

Toepassing van de risicobenadering voor droogte

Dorien Honingh, Rudolf Versteeg, Susanne Groot, Femke Schasfoort, Marnix van der Vat en Joost Delsman.

Artikel

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. In de droogterisicobenadering wordt rekening gehouden met de variabiliteit van droogtecondities en de potentiële negatieve gevolgen van droogte voor de maatschappij. Niet de kans op droogte maar de kans op gevolgen wordt bepaald, en leidt tot een droogterisicoprofiel per gebied en gebruiksfunctie. De methode is toegepast in twee voorbeeldgebieden (Berkel en Amsterdam-Rijnkanaal/Noordzeekanaal). In beide voorbeelden week de perceptie van gevolgen van droogte af van de bevindingen. Deels is het effect van droogte kleiner dan verwacht en deels wijkt het effect van maatregelen af van de verwachting. De risicobenadering stelt eisen aan de te gebruiken modellen. Ze moeten voldoende gedetailleerd zijn en het effect van maatregelen kunnen simuleren. Niet voor elke functie zijn de effecten al uit te drukken in monetaire waarden, wat vergelijken van de functies lastig maakt. We bevelen aan in te zetten op doorontwikkeling van effectmodules en deze te valideren aan de droogte van 2018. We constateren dat de stapsgewijze aanpak loont. Er ontstaat een gezamenlijk inzicht in en begrip van de functies die risico lopen en de grootteorde van het risico. De risicobenadering wordt gezien als een geschikte methode om besluiten over waterbeschikbaarheid en -verdeling objectief te onderbouwen.

Inleiding

De droogte van 2018 heeft een grote impact gehad op verschillende sectoren, waaronder landbouw, scheepvaart, recreatie en natuur, zoals te zien is in de nieuwsartikelen uit afbeelding 1.



Afbeelding 1

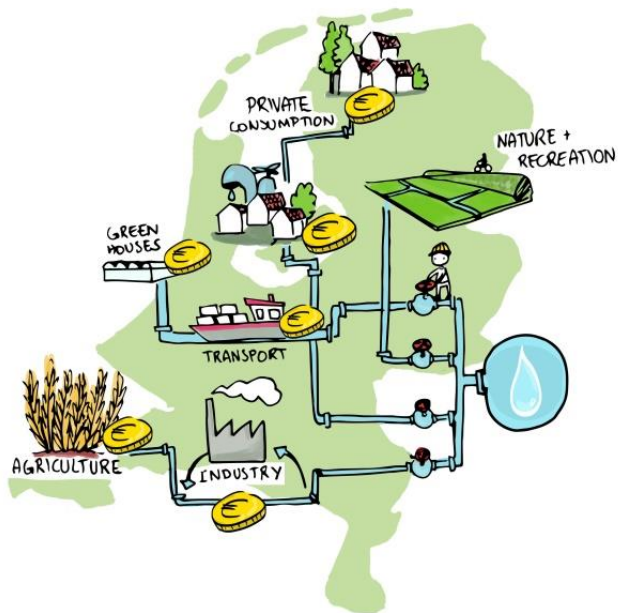
Impressie van nieuwsartikelen rondom de droogte van 2018

Aanhoudende droogte zorgt onder andere voor verlaagde grondwaterstanden, mogelijke droogval van hoger gelegen beken, verslechterde waterkwaliteit en een verhoogd risico op natuurbranden. Tijdens de droogte van 2018 zijn er verschillende beregeningsverboden ingesteld, variërend van geen oppervlaktewater, grondwater of algehele onttrekkingen voor beregeningsdoeleinden (Beers, 2019). Beregeningsverboden in combinatie met de droogte hebben voor een lagere oogst van gewassen als mais, suikerbieten en uien gezorgd (Esselink, 2018). Daarnaast werden meer structurele maatregelen genomen zoals het vergroten van de doorvoercapaciteit van inlaatwerken en het structureel verhogen van (grond)waterstanden door het instellen van hogere zomer- en winterpeilen. Deze maatregelen zijn gericht op het voorkomen of verminderen van de negatieve effecten van droogte. Er zijn ook kosten, de kosten voor de aanleg van de maatregelen, maar ook ten gevolge van de negatieve effecten voor andere belangen. Een risicobenadering, waarbij de kans van optreden van een effect expliciet wordt meegenomen, kan helpen om de kosten en baten objectief af te wegen. Het waterveiligheidsdomein, waar een risicobenadering voor waterveiligheid wordt toegepast, geldt hierbij als voorbeeld. Dit artikel beschrijft aan de hand van twee praktijkvoorbeelden hoe de binnen het onderzoeksproject *IMproving PRedictions and management of hydrological EXtremes (IMPRES)* ontwikkelde risicobenadering voor droogte (Schasfoort e.a., 2019) kan helpen bij het afwegen van verschillende droogtemaatregelen.

