve gevolgen van droogte voor de maatschappij. Hiervoor wordt zowel de variabiliteit van droogtecondities (waaronder neerslagtekort, afvoertekort, de combinatie daarvan en verloop in de tijd) als de impact van droogte op de belangrijkste watergebruikers gekwantificeerd en zo mogelijk vertaald in een economisch effect (zie Figuur 1). Het droogterisico is gedefinieerd als de verwachtingswaarde van de (economische) gevolgen van droogte berekend over een zo groot mogelijke range aan droogtecondities. Met de benadering kan het droogterisico in de huidige situatie en de toekomst worden bepaald, maar ook het droogterisico met en zonder maatregel. De risicobenadering is hierdoor zeer geschikt om te gebruiken in een maatschappelijke kosten-batenanalyse.



Stappen in de risicobenadering

Met de risicobenadering wordt systematisch en stapsgewijs met alle watergebruikers en -beheerders de mogelijke gevolgen van droogte in beeld gebracht. De volgende 5 stappen worden doorlopen:

1. Bepalen doel en afbakening
2. Samen met belanghebbenden:
 - a. Potentiele effecten droogte identificeren
 - b. Potentiele effecten maatregelen identificeren
3. Doorrekenen langjarige neerslag- en afvoerreeks met hydrologisch model
4. Doorrekenen fysieke en economische effecten met effectmodules
5. Resultaten analyseren en duiden, eventueel gebruik in MKBA

De eerste stap is de bepaling van het doel van de analyse en de afbakening. Met de risicobenadering kan (1) het huidige risico worden bepaald, (2) het toekomstig risico op basis van scenario's en (3) de baten van maatregelen. Wanneer het doel is om het veranderend droogterisico in beeld te brengen dan is enkel de bepaling van het huidig en toekomstig risico voldoende. De geografische afbakening van de analyse en het schaalniveau zijn essentieel om het juiste instrumentarium te kiezen (bv. regionaal grondwatermodel versus Nationaal Water Model). Ook is het bij de afbakening en de analyse zelf belangrijk om alert te zijn op eventuele economische effecten buiten het analysegebied. Wanneer de economische effecten op nationale schaal worden uitgedrukt vallen effecten op regionaal niveau weg. Bijvoorbeeld, minder recreatie in het beheergebied van Rijnland door langere wachttijden bij sluizen kan leiden tot meer recreatie in het beheergebied van Stichtse Rijnlanden. Het netto-effect op de Nederlandse economie is in dit geval nul.

In de tweede stap wordt samen met belanghebbenden potentiële effecten van droogte en/of maatregelen geïdentificeerd. Het gezamenlijk systematisch doorlopen van de effecten maakt het mogelijk om een eerste inschatting te maken wat de grootste effecten zijn en waar belangentegenstellingen zijn of kunnen ontstaan. Alleen als op basis van deze analyse grote effecten zijn te verwachten of wanneer belangentegenstelling ontstaan is het aan te raden door te gaan met de kwantitatieve analyse.

De derde en vierde stap bestaan uit het berekenen van het hydrologisch effect met een regionaal model, of nationaal model, zoals het Landelijk Hydrologisch Model op basis van meteorologische en afvoergegevens. Op basis van de resultaten van het hydrologisch model kunnen effectmodules voor landbouw, scheepvaart, drinkwater, industrie en natuur worden gedraaid. Voor landbouw wordt gebruik gemaakt van Agricom in combinatie met de Prijsstool landbouw, ontwikkeld door WEcR (Polman et al, 2018). Scheepvaarteffecten kunnen worden bepaald met het scheepvaartsimulatiemodel BIVAS in combinatie met de economische module (Schasfoort et al, 2019; Ecorys, 2018). Voor vertaling naar effecten op grondwaterafhankelijke natuur is de Waterwijzer Natuur beschikbaar. Voor natuur in en langs de grote rivieren worden kennisregels van de KRW-Verkenner toegepast. Voor een eerste selectie van de maatregelen is het vaak al voldoende is om met een vereenvoudigd instrumentarium te werken, waarbij de effecten van droogte op o.a. de landbouw, scheepvaart en natuur vereenvoudigd worden weergegeven.

De laatste stap is het analyseren en vervolgens bespreken van de resultaten samen met de belanghebbenden. De resultaten geven inzicht in het droogterisico, zowel in extremen als het gemiddelde, per gebied en per gebruiksfunctie. De hydrologische effecten, het fysieke effect en economische effecten geven gezamenlijk een volledig beeld van de effecten en een inzicht in de werking van het systeem. Het samen bespreken van de resultaten leidt tot een gezamenlijk leerproces.

2.3 Beschrijving droogterisicotool

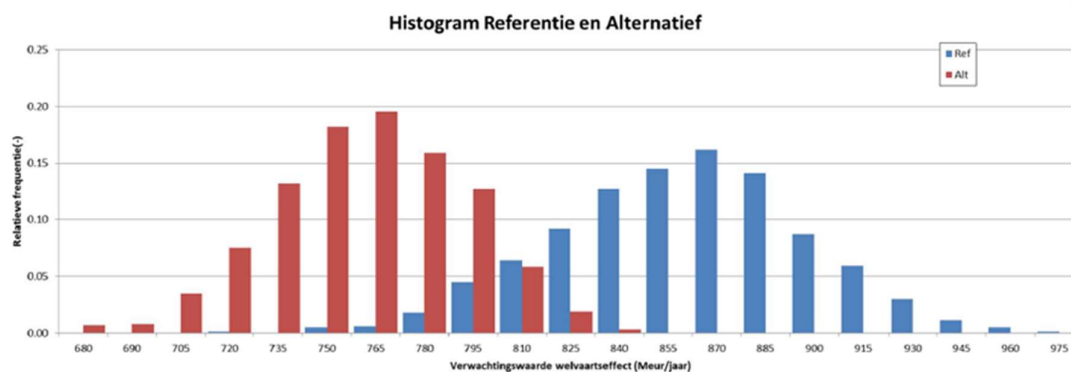
De droogterisicotool is ontwikkeld om eenvoudig het droogterisico te visualiseren per gebruiksfunctie en deelgebied. Daarbij is een onzekerheidsanalyse ingebouwd waarmee de onzekerheid in het effect van scenario's en maatregelen kan worden bepaald.

De tool is opgezet in Excel, zodat eenvoudig data kan worden ingevoerd en gepresenteerd. Invoer in de tool zijn tijdreeksen van het economisch effect per gebruiksfunctie en per deelgebied. De invoer voor de tool is de uitvoer van de effectmodules. Bijvoorbeeld de effectmodule landbouw bestaat uit LHM → Agricom → Prijsstof landbouw. Het resultaat van de prijsstof landbouw is invoer voor de droogterisicotool. Het droogterisico wordt berekend door het gemiddelde te nemen over alle jaren in een hydro-meteorologische tijdreeks voor de verschillende gebruiksfuncties. Daarnaast levert het informatie over de verdeling van het droogterisico over gebieden en jaren. Hiermee kan de kans van voorkomen van het economisch effect worden bepaald. Om de effecten van een maatregel te bepalen dient de invoer aangeleverd voor een referentiesituatie en een situatie met maatregel. De tool berekent het verschil in droogterisico met en zonder maatregel. Dit kan worden gezien als de baat van de maatregel. Figuur 3.3 en 4.2 zijn voorbeelden van figuren gemaakt met de droogterisicotool.

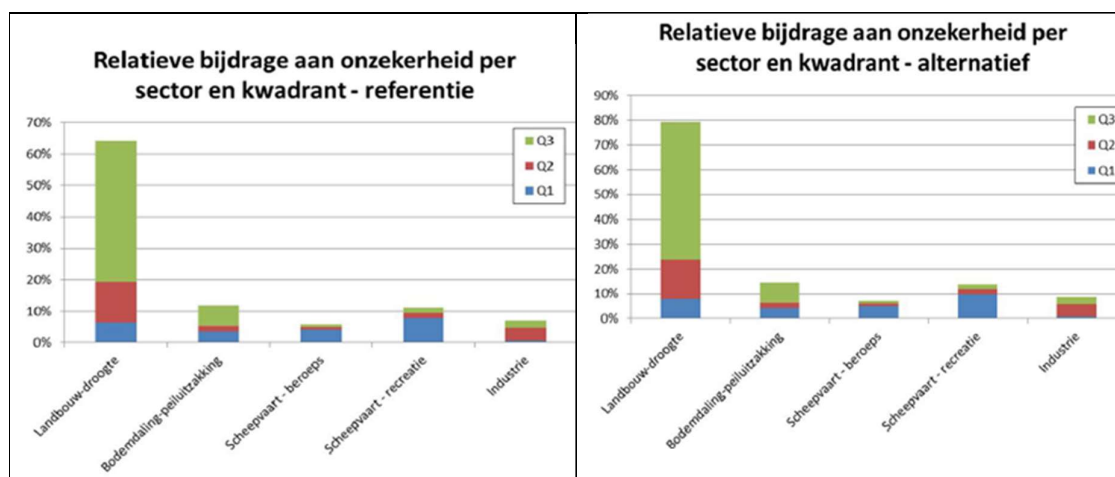
De berekening van het droogterisico is met veel onzekerheden omgeven. Vandaar dat een onzekerheidsanalyse onderdeel uitmaakt van de tool. De onzekerheidsanalyse is gebaseerd op door de gebruiker in te voeren onzekerheden per effect. Deze schatting bestaat uit twee stappen:

- Opgeven van de genormaliseerde standaarddeviatie voor de totale onzekerheid per effect
- Opgeven van de procentuele bijdrage aan de onzekerheid per effect voor de verschillende onderdelen van de effectmodule (hydrologisch tot economisch effect).

Hierbij is verondersteld dat er geen systematische fout zit in de invoer. De onzekerheidsanalyse wordt uitgevoerd als een zogenaamde Monte-Carlo analyse. Dit houdt in dat de berekening van het droogterisico een groot aantal malen wordt uitgevoerd, waarbij de invoer aangepast wordt door een random trekking te doen uit een kansverdeling zoals gedefinieerd door de originele invoerwaarde en de genormaliseerde standaarddeviatie. Figuur 2-1 presenteert de resultaten van de onzekerheidsanalyse. Het histogram laat de verdeling zien van alle trekkingen. Belangrijk is de mate van overlap tussen de alternatieven. Veel overlap duidt erop dat de onzekerheid te groot is om een duidelijk onderscheid te maken in de effecten. Figuur 2-2 laat de bijdrage aan de onzekerheid zien van de verschillende effecten, gebieden en onderdelen van de effectmodule. Deze informatie geeft inzicht in de oorzaak van de onzekerheid.



Figuur 2-1: Resultaten onzekerheidsanalyse welvaartseffect



Figuur 2-2 Relatieve bijdrage aan onzekerheid voor referentie (links) en alternatief (rechts)

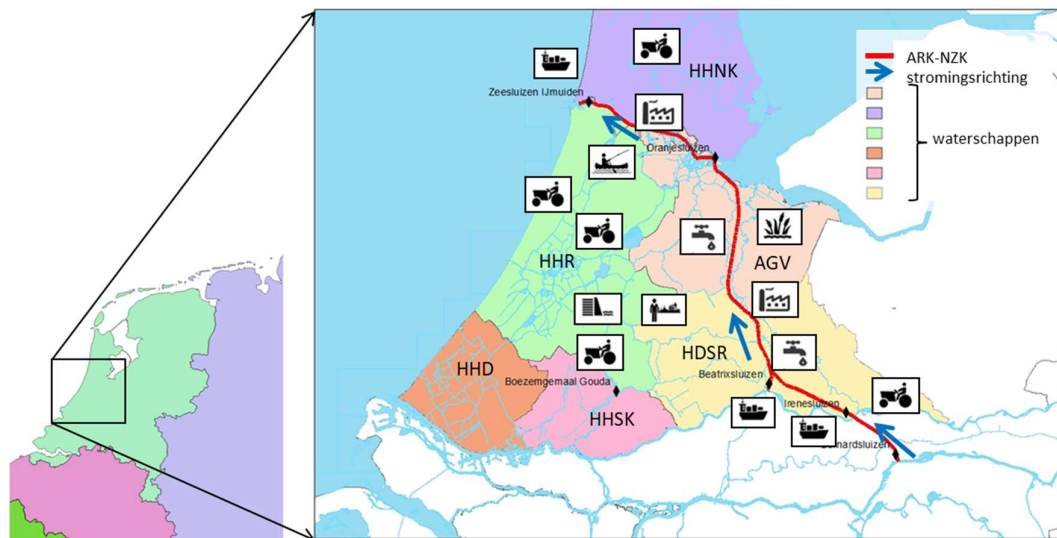
3 Case ARK-NZK

3.1 Doel en aanpak

De case ARK-NZK dient als een illustratie van de (mogelijke) meerwaarde van een risicobenadering bij het maken van afwegingen in het zoetwaterbeheer. In de risicobenadering wordt gekeken naar minimalisatie van het verwachte welvaartseffect van maatregelen in het waterbeheer, waarbij alle waterafhankelijke functies worden beschouwd (zie Figuur 3-1). In de case ARK-NZK is de risicobenadering toegepast op de keuze van wel/niet een hoge prioriteit geven aan de maatregel doorspoelen van het ARK. Aanvullen is een onzekerheidsanalyse uitgevoerd op de resultaten.

