


Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater



Van hydrologisch effect naar
economisch effect van droogte



Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater

Van hydrologisch effect naar economisch effect van droogte

Femke Schasfoort
Jurjen de Jong
Erwin Meijers

Met medewerking van: Martin Mulder (WEnR)
De effectmodules zijn ontwikkeld in samenwerking met WEcR, Ecorys & KWR.

Titel

Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Rijkswaterstaat - WVL	11203734-000	11203734-000-ZWS-0010	76

Trefwoorden

Deltaprogramma Zoetwater, Effectmodules, Economisch effect, Droogte, Waterbeschikbaarheid.

Samenvatting

In het Deltaprogramma Zoetwater wordt Nederland voorbereid op veranderingen in waterbeschikbaarheid. Het rijk en 5 zoetwaterregio's denken in dit kader na over maatregelen die de gevolgen van droogte nu en in de toekomst reduceren.

Om beter onderbouwde afwegingen te kunnen maken voor het Deltaprogramma Zoetwater zijn daarom vijf effectmodules ontwikkeld die het effect van droogte en zoetwatermaatregelen op de hydrologie vertalen in een economisch effect op de maatschappij. Hiermee kan het huidige en toekomstige droogterisico worden berekend, maar ook de baten van zoetwatermaatregelen. Dit is belangrijke input voor een maatschappelijke kosten baten analyse (MKBA).

De effectmodules maken gebruik van bestaande effectmodellen, zoals Agricom, en speciaal voor het Deltaprogramma Zoetwater ontwikkelde economische nabewerkingen, waaronder de Prijsstool landbouw. De ontwikkelde effectmodules representeren de gebruiksfuncties die de grootste effecten van droogte ondervinden, waaronder: Landbouw, Scheepvaart, Drinkwater, Industrie en Natuur. De effecten op andere gebruiksfuncties zijn in de meeste gevallen verwaarloosbaar, zoals recreatie, of worden meegenomen in het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, zoals gezondheidseffecten van hittestress en schade aan infrastructuur. De effectmodules maken onderdeel uit van een groter geheel. Ze vormen de stap tussen de knelpuntenanalyse en de maatschappelijke kosten-baten analyse zoetwater (verwacht in 2020). De uitgangspunten uit de knelpuntenanalyse zijn daarom ook de uitgangspunten voor de effectmodules. Dit betekent dat wordt gewerkt met een 100-jarige meteorologische tijdreeks en de geactualiseerde deltasenario's.

In dit rapport worden vier van de vijf effectmodules (natuur wordt beschreven in een andere rapportage) beschreven met als doel het vastleggen van de huidige stand van zaken van de effectmodules. Dit helpt bij het duiden van de resultaten en inschatten van de betrouwbaarheid van de effectmodules. Ook is het vastleggen van de resultaten onmisbaar voor gebruik van de effectmodules door derden.

De **effectmodule landbouw** berekent het economische effect van een vermindering van de gewasopbrengst en/of toename van de berekening door droogte. Gedurende droge periodes gaan agrariërs meer beregenen met hogere beregeningskosten en minder opbrengstderving tot gevolg. Het resterende bodemvochttekort en/of zoutstress heeft effect op de opbrengst. Voor de agrariërs kan een vermindering van de gewasopbrengst gedeeltelijk worden gecompenseerd door hogere prijzen. Dit heeft echter een negatief effect op de consumenten. Het effect op de producenten en de Nederlandse consumenten van een verminderde gewasopbrengst en hogere beregeningskosten samen is het economisch effect. De belangrijkste aanbeveling is om Agricom op termijn te vervangen door Waterwijzer Landbouw. Met een dynamisch gewasgroei model kan de opbrengstderving beter worden bepaald. Ook is het model recent gevalideerd, waardoor de berekende opbrengstderving betrouwbaarder is.

Titel
Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Rijkswaterstaat - WVL	11203734-000	11203734-000-ZWS-0010	76

Aangezien beregeningskosten een groot aandeel hebben in het economisch effect is het aan te raden hier blijvend aandacht voor te hebben.

De **effectmodule scheepvaart** berekent het economische effect van een afname van de efficiëntie van de Nederlandse binnenvaartsector door droogte. Tijdens droge periode kan de vaardiepte op de rivieren afnemen waardoor schepen niet meer of niet meer met volledige belading kunnen varen. De binnenvaart anticipeert hierop door een andere route te varen of de belading te reduceren. Het resultaat is vaker varen, omvaren en langer wachten met hogere vaarkosten tot gevolg. Deze vaarkosten worden berekend met BIVAS. Andere manieren om te anticiperen zijn het uitstellen van de vaart en vervoer met andere modaliteiten (modal shift) met een toename van de opslag- en transportkosten tot gevolg. Wanneer door klimaatverandering droogte toeneemt kunnen er structurele maatregelen door de sector worden genomen, zoals vergroten van de opslagcapaciteit en aanpassing van de vloot. De korte termijn en lange termijn kosten die worden gemaakt door Nederlandse schippers, verladers en andere bedrijven tijdens een droge periode, samen met de eventuele prijsstijgingen voor Nederlandse consumenten, geeft het totale economische effect van droogte.

De belangrijkste aanbeveling is het valideren van de resultaten aan de hand van een recente droogte, bijvoorbeeld de droogte van 2018. In deze studie kunnen de vaarbewegingen, vaarkosten en opslagkosten worden vergeleken met monitorings- of meetgegevens. Ook kan het effect van droogte op de overcapaciteit van de sector worden geanalyseerd. Het effect van een dalende rivierbodem en drempels op de scheepvaart is nog onvoldoende bekend. Het is aan te raden om deze effecten ten tijden van droogte te onderzoeken.

De **effectmodule drinkwater/industrie** geeft een inschatting van de economische effecten van lagere afvoeren op de waterkwaliteit bij drinkwater en industriële innamepunten. De economische effecten worden bepaald op basis van de toename van innamestops door overschrijding van de waterkwaliteitsnormen waardoor meer buffer- en/of zuiveringscapaciteit nodig is. De kosten van investeringen in de zuiveringscapaciteit om aan de drinkwaterleveringsplicht te voldoen of door te gaan met industriële productie is gelijk aan het economisch effect.

De belangrijkste aanbeveling is het gebruik van meerdere signaalstoffen voor de bepaling van sluiting van drinkwaterinnamepunten. Voor industrie is aan te raden de locaties waar economische effecten te verwachten zijn door droogte te analyseren.




Voor alle effectmodules geldt dat een goede validatie ontbreekt. Dit is nodig om een goede inschatting te geven over de betrouwbaarheid van de resultaten voor het Deltaprogramma Zoetwater. Verder zal een betere inschatting van het gedrag van actoren (en sectoren) leiden tot verbeterde berekening van het daadwerkelijke effect van droogte op de Nederlandse economie.

De effectmodules zijn ontwikkeld voor (en binnen) het Deltaprogramma Zoetwater, maar kunnen ook in andere projecten worden toegepast. Met deze rapportage is hiervoor (hopelijk) een eerste stap gezet.

Titel
Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Rijkswaterstaat - WVL	11203734-000	11203734-000-ZWS-0010	76

Referenties
Deltaprogramma Zoetwater, Economische effecten, Effectmodules, Droogterisico, Droogte,
Landbouw, Scheepvaart, Drinkwater, Industrie

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	aug 2019	Femke Schasfoort Jurjen de Jong Erwin Meijers		Eelco van Beek		Gerard Blom	

Status
definitief

Titel
Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Rijkswaterstaat - WVW	11203734-000	11203734-000-ZWS-0010	76

Begrippen en afkortingen

Beleidsalternatief/maatregelpakketten: Kleinst mogelijke verzameling van onderling samenhangende maatregelen die naar verwachting technisch en juridisch uitvoerbaar zijn, economisch haalbaar zijn en een aannemelijke relatie hebben met het in de probleemanalyse vastgestelde knelpunt

BKMW: Besluit Kwaliteitseisen en Monitoring Water

Consumentensurplus: Het verschil tussen de marktprijs van een product en de prijs waartegen consumenten bereid zijn een product te kopen. Hoe lager de marktprijs en hoe hoger de bereidheid om voor een product te betalen, hoe groter het consumentensurplus. Het consumentensurplus is samen met het producentensurplus een maat voor de maatschappelijke welvaart.

Droogte: De meteorologische definitie (neerslagtekort) en hydrologische definitie (lagere afvoeren) van droogte wordt gehanteerd. Droogte is een periode van neerslagtekort en/of afvoertekort resulterend in een aanhoudende situatie waarin de hoeveelheid en/of de kwaliteit van het aanbod oppervlaktewater en/of grondwater voor op zijn minst één van de gebruiksfuncties niet voldoet aan de vraag van die functie.

Economisch effect: Impact op de Nederlandse economie uitgedrukt in maatschappelijke welvaart. Het economisch effect van droogte is het verschil in welvaart in een jaar met droogte ten opzichte van een jaar zonder droogte.

Huidige situatie: Huidige situatie in het Deltaprogramma Zoetwater bestaat uit de huidige situatie inclusief maatregelen en aanpassingen in het hydrologisch systeem waarvoor een definitief besluit is genomen voor december 2017 en de financiering is geregeld. De volgende maatregelen zijn meegenomen: Extra spui en pompcapaciteit Afsluitdijk, vergroten gemaalcapaciteiten Rivierenland, vergroten capaciteit Noordervaart, Zeesluis IJmuiden, Verdieping Nieuwe Waterweg en 2^e sluis Eefde. Vanuit DP Zoetwater fase 1 zijn de volgende maatregelen meegenomen: Flexibel peil IJsselmeer-Markermeer, Roode Vaart en KWA+. Maatregelen uit DP Zoetwater fase 1 waarvan de uitvoering gepland is na 2021 worden niet meegenomen in de huidige situatie, maar in de beleidsalternatieven, omdat deze onderwerp zijn van de besluitvorming voor DP Zoetwater fase 2.

LHM: Landelijk Hydrologisch Model, Oppervlaktewater en grondwatermodel voor Nederland.

Modal shift: Term voor de verandering van een vervoerswijze. Dit kan een korte termijn verandering zijn, bijvoorbeeld inzet van meer vrachtvervoer om vracht die niet vervoerd kon worden door de binnenvaartsector alsnog te vervoeren.

Titel Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Rijkswaterstaat - WV	11203734-000	11203734-000-ZWS-0010	76

Maar dit kan ook een structurele verandering zijn, bijvoorbeeld wanneer de vraag naar transport over water structureel afneemt door lagere betrouwbaarheid van de binnenvaart en deze vraag opgevangen wordt door vrachtvervoer.

Nalevering: Dit is het proces waarbij door windopzet eerst zout via de Nieuwe Waterweg, Oude Maas en Spui het Haringvliet instroomt (achterwaartse verzilting) en bij gesloten Haringvlietsluizen weer terug stroomt via het Spui naar het noorden (nalevering) en voor langdurige verhoging van de chlorideconcentraties bij Bernisse kan zorgen

NWM: Nationaal Water Model waaronder verschillende deelmodellen vallen waaronder het LHM

Producentensurplus: Het verschil tussen de marktprijs en de laagste prijs waartegen producenten bereid zijn te verkopen. Hoe hoger de marktprijs en lager de gewenste verkoopprijs van de producenten, hoe groter het producentensurplus. Het producentensurplus is samen met het consumentensurplus een maat voor de maatschappelijke welvaart.

Risico: De jaarlijkse verwachtingswaarde van de negatieve economische effecten van droogte op de maatschappij.

Scenario's: Beschrijving van mogelijke toekomstige sociaaleconomische en klimaat ontwikkelingen. Effecten van scenario's worden in deze analyse berekend voor zichtjaren. Met een scenario wordt echter het pad vanaf de referentie tot aan het effect in het zichtjaar bedoeld. Scenario's zijn beleidsarm.

Verwachtingswaarde: Een naar frequentie gewogen gemiddelde van alle mogelijke uitkomsten. Bij de 100-jarige reeks wordt verondersteld dat alle jaren eenzelfde kans van voorkomen hebben, waardoor de jaarlijkse verwachtingswaarde gelijk wordt aan het gemiddelde van de jaarlijkse resultaten uit de reeks.