IMPRES

In het najaar van 2015 is het onderzoeksprogramma IMPRES gestart (zie ook www.impres.eu). Het programma, met als trekker het KNMI, is onderdeel van het Europese subsidieprogramma HORIZON2020. Centraal in IMPRES staat het verbeteren van voorspellingen van meteorologische en hydrologische extremen, het genereren van inzicht in de onzekerheden én het ontwikkelen en toepassen van concepten om de risico's gerelateerd aan droogte en hoogwater te kwantificeren en te beheersen. Samen met het Ministerie van I&W, Rijkswaterstaat, STOWA en een aantal waterschappen is een onderzoeksprogramma geformuleerd met als doel het ontwikkelen en toepassen van een risicobenadering voor droogte. De methode levert inzicht in de risico's en een doorkijk naar de effecten van maatregelen. Met de risicobenadering voor droogte kan antwoord worden gegeven op de vraag: wat is het huidige en toekomstige risico van droogte? Waar en welke functies ondervinden de meeste risico? Wat zijn de economische effecten van zoetwatermaatregelen? Hiermee kunnen risico-gestuurde afwegingen gemaakt worden in de verdeling van zoetwater tijdens droogte (Afbeelding 2).

Hieronder lichten we de gebruikte methode kort toe. Om de methode te toetsen en verder te ontwikkelen is gebruik gemaakt van twee praktijkvoorbeelden: Berkel en Amsterdam-Rijnkanaal/Noordzeekanaal. Deze praktijkvoorbeelden bespreken we verderop in dit artikel.



Afbeelding 2

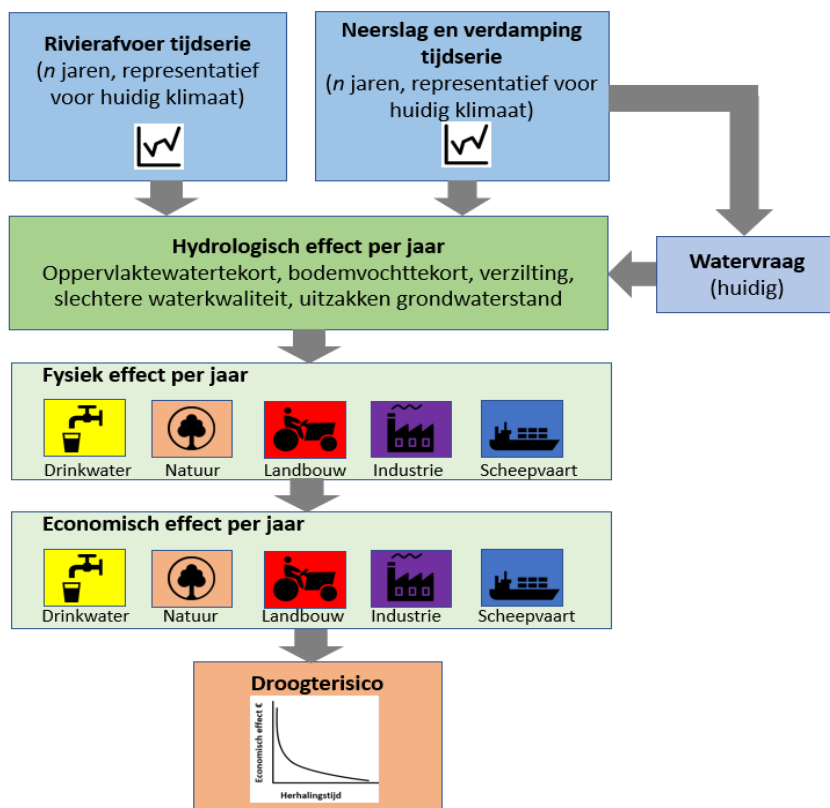
Schets van de waterverdeling op basis van droogterisico (Groot e.a. 2018)

Risicobenadering voor droogte

Met behulp van de risicobenadering voor droogte kan een risicoprofiel voor verschillende functies worden afgeleid. Door het risico met en zonder maatregelen te berekenen, zijn de baten van maatregelen vast te stellen. De methode bestaat uit de volgende stappen die in samenspraak met belanghebbenden zijn doorlopen:

1. Bepalen doel en afbakening
2. Potentiële effecten droogte en 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 (Meerjarige Kosten-Baten Analyse)

Afbeelding 3 laat het overzicht van het instrumentarium zien. Hierbij zijn er twee invoerparameters die dienen als droogte-indicatoren: afvoer en neerslag/verdamping. Deze parameters vormen de modelinvoer voor het hydrologisch model dat de fysieke effecten voor verschillende sectoren berekent. Een gekoppeld grond- en oppervlaktewatermodel heeft de voorkeur. Deze fysieke effecten worden vervolgens met sectorspecifieke modules doorgerekend naar economische effecten, zowel voor extreme jaren als gemiddelde jaarlijkse schade. Op deze manier kan het totale droogterisico inzichtelijk gemaakt worden en kunnen gemiddelde jaarlijkse schades tussen verschillende sectoren vergeleken worden. De ontwikkelde methode is uitgebreider beschreven in Schasfoort e.a., 2019.