De volgende activiteiten zijn doorlopen:

- Werksessies met stakeholders waarin verschillende onderwerpen bij watertekort zijn behandeld zoals functies rond het ARK-NZK, praktijksturing bij watertekorten, belangenafwegingen, etc.;
- Berekenen van de economische gevolgen van droogte op verschillende sectoren (landbouw, scheepvaart, natuur, recreatie, energievoorziening, drinkwater);
- Opstellen risicoprofiel waarin alle beschouwde functies zijn opgenomen;
- Uitwerken van een rekenvoorbeeld risicobenadering doorspoelstrategie:
 - Doorrekenen van een 100-jarige reeks met het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) voor de huidige situatie en een scenario waarin de doorspoeling van het ARK een hogere prioriteit heeft;
 - Berekenen van statistiek (kans en duur) van verzilting op ARK en Vecht;
 - Risicoafweging;
 - Onzekerheidsanalyse van onzekerheid in modellen en kansen.
- Analyse en conclusies.



Figuur 3-1 Systeemschets en waterschappen met een afhankelijkheid van het ARK-NZK

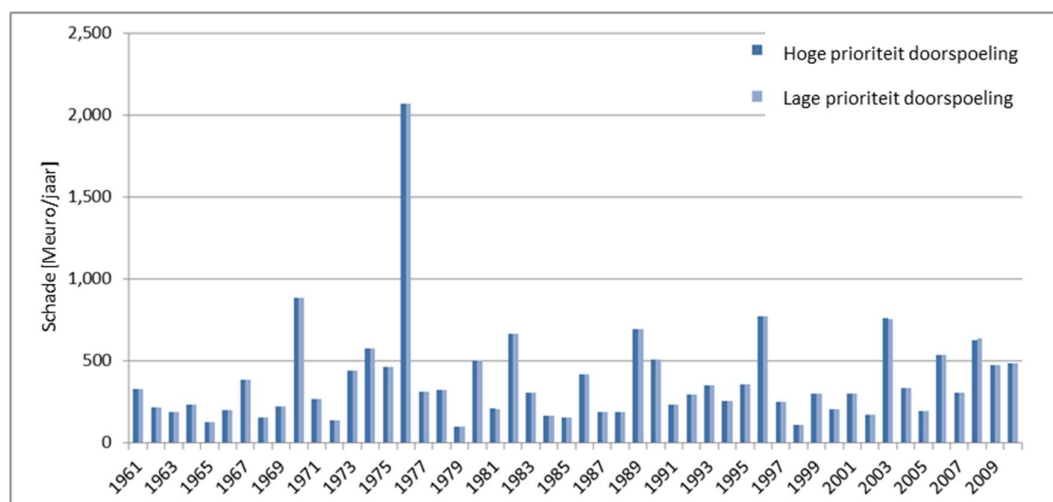
De functies landbouw, scheepvaart en natuur blijken in het ARK-NZK gebied het meest bij te dragen aan het negatief economisch effect van droogte voor Nederland. De onderzochte maatregel 'prioriteit doorspoeling' heeft geen effect op scheepvaart. De maatregel is

beoordeeld op het economisch effect als gevolg van verzilting. Hierbij is gekeken naar de maatregel doorspoelen. Verzilting heeft potentieel effect op drinkwater (er is een winning uit het ARK bij Nieuwersluis). Dit innamepunt wordt als reserve gebruikt, daarbij wordt dit water gemengd met water uit de Bethunepolder waardoor drinkwater niet snel boven een concentratie van 150 mg/l chloride (drempelwaarde voor drinkwater) uitkomt en is derhalve niet kritisch.

Voor de functie natuur is een zoutindringingsrelatie toegepast om de chlorideconcentraties op het ARK te bepalen aan de hand van de berekende decadegemiddelde debieten van het LHM. Economisch effect door opbrengstderving en toegenomen beregening in de landbouw ten gevolge van watertekort is berekend met AGRICOM en de prijstool.

3.2 Resultaat

Uit de modelresultaten blijkt dat waterbeschikbaarheid voor het ARK-NZK watersysteem geen probleem vormt. Er treden slechts kleine verschillen op in landbouwopbrengst bij verschillende prioriteiten aan doorspoeling, waardoor de effecten van de maatregel voor het economisch landbouwrisk beperkt zijn. Figuur 3-2 laat dit zien. Deze resultaten sluiten niet goed aan op de praktijk waar droge jaren als knelpunt zijn ervaren en de inzet van de Klimaatbestendige Wateraanvoer (KWA).



Figuur 3-2 Jaarlijks verwachte schade voor landbouw in miljoen euro voor de referentie (lage prioriteit doorspoeling) en de maatregel (hoge prioriteit doorspoeling)

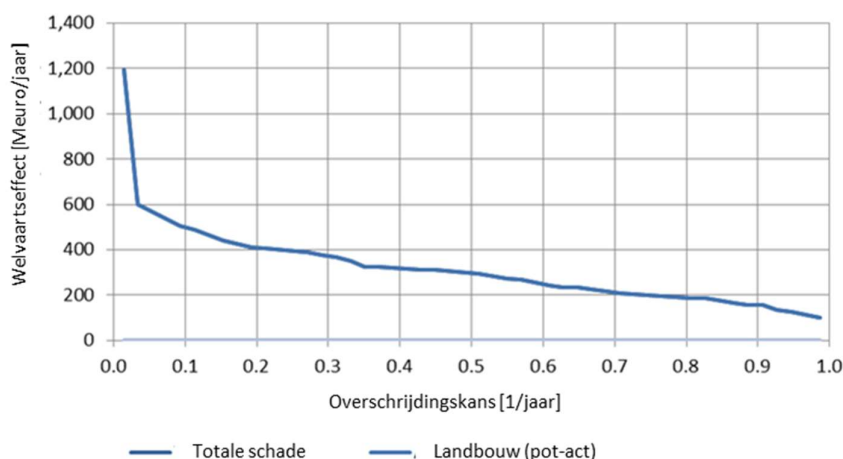
De droogte-effecten voor natuur zijn beschouwd op basis van de overschrijdingsduur van drempelwaarden van chlorideconcentraties. Hierbij is de maatregel doorspoelen beschouwd in combinatie met wel/niet de maatregel 'selectieve onttrekking' bij IJmuiden. De beschouwing is gedaan voor de locaties Nieuwersluis en Nigtevecht. Nabij beide locaties bevindt zich aquatische natuur welk kwetsbaar is voor hoge chlorideconcentraties. Nieuwersluis ligt aan de Vecht, die in open verbinding staat met het ARK. Nigtevecht staat in rechtstreekse verbinding met het ARK. Bij Nieuwersluis vindt alleen bij 'lage prioriteit doorspoeling zonder selectieve onttrekking' een overschrijding van het chlorideconcentratie van 150 mg/l plaats, en dan slechts eens in de 100 jaar. Vanwege de lage grenswaarde voor chlorideconcentratie, de lage frequentie van voorkomen en omdat bovendien de natte natuur bij Nieuwersluis niet rechtstreeks in verbinding staat met het Amsterdam Rijnkanaal, is de impact minimaal. Voor de locatie Nigtevecht daarentegen leidt zoutindringing tot langdurig

hoge chloride-concentraties. Er is een doorvertaling gemaakt van het effect van hoge chlorideconcentraties op soortenverlies in natuurgebieden. In Nigtevecht is er grote kans op soortenverlies ten gevolge van langdurige en relatief vaak voorkomende hoge chlorideconcentraties. Voor de natuureffecten is gekeken naar de tolerantie van verschillende soorten macrofauna en waterplanten voor chlorideconcentraties. Wanneer de selectieve onttrekking goed functioneert en prioriteit wordt gegeven aan doorspoeling zijn er voor een jaarlijkse herhalingstijd geen effecten voor natuur. Selectieve onttrekking en doorspoelprioriteit reduceren de terugkeertijd van overschrijden van de norm voor soortenverlies. Het is niet gelukt dit soortenverlies uit te drukken in een monetaire waarde, waardoor schade aan de functie natuur niet tot uiting komt in het risicoprofiel.

Langs het ARK liggen innamepunten voor drinkwater. Er zijn twee drinkwaterinnamepunten langs het ARK, gelegen in Nieuwegein en een nootinlaat te Nieuwersluis. Bij een concentratie hoger dan 150 mg/l volgt een innamestop voor drinkwaterproductie uit oppervlaktewater. Locatie Nieuwegein wordt niet bedreigd door zoutindringing vanuit het NZK. Bij lage prioriteit doorspoeling wordt bij Nieuwersluis een chloridegehalte van 150 mg/l overschreden. Dit gebeurt alleen als er bij de Nieuwe Zeesluis (IJmuiden) geen selectieve onttrekking van zout plaatsvindt. Omdat Nieuwersluis een noodinlaat is die zelden gebruikt wordt en ingelaten water hier wordt bijgemengd met zoet water in de Bethunepolder, is het droogterisico voor drinkwater verwaarloosbaar.

De uitwerking van de case ARK-NZK heeft bij de waterbeheerders geleid tot meer kennis over het functioneren van het ARK-NZK watersysteem in situaties van watertekort en verzilting. Inzicht in het gegeven dat het negatief economisch effect relatief beperkt is (met andere woorden: het huidige systeem functioneert al goed) is waardevol.

In deze casestudie is enkel het landbouweffect gemonetariseerd (zie Figuur 3-3). De reden hiervoor is enerzijds het ontbreken van grote effecten op andere gebruiksfuncties en anderzijds dat de effecten op natuur niet kunnen worden gemonetariseerd. Hiermee konden in deze casestudie niet alle aspecten van de risicobenadering worden meegenomen.



Figuur 3-3 Overschrijdingskans van het jaarlijks verwacht negatief economisch effect, waarbij landbouw vrijwel gelijk is aan totaal

3.3 Conclusies ten aanzien van droogterisicobenadering voor ARK-NZK

Een belangrijke conclusie is dat voor een beheerst watersysteem zoals het ARK-NZK vrijwel alle functies 'meeliften' met de categorie "Veiligheid en voorkomen van onomkeerbare schade", welke prioriteit heeft in de verdringingsreeks. Deze categorie noodzaakt dat er op het ARK-NZK een strak peilbeheer wordt gevoerd. Hierdoor is het economisch effect door watertekorten beperkt. Hierdoor kon geen afweging worden gemaakt tussen maatregelen of verdeling over verschillende gebieden. De risicobenadering daarentegen heeft een dialoog op gang gebracht over de economische effecten van maatregelen. Daarbij zijn de effecten van watertekorten of water van verkeerde kwaliteit voornamelijk voor natuur niet goed te kwantificeren door het ontbreken van gedetailleerde kennis en methoden.

Bij hoge prioriteit aan doorspoeling is er een beperkt effect op het debiet bij Weesp, resulterend in kleiner welvaartseffect dan bij lage prioriteit doorspoeling. Voor aquatische natuur zijn er hierdoor beperkte effecten, mede omdat de berekening van 'schade' (soortenverlies) hier grofschalig is. Andere sectoren (drinkwater, scheepvaart, e.d.) zullen nauwelijks verschillen opleveren. De risicobenadering van een dergelijke maatregel is hiermee vooral een afweging tussen landbouw en natuur, waarbij schade aan natuur niet in monetaire waarden is uitgedrukt.

Belanghebbenden benadrukken het belang van een risicobenadering voor droogte als middel om de 'Verdringingsreeks' kwantitatief te onderbouwen en verder te detailleren naar een onderbouwde en gedragen regionale uitwerking. Een vervolgactie is dan deze kennis om te zetten naar operationele sturing in tijden van watertekort.