Welvaartseffect: Verandering van consumenten- en producentensurplus als gevolg van een beleidsalternatief. Hierbij wordt alleen gekeken naar veranderingen van de welvaart binnen Nederland. In principe wordt het welvaartseffect uitgedrukt in euro's. Pas als maatregelen worden doorgerekend wordt de term welvaartseffect gebruikt.

Zoetwaterregio's: De 17 waterhuishoudkundige zoetwaterregio's zoals aangegeven in onderstaand figuur. Deze regio's kunnen worden geaggregeerd in 5 administratieve zoetwaterregio's: IJsselmeergebied, Hoge Zandgronden, Zuidwestelijke Delta, Rivierengebied, West-Nederland.

Inhoud

1	Introductie	1
2	Effectmodule landbouw	5
2.1	Doel en introductie	5
2.2	Opzet effectmodule	5
2.3	Hydrologisch effect	6
2.3.1	Beschrijving	6
2.3.2	Resultaat: Potentiele en actuele verdamping	11
2.3.3	Betrouwbaarheid	12
2.4	AGRICOM – Berekening van effect op gewasopbrengst en berekening	12
2.4.1	Beschrijving	12
2.4.2	Resultaat: Opbrengstderving	14
2.4.3	Betrouwbaarheid	17
2.5	Economisch effect	20
2.5.1	Beschrijving	20
2.5.2	Resultaat: Verandering consumenten- en producentensurplus	23
2.5.3	Betrouwbaarheid	26
2.6	Conclusie betrouwbaarheid	27
3	Effectmodule scheepvaart	29
3.1	Doel en introductie	29
3.2	Opzet effectmodule	30
3.3	Hydrologisch effect - Waterstandseffect	31
3.3.1	Beschrijving	31
3.3.2	Resultaat: Vaardiepte op de rivieren	34
3.3.3	Betrouwbaarheid	35
3.4	Scheepvaarteffect: Vaarbewegingen en vaarkosten	36
3.4.1	Beschrijving	36
3.4.2	Resultaat: Vaarkosten, Vervoerde Vracht en Niet-vervoerde vracht	38
3.4.3	Betrouwbaarheid	40
3.5	Economische effect	41
3.5.1	Beschrijving	41
3.5.2	Resultaat: Economisch effect voor Nederland	45
3.5.3	Betrouwbaarheid resultaten	46
3.6	Conclusie betrouwbaarheid	48
4	Effectmodule drinkwater en industrie	51
4.1	Doel en introductie	51
4.2	Opzet effectmodule	52
4.3	Waterkwaliteitseffect	53
4.3.1	Beschrijving	53
4.3.2	Waterkwaliteitsmodel	55
4.3.3	Validatie	57
4.3.4	Resultaat: Achtergrondconcentratie vervuilende stoffen	61
4.3.5	Betrouwbaarheid	61
4.4	Effect op benodigde buffercapaciteit	61
4.4.1	Beschrijving	61

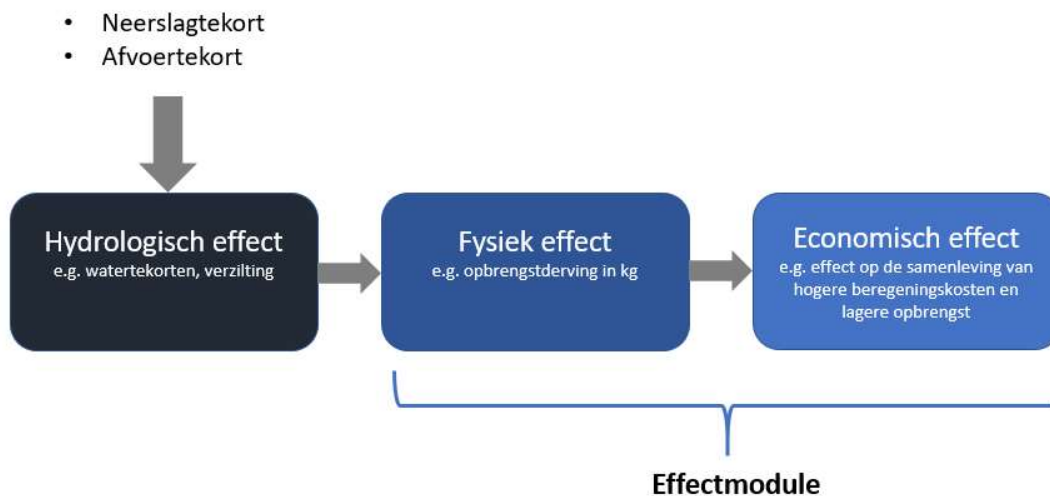
4.4.2	Resultaat: Overschrijding van de concentratie en benodigde buffercapaciteit	66
4.4.3	Betrouwbaarheid	68
4.5	Economische analyse	69
4.5.1	Beschrijving	69
4.5.2	Resultaat: Additionele investeringen drinkwater en industrie	70
4.5.3	Betrouwbaarheid	71
4.6	Conclusie betrouwbaarheid	71
5	Conclusies en aanbevelingen	73
5.1	Effectmodule landbouw	73
5.1.1	Conclusie en discussie	73
5.1.2	Aanbevelingen	74
5.2	Effectmodule scheepvaart	74
5.2.1	Conclusie en discussie	74
5.2.2	Aanbevelingen	75
5.3	Effectmodule drinkwater/industrie	75
5.3.1	Conclusie en discussie	75
5.3.2	Aanbevelingen	76
5.4	Ter afsluiting	76
6	Referenties	77
Bijlage(n)		
A	Toekomstverkenning geneesmiddelen emissies	A-1
B	Effecten van verzilting op industrie in de regio Bernisse-Brielse Meer	B-1
C	Ecosysteemdiensten in de effectmodules	C-1

1 Introductie

In het Deltaprogramma Zoetwater wordt Nederland voorbereid op veranderingen in waterbeschikbaarheid. Het rijk en 5 zoetwaterregio's denken in dit kader na over maatregelen die de gevolgen van droogte nu en in de toekomst reduceren. De kwetsbaarheid van de samenleving voor een droogte zijn samen met de kans op en mate van een droogte bepalend voor de maatschappelijke gevolgen. In de toekomst kunnen de gevolgen toenemen door klimaatverandering en sociaaleconomische ontwikkelingen. Voor nationale en regionale waterbeheerders neemt de noodzaak hierdoor toe om maatregelen te nemen die het watersysteem robuuster maken en de gevolgen van droogte beperken.

Om goed onderbouwde maatregelen te nemen waarvan de maatschappelijke baten hoger zijn dan de kosten is de afgelopen jaren een risicobenadering voor droogte ontwikkeld. Kenmerken van de risicobenadering zijn het analyseren van de kans op droogte door het analyseren van een groot aantal meteorologische jaren en het berekenen van het economisch effect van droogte (Van der Vat et al, 2017; Deltares, Stratelligence & LEI, 2016). In eerdere fases van het Deltaprogramma zijn de economische gevolgen van droogte niet of in zeer beperkte mate in economische termen uitgedrukt. Beperkte kennis over de economische gevolgen van droogte was hier debet aan. Om beter onderbouwde afwegingen te kunnen maken zijn daarom - als onderdeel van de risicobenadering - effectmodules ontwikkeld die het effect van droogte en zoetwatermaatregelen op de hydrologie vertalen in een economisch effect. Hiermee kunnen naast de economische gevolgen van droogte op de maatschappij, ook de baten van zoetwatermaatregelen worden doorgerekend. Het Deltaprogramma Zoetwater gebruikt deze informatie om de noodzaak voor het nemen van maatregelen te bepalen. Ook is de informatie over economische effecten van belang bij het samenstellen en doorrekenen van de economische effecten van maatregelenpakketten.

De effecten van watertekorten op de economie kunnen worden gevisualiseerd aan de hand van effecttreintjes (zie Figuur 1.1). De ontwikkelde effectmodules bestaan uit methodieken om de hydrologische effecten door te vertalen in economische effecten. De focus van de effectmodules ligt daardoor op de laatste twee onderdelen van de effecttreintjes. Het eerste onderdeel, het hydrologisch effect, wordt gebruikt als input voor de berekening van het fysiek en economisch effect. De effectmodules maken gebruik van bestaande effect modellen, zoals Agricom, en speciaal voor het Deltaprogramma Zoetwater ontwikkelde economische nabewerking (Sjerps et al, 2017; Ecorys, 2018a, Ecorys, 2018b & Meijer, 2018).



Figuur 1.1: Opzet effecttrein bestaande uit Hydrologisch effect, Fysiek effect en Economisch effect

Voor het Deltaprogramma Zoetwater zijn vijf effectmodules ontwikkeld. De effectmodules representeren de gebruiksfuncties die de grootste effecten van droogte ondervinden, waaronder: Landbouw, Scheepvaart, Drinkwater, Industrie en Natuur. De effecten op andere gebruiksfuncties zijn in de meeste gevallen verwaarloosbaar, zoals recreatie, of worden meegenomen in het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, zoals gezondheidseffecten van hittestress en schade aan infrastructuur.

De effectmodules zijn flexibel in gebruik. De effecten van veranderingen in hydrologische omstandigheden door veranderingen in klimaat, watervraag of een maatregel kunnen worden doorgerekend met de effectmodules. Met als resultaat inzicht in de huidige en toekomstige effecten van droogte en de baten van een maatregel. Ook maatregelen die effect hebben op onderdelen van de effectmodules, bijvoorbeeld vlootsamenstelling, kunnen worden doorgerekend. Ook kunnen er verschillende tijdseries worden doorgerekend, bijvoorbeeld 1 jaar, maar ook 200 jaar. In DP Zoetwater wordt gewerkt met een 100-jarige meteorologische tijdreeks, referentie 2017 en de geactualiseerde deltasenario's (zie Tekstbox 1). Aangezien de effectmodules onderdeel uitmaken van het DP Zoetwater worden dezelfde uitgangspunten gehanteerd (zie Mens et al, 2019)

Tekstbox 1

Uitgangspunten DP Zoetwater

De overheid, bedrijven, belangenorganisaties en burgers kunnen allemaal reageren op (toekomstige) droge omstandigheden. Het Deltaprogramma Zoetwater onderzoekt op welke manier nationale en regionale waterbeheerders het beste kunnen handelen. Dit betekent dat er aannames worden gedaan over het toekomstige handelen (oftewel autonome adaptatie) van andere actoren. In de deltasenario's zijn hiervoor verschillende verhaallijnen uitgewerkt. Wanneer wordt verwacht dat een actor (bijvoorbeeld de landbouwsector) zonder overheidsingrijpen maatregelen neemt om de effecten van droogte te verkleinen, zijn additionele overheidsmaatregelen mogelijk onnodig. Het meenemen van autonome adaptatie van actoren zorgt er dus voor dat de effecten en bijkomende baten van maatregelen die door de overheid worden genomen niet worden overschat.

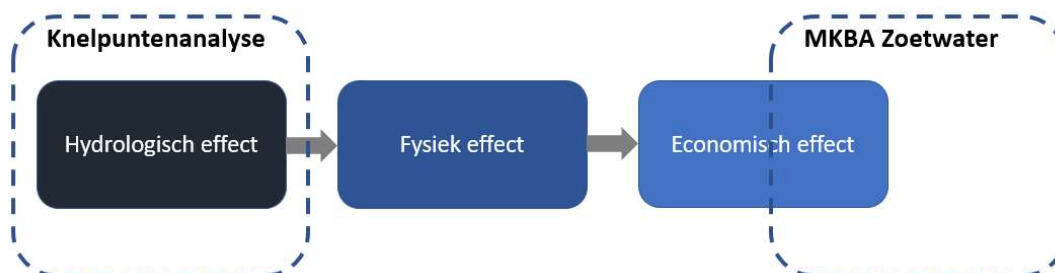
Om toekomstige veranderingen en effecten van maatregelen te kunnen bepalen is een goede referentie essentieel. Het Deltaprogramma Zoetwater heeft hiervoor de referentie 2017 gedefinieerd, bestaande uit het huidige landgebruik, infrastructuur en waterbeheer inclusief geïmplementeerde maatregelen uit de eerste fase van het Deltaprogramma en geplande aanpassingen aan het watersysteem. De meteorologische condities van de laatste 100 jaar zijn representatief verondersteld voor de condities in het huidige klimaat.