Afbeelding 3 Voorbeeld berekening huidig droogterisico (uit Schasfoort e.a., 2019)

Voorbeeldgebied 1: Berkel

Overzicht Berkel en onderzoek

Het stroomgebied van de Berkel bevindt zich in het oosten van Nederland in het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel. Het totale stroomgebied is ruim 94.600 ha groot, waarvan 51.600 ha in Nederland en 43.000 ha in Duitsland. Alleen in het bovenstroomse deel in Duitsland heeft de Berkel een natuurlijk verloop (Waterschap Rijn en IJssel, 2014). Op meerdere locaties wordt water uit de Berkel ingelaten naar agrarisch gebied. De Berkel heeft een KRW-doelstelling en voldoet in de huidige situatie niet, onder andere door te lage stroomsnelheden in de beek. Eén van de mogelijkheden om de stroomsnelheden te verhogen is om minder water in te laten naar aanliggende gebieden en zodoende meer water in de Berkel te houden. Het onderzoek heeft zich toegespitst op één inlaatgebied rond drinkwaterwinning Haarlo en Eibergen (Afbeelding 4). Er is onderzocht wat de effecten zijn als de inlaat Hanninkgoot wordt stopgezet. Deze inlaat is deels bedoeld als compensatie voor de onttrekking van grondwater voor drinkwater. Om te onderzoeken of eventuele negatieve effecten van het stoppen van de inlaat op de landbouw gecompenseerd kunnen worden met maatregelen als peilverhoging, infiltratiedrains en het stoppen van de drinkwaterwinning zijn de effecten hiervan op het droogterisico onderzocht. De functies die hier een potentieel droogterisico hebben zijn landbouw, natuur (KRW) en drinkwater. Daarnaast is het effect op wateroverlast en het risico van de maatregelen meegenomen.

Toepassen risicobenadering Berkel

Voor het berekenen van het droogterisico is gebruik gemaakt van een grondwatermodel gebaseerd op Amigo (Hobbelt en Klutman, 2017) waarin MODFLOW en MetaSWAP gekoppeld zijn. Er is een tijdreeks van negen jaar beschikbaar (2002-2010). Dit is te kort om onderbouwd uitspraken te kunnen doen over extremen, maar er kan een jaarlijks verwacht droogterisico worden berekend. Met AGRICOM in combinatie met de Prijsstool landbouw (Polman e.a., 2019) zijn de opbrengsten voor de landbouw bepaald en vertaald naar economische opbrengst. Hierbij is het prijseffect, afhankelijk van vraag en aanbod, van de landbouwproducten meegenomen.