4 Case Berkel

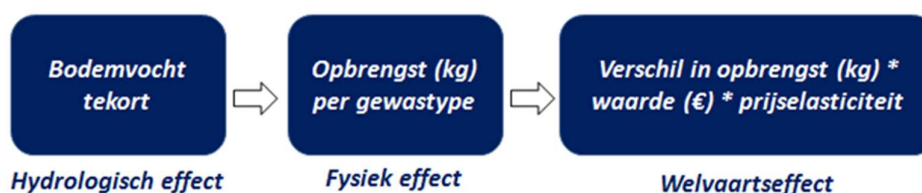
4.1 Doel en aanpak

De case Berkel dient als een illustratie van de (mogelijke) meerwaarde van een risicobenadering bij het maken van afwegingen in het zoetwaterbeheer in Hoog Nederland, waar de mogelijkheden om water aan te voeren beperkt zijn. De toepasbaarheid van de methode is onderzocht door het huidige droogterisico te bepalen, evenals het droogterisico in 2050. Daarnaast is onderzocht wat het effect van lokale maatregelen is op het lokale droogterisico, om het handelingsperspectief te schetsen. Alle water vragende sectoren zijn betrokken om een integraal droogterisico af te leiden.

Voor het hele Berkel-stroomgebied is een inschatting van het droogterisicoprofiel gemaakt aan de hand van modelresultaten (NWM) en metingen. Hiervoor zijn werksessies gehouden met belanghebbenden en is na data analyse de droogterisico-tool toegepast. Vervolgens is ingezoomd op een deelgebied waarvoor berekeningen zijn gemaakt voor huidig klimaat en 2050 met een gedetailleerd grondwatermodel (Amigo). In dit gebied vindt drinkwaterwinning plaats uit grondwater, wat voor verlaging van de grondwaterstand zorgt en tot landbouwschade leidt. Er wordt water ingelaten uit KRW-beek de Berkel om de waterbeschikbaarheid voor landbouw te vergroten. Er zijn maatregelen doorgerekend betreffende deze inlaat en maatregelen op de agrarische percelen, om te beoordelen of en hoeveel dit het droogterisico verlaagt.

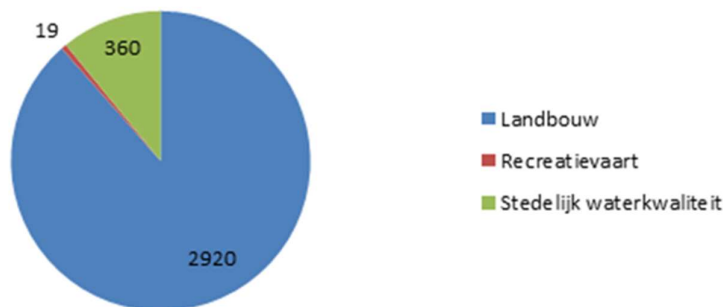
4.2 Resultaat

Het eerste resultaat is een door alle betrokken partijen (waterbeheerders en watergebruikers) gedeeld inzicht in de effectketens voor droogte die zijn opgesteld. Figuur 4-1 geeft als voorbeeld de effectketen voor landbouw. Hieruit wordt duidelijke op welke manier droogte voor elke functie tot schade leidt, en is duidelijk wat nodig is om deze schade te bepalen.



Figuur 4-1 Effectketen droogte voor landbouw

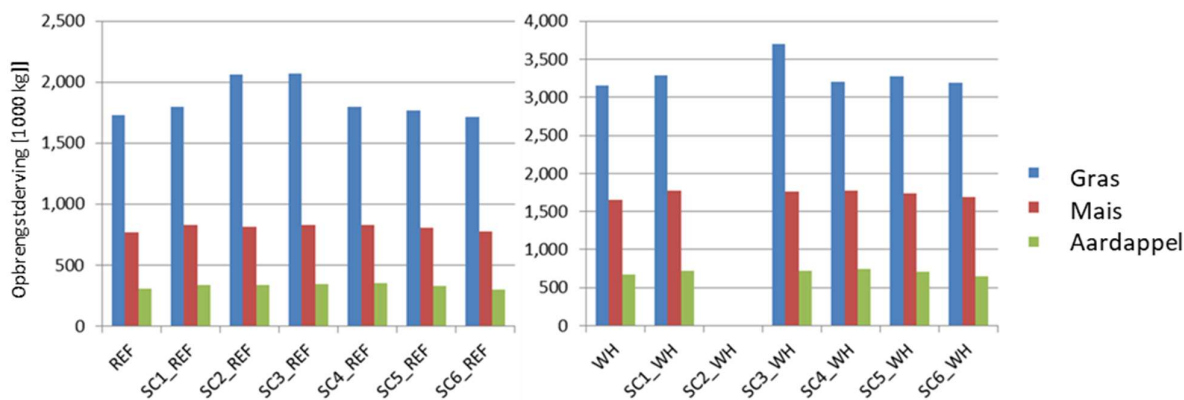
Na doorwerking van de effectketen met modelresultaten waar beschikbaar (bodemvocht uit NWM) en metingen waar de modelresultaten te grof zijn (de Berkel zodanig klein dat deze in het NWM niet is opgenomen als 1D waterloop), blijkt het droogterisico betrekkelijk klein. Landbouw kent het hoogste risico. Stedelijke gebieden leiden schade als gevolg van hoge watertemperaturen. Recreatievaart ondervindt een negatief economisch effect door uitval van vaardagen door beperkte waterdieptes. Een negatief economisch effect door effecten op drinkwater en industrie lijkt er niet te zijn, omdat grondwateronttrekkingen altijd nog doorgang vinden. Schade voor natuur is niet gemonetariseerd en valt daardoor buiten de berekening van het droogterisico. Figuur 4-2 toont de verwachtingswaarde van het economisch effect per jaar, waarbij wordt opgemerkt dat dit een grove schatting is op basis van een landelijk model en relatief korte perioden met metingen.



Figuur 4-2 Verwachtingswaarde van de droogteschade per functie in 1000 euro/jaar

Voor een deelgebied is het economisch effect voor de landbouw in meer detail bepaald, voor huidig klimaat en 2050. Het droogterisico voor de landbouw neemt toe in 2050, maar in het model (Agricom als onderdeel van NWM) neemt de totale productie door hogere temperaturen ook toe. De effecten van maatregelen zijn getoond in Figuur 4-3. De strategieën zijn:

- Strategie 1: inlaatstop (geen inlaat meer vanuit Berkel)
- Strategie 2: inlaatstop, verhogen oppervlaktewaterstanden
- Strategie 3: inlaatstop, verhogen oppervlaktewaterstanden en toename grondwateronttrekking
- Strategie 4: inlaatstop en verbetering bodemstructuur
- Strategie 5: inlaatstop en aanleg infiltratiedrains
- Strategie 6: inlaatstop en stop van grondwateronttrekking

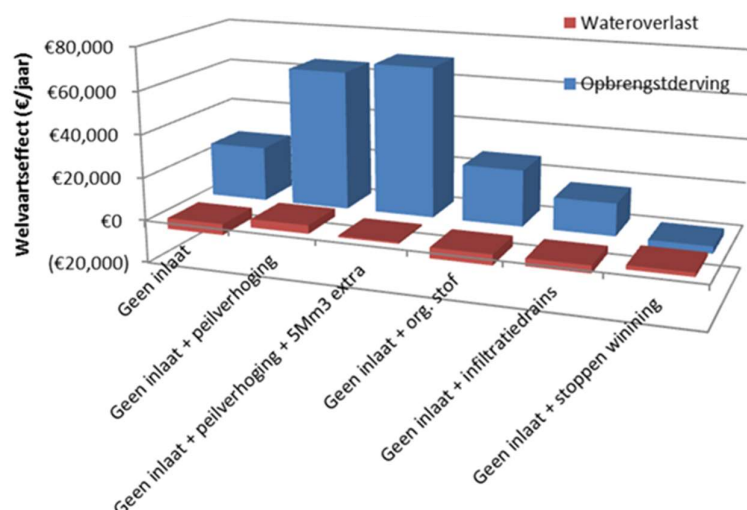


Figuur 4-3 Opbrengstderving huidig klimaat (links) en 2050 (rechts) in de referentie en met strategieën 1 t/m 6)

Het verschil in opbrengstderving door het stoppen van de inlaat is beperkt. Het effect van de andere maatregelen is ook beperkt, als is er in strategie 2 en 3 een groter economisch effect is dan voor andere strategieën. In 2050 zijn de effecten vergelijkbaar, maar is de referentieschade hoger. De aanleg van infiltratiedrains kan vanuit kosten-baten afweging in de toekomst positief uitpakken.

Het stoppen van de inlaat is een wens vanuit de KRW doelen voor de Berkel. Het effect van de verminderde inlaat en dus toegenomen afvoer op de Berkel zelf is echter nihil. Mocht er op grotere schaal, ook in andere gebieden, gestopt worden met inlaten uit de Berkel, dan heeft dit mogelijk wel een significant effect op de Berkel zelf. Dit is positief voor natuurdoelen. Hoe dit gemonetariseerd kan worden is nog onderwerp van onderzoek.

De vermindering van droogterisico als gevolg van de maatregelen is ook uitgezet tegen de toename in natschade. Maatregelen gericht op droogte verhogen immers de (grond)waterstanden en zorgen daarmee voor een hogere kans op wateroverlast. In het deelgebied bleek de toename in risico op schade door wateroverlast ruim kleiner dan de afname in droogterisico, zie Figuur 4-3.



Figuur 4-4 Welvaartseffect van wateroverlast en door opbrengstderving huidige klimaat in de referentie en met strategieën 1 t/m 6)

4.3 Conclusies ten aanzien van droogterisicobenadering voor case Berkel

Het gezamenlijke traject om tot droogterisico's te komen, met alle belanghebbenden, heeft waardevolle gedeelde inzichten geleid. Het droogterisico voor landbouw is kleiner dan vooraf ingeschat, en niet problematisch. Voor landbouw is het systeem ten aanzien van droogte dus goed ingericht. Droogterisico voor de andere functies, stedelijke waterkwaliteit en recreatievaart, is lastiger in te schatten en daardoor nog onzekerder, maar wel duidelijk kleiner dan het risico voor landbouw. Ook hier is het niet gelukt schade aan natuur uit te drukken in monetaire waarden. Een mogelijk gevolg hiervan is dat schade aan natuur makkelijk buiten beschouwing blijft, terwijl voor het stroomgebied van de Berkel natuur wel gevolgen ondervindt van verdroging. Mede hierdoor blijft de vraag: 'voor welke functie is het beschikbare water het meest waardevol' deels onbeantwoord.

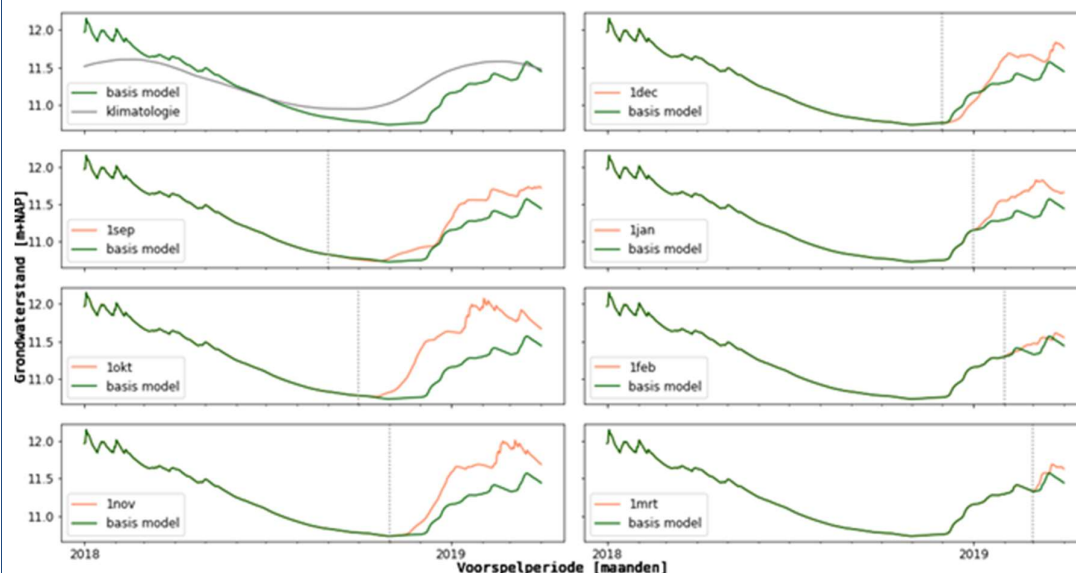
Naar 2050 wordt het droogterisico groter, en zal ingrijpen door middel van maatregelen mogelijk lonen. Dit betreft vooralsnog kleinschalige maatregelen op deelgebieds- of zelfs perceelniveau. Vooralsnog zijn de droogterisico's te klein om vanuit kosten-batenperspectief grotere (infrastructurele) maatregelen te verantwoorden.