Om een goed beeld te krijgen van de diversiteit aan mogelijke toekomstige omstandigheden en de effecten op watertekorten zijn de geactualiseerde deltasenario's (Wolters et al, 2018) gebruikt. Hiervoor is de 100-jarige meteorologische tijdreeks aangepast aan het onderliggende klimaatscenario (KNMI, 2016) en zijn landgebruikskarten (CPB & PBL, 2015) ontwikkeld op basis van het onderliggende sociaaleconomische scenario.

De effectmodules zijn de stap tussen de knelpuntenanalyse (Mens et al, 2019) en de maatschappelijke kosten-baten analyse zoetwater (verwacht in 2020). Zoals verbeeld in Figuur 1.2 wordt het hydrologisch effect van droogte beschreven in de knelpuntenanalyse en de economische effecten in de MKBA. Naast de economische effecten berekend met de effectmodules, neemt de MKBA eventuele overige economische effecten van maatregelen ook mee. De verschillende onderdelen van de effectmodules zijn beschreven in een divers aantal rapporten (KWR, 2018; Ecorys, 2018a; Ecorys, 2018b; Polman et al, 2019). Een overzicht van de laatste stand van zaken van alle effectmodules ontbreekt echter. Dit terwijl inzicht in de berekeningswijze en betrouwbaarheid van de effectmodules essentieel is om de resultaten van de MKBA te kunnen duiden. Ook is een goede rapportage onmisbaar voor gebruik van de effectmodules door derden. De doelstelling van de rapportage is daarom als volgt:

Het vastleggen van de huidige stand van zaken van de effectmodules ontwikkeld voor DP Zoetwater.

De verwachting is dat aan de hand van deze rapportage de resultaten van de modules beter kunnen worden verklaard en de effectmodules eenvoudiger te gebruiken zijn door andere partijen. Een bijkomend doel is het bediscussiëren van de betrouwbaarheid van de effectmodules, zodat de onzekerheid in de resultaten beter kan worden ingeschat en aanbevelingen kunnen worden gedaan voor vervolgonderzoek.



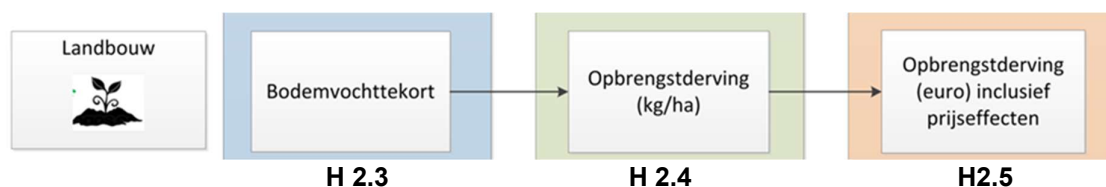
Figuur 1.2: Het effectentrentje zoals onderdeel van de effectmodule en de plek van de knelpuntenanalyse zoetwater en de maatschappelijke kosten baten analyse voor zoetwater.

Het rapport is opgebouwd uit drie effectmodule hoofdstukken. Het eerste hoofdstuk beschrijft de effectmodule landbouw, het tweede de effectmodule scheepvaart en het derde de effectmodules drinkwater en industrie.

De effectmodule natuur is vooralsnog geen onderdeel van dit rapport. Hiervoor wordt verwezen naar Van Geest et al (2019) & KWR (2019) en Annex C. Elk hoofdstuk begint met een korte beschrijving van de module, vervolgens wordt de module beschreven aan de hand van de indeling hydrologisch effect, fysiek effect en economisch effect. Het hydrologisch effect is officieel geen onderdeel van de effectmodule, inzicht in de berekeningswijze van het hydrologisch effect is echter essentieel om de eindresultaten te kunnen begrijpen. Vandaar dat we ook het hydrologisch effect kort beschrijven, waarbij wanneer mogelijk wordt verwezen naar eerdere rapportages. In elk hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de opzet, het resultaat van de berekening en de betrouwbaarheid van het resultaat. Het rapport sluit af met conclusies en aanbevelingen. Naast dit rapport zijn er verschillende rapportages verschenen per effectmodule, voor meer detail verwijzen we naar deze rapportages (zie verwijzingen per hoofdstuk).

2 Effectmodule landbouw

2.1 Doel en introductie



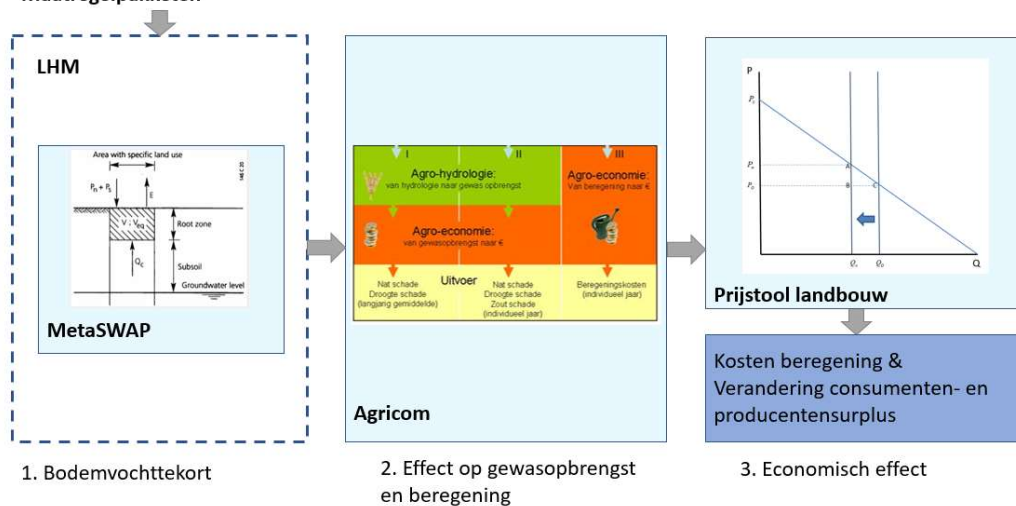
De effectmodule landbouw berekent het economisch effect van een vermindering van de gewasopbrengst en toename van beregening door droogte. Hiermee kunnen de baten van (zoetwater)maatregelpakketten worden bepaald. Vermindering van de landbouwopbrengst als gevolg van droogte ontstaat als er onvoldoende neerslag valt, beregeningsmogelijkheden beperkt zijn of als het beschikbare water een te hoge concentratie chloride heeft. Dit leidt tot een tekort in bodemvocht en verdamping. Dat wil zeggen dat het gewas minder verdampt dan wat nodig is om de maximale gewasgroei te bereiken. Het economisch effect op de landbouwsector wordt niet alleen bepaald door de fysieke opbrengst (kg/ha), maar ook door de reactie van de markt op de vermindering van de opbrengst. Voor veel gewassen zal de prijs stijgen als het aanbod daalt. Dat leidt ertoe dat boeren gedeeltelijk of volledig gecompenseerd worden voor de lagere opbrengst. Een bijkomend effect is dat consumenten meer voor producten moeten gaan betalen. Het effect op de producenten en consumenten samen bepaald het economisch effect.

2.2 Opzet effectmodule

Deltascenario's

- Ander klimaat (neerslag & afvoer)
- Hoger potentieel beregend areaal
- Ander areaal landbouw

Maatregelpakketten



Figuur 2.1 Opzet effectmodule landbouw

Het effect van watertekort op landbouwproductie en vervolgens de maatschappelijke effecten wordt berekend door achtereenvolgens de volgende rekenmodellen te draaien:

- 1 Het Landelijk Hydrologisch Model (LHM, zie www.nhi.nu) is onderdeel van het Nationaal Water Model (NWM) en berekent op basis van een 250x250m grid en een netwerkschematisatie van rivieren en kanalen de watervraag, de waterverdeling en het watertekort. De Module MetaSWAP in LHM berekent de waterbehoefte van gewassen op basis van de potentiële verdamping. Als er bodemvochtttekort optreedt, zal de actuele verdamping minder zijn dan de potentiële verdamping. Dit kan een gevolg zijn van watertekort of een te hoge chloride concentratie in het water (in beregeningswater of in het bodemvocht).
- 2 AGRICOM (Mulder en Veldhuizen 2015a en 2015b) berekent de fysieke opbrengstderving per gewasgroep op basis van de door LHM berekende actuele en potentiële verdamping. De invoer heeft dezelfde tijdstap en gridgrootte als in LHM. De uitvoer beschrijft de opbrengstderving per gridcel per jaar.
- 3 Prijsstool Landbouw (Reinhard et al, 2015, en Van der Vat et al., 2016) berekent op basis van de fysieke opbrengsten van AGRICOM de economische effecten van droogte en verzilting, waarbij er rekening mee gehouden wordt dat prijzen voor sommige gewasgroepen stijgen als de productie verminderd.

Deze modellen worden bij voorkeur gedraaid voor een lange meteorologische tijdreeks. In het deltaprogramma zoetwater is dit een meteorologische tijdreeks van 1911-2011.

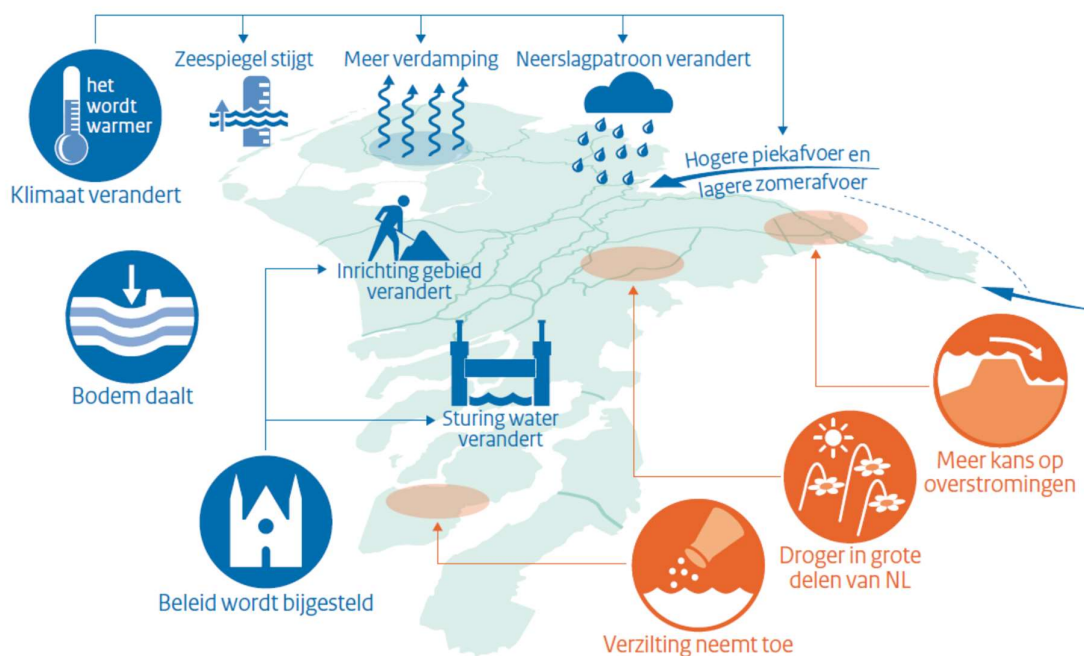
De effectmodule bestaat uit drie stappen: hydrologisch effect, effect op gewasopbrengst en berekening en economisch effect (zie Figuur 2.1). Per stap wordt beschreven hoe het effect wordt berekend, welke aannames zijn gedaan en wat en hoe betrouwbaar het resultaat is.

2.3 Hydrologisch effect

2.3.1 Beschrijving

Het Nationaal Water Model (NWM) wordt gebruikt om inzicht te krijgen in de waterveiligheid, de zoetwaterverdeling en de waterkwaliteit in Nederland in de huidige situatie en onder verschillende toekomstscenario's¹. Figuur 2.12 presenteert een schematisch overzicht van de functionaliteit van het NWM.