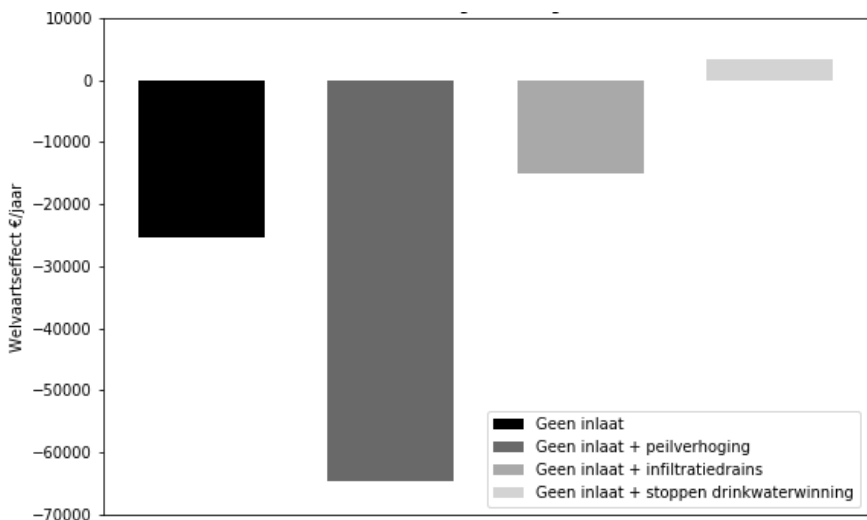


Afbeelding 3 *Indicatie Berkelstroomgebied met impressie*

De verwachte opbrengst voor de landbouw is in de referentiesituatie met het huidige klimaat 1,4 K€/ha/jaar en voor het gehele gebied 4,4M€/jaar. Door het warmere klimaat in het WARM2050 klimaatscenario, stijgt deze opbrengst met 8% tot 4,8 M€/jaar. In Afbeelding 4 is voor de maatregelen het welvaartseffect weergegeven voor het huidige klimaat. De basismaatregel, waarbij geen water wordt ingelaten bij Hanninkgoot zonder verdere compensatie, levert een opbrengstderving van 0,6% ten opzichte van de Ausgangssituatie (25 K€/jaar). In combinatie met extra peilverhoging jaarrond is de opbrengstderving 1,5% van de Ausgangssituatie (65 K€/jaar). De verwachting dat een peilverhoging minder negatief effect tot gevolg heeft blijkt dus niet te kloppen. Dit komt doordat een peilverhoging op de lagere percelen leidt tot meer negatieve effecten door hoge grondwaterstanden, vooral in natte jaren. De schade door wateroverlast ten gevolge van de maatregel neemt iets toe door de peilverhoging (-20%), maar ten opzichte van de verandering in de opbrengstderving speelt dit een kleine rol (-0,1%). Geen inlaat in combinatie met infiltratiedrains reduceren het droogterisico zoals verwacht wel. De opbrengstderving is 0,3% in plaats van 0,6%. Het stoppen van drinkwaterwinning in combinatie met het stoppen van de inlaat zou zelfs het gehele risico voor de landbouw verminderen (stijging in opbrengst van 0,1%). De resultaten voor het KNMI WARM2050 klimaatscenario laten zien dat de potentiële opbrengst toeneemt, maar dat ook het welvaartseffect voor de maatregel waarbij er geen water meer bij Hanninkgoot wordt ingelaten met een factor 2 toeneemt. Hierdoor worden andere extra maatregelen om het welvaartseffect te verminderen dus eerder rendabel.

Voor de KRW (waterkwaliteit) is het effect van de maatregel stoppen inlaat Hanninkgoot onderzocht met behulp van een stromingsmodel van de Berkel. Hiervoor zijn uit metingen de gemiddelde voorjaars- en zomerafvoeren afgeleid, en via het model de stroomsnelheden in de Berkel bepaald voor de situatie met en zonder inlaat bij Hanninkgoot. Het stoppen van de inlaat blijkt een zeer beperkt effect op de KRW-doelen voor de Berkel te hebben doordat slechts een klein percentage van de totale Berkel-afvoer bij inlaat Hanninkgoot wordt ingelaten. Door de inlaat te stoppen worden de stroomsnelheden in de Berkel slechts marginaal hoger. De KRW-doelen worden hiermee bijlange na niet bereikt.

Uit gesprekken met het drinkwaterbedrijf is gebleken dat voor de drinkwaterwinning geen sprake is van een droogterisico. Op voorhand werd de drinkwaterwinning wel als droogtegevoelig beoordeeld. In de praktijk kan in de huidige situatie echter voldoende water onttrokken worden en compenseert het drinkwaterbedrijf de agrariërs voor droogteschade. De verwachting voor de toekomst is dat dit niet veranderd.



Afbeelding 4 Effect van de maatregelen bij huidig klimaat

Conclusie Berkel

Stoppen van de inlaat bij Hanninkgoot heeft een negatief economisch effect voor landbouw, maar dit effect is zeer beperkt. Het negatief effect kan worden tegengegaan door het aanleggen van infiltratiedrains of het stoppen van de drinkwaterwinning. De landbouw heeft er baat bij om de drinkwaterwinning te stoppen. Er zijn echter ook nadelen verbonden aan het stoppen van de winning (de winning zal moeten worden verplaatst). Deze nadelen zijn hier buiten beschouwing gelaten. Peilverhoging heeft een negatief economisch effect. Dit komt vooral doordat er in natte jaren een negatief effect is van hoge grondwaterstanden op lage percelen. Als het peil alleen opgezet wordt bij een verwachte extreme droogte, waarvoor een betrouwbare voorspelling van minimaal een maand vooruit noodzakelijk is, zou deze maatregel potentieel minder nadelig zijn, of zelfs een positief effect kunnen hebben.

Verwacht wordt dat de landbouwopbrengst in de toekomst zal stijgen. Hiermee neemt

ook het effect van maatregelen toe. Dit houdt in dat het welvaartseffect door het stoppen van inlaat Hanninkgoot groter wordt, dus nadeliger voor landbouw. Hierdoor ontstaat er meer investeringsruimte voor een mitigerende maatregel zoals het aanleggen van infiltratiedrains, en een verschuiving van de kosten-batenratio door toename van de baten. De afweging van het droogterisico voor verschillende functies is in dit voorbeeld niet gemaakt, omdat het risico voor andere functies dan landbouw nauwelijks beïnvloed wordt door de maatregel (KRW-doelen Berkel) of afwezig is (drinkwater). De onderzochte maatregel, stoppen van de inlaat, heeft als doel meer water in de Berkel houden. Het effect hiervan op de KRW doelen is verwaarloosbaar. Dit doel levert geen aanleiding om de inlaat bij Hanninkgoot te stoppen.