Als gevolg van het relatief kleine droogterisico en de onzekerheden in de analyse door beperkingen van gebruikte modellen en metingen, kan de meerwaarde van de droogterisicobenadering niet overtuigend worden aangetoond. Wel is duidelijk dat het ongeveer bepalen van het droogterisico ook al inzichten geeft, en dat het gesprek hierover met betrokken partijen waardevol is. Het is gebleken dat het risico hoger werd ingeschat dan het waarschijnlijk is. Onderbouwen van het subjectieve idee van droogterisico loont.

Lange-termijn voorspelling van de grondwaterstand

Naast een beleidsmatige toepassing zijn er kansen voor toepassing van de methode in een operationele setting. Om daarin van nut te kunnen zijn, moet er handelingsperspectief zijn. Voor de Berkel kan dit bijvoorbeeld het zo veel mogelijk vasthouden van water zijn. Hiervoor is het nodig met enige zekerheid te kunnen voorspellen hoeveel neerslag er komende periode (liefst zo ver mogelijk vooruit) valt. Met dit doel is de toepassing van lange – termijnvoorspellingen (seizoensvoorspellingen) van het ECMWF (tot zeven maanden vooruit neerslag en verdampingsvoorspellingen) onderzocht. Met het grondwatermodel Amigo zijn deze voorspellingen doorgerekend vanaf september 2018 om de grondwaterstand op 1 april 2019 te bepalen. Per maand is beoordeeld hoe juist de voorspelling is.

De voorspellende waarde van de neerslag is beperkt. Voor de korte termijn (een maand vooraf) is deze beter dan voor de langere termijn. Met de vertaling van neerslag naar het trager reagerende grondwatersysteem wordt naar verwachting voorspellende waarde toegevoegd, maar dit is nog niet aangetoond (hierover is een Stromingen artikel in voorbereiding). Duidelijk is wel dat de voorspellende waarde van de berekende grondwaterstand zeer beperkt is. Langer dan een maand van tevoren zijn met redelijke zekerheid geen uitspraken te doen over de te verwachten grondwaterstand. Hiermee is dus niet onderbouwd te besluiten of er water moet worden vastgehouden omdat er een droge periode aankomt, of juist niet omdat het veel zal gaan regenen. Binnen IMPREX is (door onder andere het KNMI en Met Office (UK) veel tijd besteed om deze seizoenvoorspellingen te verbeteren. Deels is dit ook al gebeurd. De verwachting is dat deze ontwikkelingen worden voortgezet en op enige termijn ook voor het Nederlandse waterbeheer van nut kunnen zijn.



Berekende grondwaterstand op een voorbeeldlocatie (meetlocatie Wildenborch), op basis van gemeten neerslag (groen) gemiddelde neerslag (grijs) en voorspelde neerslag bij verschillende voorspeltermijnen (oranje) waarbij de datum in de legenda de datum van de voorspelling geeft

5 Onzekerheden

5.1 Doel en aanpak

5.1.1 Doel

Voor het uitwerken van adviezen en besluiten uit het Deltaprogramma Zoetwater is een beter inzicht benodigd in de waterbeschikbaarheid van Nederland: hoeveel water is er wanneer en waar beschikbaar. In het project "Waterbeschikbaarheid Hoofdwatersysteem (Wabes)" van RWS-WVL zijn hiervoor berekeningen uitgevoerd met het Nationaal Water Model (NWM). Belangrijk aspect is de onzekerheid in de modelresultaten, waarbij vooral is gekeken naar situaties met lage afvoer.

In het onderdeel "Onzekerheden" is een kwantitatieve inschatting gemaakt van de modelonzekerheid voor waterbeschikbaarheid in (deelmodellen van) het Nationaal Water Model (NWM). Vervolgens is onderzocht hoe onzekerheden in de lateralen doorwerken op het hoofdwatersysteem.

5.1.2 Aanpak

Voor het kwantificeren van de onzekerheid is gebruik gemaakt van een waterbalansaanpak. Om pragmatische redenen is het hoofdwatersysteem opgedeeld in deelwatersystemen en per deelsysteem is een waterbalans opgesteld op basis van de uitkomsten van het Nationaal Water Model. In deze balans zijn de belangrijkste onzekerheden van het NWM:

- natuurlijke variabiliteit in het riviersysteem, onder andere veroorzaakt door morfologische veranderingen, variatie in ruwheden van zomerbed en winterbed en variatie in topvervlakking door variatie in afvoergolfvorm, grootte en timing van de lateralen (zijdelingse toestromen/infiltratie/onttrekkingen); en
- afwijkingen tussen gemodelleerd en werkelijk gedrag van het riviersysteem (veroorzaakt door o.a. sturing van kunstwerken, schematisatie van de geometrie en schematisatie van de zijdelingse toestroming/infiltratie/onttrekkingen).

Per deelsysteem zijn uit de waterbalans de belangrijkste in- en uitstromingstermen afgeleid. De onzekerheid in deze termen is gekwantificeerd aan de hand van metingen, andere modelresultaten en expert schattingen. Vervolgens zijn de onzekerheden uitgedrukt in kansverdelingen. Er is een waterbalansmodel opgezet voor het deelsysteem waarin met een Monte Carlo analyse de onzekerheid in de balanstermen is vertaald naar onzekerheid op de statistiek van waterbeschikbaarheid (peil of debiet).

5.2 Resultaat

De onzekerheden zijn bepaald voor het gehele hoofdwatersysteem. Voor het IJsselmeergebied is de meest uitgebreide analyse uitgevoerd, deze is hier daarom het meest uitgebreid beschreven.

5.2.1 IJsselmeergebied

De belangrijkste in- en uitstromingstermen voor waterbalans van het IJsselmeer zijn de IJsselaafvoer, de open water verdamping en de regionale watervraag. Dit is weergegeven in Figuur 5-1. Circa 90% van de totale instroming in het IJsselmeer/Markermeer is afkomstig van de IJssel. De open water verdamping en regionale onttrekkingen zorgen beide voor circa 50% van de uitstroming. De grootste watertekorten doen zich voor als de IJssel vroeg in de

zomer een lage afvoer heeft en dit samenvalt met hoge verdamping en onttrekkingen, zoals in 1976.



Figuur 5-1 Ruimtelijke verdeling van in- en uitstromingstermen in het IJsselmeer/Markermeer
blauw = instroming; rood = uitstroming. De percentages zijn gebaseerd op de gemiddelde in- en uitstromingstermen tijdens de 10 droogste 7-daagse periodes uit de 100-jarige NWM reeks

De onzekerheid in de IJsselaflow is gekwantificeerd door de modelresultaten te vergelijken met metingen. De IJsselaflow kent in het model een systematische afwijking. Bij afvoeren kleiner dan 300 m³/s is de onderschatting circa 15%.

De onzekerheid in de regionale onttrekkingen is gekwantificeerd aan de hand van modelvalidatierapporten van het NWM. Hierin is gesteld dat de regionale onttrekkingen in het LSM (deelmodel van het NWM) systematisch met circa 50% worden overschat. Noot: in een latere vergelijking van de nieuwere NWM versie 3.3 met metingen van 2003 en 2006 blijkt de afwijking kleiner te zijn. Op basis van de nieuwe resultaten blijkt dat de systematische afwijking is gereduceerd tot +/- 20% (Van der Zwet, 2018). De verdere analyses zijn gedaan met de eerste inzichten, dus een modeloverschatting van 50%.

Voor de open water verdamping is onderzocht wat de onzekerheid is in de keuze van de verdampingsformule die is toegepast in het NWM. De open waterverdamping in het NWM is berekend met de formule van Makkink. Deze geeft een gemiddelde van vier verschillende

verdampingsformules. Schattingen van de verdamping in de overige drie formules verschillen tussen +10% en -20% met de verdamping op basis van de formule van Makkink.

De onzekerheid in de IJsselafvoer, regionale onttrekkingen en open water verdamping is uitgedrukt in kansverdelingen. Er is een waterbalansmodel opgesteld van het IJsselmeer/Markermeer en met een Monte Carlo analyse is de onzekerheid in deze drie bronnen vertaald naar de onzekerheid in de statistiek van de peiluitzakking op het IJsselmeer/Markermeer. De systematische afwijking in de IJsselafvoer en de regionale onttrekkingen zorgen voor een dubbele onderschatting van de waterbeschikbaarheid. In de deterministische berekening met het NWM is de maximale peiluitzakking 10 cm. Met het meenemen van onzekerheid varieert de peiluitzakking tussen 2 en 7 cm (90ste percentiel bandbreedte). De peiluitzakking in het IJsselmeer wordt in het NWM dus systematisch overschat.

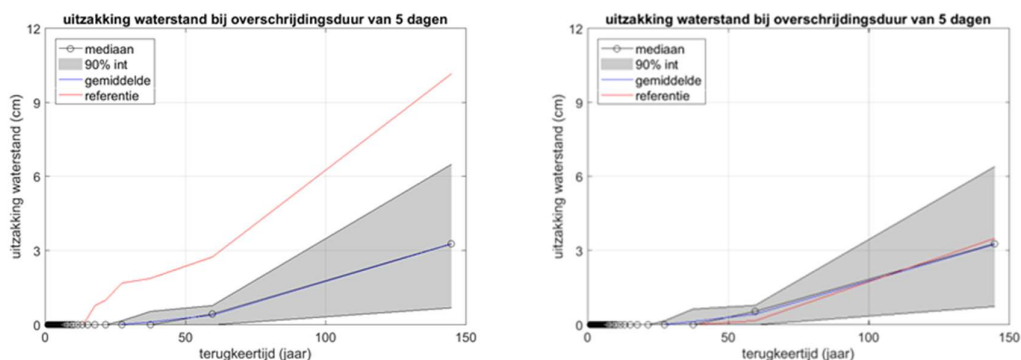
Modelonzekerheid Olst

In het onderzoek (Van der Zwet et al., 2017) is de onzekerheid in de IJssel-afvoer bij Olst berekend op basis van een vergelijking tussen resultaten uit het Landelijk Sobek Model (LSM), gericht op lage afvoeren, en afvoerdata van Rijkswaterstaat uit Waterinfo. De data in Waterinfo wordt echter niet direct bemeten, maar gebaseerd op waterstandsmetingen en een Qh-relatie (Olst) of een Qf-relatie (IJsselkop). De mate waarin de modelonzekerheid veranderd als de meetfout in beschouwing wordt genomen is afhankelijk van welke aanname wordt gedaan over de correlatie tussen de gemeten parameters en de afvoer:

- Bij onafhankelijkheid wordt de totale modelonzekerheid groter. De standaardafwijking in de meetfout neemt in dat geval toe met de afvoer, tot maximaal 40 m³/s bij een IJsselafvoer van 500 m³/s.
- Bij volledige afhankelijkheid, wordt de totale modelonzekerheid kleiner. De standaardafwijking in de meetfout neemt in dat geval niet meer toe met de IJsselafvoer, maar ligt op circa 5 m³/s bij gestuwde afvoeren en 13 m³/s bij ongestuwde afvoeren.

De werkelijke modelonzekerheid inclusief meetfout ligt tussen deze twee uitersten in. Omdat niet te zeggen is wat de correlatie is, en omdat de resultaten van de vorige analyse tussen deze twee uitersten in liggen, is het goed verdedigbaar om de standaardafwijkingen van (Van der Zwet et al., 2017) te hanteren.

Figuur 5-2 toont de resulterende statistiek van de peiluitzakking. De rode lijn is de deterministische benadering op basis van de tijdreeks van peiluitzakking in een langjarige NWM berekening. De blauwe lijn is het gemiddelde van de Monte Carlo trekkingen waarin de onzekerheid is meegenomen. In de linker figuur is niet gecorrigeerd voor de systematische afwijkingen in IJsselafvoer en onttrekkingen. De deterministische statistiek valt volledig buiten het 90% betrouwbaarheidsinterval van de probabilistische statistiek. In de rechterfiguur is wel gecorrigeerd voor de systematische fouten. Daarbij valt de deterministische statistiek wel in het 90% betrouwbaarheidsinterval van de probabilistische statistiek. De probabilistische benadering geeft dan inzicht in het effect van onzekerheden.