¹ <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/watermanagement/watermanagement/nationaal-water/>.



Figuur 2.2 Schematisch overzicht van de functionaliteit van het Nationaal Water Model (bron: Helpdesk Water)

De zoetwaterverdeling wordt in het NWM gemodelleerd met behulp van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM), het geïntegreerde landsdekkende grond- en oppervlaktewater model van Nederland. Hydrologische invoer voor het LHM zijn tijdreeksen voor neerslag, verdamping en de afvoeren van de Rijn en de Maas. Uitvoer is het grondwaterstromingspatroon, waaronder grondwaterstanden en kwelfluxen, en verdeling van oppervlaktewater over Nederland.

Voor de verschillende deltascenario's zijn een aantal aanpassingen gedaan relevant voor de effectmodule landbouw. De volgende factoren zijn aangepast:

- Landbouwareaal
- Gewasgroei seizoenen
- Potentieel berekend areaal

Tabel 2.1 biedt een overzicht van de factoren die per deltascenario zijn gehanteerd. Verandering van gewassen door klimaat- of sociaaleconomische veranderingen is geen onderdeel van de deltascenario's. Het landbouwareaal neemt in elk scenario af door toegenomen verstedelijking en een grotere vraag naar natuurgebieden. Het gewasgroei seizoenen wordt langer in de scenario's met sterke klimaatverandering (Warm en Stoom).

Tabel 2.1 Overzicht factoren per deltasenario voor zichtjaar 2050 (Wolters et al, 2018)

Deltasenario	Landbouwareaal	Potentieel beregend areaal	Neerslag	Verdamping
Druk	-9%	+4%	+1% zomer	+4% zomer
Rust	-3%	+8%	+1% zomer	+4% zomer
Stoom	-11%	+55%	-13% zomer	+11% zomer
Warm	-3%	+60%	-13% zomer	+11% zomer

De verwachting is dat het potentiaal beregend areaal vooral toeneemt in de scenario's met sterke klimaatverandering. De berekening hierachter is dat meer agrariërs beregeningsinstallaties gaan aanschaffen om tijdens (steeds vaker voorkomende) droge periodes productiederving te voorkomen. Het potentieel beregend areaal is voor elk deltasenario berekend met de regioscan zoetwater (zie STOWA, 2018 voor meer informatie), een tool voor de berekening van de kosten en baten van lokale zoetwatermaatregelen. Om het potentieel beregend areaal voor elk deltasenario te berekenen is eerst het kosten/baten ratio van berekening in de huidige situatie berekend. Het gemiddelde kosten/baten ratio bleek lager dan 1, wat een economische irrationele beslissing impliceert. Dit lagere kosten/baten ratio wordt als uitgangspunt genomen voor de toekomstige beslissing van agrariërs om wel of geen beregeningsinstallatie aan te schaffen². Vervolgens is voor elk scenario het kosten/baten ratio van berekening berekend en vergeleken met het kosten/baten ratio in de huidige situatie. Het resultaat laat voor alle scenario's een toename zien van het Nederlandse landbouwareaal met kosten/baten ratio gelijk of hoger dan het ratio waarbij agrariërs besluiten beregeningsinstallaties aan te schaffen. Dit betekent dat het potentieel beregend areaal naar verwachting toeneemt.

Of er in een jaar daadwerkelijk wordt beregend wordt bepaald aan de hand van:

- Het potentieel beregend areaal (invoer LHM) dat de aanwezigheid van een beregeningsinstallatie aanduidt.
- De hoeveelheid vocht in de bodem op basis van de pF-waarde (waarde voor zuigspanning) berekend met MetaSWAP en een grenswaarde per gewas.

Wanneer de pF-waarde voor een potentieel beregend grid onder een bepaald niveau zakt, neemt het model aan dat er een beregeningsvraag is vanuit het oppervlakte of grondwater. In het model kan de grondwaterberegenvingsvraag altijd geleverd worden. De verwachting is dat behalve bij een grondwaterberegenvingsverbod dit in de realiteit ook het geval is. De vraag uit het oppervlaktewater wordt gelimiteerd door de beschikbaarheid van het oppervlaktewater.

2.3.1.1 Berekening van verdamping met MetaSWAP

De onverzadigde zone is via neerslag en verdamping de link met de atmosfeer en daardoor cruciaal voor gewasgroei. In MetaSWAP is het bodemprofiel opgedeeld in twee lagen: de wortelzone en de ondergrond. Voor deze lagen zijn metarelaties gedefinieerd die de flux tussen de zones en de grondwaterstand beschrijven (zie NHI, 2008 voor meer informatie).

² Waarmee we veronderstellen dat in de toekomst de beslissing om wel of niet een beregeningsinstallatie te kopen op dezelfde manier wordt gevormd als in de huidige situatie.

Wanneer beregenings- of regenwater valt op een perceel zal een deel verdampen (interceptie) en een ander deel het bodemvocht aanvullen. Het bodemvochtgehalte neemt af door bodemverdamping, transpiratie³ door de plant of infiltratie naar het grondwater. Wanneer het bodemvocht onvoldoende wordt aangevuld om de plant optimaal te laten transpireren ontstaat een bodemvochttekort.

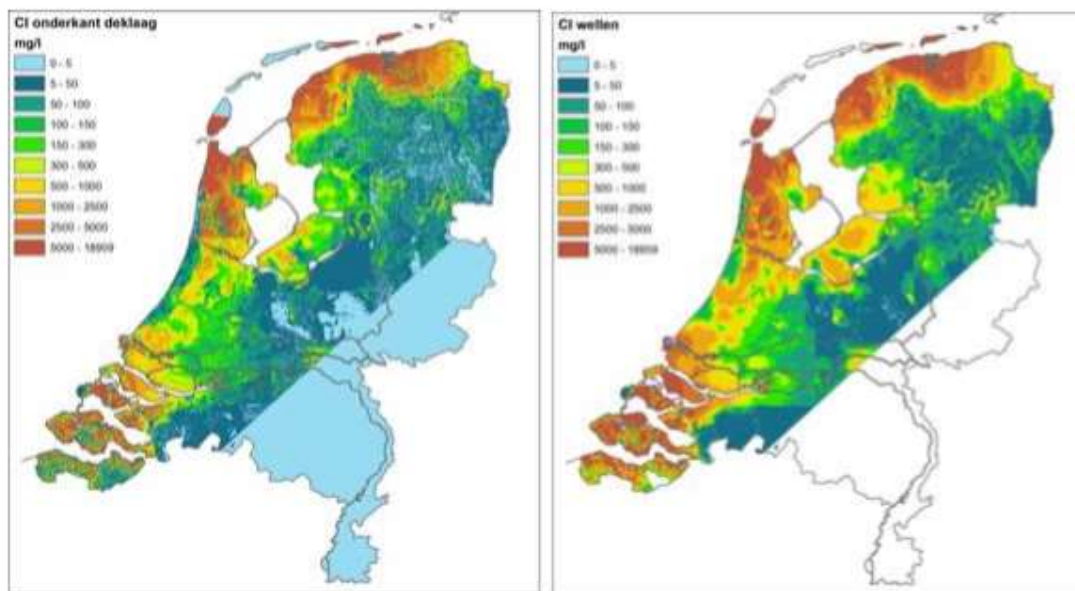
MetaSWAP berekent op basis van de potentiële verdamping en de condities van de onverzadigde zone de actuele verdamping. De verdamping is afhankelijk van onder andere het bladoppervlak, straling en temperatuur. Vervolgens wordt de actuele verdamping berekend op basis van de reductiefunctie voor wateropname van Feddes et al. (1978). Deze beschrijft dat onder optimale vochtcondities de maximale opname van water door wortels gelijk is aan de potentiële verdamping. De opname van water neemt door watertekort -onder een drempelwaarde van de stijghoogte- lineair af tot verwelkingspunt van het gewas. Als het verwelkingspunt is gepasseerd vindt er géén wateropname meer plaats (Alterra, 2015). Voor het verwelkingspunt is bereikt wordt de watervraag naar verwachting kleiner. In het model ontbreekt deze terugkoppeling. Door ondervonden stress gedurende het groeiseizoen zal de watervraag in het model dus niet veranderen.

2.3.1.2 Berekening van chlorideconcentraties in de wortelzone

Naast watertekort kan er ook schade aan gewassen ontstaan door te hoge chlorideconcentraties. Twee chloridebronnen kunnen de opbrengst beïnvloeden: (1) zoutwater vanuit het hoofdwatersysteem (via de rivieren en het IJsselmeer) en (2) zoute kwel. De eerste chloridebron wordt berekend met het Noordelijk Deltabekken Model (NDB). De belangrijkste factoren die deze chloridebron beïnvloeden zijn de chlorideconcentratie van het Rijnwater bij Lobith (zogenaamde achtergrondconcentratie) en externe verzilting (via Nieuwe Waterweg en Noordzeekanaal). Zoute kwel, de tweede chloridebron, wordt berekend aan de hand van chlorideconcentraties aan de onderkant van de deklaag. Voor de referentie en de deltascenario's zijn concentraties afgeleid die als randvoorwaarde worden opgelegd in de modellen (zie figuur .. voor chloride in de referentie). Daarnaast kan chloride ook naar boven komen via wellen vanuit het diepere grondwater (zie figuur), dit wordt ook gemodelleerd.

Een combinatie van de LHM modellen Modflow (diep grondwater), MetaSWAP en Mozart (regionaal oppervlaktewatermodel) berekenen het transport van zoute kwel tussen bodemlagen en afgifte van zout aan het oppervlaktewater (Deltares, 2014). Deze zoute kwel kan de landbouwopbrengst direct beïnvloeden. Chloride uit het oppervlaktewater heeft alleen invloed op de opbrengst wanneer dit water (door berekening) op landbouwgrond terecht komt. De chlorideconcentratie in de zoute kwel en beregeningswater samen zijn de bepalend voor de chlorideconcentratie in de wortelzone en daarmee de gewasopbrengst.

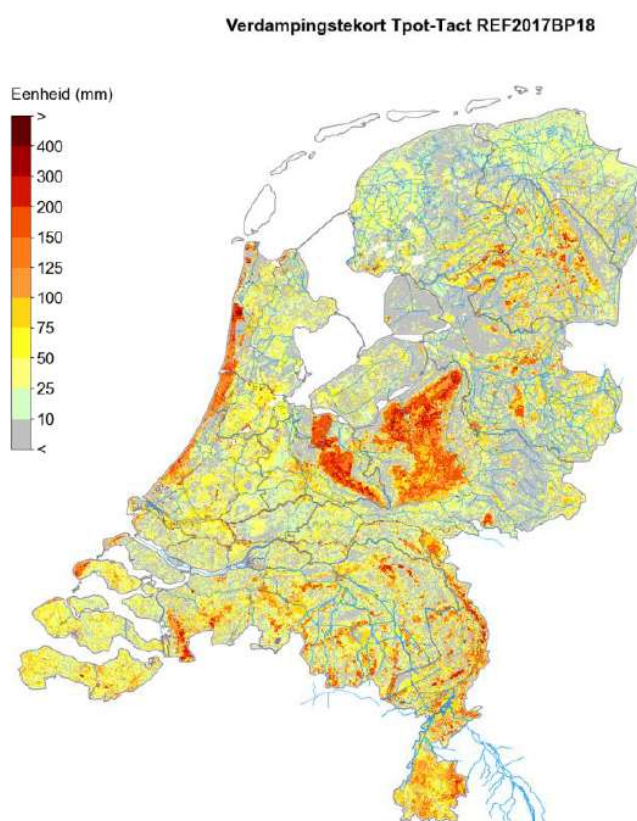
³ Wat verstaan we onder transpiratie
Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater



Figuur 2.3: Overzicht van de hoeveelheid chloride aan de onderkant van de deklaag in Nederland (links) en chloride wellen (rechts). Hoog Nederland is hier buiten beschouwing gelaten (Deltares, 2014).