Toepassen van de droogterisicobenadering heeft geleid tot inzicht in het droogterisico en het effect van maatregelen. Voor het huidige klimaat zijn de onderzochte maatregelen waarschijnlijk niet kosten-effectief, maar richting 2050 zal dit verschuiven. De grootste meerwaarde van het toepassen van de methode is misschien wel dat het gesprek over de effecten van droogte, het bijbehorend risico en het effect van maatregelen door de belanghebbenden gezamenlijk gevoerd is. Dit resulteerde in een gedeeld en onderbouwd beeld van de effecten van droogte.

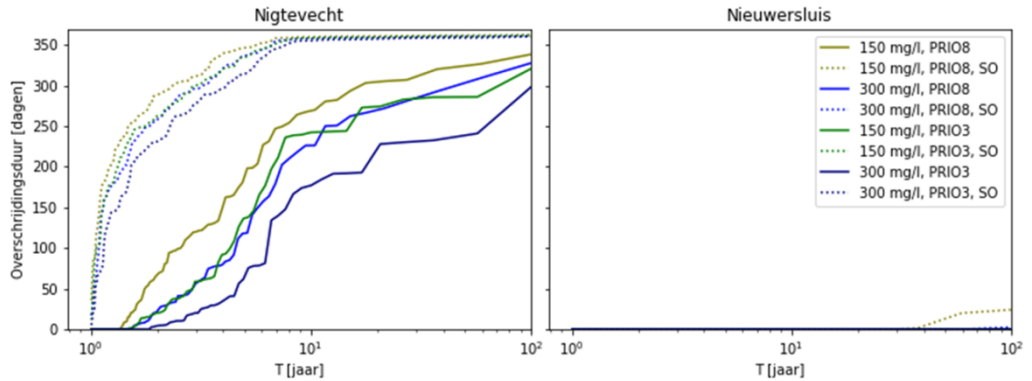
Voorbeeldgebied 2: Amsterdam-Rijnkanaal/ Noordzeekanaal (ARK/NZK) ***Inleiding ARK/NZK gebied en onderzoek***

Het ARK/NZK gebied wordt beheerd door Rijkswaterstaat en de aan het ARK/NZK grenzende waterschappen Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK), Waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV), Hoogheemraadschap van Rijnland (HHR) en Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR). Het ARK/NZK speelt een rol in wateraanvoer en waterafvoer naar deze waterschappen. De afvoer geschiedt voornamelijk via sluis en gemaal IJmuiden. Bij IJmuiden dringt zout binnen op het NZK vanwege de schutbewegingen in de scheepvaartsluis. Binnen dit voorbeeld is gekeken naar de gevolgen van de prioriteit van het doorspoelen van het ARK op functies als natuur en landbouw. Op basis van de landelijke verdringsreeks (www.infomil.nl) zijn er voor het ARK/NZK systeemprioriteiten toegekend voor de verschillende waterafhankelijke sectoren en belangen. Als uitgangssituatie heeft doorspoelen met als doel het tegengaan van zoutindringing prioriteit 8 gekregen (laag). Als maatregel is het toekennen van een hogere prioriteit aan doorspoeling (prioriteit 3) onderzocht. Binnen de varianten hoge en lage prioriteit doorspoeling is er nog gekeken naar een scenario met en een scenario zonder selectieve onttrekking. Selectieve onttrekking is een constructieve maatregel in het Noordzeekanaal die de toegenomen zoutindringing door de nieuwe zeesluis bij IJmuiden moet compenseren. Vervolgens is het welvaartseffect voor landbouw, natuur, drinkwater en scheepvaart beschouwd.

Toepassen risicobenadering ARK/NZK

In het ARK/NZK gebied bevindt zich waardevolle aquatische natuur (Vechtplassen) die gevoelig is voor zout. Om het peil te handhaven wordt bij Nigtevecht water uit het ARK/NZK ingelaten naar de Vecht. Afbeelding 5 laat de overschrijdingsduren van chlorideconcentraties zien bij Nigtevecht en Nieuwersluis. Bij Nigtevecht worden de grenzen in chloridegehalte van 150 mg/l en 300 mg/l voor lage prioriteit doorspoeling vaak overschreden. Het potentiële aantal waterplanten neemt sterk af bij chloridegehalten tussen de 150 en 300 mg/l. Voor macrofauna neemt het potentiële aantal soorten pas sterk af bij chloridegehalte hoger dan 1000 mg/l (Delsman e.a.

2017). De huidige aantallen zijn echter niet bekend, waardoor slechts de conclusie kan worden getrokken dat er momenteel een risico bestaat op soortenverlies ten gevolge van hoge chlorideconcentraties bij Nigtevecht. Daarnaast is niet bekend hoe inlaat van water met een hoger chloridegehalte zich vertaalt in optredende chloridegehalten in de plassen zelf.