Figuur 5-2 Waterstandsonderschrijdingsduurlijnen voor een overschrijdingsduur van vijf dagen, zonder correctie van de systematische fout (links) en met correctie van de systematische fout (rechts); rood is de waterstandsstatistiek op basis van de deterministische berekening zonder onzekerheid, blauw en zwart zijn gemiddelde en mediaan van de uitkomsten van de Monte Carlosimulaties waarin wel rekening is gehouden met onzekerheid

Een uitgebreide beschrijving van deze analyse is opgenomen in Van der Zwet et al. (2017).

5.2.2 Overige deelsystemen hoofdwatersysteem

In 2018 is de onzekerheidsanalyse toegepast op de andere deelsystemen van het hoofdwatersysteem (Maas, Waal en Nederrijn-Lek).

Voor de deelsystemen Maas, Waal en Nederrijn-Lek is de beschikbaarheid van meetdata een knelpunt. Enerzijds omdat Waterinfo niet voor alle locaties langjarige reeksen bevat en anderzijds doordat de rekenpunten in het NWM niet één-op-één zijn te koppelen aan meetpunten in Waterinfo.

Op basis van de beperkte analyses zijn er de volgende bevindingen:

Maas:

- Modelleren Amsterdam-Rijnkanaal en Zuid-Willemsvaart introduceert veel onzekerheid aangezien deze in het model veel minder variatie in debiet hebben dan in de metingen;
- Onzekerheid is goed te kwantificeren voor Zuid-Willemsvaart, Roer en Amsterdam-Rijnkanaal Zuid;
- De instroom Roer heeft een niet verklaarbare variatie ten opzichte van het model.

Waal en Nederrijn-Lek:

- Opvallende onzekerheid op instroom systeem (Lobith), voornamelijk in de standaardafwijking;
- Onzekerheid is goed te kwantificeren voor locaties hoofdsysteem. Effect stuwen lijkt zichtbaar;
- Effect splitsingspunten is nog niet geïsoleerd.

De onzekerheidsanalyse is niet uitgevoerd voor het deelsysteem Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal (ARK-NZK). Achterliggende oorzaak is dat dit deelgebied erg gedetailleerd is met veel relatief kleine bijdragen aan de waterbalans, terwijl anderzijds de grote posten in de waterbalans tevens de raakpunten zijn met de andere

deelgebieden (uitgezonderd spui- en maalcomplex IJmuiden). Het beschouwen van het ARK-NZK als apart deelgebied levert relatief weinig meerwaarde.

5.3 Conclusies

De gehanteerde aanpak voor de onzekerheidsanalyse is goed bruikbaar voor het hoofdwatersysteem. Voor kleine, relatief gedetailleerde watersystemen, zoals het ARK-NZK, is de aanpak minder praktisch door het grote aantal balanst termen dat in de analyse meegenomen moet worden.

Het voorbeeld van het IJsselmeergebied maakt duidelijk dat de onzekerheidsbenadering een duidelijke meerwaarde biedt op de aanpak op basis van een verwachtingswaarde. Op basis van de kalibratieresultaten van het model (fout minder dan 10%) lijkt gebruik van het modelresultaat een prima aanpak voor het verkrijgen van inzicht in statistiek van peiluitzakking en het vergelijken van maatregelen. De onzekerheidsanalyse maakt duidelijk dat de bandbreedte in de kritische parameter – de peiluitzakking van het IJsselmeer – erg groot is waardoor bijvoorbeeld de verschillen in maatregelen wegvallen in de ruis van de onzekerheid.

Het is bekend dat de IJsselmeerwaterstand berekend door het NWM in sommige jaren niet goed wordt gereproduceerd. Zo is de berekende waterstandsuitzakking in 2003 slechts 1 cm, terwijl de gemeten uitzakking 5 cm bedraagt. In de onzekerheidsanalyse is juist gekeken dat het model de peiluitzakking overschat. Dit onderstreept de conclusie dat de waterstandsstatistiek op basis van het NWM een grote onzekerheid kent. Deze wordt niet meegenomen in de deterministische benadering. In de probabilistische benadering is de onzekerheid gevisualiseerd met onzekerheidsbanden rond de onderschrijdingsduurlijnen. Deze banden geven het onzekere karakter aan van de waterbeschikbaarheidsstatistiek, maar zijn voor besluitvorming vaak lastig te interpreteren. Het is daarom een aanbeveling om, naast het weergeven van de bandbreedte in de resultaten ook de onzekerheid te integreren tot een enkele lijn. Dit kan door de onzekerheden te verdisconteren in een nieuwe onderschrijdingsduurlijn door deze “gewogen” mee te nemen. Het verschil tussen de lijnen zonder en met verwerkte onzekerheden geeft inzicht in het effect van onzekerheid. In het waterveiligheidsdomein (Hydra-Ring en Hydra-NL) worden onzekerheden ook op deze manier verdisconteerd. Deze manier van werken heeft bijvoorbeeld rondom het dossier van de noodoverlooppgebieden tot andere besluitvorming geleid dan wanneer geen onzekerheden werden beschouwd. De uitgevoerde pilots in IMPREX hebben geen directe voorbeelden opgeleverd waar de risicobenadering leidt tot andere besluiten.

Voor andere deelsystemen is gebleken dat voor het bepalen van de onzekerheid in de belangrijkste termen van de waterbalansanalyse, de beschikbaarheid van gegevens problematisch is. Metingen zijn moeilijk te verkrijgen, reeksen zijn kort of niet compleet. Dit heeft ertoe geleid dat niet voor allee deelsystemen een volledige onzekerheidsanalyse is uitgevoerd.

6 Extremen

6.1 Doel en aanpak

6.1.1 Doel

Om het watersysteem robuust in te kunnen richten voor droogterisico's is inzicht vereist in wat voor type droogteperioden mogelijk kunnen optreden in Nederland. Daarbij is van belang dat niet alleen de totale neerslag- en afvoertekorten bepalend zijn voor de gevolgen van droogte en de effectiviteit van een maatregel, maar ook de volgordelijkheid (tijdsverloop) in een droogteperiode. Om meer inzicht te krijgen in extreme hydro-meteorologische omstandigheden die mogelijk leiden tot beperkte waterbeschikbaarheid in Nederland, is in het kader van het Rijkswaterstaat-project "Wabes" een 100-jarige reeks samengesteld op basis van historische metingen van rivierafvoeren, neerslag en verdamping. Voor extreme droogte wordt vaak verwezen naar het jaar 1976 uit deze reeks. In hoeverre dit jaar qua neerslagtekort en afvoertekort representatief is voor toekomstige droge jaren en welke kans van voorkomen een dergelijk jaar heeft is onbekend.

Een langere tijdserie kan helpen bij het vergroten van het inzicht in meer extreme droogtegebeurtenissen. De vragen die bij aanvang van dit deel van het onderzoek centraal stonden zijn:

- Kunnen we met langjarige synthetische tijdseries meer inzicht krijgen in droogte-omstandigheden met een jaarlijkse kans van voorkomen van 1/30 tot 1/100 of zelfs extremer?
- In welke mate is de tijdsopbouw van de droogtegebeurtenissen bepalend voor de gevolgen van een droogte?

6.1.2 Aanpak

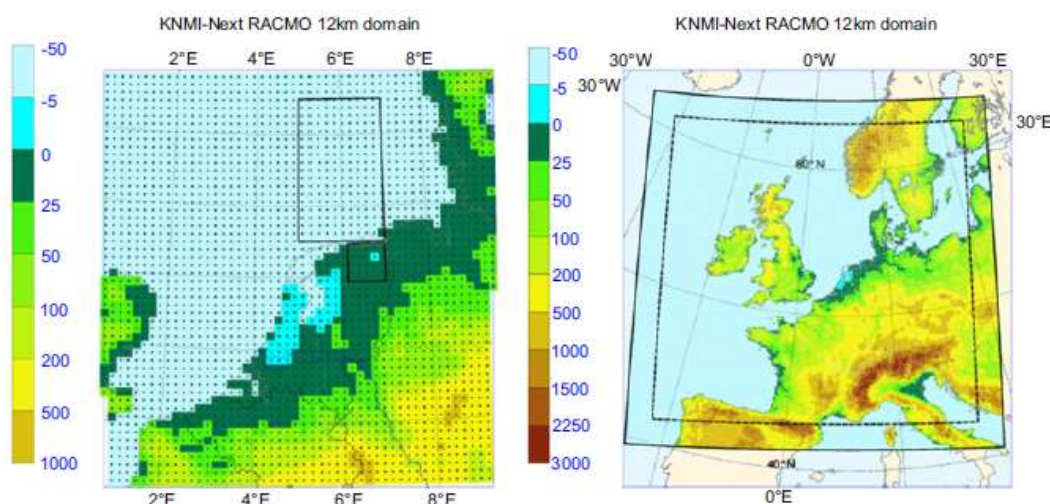
Om langjarige synthetische tijdreeksen van neerslag en afvoer te ontwikkelen, zijn in het kader van IMPREX twee benaderingen toegepast:

- 1) Genereren van tijdreeksen met klimaatmodellen en, voor afvoeren, een hydrologisch model; deze benadering wordt in het vervolg aangeduid als 'RACMO', de naam van het regionale klimaatmodel van het KNMI.
- 2) Genereren van tijdreeksen met volledig stochastische modellen die direct zijn gebaseerd op meetreeksen van rivierafvoer en neerslagtekort. Deze benadering wordt aangeduid als '*stochastische modellen*'.

Beide benaderingen hebben voor- en nadelen; ze zijn beide toegepast om een onderlinge vergelijking te kunnen maken. Het voordeel van de RACMO-benadering is dat het een klimaatmodel is en dat daarmee de fysica van weersystemen beschrijft. De stochastische modellen bevatten geen beschrijvingen van fysische processen, maar hebben wel de potentie om reeksen te genereren die beter in overeenstemming zijn met de waarnemingen.

De *RACMO-benadering* resulteert in een tijdreeks van 800 jaar. Deze is door het KNMI gegenereerd met het regionale klimaatmodel RACMO (Regional Atmospheric Climate Model) in combinatie met het globale klimaatmodel EC-Earth. Het RACMO-model gebruikt de met EC-EARTH berekende temperatuur van het zeewater als initiële forcering en randforcering. RACMO berekent hieruit het dynamische gedrag van de meteorologische processen met een

tijdstap van 5 minuten en een resolutie van 12 km (zie Figuur 6-1). Voor het genereren van een corresponderende tijdreeks van Rijnafvoeren is aansluitend het hydrologische model HBV gedraaid. Details van het RACMO-model staan beschreven in Van der Zwet et al., (2017).



Figuur 6-1: Gridcellen (links) en het simulatiedomein (rechts) van het RACMO-model (regionale klimaatmodel).
Bron: Van den Hurk et al. (2015).

Het principe van een *stochastisch model* is om belangrijke statistische kentallen af te leiden uit de meetreeks en vervolgens een synthetische reeks te genereren met zoveel mogelijk dezelfde statistische kentallen. In deze studie zijn stochastische modellen afgeleid van de historische reeksen van de Rijnafvoer en het neerslagtekort. Bij het afleiden en valideren van de stochastische modellen zijn de volgende kentallen gebruikt:

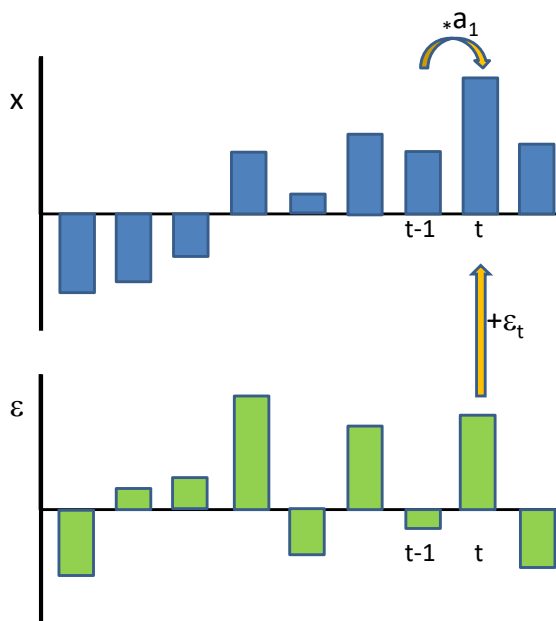
- (i) Overschrijdingskansen: kansen op overschrijden van neerslag- en afvoertekorten voor drie verschillende tijdschalen (maand, zomerhalfjaar en jaar);
- (ii) Autocorrelatie: de kans dat een maand met een relatief hoog neerslagtekort gevolgd wordt door nog een maand met een relatief hoog neerslagtekort (dito voor afvoertekort).
- (iii) Correlatie: kans op samenvallen van hoge neerslagtekorten met hoge afvoertekorten.