2.3.2 Resultaat: Potentiele en actuele verdamping

Het resultaat is de potentiele en de actuele verdamping per tijdstap en per gridcel van 250 x 250 m. Door de actuele verdamping af te trekken van de potentiele verdamping wordt het verdampingstekort verkregen, oftewel het tekort aan verdamping door de plant op basis van de hoeveelheid verdamping die had kunnen plaatsvinden zonder watertekort. Figuur 2.4 geeft een voorbeeld van het verdampingstekort, zoals beschreven in de knelpuntenanalyse. Zoute kwel en eventueel beregening uit het oppervlaktewater⁴ leiden samen tot chlorideconcentratie in de wortelzone per gridcel. De verdamping en chlorideconcentratie zijn input voor de volgende stap in de effectmodule.



Figuur 2.4 Transpiratietekort (ook vaak verdampingstekort genoemd) in de referentiesituatie in een droog jaar (2003) (Mens et al, 2019)

⁴ Wanneer door externe verzilting de chlorideconcentratie oploopt wordt in het hydrologisch model geen water meer ingelaten bij Gouda, een belangrijke wateraanvoerroute voor West-Nederland. In het model treden er in dit geval watertekorten op (en geen verzilting in het regionaal systeem).

2.3.3 Betrouwbaarheid

Een belangrijke onzekerheid in de berekeningen van het LHM is de mate waarin de gewasverdamping beperkt wordt als er minder water beschikbaar komt in de bodem of als de chlorideconcentratie te hoog wordt. Deze onzekerheid kan leiden tot aanzienlijke afwijking van de berekende actuele verdamping van gemeten waarden.

Voor een overzicht van de betrouwbaarheid van de resultaten van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium en het Nationaal Water Model, waaronder de modellen LSM, LHM Sobek-NDB en LTM vallen verwijzen we naar Prinsen et al (2018) en Hoogewoud et al (2013).

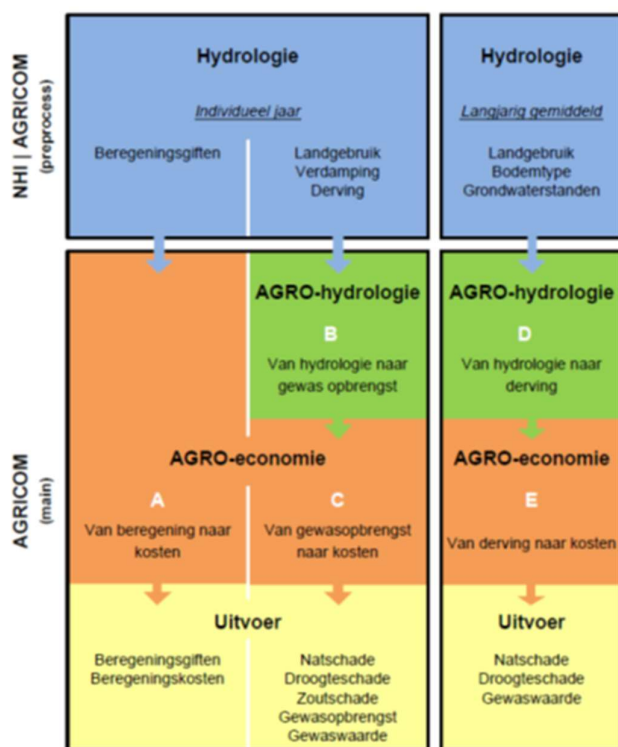
2.4 AGRICOM – Berekening van effect op gewasopbrengst en beregening

2.4.1 Beschrijving

AGRICOM is een acronym voor AGRicultural COst Model. Het agro-economische model AGRICOM berekent kosten en baten voor de landbouwsector in Nederland aan de hand van hydrologische omstandigheden (Mulder en Veldhuizen, 2015a en 2015b). Dit betreft de effecten van te droge, te natte of te zoute omstandigheden op de Nederlandse landbouw. Het AGRICOM model dient ter ondersteuning bij beleidsvragen als: wat zijn kansrijke maatregelen om landbouwschade te voorkomen, wat zijn de neveneffecten voor de landbouw van anti-verdrogingsmaatregelen in natuurgebieden en hoe efficiënt is beregening.

Het concept van AGRICOM dateert van begin jaren tachtig en werd gebruikt voor kosten en baten analyses voor de Nederlandse landbouw. De berekeningen werden uitgevoerd met het agro-economische model DEMGEN waarbij analyses werden verricht zoals arbeids- en energiekosten van beregening en de berekening van de fysieke gewasopbrengst (Abrahamse et al., 1982). Deze analyses waren sterk gericht op kosten en baten voor de landbouw in droge situaties. Voor het berekenen van schade als gevolg van wateroverlast is rond 1995 een splitsing gemaakt tussen de hydrologische en de economische berekeningen, waarbij de hydrologische berekeningen in het DEMGEN model werden vervangen door het MOZART model (RWS et al., 2005). Voor de economische berekeningen is het model AGRICOM ontwikkeld (Prinsen en Verschuur, 1995).

AGRICOM in het Deltaprogramma Zoetwater gebruikt om het effect van watertekorten en verzilting op de landbouwopbrengst (in kg) te berekenen. Figuur 2.5 presenteert een schematische weergave van de modelcomponenten.



Figuur 2.5 Schematische weergave van de modelcomponenten van AGRICOM (

De door LHM per tijdstap berekende actuele, potentiële verdamping en chlorideconcentratie is invoer voor het AGRICOM model. De AGRICOM resultaten zijn beschikbaar per decade. Andere belangrijke invoer is een landgebruiksk kaart met daarop de verschillende gewasgroepen. Bij een toename van het landbouwareaal, zoals onderdeel van sommige deltascenario's, neemt voornamelijk het areaal hoogwaardige gewassen toe (uitvoer van de ruimtescanner).

AGRICOM werkt met de volgende gewasgroepen:

1. Gras;
2. Mais;
3. Aardappelen;
4. Bieten;
5. Granen;
6. Overig;
7. Boomteelt;
8. Fruit;
9. Bollen

De belangrijkste vereenvoudiging in AGRICOM is dat de verdamping niet per individueel gewas maar per gewasgroep wordt berekend⁵. Gewasgroepen zijn vaak heterogeen, zoals duidelijk zal zijn voor de groepen overig (vooral groenten), boomteelt, fruit en bollen.

⁵ Wel op basis van gridcellen van 250x250 cm.
Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater

De verschillende gewassen in een groep hebben in de praktijk een verschillende verdampingsvraag en zullen ook verschillend reageren op een verminderde verdamping.

Om de derving door watertekort te bepalen wordt in Agricom eerst de potentiële gewasopbrengst berekend aan de hand van de verdampingsfactor. Deze factor wordt bepaald door de gewasverdamping in een jaar te delen door de gemiddelde potentiële gewasverdamping over 9 jaar. Deze factor wordt vermenigvuldigd met de langjarige gemiddelde potentiële gewasopbrengst. De langjarige potentiële gewasopbrengst is bepaald aan de hand van veldproeven en CBS statistiek. Met de volgende formule wordt de potentiële gewasopbrengst per jaar bepaald.

$$\text{Pot. gewasopbrengst per jaar} = \text{Pot. gewasopbrengst gemiddeld} * \frac{\text{Pot. verdamping per jaar}}{\text{Pot. verdamping gemiddeld}}$$

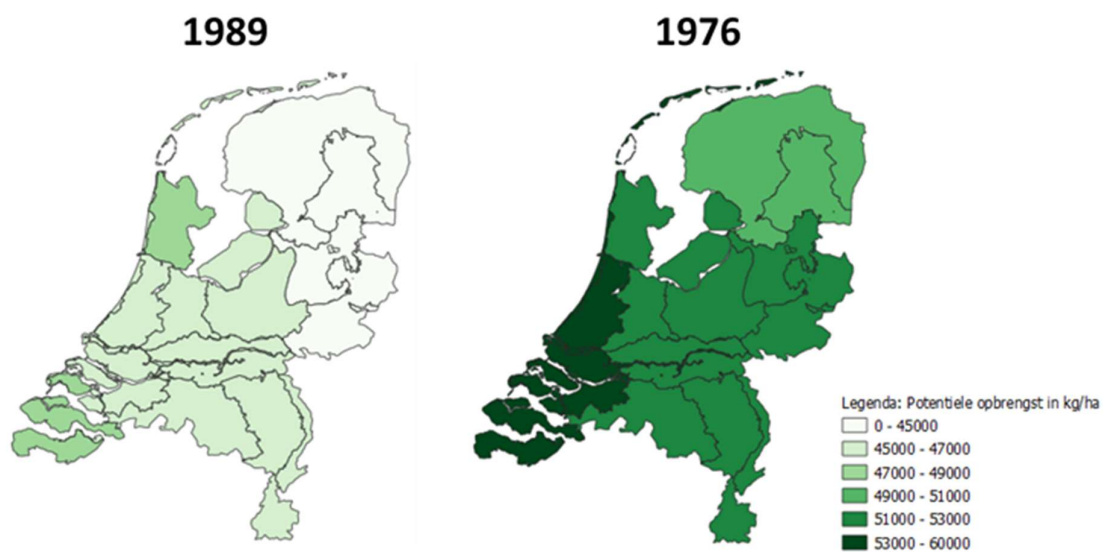
Door de potentiële gewasopbrengst te vermenigvuldigen met een dervingsfractie wordt de actuele opbrengst bepaald. De dervingsfactor door droogte is afhankelijk van de verhouding tussen actuele en potentiële verdamping, het gewastype en de groeistadium waarin het gewas verkeert. Voor zoutstress is deze wederom afhankelijk van gewastype en groeistadium, maar ook voor de zoutconcentratie in de wortelzone (Prinsen en Verschuur, 1995). Voor de bepaling van de totale derving wordt de dervingsfractie door droogte berekend. De zoutstress wordt in een naberekening van de overgebleven opbrengst afgetrokken. De opbrengst die overblijft is de actuele opbrengst.

2.4.2 Resultaat: Opbrengstderving

De opbrengstderving per gewas is het verschil tussen de potentiële en de actuele opbrengst. In sommige klimaatscenario's neemt de potentiële gewasopbrengst toe door toename van de verdamping. Bij een gelijkblijvende actuele opbrengst wordt hierdoor de opbrengstderving groter. De boer zal in dit geval geen derving in kg ervaren. Toch wordt dit wel gezien als derving omdat zonder watertekort de opbrengst veel groter had kunnen zijn.

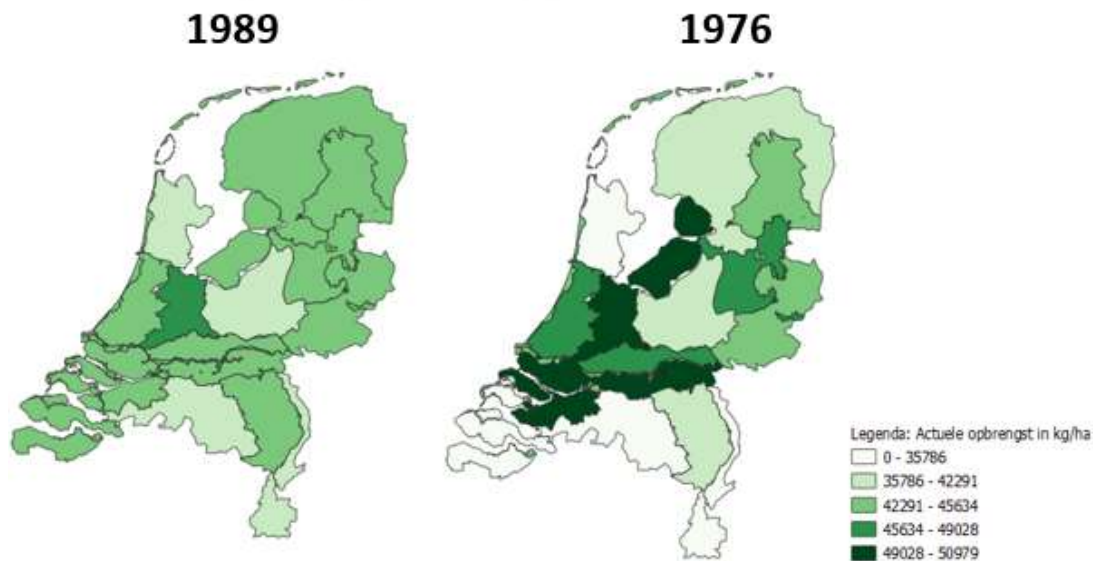
Dit is ook te zien in de Figuren 2.6-2.8. In het extreem droog jaar 1976 neemt de potentiële opbrengst voor aardappelen sterk toe ten opzichte van het droge jaar 1989. De reden voor de toename in 1976 is dat de verdamping in een droog jaar in potentie hoger is dan in een minder droog (en minder zonnig jaar). Figuur 2.7 laat zien dat in het extreem droge jaar de actuele opbrengst in sommige regio's toeneemt. Dit zijn met name de regio's met voldoende beschikbaar water, waardoor ze profiteren van een hogere potentiële opbrengst. In andere regio's neemt de opbrengst af door watertekort (voornamelijk hoge zandgronden zuid) of verzilting (kop van Noord-Holland). De opbrengstderving is het grootst in de regio's die het minst 'profiteren' van de toegenomen verdamping, oftewel waar potentiële opbrengst en actuele opbrengst het verst uit elkaar liggen.