Afbeelding 5 De overschrijdingsduur van chloridegehalten van 150 mg/l en 300 mg/l bij Nigtevecht en Nieuwersluis voor verschillende herhalings tijden. Hierbij is de stippellijn de situatie met selectieve onttrekking en de doorgetrokken lijn de resultaten voor de situatie zonder selectieve onttrekking.

Langs het ARK liggen 2 innamepunten voor **drinkwater**: één in Nieuwegein en een noodinlaat bij Nieuwersluis. De locatie Nieuwegein wordt niet bedreigd door zoutindringing vanuit het NZK. Voor Nieuwersluis geldt dat alleen bij een lage prioriteit doorspoeling de drinkwaternorm van 150 mg/l overschreden wordt met een herhalings tijd van T=50 jaar. Dit gebeurt alleen als er bij de Nieuwe Zeesluis (IJmuiden) geen selectieve onttrekking van zout plaatsvindt (afbeelding 5). Omdat Nieuwersluis een noodinlaat is die zelden gebruikt wordt en ingelaten water hier wordt bijgemengd met zoet water vanuit de Bethunepolder, is het droogterisico voor drinkwater verwaarloosbaar.

Het effect voor **scheepvaart** is gerelateerd aan de inzet van de Klimaatbestendige Wateraanvoer (KWA+). Bij verhoogde chlorideconcentraties in de Hollandse IJssel wordt via de Oude Rijn en Gekanaliseerde Hollandse IJssel water uit het ARK aangevoerd naar westelijk Nederland. In KWA periodes wordt er meer water ingenomen op het ARK en is er daarom minder sluis capaciteit beschikbaar voor scheepvaart. De relatie tussen inlaathoeveelheid en schutbeperking is niet op dit detailniveau uitgewerkt en daardoor is er geen verschil in het bepaalde risico.

Het welvaartseffect voor **landbouw** ten gevolge van watertekort en zoutgehalte is berekend met het model AGRICOM in combinatie met de Prijstool landbouw. Hierbij is het prijseffect (de prijs van landbouwproducten is afhankelijk van vraag en aanbod) van de landbouwproducten meegenomen en ook is rekening gehouden met beregeningskosten. De potentiële landbouwopbrengst met maatregel 'hogere prioriteit doorspoelen' is een paar procent (en daarmee 4 Meuro) lager dan de opbrengst in de huidige situatie (met lage prioriteit voor doorspoelen), omdat er in de huidige situatie meer water beschikbaar is voor landbouw. Het verschil is kleiner dan verwacht, onder andere omdat de beregeningskosten hoger zijn in het scenario met hogere

waterbeschikbaarheid (lage prioriteit voor doorspoelen). Tabel 2 toont de economische effecten van de maatregel. Indien gerekend wordt met prijselasticiteit, halveert het welvaartseffect van een verhoogde doorspoelprioriteit.

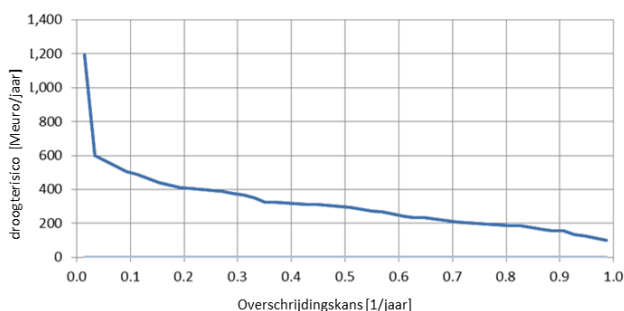
Tabel 2 Vergelijking potentiële welvaartseffecten landbouw hoge (PRIO3) en lage (PRIO8) prioriteit doorspoeling

Potentieel welvaartseffect	PRIO3 [Meuro/jaar]	PRIO8 [Meuro/jaar]	Δ [Meuro/jaar]	Toename [%]
gemiddeld	-124,3	-120,4	-3,9	3,3
1976	-422,1	-401,6	-21,7	5,4

Afbeelding 6 toont het droogterisicoprofiel voor het ARK/NZK. Dit komt neer op het risicoprofiel voor de functie landbouw, omdat het risico voor scheepvaart in verhouding beperkt is, drinkwater vrijwel geen risico blijkt te hebben en het risico voor natuur hierin niet is meegenomen.

Conclusie ARK/NZK

Het blijkt nog niet goed mogelijk om de niet-monetaire functie natuur goed mee te nemen in de risicobenadering, omdat hiervoor de effectmodule nog ontbreekt. Het is daardoor lastig om een kosten-baten afweging te maken tussen bijvoorbeeld landbouw en natuur. Er zijn meer gegevens nodig over de chloridegevoelige natuur in het ARK/NZK gebied, om beter in beeld te hebben wat er potentieel verloren kan gaan bij overschrijding van bepaalde chloridegehalten.