Deze drie kentallen verschillen per maand van het jaar en zijn daarom per kalendermaand afgeleid. De grote uitdaging bij het opstellen van een stochastisch model is om al deze kentallen van de meetreeks tegelijk (bij benadering) te reproduceren. Het afregelen van een model om te voldoen aan één van deze kentallen kan ten koste gaan van de reproductie van de andere kentallen. De volgende twee typen stochastische modellen zijn toegepast:

- Autoregressieve (ARMA) modellen (Box and Jenkins, 1974); details van het model staan beschreven in Diermanse (2017)
- Simulated annealing (Kirckpatrick et al, 1983); details van het model staan beschreven in Diermanse et al., (2018)

In een ARMA model wordt voor elke tijdstap een “trekking” gedaan uit het bereik van mogelijke realisaties (afvoer, neerslagtekort). De trekking wordt afhankelijk gemaakt van de realisatie(s) uit de vorige tijdstap(en). Daarmee kan expliciet rekening worden gehouden met

het feit dat relatief droge maanden vaak in clusters voorkomen; hetzelfde geldt voor relatief natte maanden.



Figuur 6-2: Schematische weergave van een eenvoudig ARMA model. De waarde, x , van de gemodelleerde grootte (hier: rivierafvoer en netto neerslag) is een functie van de waarde uit de vorige tijdstap plus een 'random' verstoring (ε).

De andere methode, 'simulated annealing', is een optimalisatietechniek. De optimalisatiemethode begint met een min of meer 'willekeurige' eerste versie van de synthetische reeks. De verschillen in kentallen (i) t/m (iii) tussen de synthetische reeks en de meetreeks worden gekwantificeerd. Voor deze eerste willekeurige versie van de reeks zijn de verschillen in kentallen over het algemeen relatief groot. Vervolgens wordt de synthetische reeks stap voor stap op een slimme manier net zo lang aangepast totdat het verschil in kentallen tussen de meetreeks en synthetische reeks zo klein mogelijk is.

6.2 Resultaten

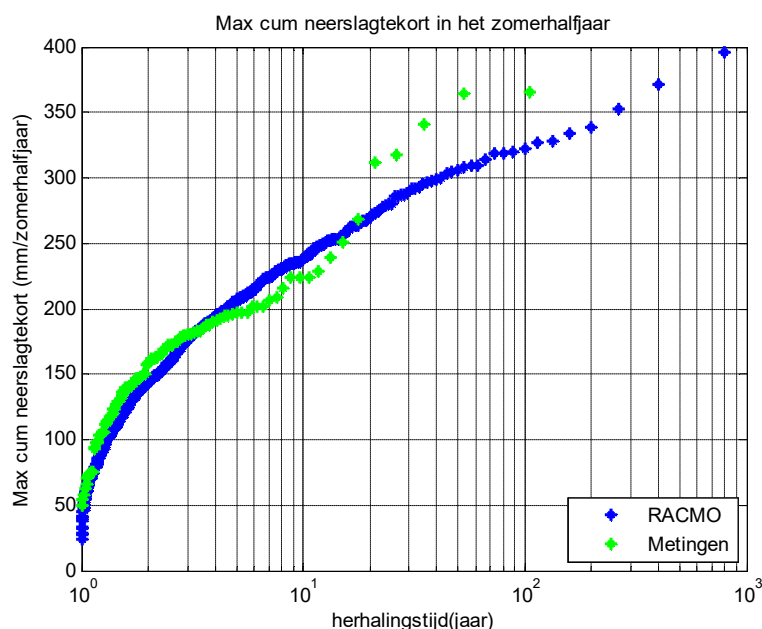
6.2.1 Validatie van synthetische reeksen

De synthetische reeksen zijn alleen bruikbaar als ze een realistisch beeld geven van mogelijke hydro-meteorologische condities die kunnen optreden en bijbehorende kansen. Een belangrijke stap in het onderzoek is daarom de validatie van de methoden. In de validatie vergelijken we de belangrijke (statistische) karakteristieken en kentallen van de synthetische reeksen met die van de historische reeks.

RACMO

Voor klimaatmodellen in het algemeen geldt dat de gesimuleerde waarden voor neerslagvolumes niet nauwkeurig overeen komen met metingen en daardoor niet één-op-één kunnen worden gebruikt in de analyses. Dit is ook het geval voor de combinatie EC-Earth en RACMO. Om die reden is (in een ander kader) een correctie toegepast op de neerslag die met RACMO is gegenereerd. Deze correctie staat in de meteorologie bekend als de 'bias-

correctie'. Na uitvoering van deze correctie komen de statistieken van de synthetische reeks vrij aardig overeen met die van de meetreeks, zie bijvoorbeeld de overschrijdingsfrequenties van het neerslagtekort in Figuur 6-3. Alleen de neerslagtekorten van de vijf droogste jaren uit de historische reeks lijken af te wijken van de frequentielijn die volgt uit de synthetische reeks. Dit komt waarschijnlijk doordat de mate van persistentie tijdens 'extreme' droogteperioden substantieel groter is dan tijdens minder extreme droogteperioden; deze mate van persistentie lijkt onderschat te worden door het klimaatmodel. Paragraaf 6.2.2 gaat nader in op het begrip persistentie.



Figuur 6-3: Frequentielijn van het maximum cumulatief neerslagtekort in het zomerhalfjaar (1 april-30 sept). Voor het bepalen van het neerslagtekort is per tijdstap uit het RACMO-EC-Earth reeks een gemiddelde neerslag en verdamping over Nederland bepaald.

Om afvoerreksen te genereren voor deze variant is de neerslag van RACMO als forcering gebruikt in een hydrologisch model van het Rijnstroomgebied. Dit hydrologische model (HBV) is echter vooral gericht op het simuleren van hoogwaters en het blijkt niet goed te werken voor laagwaters. Gemodelleerde afvoeren zijn over het algemeen te laag, waardoor afvoertekorten in droogteperioden sterk worden overschat door het model. De RACMO reeks kon daarom vooralsnog niet gebruikt worden voor het doeleinde van deze studie. Indien in de toekomst een hydrologisch model beschikbaar komt dat wel goed in staat is om afvoeren in droge perioden te voorspelen, is de RACMO-reeks naar verwachting wel een waardevol alternatief.

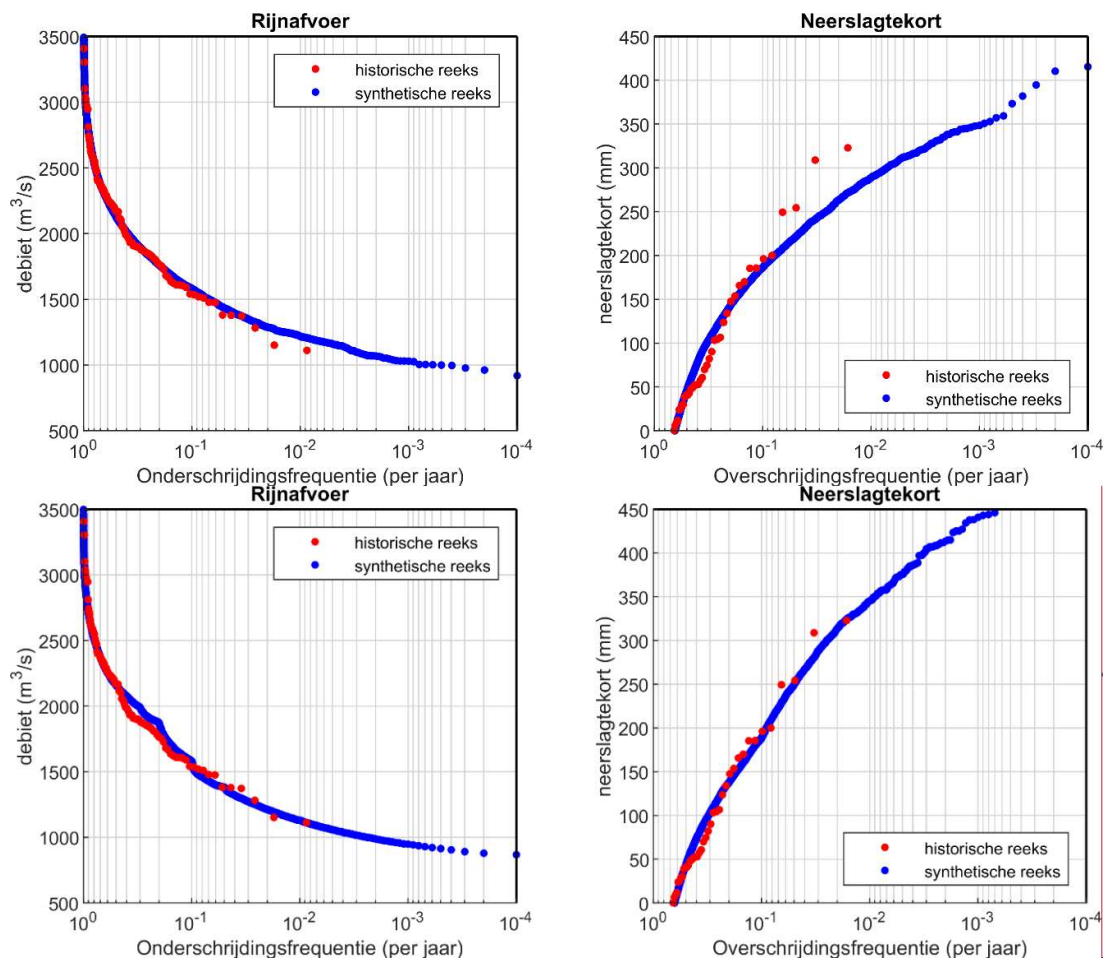
Stochastische modellen

Met de beide type stochastische modellen (ARMA en Simulated Annealing) zijn synthetische reeksen gesimuleerd. In beide gevallen kwamen de kentallen (i) t/m (iii) van paragraaf 6.1.2 op maandbasis goed overeen met die van de meetreeks. Echter, voor de perioden van een zomerhalfjaar en een jaar lijkt de ARMA methode de meest extreme droogteperioden te onderschatten; vergelijkbaar met de resultaten van het RACMO model. Dit is te zien in de bovenste plots van Figuur 6-4 (zomerhalfjaar) en Figuur 6-5 (jaar): de hoogste waarden van het neerslagtekort van de meetreeks (rode punten) liggen substantieel boven de waarden van

de synthetische reeks (blauw). Bij de afvoeren zijn de verschillen klein voor het zomerhalfjaar, maar op jaarbasis liggen de waarden van de meetreeks duidelijk lager en lijken de droogteperioden ook hier onderschat te worden. Met de methode van 'Simulated Annealing' kan deze tekortkoming ondervangen worden. Uit de onderste plots van Figuur 6-4 en Figuur 6-5 blijkt dat de statistieken van de synthetische reeks die met deze methode is gegenereerd goed overeenkomen met die van de meetreeks. In de rest van het onderzoek is daarom gebruik gemaakt van de synthetische reeksen die met 'Simulated Annealing' zijn gegenereerd.