Potentiële opbrengst aardappelen



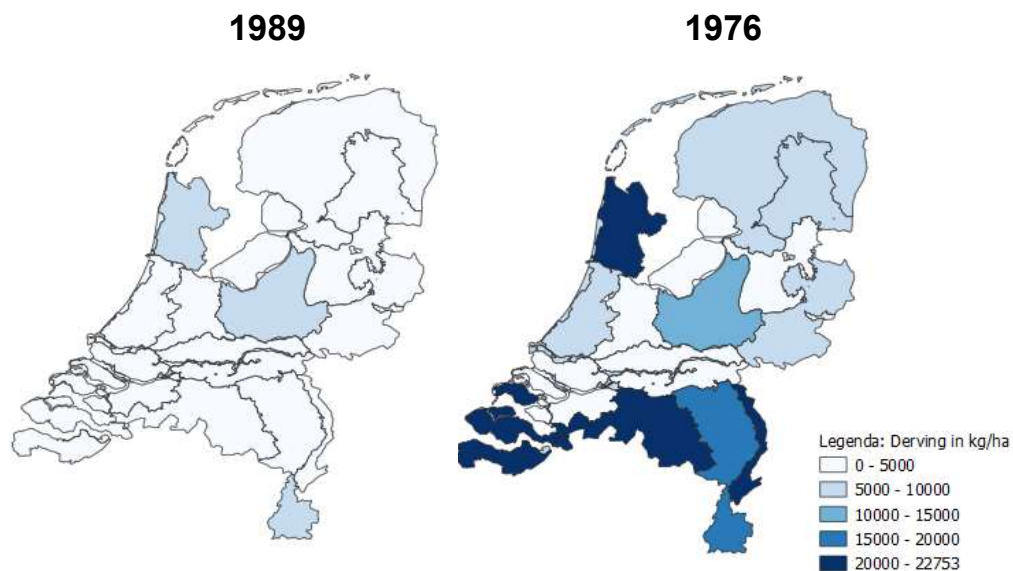
Figuur 2.6: Potentiële opbrengst aardappelen in kg per hectare in een droog (1989) en een zeer droog (1976) jaar voor aardappelen in de referentiesituatie.

Actuele opbrengst aardappelen



Figuur 2.7: Actuele opbrengst aardappelen in kg per hectare in een droog (1989) en een zeer droog (1976) jaar in de referentiesituatie

Opbrengstderving aardappelen



Figuur 2.8: Opbrengstderving aardappelen in kg per hectare (verschil potentiële en actuele opbrengst) in een droog jaar (1989) en een zeer droog jaar (1976).

2.4.3 Betrouwbaarheid

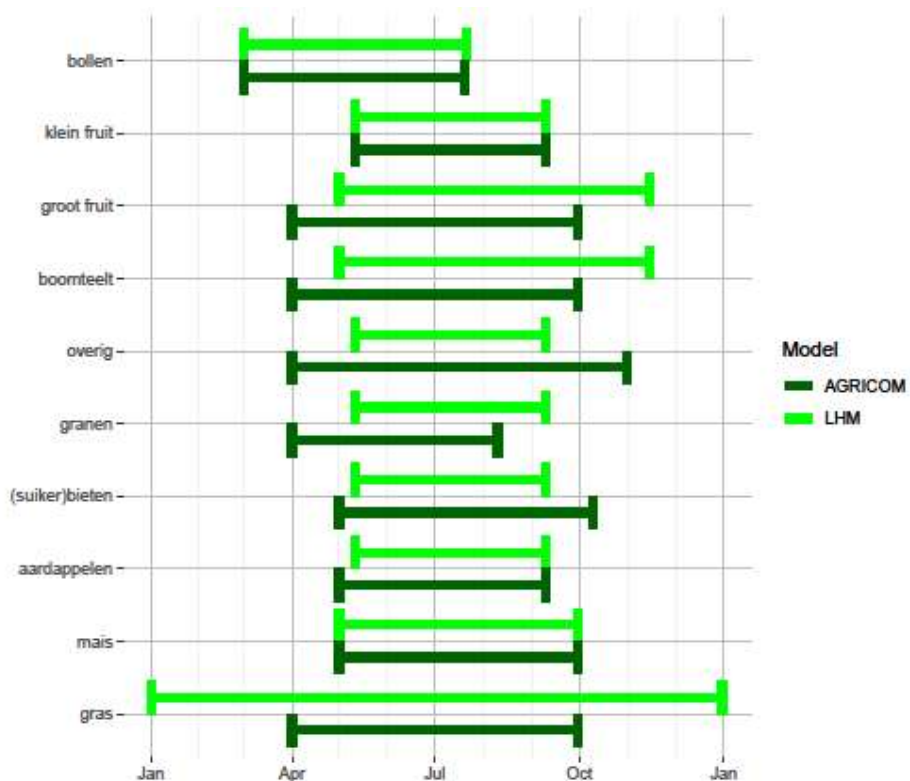
Agricom is nooit gevalideerd, daarom kan er maar beperkt een uitspraak worden gedaan over de betrouwbaarheid van Agricom. In 2009 is wel een definitie studie gedaan naar Agricom, veel van de bevindingen gelden nog steeds, een deel van de bevindingen zijn hier overgenomen (van Bakel et al., 2009)

AGRICOM en LHM maken gebruik van een eenvoudig gewasgroei-model. Daarbij wordt min of meer een directe relatie verondersteld tussen de reductie in gewasopbrengst en de verdampingsreductie. Een belangrijke eigenschap van een eenvoudig gewasgroei-model is dat de gewasontwikkeling niet wordt berekend, maar wordt opgelegd. Een eenvoudig gewasgroei-model is dan ook niet in staat om de potentiële gewasopbrengst, het zogenaamde referentieniveau van opbrengstderving, te berekenen. Het referentieniveau in AGRICOM is op basis van metingen vastgesteld. Je kunt je hierbij afvragen of dit het juiste referentieniveau is, een potentiële gewasopbrengst wordt namelijk in de praktijk nooit gemeten. Deze aanpak heeft wel een voordeel, het zorgt ervoor dat de modelresultaten worden geschaald naar de huidige gewasopbrengsten. De verwachting is dat nieuwe metingen de potentiële gewasopbrengst doet stijgen, de huidige gewasopbrengst is dus een onderschatting van de gewasopbrengst.

Doordat de gewasontwikkeling wordt opgelegd, wordt tegelijkertijd ook de bijbehorende watervraag opgelegd. Door ondervonden stress gedurende het groeiseizoen zal de watervraag dus niet veranderen. Bij dynamische gewasgroei-modellen (zoals bijvoorbeeld WOFOST) wordt hier wel rekening mee gehouden. Daarnaast wordt de energie die een gewas tot zijn beschikking heeft elke dag verdeeld over groei, onderhoud en sterfte. De verdeling is afhankelijk van het groeistadium. Met de energie worden er bijvoorbeeld wortels, stengels, bladeren en/of organen gevormd. Indien door een bepaalde verdampingsreductie geen oogstbaar product wordt gevormd kan dat dus betekenen dat er sprake is van een volledige gewas-derving. Dit betekent dat wanneer een gewas watertekort ondervindt in het stadium dat het oogstbare product van het gewas ontwikkeld, de derving veel hoger kan uitvallen dan wanneer een watertekort optreedt in een ander stadium. Doordat deze terugkoppeling niet in Agricom zit kan Agricom de derving onderschatten (wanneer watertekorten optreden bij vorming van oogstbaar product van gewas) of overschatten (wanneer watertekort in minder belangrijke stadia plaatsvinden).

Voor de vertaling van verdampingsreductie naar opbrengstreductie maakt AGRICOM gebruik van een zogenaamde remaining yield (aandeel van het gewas waarover geen schade meer kan worden ondervonden). Bij grasland is het gebruik hiervan plausibel, maar dit mechanisme geldt niet bij andere gewassen. Dit zorgt mogelijk voor een onderschatting van de opbrengstderving.

Hoewel AGRICOM een nabewerking is op basis van LHM gegevens kent het wel een eigen groeiseizoen en gewasontwikkeling. Hierbij is het dus van belang dat er een goede afstemming plaatsvindt tussen de modellen. Figuur 2.9 laat echter verschillen zien tussen de modellen. Voor grasland kun je een verschil verwachten, hier speelt de oogstperiode van grasland een belangrijke rol. Bij de overige gewassen is een betere aansluiting gewenst.

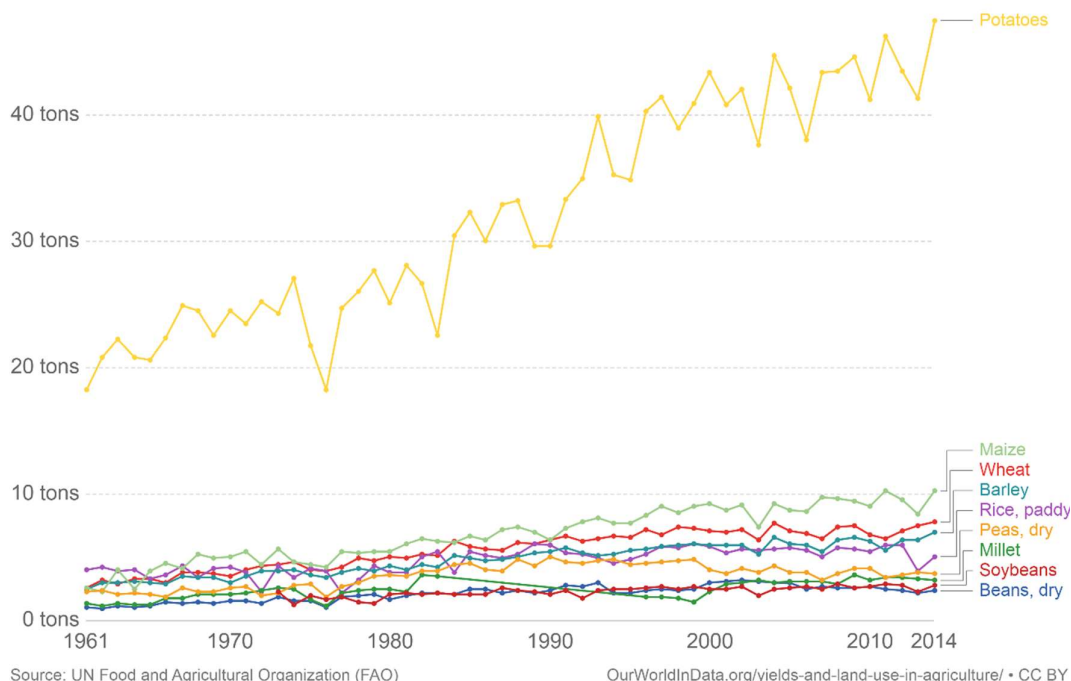


Figuur 2.9: Verschil in groeiseizoenen van gewassen (AGRICOM 2.0.7 en LHM 3.4.0)

Binnen AGRICOM gewasgroepen zitten verschillende teelten die in zowel economisch als hydrologisch opzicht fors kunnen verschillen. Bijvoorbeeld, een natte zomer of najaar heeft een ander effect op najaarsbollen dan op voorjaarsbollen. Ook binnen de gewasgroep aardappelen is in zowel hydrologisch als economisch opzicht een groot verschil tussen consumptieaardappelen, fabrieksaardappelen en pootaardappelen. De gewasgroep overig bevat zowel akkerbouw als alle groenteteelt in Nederland, diversiteit binnen deze gewasgroep is daardoor enorm. Meer differentiatie in gewasgroepen is dan ook wenselijk.