Afbeelding 6 *Droogterisicoprofiel ARK-NZK*

Het droogterisico werd op voorhand hoger geschat dan nu uit de analyse blijkt, en ook het effect van de onderzochte maatregel werd overschat. Het voeren van de dialoog over effecten van droogte en maatregelen blijkt ook hier een meerwaarde te hebben. Belanghebbenden benadrukken de toepassing van een risicobenadering voor droogte als mogelijk middel om de verdringingsreeks kwantitatief te onderbouwen en verder te detailleren naar een onderbouwde en gedragen regionale uitwerking. Een vervolgactie kan zijn om de opgedane kennis om te zetten naar op risico-gebaseerde operationele sturing in tijden van droogte.

Bevindingen en discussie

In perioden van droogte worden maatregelen genomen om negatieve economische effecten te beperken. Over de effectiviteit van maatregelen was weinig bekend. De

resultaten van toepassing van de de droogterisicobenadering op de twee voorbeeldgebieden tonen aan dat maatregelen om opbrengstderving te voorkomen mogelijk een zeer beperkt en soms zelfs een negatief welvaartseffect hebben. Voor beide voorbeeldgebieden blijkt het droogterisico kleiner dan verwacht.

Een belangrijke bevinding is dat het voeren van het gesprek, op systematische wijze geholpen door de risicomethode, tot nieuwe inzichten en een gedeeld begrip onder betrokkenen leidt. De vooraf ingeschatte droogterisico's en de effecten van maatregelen op risicodragende functies bleken in de voorbeeldgebieden kleiner dan gedacht. Deels kan dit gerelateerd zijn aan onzekerheden in het instrumentarium. Deels ook blijkt de kans op problemen in de voorbeeldgebieden gewoon niet zo groot. Door vooraf met alle belanghebbenden te bespreken wat er verwacht wordt en ook de resultaten te delen, is er een gedeeld begrip ontstaan van het watersysteem, de effecten bij droogte en het handelingsperspectief. We bevelen aan om in het vervolg na uitvoeren van stap 1 en 2 (bepalen doel en afbakening en identificeren van potentiële effecten van droogte en maatregelen, samen met belanghebbenden) expliciet stil te staan bij de grootte van de verwachte effecten. Als dan duidelijk is dat er geen grote effecten te verwachten zijn, en er geen belangentegenstellingen ontstaan, leveren de stappen 1 en 2 de grootste meerwaarde van de methode. Vaak zal de kwalitatieve analyse (na stap 2) echter juist noodzakelijk zijn om de grootte van het droogterisico en effecten van maatregelen te kunnen bepalen. Een ander belangrijk inzicht is dat de samenhang tussen de functies cruciaal is, en ook in de risicobenadering expliciet tot uitdrukking moet komen. Veel verdelingsvraagstukken zijn balanskwesaties, positief effect voor de ene functie is negatief effect voor de andere.

In de risicobenadering is het een sterk punt dat de oorzaken van droogte (meteorologisch en hydrologisch) goed worden meegenomen, zodat de kans op de gevolgen bepaald kan worden. Zo is een gemiddeld economisch effect te berekenen, wat inzicht geeft in de investeringsruimte voor maatregelen. Hiermee kan een kosten-baten afweging van maatregelen gemaakt worden. De nauwkeurigheid van het risicoprofiel hangt samen met de nauwkeurigheid van de hydrologische modellen en de effectmodellen. We bevelen daarom aan om na stap 1 en 2 in de methode goed af te wegen welk model het meest geschikt is. Het moet beschikken over het juiste ruimtelijk detailniveau en de voorziene maatregelen moeten ermee geschematiseerd kunnen worden. Daarbij is voor de toepassing relevant dat rekentijden beperkt blijven. Voor de effectmodules bevelen we aan ze verder te ontwikkelen. De droogte van 2018 biedt een kans ze te valideren, en ze kunnen worden uitgebreid met recente kennis uit andere trajecten, zoals de Waterwijzer Landbouw. Het droogterisico van natuur is nog niet voldoende in beeld. Hoeveel willen we investeren om negatieve effecten in een natuurgebied te beperken? Hoeveel negatieve effecten op natuur vinden we acceptabel als daarmee het welvaartseffect op landbouw verkleind wordt? We bevelen aan een effectmodule voor natuur te ontwikkelen.

Dit onderzoek is medegefinancierd door het Ministerie van I&M, Rijkswaterstaat, STOWA, het Hoogheemraadschap van Rijnland, waterschappen uit de projectgroep ZON, Deltares en HKV en de Europese Unie. IMPREX heeft financiering ontvangen onder Europese Unie HORIZON 2020 Subsidieovereenkomst 641811.

Literatuur

Beers, M. (2019, 2 april) Waterschap De Dommel verbiedt het gebruik van grondwater; in: *Brabants Dagblad* (<https://www.bd.nl/brabant/waterschap-de-dommel-verbiedt-het-gebruik-van-grondwater-aeb0ec97/?referer=https://www.google.com/&>).