Verskil in neerslagtekort

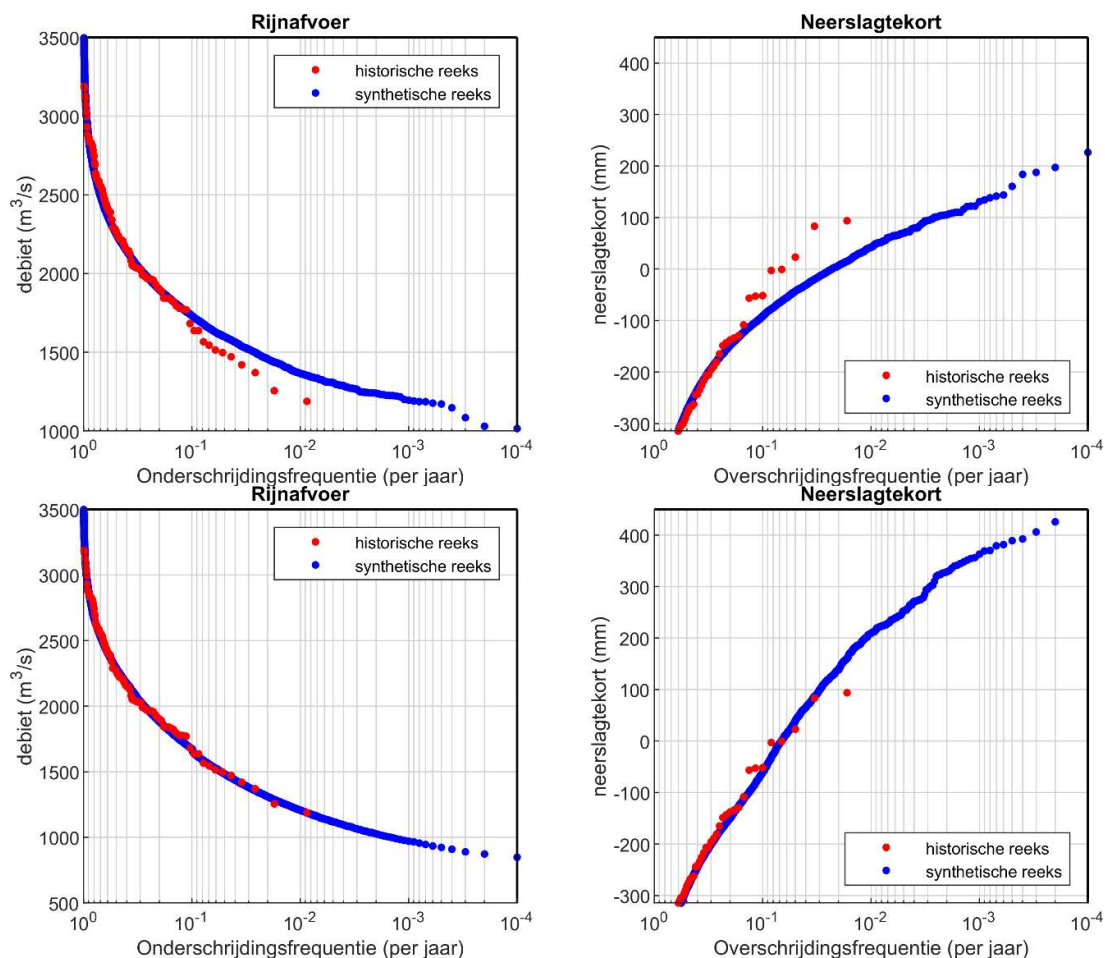
De neerslagtekorten van de historische reeks in Figuur 6 4 verschillen van die van Figuur 6 3. Dat heeft te maken met het feit dat de waarden uit Figuur 6 4 zijn afgeleid uit metingen in De Bilt, terwijl de waarden uit Figuur 6 3 zijn afgeleid uit landsgemiddelde waarden van het nationaal watermodel (NWM).



Figuur 6-4 Overschrijdingskansen van gemiddelde Rijnafvoeren (links) en overschrijdingskansen van neerslagtekorten (rechts) op basis van de meetreeks (rood) en de synthetische reeks (blauw). Boven: ARMA model, onder simulated annealing model. Periode: zomerhalfjaar (april-september).

6.2.2 Persistentie van droogteperioden

De resultaten van het ARMA-model en het RACMO model duiden erop dat de mate van persistentie van de meest extreme droogteperioden wordt onderschat. Met persistentie wordt bedoeld de duur waarin een bepaald weertype aanhoudt. Anders gezegd: de mate van persistentie (de opeenvolging van relatief droge dagen/weken/maanden) is tijdens extreme droogtes substantieel groter dan tijdens minder extreme droogteperioden; dit verschil is groter dan verwacht zou worden op basis van statistieken van de hele meetreeks. Dit is een relevante waarneming, omdat persistentie leidt tot een grotere kans op extremere droogteperioden. Uit Figuur 6-4 en Figuur 6-5 blijkt dat dit effect wellicht niet of onvoldoende gemodelleerd is het RACMO-EC-Earth klimaatmodel en in het ARMA model.



Figuur 6-5 Overschrijdingskansen van gemiddelde Rijnafvoeren (links) en overschrijdingskansen van neerslagtekorten (rechts) op basis van de meetreeks (rood) en de synthetische reeks (blauw). Boven: ARMA model, onder simulated annealing model. Periode: **jaar** (januari-december).

Om de hypothese van de grotere mate van persistentie te staven is in de eerste plaats in de meteorologische literatuur gezocht. Pfliegerer and Coumou (2017) beschrijven dat de kans op

persistentie van warme en koude perioden boven land van het noordelijk halfrond toeneemt als een bepaalde minimale duur wordt overschreden. Dit komt waarschijnlijk door terugkoppelingsmechanismen (zelfversterkende effecten). De neerslag hangt gedeeltelijk weer af van deze verdamping. Vanuit droge bodems vindt weinig verdamping plaats, waardoor er minder vocht in de lucht komt, minder wolken ontstaan, er minder regen valt en meer zonlicht beschikbaar is voor verdamping. Alvarez-Castro et al (2018) concluderen dat in de laatste 30 jaar hitte perioden in Europa vaak gedomineerd worden door een ‘Scandinavian Blocking regime’.

Verder hebben we een analyse uitgevoerd op meetreeksen van 10 West-Europese rivieren. Voor deze rivieren hebben we een vergelijkbare analyse met een ARMA-model uitgevoerd. Voor een aantal rivieren was hetzelfde effect zichtbaar dat de meest extreme droogteperioden onderschat werden. Het omgekeerde, een overschatting van de droogteperiode, kwam niet voor. Dit is wederom een aanwijzing dat de hypothese over de grotere mate van persistentie gedurende extreme droogteperioden correct is.

6.2.3 Herhalingstijden van extreme droogtejaren

In droogtestudies werden in het verleden impact-analyses vaak uitgevoerd voor één of enkele karakteristieke droogte-jaren. De vraag die dan opdoemt is: “wat de herhalingstijd is van dergelijke jaren”? Het probleem is dat hierop geen eenduidig antwoord is te geven. We lichten dit in deze paragraaf toe.

[1] Indien gebeurtenissen door één enkele variabele (bijvoorbeeld het totale neerslagtekort in het zomerhalfjaar) worden gekarakteriseerd is de herhalingstijd betrekkelijk eenvoudig af te leiden en te interpreteren. Alle beschouwde gebeurtenissen kunnen dan namelijk op volgorde van grootte gerangschikt worden. Voor elke gebeurtenis kan dan direct vastgesteld worden hoe vaak deze wordt overschreden, en daaruit kan direct een herhalingstijd geschat worden. Echter, droogte-gebeurtenissen in Nederland worden gekarakteriseerd door (minimaal) twee kwantitatieve variabelen: het afvoertekort en neerslagtekort over een zomerhalfjaar. De volgordelijkheid is dan niet meer eenduidig, omdat bijvoorbeeld in jaar x het neerslagtekort groter is dan in jaar y, terwijl in jaar y het afvoertekort groter is dan jaar x. Welke van deze twee jaren dan extremer is, is lastig vast te stellen en bovendien afhankelijk van de gebruiker. Voor scheepvaart is immers het afvoertekort relevant, terwijl voor de agrarische sector op de hoge gronden het neerslagtekort relevant is.

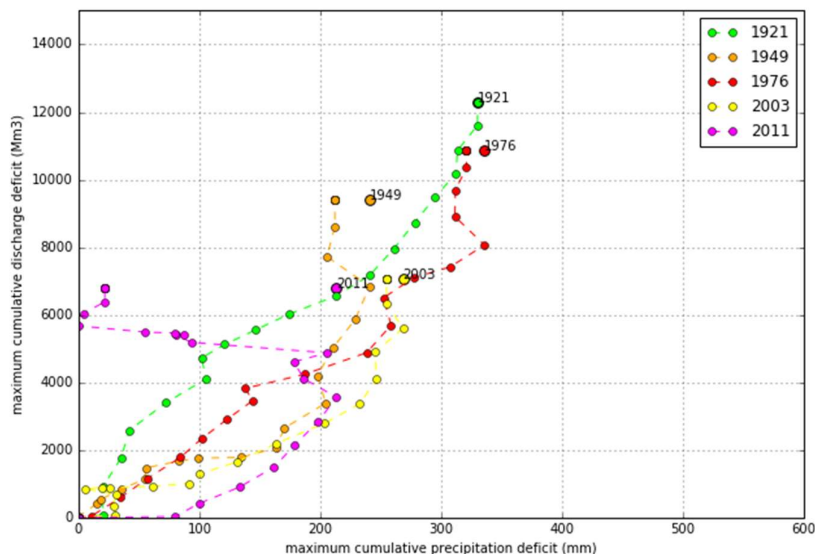
[2] Het neerslagtekort is ruimtelijk variabel en die verschillen kunnen substantieel zijn. In de droge zomer van 2018 en ook de eerste helft van het zomerhalfjaar hebben de hoge gronden in het oosten van het land bijvoorbeeld een veel groter neerslagtekort dan het westen van het land. Welk jaar extremer is kan dus per locatie verschillen.

[3] De totalen over het zomerhalfjaar van het neerslagtekort en het afvoertekort zijn niet volledig bepalend voor de impact, ook het tijdsverloop is relevant.

Voorbeelden

1934 en 2003 zijn vergelijkbare jaren in termen van neerslagtekort en afvoertekort, maar omdat de timing anders is, leidt (uitgaande van het huidige landgebruik) het weerpatroon van 2003 tot grotere problemen met waterkort rondom IJsselmeergebied, terwijl het weerpatroon van 1934 een groter probleem geeft voor scheepvaart op de Waal.

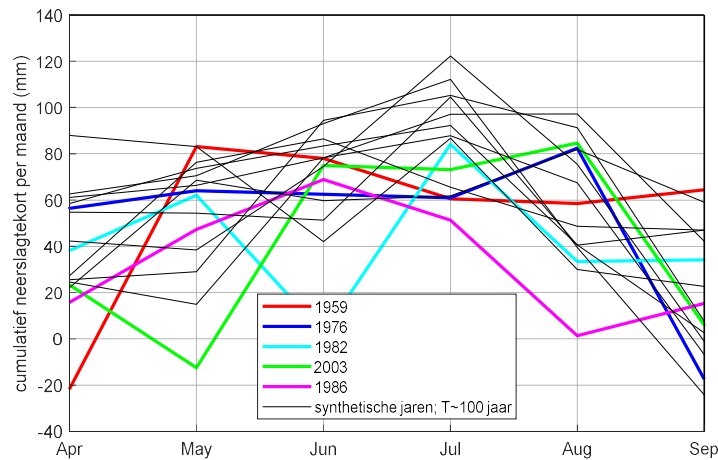
In het kader van IMPREX zijn vijf synthetische droogtejaren doorgerekend met het Landelijke Hydrologische Model (LHM). Deze vijf zijn geselecteerd omdat ze, afgaand op het totale neerslag- en afvoertekort, alle vijf bij benadering dezelfde herhalingstijd hadden. Uit de modelberekeningen bleek het totale oppervlaktewatertekort (som van tekort van oppervlakteberekening, doorspoeling en peilbeheer) bij deze gebeurtenissen echter te variëren van 350 Mm³ tot 550 Mm³; een substantieel verschil.



Figuur 6-6 Tijdsverloop van het cumulatieve neerslag- (De Bilt) en afvoertekort (Lobith) in een aantal historische droge jaren. Elk droogtejaar heeft een eigen kleur. Punten met dezelfde kleur tonen de "tussenstanden" na elke decade van het bewuste (zomerhalf-)jaar.

6.2.4 Tijdsverloop van extreme gebeurtenissen

Voor beleidsmakers is het belangrijk om inzicht te hebben in extreme / minder vaak voorkomende situaties (met een kans van voorkomen van 1/30 tot 1/100 per jaar of mogelijk nog extremer). In paragraaf 6.2.2 is dat in beeld gebracht met totale neerslagtekorten en gemiddelde afvoeren en corresponderende herhalingstijden. Zoals aangegeven in de vorige paragraaf is ook het tijdsverloop relevant. Figuur 6.7 toont ter illustratie het tijdsverloop van maandelijkse neerslagtekorten in de vijf droogste zomers uit de historische reeks en tien zomers uit de synthetische reeks waarin het totale neerslagtekort geschatte herhalingstijd heeft van ongeveer 100 jaar. Het tijdsverloop van de synthetische reeksen kan goed voor beleidsdoeleinden gebruikt worden; het doorrekenen van deze jaren geeft inzicht in mogelijke watertekorten en economische verliezen en hoe deze gereduceerd kunnen worden met maatregelen.