Agricultural yields in key crops per hectare, 1961-2014, Western Europe

Average yield outputs across key crop commodities by country, measured in tonnes per hectare.



Figuur 2.10: Gewasontwikkeling door de jaren heen

De potentiële opbrengst in de deltasenario's wordt berekend aan de hand van een verdampingsfactor. Momenteel wordt deze berekend door de verdamping in een jaar te delen door de gemiddelde verdamping (gebaseerd op de gemiddelde verdamping in de referentie). Voor een correcte berekening van de verdampingsfactor in een andere scenario dient de gemiddelde verdamping in het scenario te worden gebruikt. De verdampingsfactor neemt hierdoor af, waardoor ook de potentiële opbrengst in een jaar afneemt. Voor een betrouwbare bepaling van de potentiële opbrengst moet de gemiddelde potentiële gewasopbrengst echter ook aangepast worden. Of uiteindelijk de potentiële gewasopbrengst door deze aanpassingen toeneemt of afneemt is lastig te zeggen.

Derving door natte omstandigheden wordt niet meegenomen. Het volledige effect van klimaatverandering wordt daardoor niet ingeschat. Agricom heeft wel een module om natschade te berekeningen, maar de hydrologische invoer is onvoldoende betrouwbaar om de resultaten hiervan te gebruiken.

De definitie van gewassen in AGRICOM is grotendeels gebaseerd op onderzoek uit de jaren 80. De huidige teelten wijken af van de gewassen van vroeger zie figuur 2.10. Ook de meteorologische omstandigheden waarop de modelmatige beschrijving van de gewassen zijn gebaseerd zijn veranderd. Een gewas van tegenwoordig heeft hoogstwaarschijnlijk minder last van droogte dan een gewas van 40 jaar geleden. Wanneer de actuele opbrengst berekend met Agricom met CBS gegevens wordt vergeleken lijkt Agricom de opbrengst te onderschatten (zie tabel 2.2). De referentie opbrengst in Agricom zijn al een lange tijd niet aangepast, terwijl de productie per hectare in de landbouw de afgelopen jaren is toegenomen. De CBS opbrengsten zijn ongeveer de 2 tot 30% hoger dan berekend in Agricom. Dit betekent dat de absolute getallen uit Agricom minder betrouwbaar zijn dan de berekende verschillen tussen bijvoorbeeld een situatie met en zonder maatregel.

Tabel 2.2: Vergelijking gemiddelde actuele opbrengst per hectare in Agricom met opbrengst per hectare op basis van CBS gegevens voor 2015-2017 (Bron: CBS statline).

Gewas	Agricom Opbrengst/ hectare	CBS Opbrengst/ hectare	Unit
Grasland	9648	10500	kg
Mais	13830	18000	kg
Aardappel	41033	45000	kg
Bieten	59156	73000	kg
Granen	7826	8000	kg
Overig	7650		kg
Boomteelt	10		Kg
Fruit	33307	40000	kg
Bollen	292675		stuks

Tot slot, de resultaten laten zien dat de door Agricom berekende actuele opbrengst en de derving in de meeste gevallen onderschat. De potentiële opbrengst wordt ofwel over- of onderschat. De absolute uitkomsten uit Agricom zijn niet betrouwbaar. In beleidsanalyses kijken we naar de verschillen en spelen absolute uitkomsten een ondergeschikte rol. Validatie van Agricom is nodig voor betrouwbare uitspraken over de toepasbaarheid van de resultaten.

2.5 Economisch effect

2.5.1 Beschrijving

De landbouwsector krijgt tijdens droge perioden te maken met opbrengstderving en additionele beregeningskosten. Het economisch effect voor de maatschappij is niet alleen afhankelijk van de opbrengstderving, maar ook van eventuele prijsstijgingen van producten tijdens een droogte. Een deel van de schade voor boeren kan hierdoor gecompenseerd worden. Het totale economisch effect van droogte op de landbouw bestaat dus uit zowel de effecten op landbouwsector als de (meer indirecte) effecten op de maatschappij. De prijstool landbouw is ontwikkeld om het totale economische effect te berekenen (Polman et al, 2019). Invoer voor de prijstool is de opbrengstderving en de beregeningskosten uit Agricom. Deze invoer wordt eerst geaggregeerd tot derving per gewasgroep en gebiedsniveau, waarna het economisch effect voor producenten en consumenten wordt berekend.

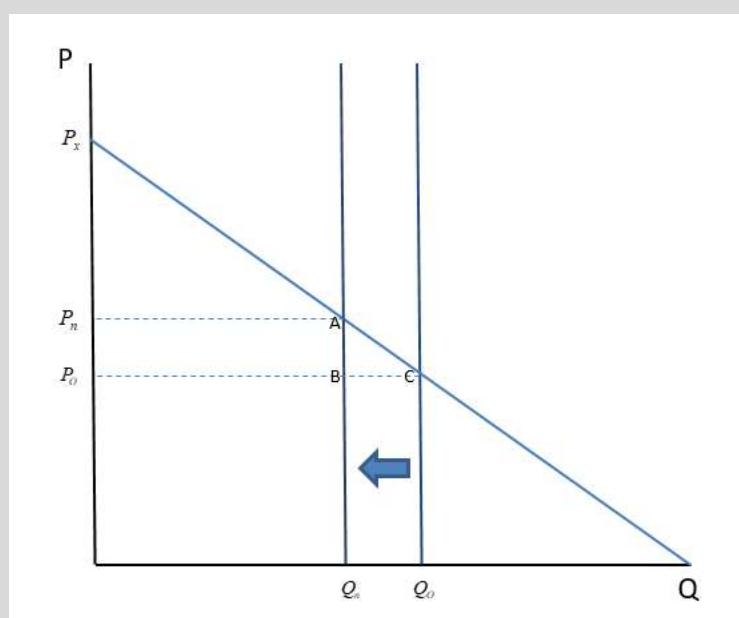
Volgens de markttheorie stijgt de prijs van landbouwproducten bij een verminderd aanbod. In welke mate de prijs van landbouwproducten stijgt hangt af van de prijselasticiteit van een product. Basisproducten, zoals aardappelen, zijn inelastisch. Dit betekent dat ook wanneer de prijs stijgt, consumenten deze producten blijven kopen. Bij minder aanbod van het product kan de prijs dus stijgen zonder dat de vraag afneemt. Bij opbrengstderving door droogte is daarom de verwachting dat deze producten in prijs zullen stijgen. De vraag van een elastisch product, zoals bollen, neemt wel snel af bij een prijsverhoging. Een lager aanbod leidt daardoor tot minder sterke prijsverhogingen.

In de prijstool is aangenomen dat alle productiecosten al zijn gemaakt, de boeren wisten immers niet dat het droog zou gaan worden. Ook kunnen boeren hun aanbod niet aanpassen wanneer de prijs toeneemt. De aanbodcurve is daardoor verticaal, zie figuur 2.11.

Tekstbox 2.1

Berekening van het effect van een afname van opbrengst op de maatschappelijk welvaart

Het economisch effect van opbrengstderving door droogte wordt berekend aan de hand van veranderingen in het consumenten- en producentensurplus. Samen is dit een maat voor de maatschappelijke welvaart. Onderstaande vraag en aanbod curve met P (prijs) op de y-as en Q (aanbod) op de x-as, laat zien wat er gebeurt wanneer droogte leidt tot een afname in aanbod. In deze curve is aangenomen dat de prijs enigszins elastisch is (te zien aan de diagonale vraagcurve), oftewel dat de vraag afneemt bij een hogere prijs. Door een afname van het aanbod verhoogt de prijs en moet de consument meer betalen waardoor hij of zij welvaart verliest. De driehoek P₀, C, P_x laat het consumentensurplus zien zonder droogte. Na afname van het aanbod door droogte neemt het consumentensurplus af tot driehoek P_n, A, P_x. De producent wordt hierdoor gedeeltelijk gecompenseerd voor zijn verlies. Eerst heeft de producent een producentensurplus (maat voor welvaart) bestaande uit rechthoek Q₀, C, P₀, 0. Dit verandert in rechthoek Q_n, A, P_n, 0 bij een productieafname door droogte. Het producenten- en consumentensurplus neemt in dit voorbeeld af met het driehoekje A, B, C. Dit driehoekje staat dus gelijk aan het verlies voor de maatschappij.



Figuur 2.11: Berekening van het effect op de nationale welvaart van een afname in landbouwproductie

Nederland opereert in een internationale voedselmarkt met internationale voedselprijzen. Wanneer Nederland een klein aandeel van een gewas op de wereldmarkt levert, bijvoorbeeld 0.2% van het graan, zal een afname van de Nederlandse productie geen prijsstijging op de wereldmarkt tot gevolg hebben.

Het aandeel is immers te klein om tot een prijsstijging te leiden. Bij een groot aandeel op de wereldmarkt, kan vermindering van het Nederlandse aanbod wel leiden tot prijsstijgingen. Niet alle gewassen zijn onderdeel van een internationale markt, sommige producten worden lokaal verhandeld, zoals gras en mais voor veevoer. De prijsvorming van deze gewassen is daardoor ook lokaal.

De marktomstandigheden van elk gewas zijn dus bepalend voor de prijsvorming. De prijstool berekent of de prijs van een gewas stijgt wanneer opbrengstderving door droogte plaatsvindt. De volgende marktomstandigheden hebben hier effect op:

- Aandeel van het Nederlandse gewas op de wereldmarkt
- Regionale markten
- Prijselasticiteit

De invoer voor de berekeningen zijn de gewasgroepen zoals gedefinieerd in Agricom. Sommige gewasgroepen, zoals aardappels, bestaan uit soorten met een zeer verschillende prijs per kg, aandeel in de wereldmarkt en prijseffect. Daarom zijn een aantal gewasgroepen verder uitgesplitst. De belangrijkste verandering ten opzichte van de 9 gewasgroepen in Agricom is de uitsplitsing van de gewasgroep aardappels in consumptieaardappelen, fabrieksaardappels en pootaardappels en de gewasgroep overig in uien en overig (zie ook WEcR, 2019).

Voor elke gewasgroep is bepaald of de markt regionaal of internationaal is. Bij een internationale markt is vervolgens het Nederlandse aanbod en de Nederlandse vraag van het gewas op de wereldmarkt onderzocht. Bijvoorbeeld, de markt voor suikerbieten en granen is zeer internationaal. Nederland heeft een verwaarloosbaar aandeel van het wereldaanbod in handen. Een afname van het aanbod zal dus niet leiden tot een andere prijs op de wereldmarkt, oftewel er is geen prijseffect. Een suikerbietboer kan de afname van zijn opbrengst dus niet compenseren door een hogere prijs te vragen. Het economisch effect van droogte bestaat voor deze gewassen alleen uit een vermindering van de inkomsten van de boer door afname van de opbrengst.

Voor andere landbouwproducten, zoals bomen, is het Nederlandse aandeel in de wereldmarkt 100%. De Nederlandse vraag maakt 50% uit van het -in dit geval Nederlandse- aanbod. Productiederving door droogte in Nederland leidt dus tot een stijging van de wereldmarktprijs. Boomteelt is geen basisproduct, de vraag zal dus afnemen bij een prijsstijging. Hiervoor zijn prijselasticiteiten gedefinieerd. Voor boomteelt wordt een prijselasticiteit van -1 gehanteerd. Dit betekent dat wanneer de prijs met 1% stijgt, de vraag met 1% zal afnemen. Dit betekent dus ook dat bij een 1% lager aanbod de prijs 1% kan stijgen. Een deel van de opbrengstderving van de boeren wordt gecompenseerd doordat de boer een hogere prijs kan vragen. Daarentegen ondervindt de consument van boomteeltproducten een negatief economisch effect. Ongeveer 50% van de consumenten bevindt zich in het buitenland. De hogere prijs die buitenlandse consumenten betalen wordt niet toegerekend aan het Nederlandse economisch effect.