Delsman, J., J. van der Zwet en F. Schasfoort (2017) IMPREX ARK/NZK 2017 Toepassing van de risicobenadering zoetwater op de casestudie ARK/NZK.

Esselink, W. (2018) Wat te doen met verdroogd gewas; in: *Boerderij* (<https://www.boerderij.nl/Home/Achtergrond/2018/8/Wat-te-doen-met-verdroogd-gewas-321171E/>).

Groot, S., F. Schasfoort, J. Andreu, A. Solera, S. Suárez-Almiñana en C. Wegman (2018) Application of multihazard drought risk management tools, IMPREX deliverable 11.3.

Hobbelt, L. en W. Klutman (2017) Geohydrologisch modelonderzoek IMPREX Amigo.

Polman, N., J. Peerlings, M. Van der Vat (2019) Economische effecten van droogte voor de landbouw in Nederland: samenvatting, *Wageningen Economic Research Nota*, 2019-038.

Schasfoort F., M. Mens, J. Delsman, M. van der Vat, S. Groot, en S. van Vuren (2019) Risicobenadering voor droogte: lessen uit 4 jaar onderzoek; in *H2O online*, 2019 (2 oktober).

Waterschap Rijn en IJssel (2014) Oude IJssel: Gebiedsbegrenzing en indeling (<https://www.wrij.nl/statisch/oude-ijssel/kopie-algemene-0/gebiedsbegrenzing/>).

Summary Application of a drought risk management tool

Within the Horizon 2020 research programme IMPREX a drought risk approach is developed. The aim is to support decisions with insight in present and future drought risk and to derive cost-efficiency of measures. In the drought risk method variability of drought conditions and potential negative effects of droughts on society are taken into account. Instead of determining the probability of drought conditions, the probability of the effects is determined. These lead to drought risk profiles per area and per use-function. The drought risk method is applied in two pilot cases (Berkel and Amsterdam-Rhine channel/North Sea channel). In both cases the perception of drought risk beforehand differed from the outcome. The drought effects are smaller than expected, and the effect of measures is different than expected. The hydrological models used in the risk method need to be sufficiently detailed and capable of simulating the effects of measures. The effects on some of the use functions are not yet expressed in monetary values, most notably the effects on nature. This complicates comparing the drought risk of for example agriculture and nature. We recommend further development of the effect-modules and to validate these modules on the 2018 drought. We conclude that the step-wise approach is rewarding. It leads to a mutual insight and understanding of the drought risk and functions in experiencing drought risk. The drought risk approach is

conceived as a valuable method to substantiate decisions on water availability and water distribution in an objective manner.

Om de kwaliteit van het Stromingen-format te borgen hanteert de redactie tot slot onderstaande checklist. Wij vragen u deze checklist zelf na te lopen alvorens uw artikel in te sturen. Deze wordt uiteraard niet gepubliceerd. Mocht het artikel op een van deze punten niet voldoen, dan krijgt u het retour met het verzoek om op die punten alsnog het juiste format toe te passen.

		Ja / nee
Publicatievorm	Artikel (max. 4000 woorden)	Ja
Algemeen	Spaties OK (geen dubbele)?	OK
	Omvang OK (niet meer dan het toegestane aantal woorden voor de publicatievorm)	OK
	Auteursinformatie aanwezig (voor en achterin)?	OK
	Spelling en spellingscontrole OK?	OK
	Geen afkortingen als bijv. , i.p.v.?	OK
	Paragraafkoppen OK (geen nummering)?	OK
	Engelse titel en samenvatting voor artikelen, essays, extended abstracts en software	OK
Figuren en tabellen	Verwijzingen in de tekst OK?	OK
	Staat overal 'afbeelding' in plaats van 'figuur'?	OK
	Kwaliteit en leesbaarheid OK?	OK
	Titels OK en zelfstandig te begrijpen?	OK
Formules	Format OK?	
Conclusies	Kunnen de conclusies van het artikel worden onderbouwd met de resultaten?	OK
Literatuur	Verwijzingen in de tekst OK (staat er 'e.a.' en niet 'et al')?	OK
	Format literatuurlijst OK?	OK

Auteurs

DORIEN HONINGH
HKV Lijn in Water
d.honingh@hkv.nl

RUDOLF VERSTEEG
Waterschap Zuiderzeeland
r.versteeg@zuiderzeeland.nl

SUSANNE GROOT
BWZ-ingenieurs
s.groot@bwz-ingenieurs.nl

FEMKE SCHASFOORT
Deltares
Femke.Schasfoort@deltares.nl

MARNIX VAN DER VAT
Deltares
Marnix.VanderVat@deltares.nl

JOOST DELSMAN
Deltares
Joost.Delsman@deltares.nl