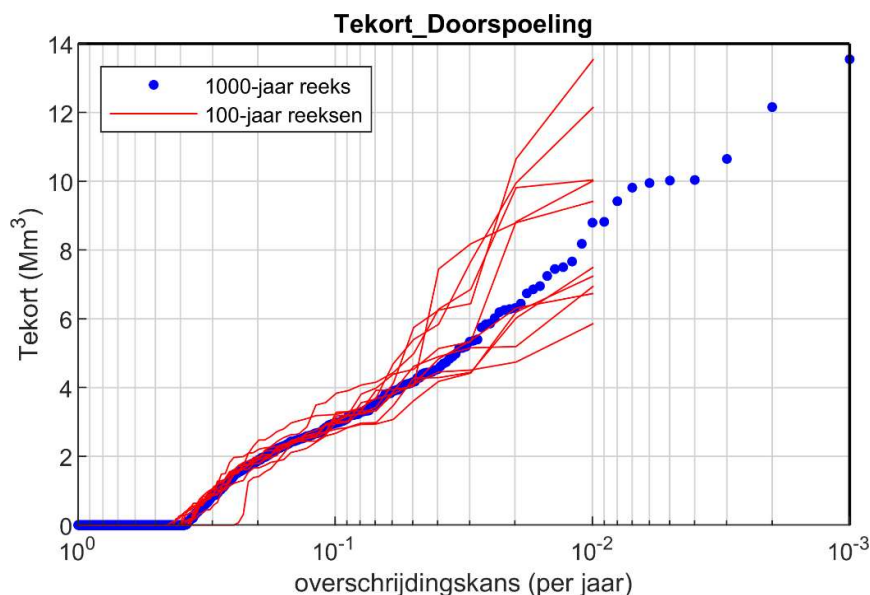


Figuur 6-7 Tijdsverloop van maandelijkse neerslagtekorten in de vijf droogste zomers uit de historische reeks en tien zomers uit de synthetische reeks waarin het totale neerslagtekort geschatte herhalingsjijd heeft van ongeveer 100 jaar.

6.2.5 Doorrekenen van lange tijdreeksen

In paragraaf 6.2.3 is beredeneerd dat het niet mogelijk is om een herhalingsjijd toe te kennen aan een bepaalde droogteperiode/zomerhalfjaar. Om toch een droogterisico (kans*gevolg) te kunnen kwantificeren verdient het daarom aanbeveling om een (lange) tijdreeks door te rekenen met een impact-model. De uitdaging daarbij is de lange rekentijden van impactmodellen zoals het Nationaal Water Model (NWM), die het praktisch gezien lastig maken om een lange reeks van, bijvoorbeeld, duizend jaar door te rekenen. Om die reden is een vereenvoudigd waterverdelingsmodel, QWAST, ontwikkeld. Met dat model is in het kader van IMPREX een reeks van duizend jaar doorgerekend. Echter, de uitkomsten van QWAST bleken nog niet te voldoen aan de gestelde kwaliteitseisen. Vooral de methode voor het afleiden van de watervraag, één van de invoervariabelen van QWAST, uit het neerslagtekort van een synthetische gebeurtenis moet eerst nog verbeterd worden.

Het is derhalve niet gelukt om binnen de termijn van het IMPREX project een realistische reeks van de waterverdeling voor synthetische gebeurtenissen (jaren) af te leiden; dat vergt nog enige doorontwikkeling van de methode om de watervraag voor synthetische reeksen af te kunnen schatten voor het QWAST-model. Het is wel mogelijk om op basis van de uitgevoerde simulaties een impressie te geven van de mogelijke meerwaarde van het doorrekenen van een reeks van 1.000 jaar. Figuur 6-8 maakt bijvoorbeeld een vergelijking voor het watertekort voor doorspoeling tussen enerzijds de synthetische reeks van 1.000 jaar en anderzijds de 10 deelreeksen van 100 jaar. Dit figuur geeft goed inzicht in de mate van onzekerheid in het watertekort bij een gebeurtenis met een herhalingsjijd van 100 jaar, als deze gebaseerd is op een 'meetreeks' van ongeveer 100 jaar (vergelijkbaar met de in Nederland beschikbare meetreeksen van afvoer- en neerslagtekorten). Het gebruik van een (synthetische) reeks van 1.000 jaar lengte kan deze onzekerheid reduceren.



Figuur 6-8 Voorbeeld resultaat van een impact-analyse voor een synthetische reeks van 1.000 jaar; vergelijking van de frequentielijn voor het watertekort voor doorspoeling op basis van de volledige reeks (blauw) met de frequentielijnen op basis van 10 deelreeksen van 100 jaar.

6.3 Conclusies

De belangrijkste conclusies:

Onderzoeksmethoden en modellen

- Er zijn twee typen stochastische modellen ('ARMA' en 'Simulated Annealing') ontwikkeld voor het genereren van lange synthetische tijdreeksen. Met beide modellen zijn realistische en representatieve langjarige synthetische reeksen afgeleid voor het neerslagtekort en het afvoertekort; de karakteristieken van deze reeksen komen goed overeen met die van de historische reeks. Het model met 'Simulated Annealing' presteerde iets beter; het ARMA-model lijkt het neerslagtekort voor de meest extreme droogteperioden te onderschatten.
- Daarnaast zijn met het klimaatmodel RACMO-EC-Earth eveneens langjarige synthetische tijdreeksen voor het neerslagtekort gegenereerd. Dit model geeft eveneens goede resultaten, alleen voor de meest extreme droogteperioden lijkt RACMO-EC-Earth de neerslagtekorten te onderschatten. Het klimaatmodel RACMO-EC-Earth in combinatie met het hydrologische model HBV geeft geen goede resultaten voor de *afvoertekorten*. Het gebruikte HBV-model is vooral gericht op het simuleren van hoogwaters en het bleek niet goed te werken voor laagwaters. De RACMO/HBV afvoerreeks kon daarom vooralsnog niet gebruikt worden voor het doeleinde van deze studie. Indien in de toekomst een hydrologisch model beschikbaar komt dat wel goed in staat is om afvoeren in droge perioden te voorspellen, is de RACMO-reeks naar verwachting wel een waardevol alternatief.
- We hebben een reeks van duizend jaar doorgerekend met een waterverdelingsmodel (QWAST). Echter, de uitkomsten van QWAST bleken helaas nog niet te voldoen aan de gestelde kwaliteitseisen. Vooral de methode voor het afleiden van de watervraag, één van de invoervariabelen van QWAST, op basis van het neerslagtekort van een synthetische gebeurtenis moet eerst nog verbeterd worden. De methode voor het afleiden van een langjarige reeks van impacts van droogte-gebeurtenissen heeft

daarom nu de status van 'proof-of-concept'. De methode kan naar verwachting in de praktijk toegepast worden zodra de benodigde verbetering van QWAST gerealiseerd kan worden.

Resultaten en kennisontwikkeling

- De onderschatting van de neerslagtekorten voor de meest extreme droogteperioden door het ARMA-model en het RACMO-EC-Earth zijn waarschijnlijk toe te wijzen aan een grote mate van persistentie in deze perioden die onvoldoende gerepresenteerd is in deze modellen. Dat wil zeggen: de mate van persistentie (de opeenvolging van relatief droge dagen/weken/maanden) is substantieel groter dan tijdens minder extreme droogteperioden; dit verschil is groter dan verwacht zou worden op basis van statistieken van de hele meetreeks. Een aanvullende analyse van meetreeksen van 10 Europese rivieren en een inventarisatie van meteorologische literatuur ondersteunen deze bevinding. Dit is een belangrijke waarneming, omdat deze persistentie de kans vergroot op extreme droogteperioden zoals in 1976 en 2018.
- We hebben laten zien dat de timing en het samenvallen van neerslagtekort en afvoertekort een substantiële invloed hebben op watertekorten tijdens een zomerhalfjaar. Het totale neerslagtekort en afvoertekort in een (zomer-)halfjaar zijn derhalve geen volledige indicatoren voor de mogelijke gevolgen van droogteperiode.
- De synthetische reeks geeft veel inzicht in de mogelijke gevolgen van verschillende (extreme) droogtegebeurtenissen. Het kan nu toegepast worden in beleidsstudies door bijvoorbeeld extreme gebeurtenissen te selecteren en hiermee een stresstest van het watersysteem uit te voeren.
- De synthetische reeks geeft veel inzicht in de mate onzekerheid van de mate van droogte van een 100-jarige gebeurtenis, gegeven het feit dat deze gebaseerd is op een historische reeks van 100 jaar. Anders gezegd: ook zonder klimaatverandering zou het meest extreme droogtejaar in een volgende periode van 100 jaar weleens veel extremer of juist minder extreem kunnen zijn dan het jaar 1976. De synthetische reeks geeft inzicht in deze mate van variatie. Dat is van belang om te weten hoeveel 'robuustheid' in het systeem aangebracht moet worden om dergelijke onzekerheden te kunnen mitigeren.

7 Referenties

- Box, G. E., and Jenkins, G. M.: Time Series Analysis, Forecasting and Control. Holden-Day, San Francisco, 537pp, 1970.
- Carmen Alvarez-Castro, M., Faranda D. and Yiou, P., 2018: Atmospheric Dynamics Leading to West European Summer Hot Temperatures Since 1851 Complexity, Volume 2018, <https://doi.org/10.1155/2018/2494509>
- Deltares, Stratelligence & LEI, 2015. Syntheserapport: Economische analyse van de zoetwatervoorziening in Nederland. Ontwikkeling van een economisch instrumentarium om de risico's van watertekorten te bepalen.
- Diemanse, F., 2017: Stochastic simulation of river discharge and meteorological parameters for drought risk analysis in The Netherlands, IMPREX rapport.
- Diemanse, F., Kramer, N. and Mens, M., 2018: Stochastic simulation of river discharge and meteorological parameters for drought risk analysis in The Netherlands, IMPREX rapport
- HKV en Deltares, Presentatie Risicoanalyse droogte Berkel, 8 november 2018.
- Hurk, B., van den, Van Meijgaard, E., De Valk, P., Van Heeringen and Jan Gooijer: Analysis of a compounding surge and precipitation event in the Netherlands, Environ. Res. Lett. 10 (2015)
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., and Vecchi, M. P., 1983: Optimisation by simulated annealing, Science, 1983, Vol. 220, No. 4598, pp. 671-680
- Pfleiderer, P. and Coumou, D., 2018: Quantification of temperature persistence over the Northern Hemisphere land-area, Climate Dynamics, Volume 51, 1–2, pp 627–637.
- Pol, J. en J. van der Zwet, 2018: IMPREX waterbeschikbaarheid - onderdeel onzekerheden – memo “Impact onzekerheid afvoermeting Olst”, juli 2018.
- Polman, N., Peerlings, J., Van der Vat, M., 2019. Economische effecten van droogte voor de landbouw in Nederland, samenvatting.
- Schasfoort, F., De Jong, J., Meijers, E., 2019. Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater.
- Vat, M. van der, Schasfoort, F., Ter Maat, J., Mens, M., Delsman, J., Kok, S., Van Vuren, S., Van der Zwet, J., Wegman, C., Polman, N., Ruijgrok, E., 2016. Risicobenadering voor de Nederlandse zoetwatervoorziening, Methode ontwikkeling en toepassing op casestudies in Nederland.
- Vermeulen, C., 2018: IMPREX – hoofdwatersysteem – resultaten 2018. powerpoint Onzekerheid Hoofdwatersysteem v03.pptx.
- Zwet, J. Van der, Kramer, N., Van Vuren, S., Diemanse, F., Versteeg, R. en Mens, M. 2017: IMPREX Zoetwatervoorziening 2017, Onderdeel 1: Waterbeschikbaarheid hoofdwatersysteem, Deltares rapport nov 2017, 1221519-011-ZWS-0022
- Zwet, J. van der, 2018: IMPREX waterbeschikbaarheid - onderdeel onzekerheden – memo “Vergelijking inlaatdebieten IJsselmeergebied (metingen, Nationaal Water Model en empirische formule)”, juli 2018.



IMPROVING PREDICTIONS AND MANAGEMENT OF HYDROLOGICAL EXTREMES



 @imprex_eu



Locatie Delft

Deltares
Boussinesqweg 1
2629 HV Delft

Locatie Utrecht

Daltonlaan 600
3584 BK Utrecht

088-335 8273
www.deltares.nl

Hoofdkantoor

HKV lijn in water BV
Botter 11-29
8232 JN Lelystad

Nevenvestiging

Informaticalaan 8
2628 ZD Delft

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