Voor grasland en mais is de markt regionaal, deze producten worden niet of zeer beperkt buiten de regio verhandeld. Gras en mais worden gebruikt als ruwvoer voor vee, de alternatieven voor gras en mais (buiten de regio) zijn beperkt. Daarom is aangenomen dat de vraag en het aanbod van gras en mais binnen de regio gelijk is. De vraag zal dus niet zo snel afnemen wanneer de prijs stijgt, oftewel de gewassen zijn prijsinelastisch.

De prijsstool hanteert een prijselasticiteit van -0.2 voor deze gewassen. Dit betekent dat wanneer het aanbod afneemt met 0.2% de prijs met 1% stijgt. Anders dan bij andere gewassen is de consument (koper van gras en mais) de boer zelf.

Tabel 2.3: Aannames prijsstool over aanwezigheid van een prijseffect, verhandeling op de regionale of internationale markt, aandeel van NL productie in het wereldaanbod en aanbod van NL productie in de wereldvraag (op basis van Polman et al, 2019).

	Prijseffect (Prijselasticiteit (%))	Regionale markt	NL aandeel in wereldaanbod	NL aandeel in wereldvraag
Grasland, Mais	Ja (-0.2)	Ja	0%	0%
Bieten, Granen, Fruit, Consumptie en Fabriksaardappelen, Overig	Nee	Nee	<0.1%	<0.1%
Boomteelt	Ja (-1)	Nee	100%	50%
Bollen (Gladiool, Hyacinth, Narcis, Tulp, Rest)	Ja (-1)	Nee	100%	10%
Pootaardappelen	Ja (-0.2)	Nee	60%	25%
Uien	Ja (-0.2)	Nee	2%	1%

Op basis van deze gegevens wordt voor elk gewas de vraag en de prijsverandering bepaald. Dit is vervolgens invoer voor de berekening van het effect op consumenten en producenten (zie Tekstbox 2.1). Een deel van het effect op de consumenten behoort niet tot het nationaal economisch effect, omdat deze consumenten zich buiten Nederland bevinden. Het effect op de Nederlandse consumenten en producenten samen bedraagt het economisch effect door opbrengstderving.

Tijdens een droogte gaat de boer vaker beregenen waardoor de productiekosten toenemen. In de deltasceario's neemt daarbij ook het potentieel areaal dat beregend kan worden (areaal waar beregeningsinstallaties staan) toe door autonome aanpassing van de boer aan een veranderend klimaat. Het totaal aan extra beregening leidt tot extra productiekosten voor de boer. De beregeningskosten worden berekend door de mate van beregening berekend met het LHM te vermenigvuldigen met de variabele beregeningskosten. Dit zijn ((Prinsen en Verschuur, 1995; Reinhard, 2019;):

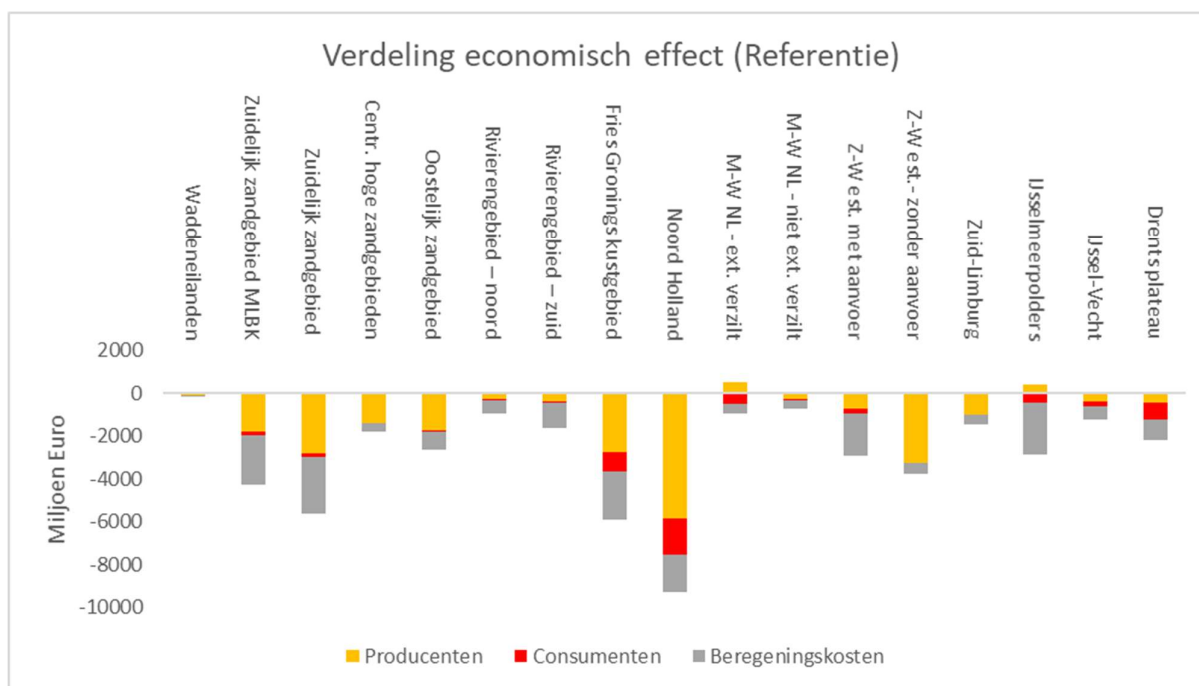
- Arbeidskosten: 50 cent per mm per hectare
- Energiekosten: 156 cent per mm per hectare

De beregeningskosten worden opgeteld bij het economisch effect door opbrengstderving. Samen vormen ze het totaal economische effect van droogte op de landbouw voor de maatschappij

2.5.2 Resultaat: Verandering consumenten- en producentensurplus

Het resultaat is een verandering van het economisch effect per zoetwaterregio en gewas per jaar. Het economisch effect kan worden uitgesplitst in het effect op consumenten, producenten. Figuur 2.12 geeft een uitsplitsing van het totaal economisch effect voor de 17 zoetwaterregio's.

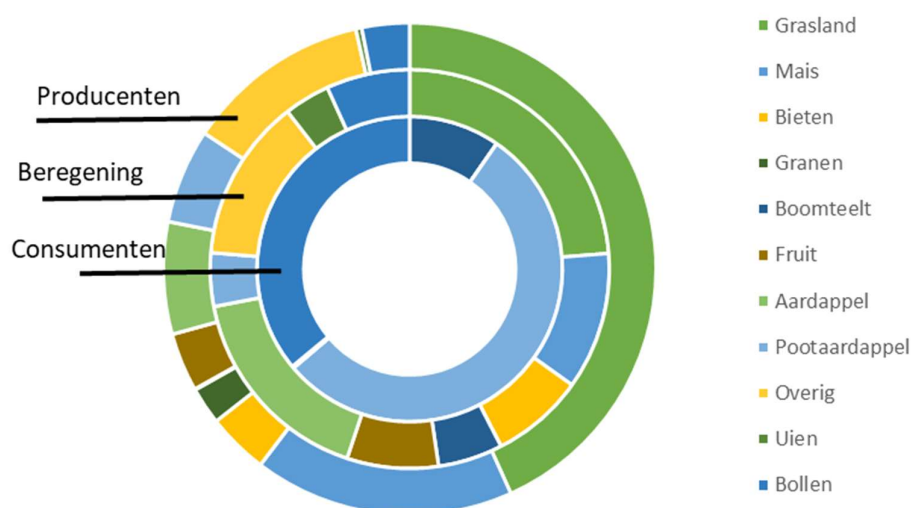
De beregeningskosten kunnen worden opgeteld bij het effect op de producenten, maar is hier uitgesplitst in een aparte categorie. Opvallend is dat in sommige regio's (Midden-West Nederland extern verzilt en de IJsselmeerpolders) producenten voordeel ondervinden van opbrengstderving. De reden is de relatief hoge bollenproductie in deze regio. De prijs van bollen stijgt bij een verminderd aanbod, voor deze boeren valt dit positief uit. In Noord-Holland, het Zuidelijk zandgebied en het Fries Gronings kustgebied is het economisch effect het grootst. Deze regio's zijn groot in oppervlak en verbouwen relatief veel gewassen met veel derving per hectare door droogte, zoals aardappelen, bollen en bieten.



Figuur 2.12 : Verdeling economisch effect over regio's. Dit voorbeeld laat het economisch effect van droogte in de referentiesituatie zien. Een verdeling is gemaakt tussen negatief economisch effect op de producenten, consumenten en het effect door verhoging van beregeningskosten (apart gepresenteerd, maar kan ook opgeteld worden bij kosten producenten)..

Elk gewas heeft zijn eigen aandeel in het totaal economisch effect. Alleen derving van gewassen waarvoor een prijseffect kan optreden, zoals in het model bollen en pootaardappelen, hebben effect op de prijs die consumenten betalen voor producten. Figuur 2.13 laat zien welk aandeel van het economisch effect door welk gewas wordt veroorzaakt. De binnenste ring geeft het effect op de consumenten weer. De figuur laat zien dat het effect op consumenten voornamelijk wordt veroorzaakt door de prijsstijging van pootaardappelen en bollen. Dit is in lijn met de aannames in de prijsstool. De middelste ring bevat de beregeningskosten per gewas. De beregeningskosten zijn het hoogst voor grasland, aardappels en bieten. Grasland heeft het grootste areaal in Nederland, waardoor ook de beregeningskosten relatief hoog zijn.

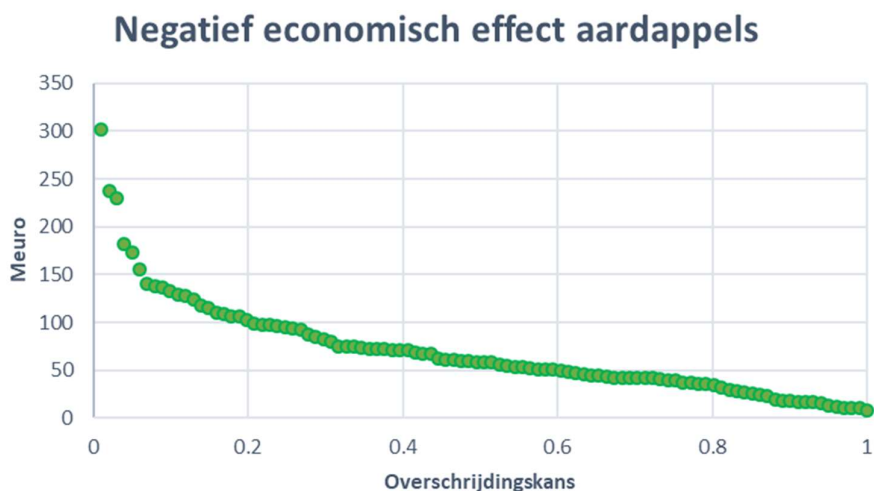
Het areaal aardappels en bieten is relatief groot én worden intensief beregend, waardoor ook voor deze gewassen de beregeningskosten hoog zijn. De buitenste ring verbeeldt het effect op de producenten (zonder beregeningskosten)⁶. Grasland en mais hebben een aandeel van bijna twee derde in het economisch effect op de producenten. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de grote arealen gras en mais in Nederland, waardoor er relatief ook veel derving kan optreden.



Figuur 2.13: Elke cirkel is het totaal economisch effect voor producenten (buitenste cirkel), beregening (middelste cirkel) en consumenten (binnenste cirkel). De kleuren geven aan welk deel van het economisch effect wordt veroorzaakt door welk gewas. Bijvoorbeeld het effect op consumenten bestaat uit een vermindering van productie van bollen, pootaardappelen en boomteelt (zie binnenste cirkel). Pootaardappelen zorgen voor het grootste effect op Nederlandse consumenten.

Op basis van de resultaten kunnen risicocurves worden gemaakt (zie Figuur 2.12 en Deltares et al, 2015; Van der Vat et al, 2016). Een voordeel van deze curve is dat niet alleen de gemiddeldes, maar ook de effecten in extreem droge jaren worden gevisualiseerd. Deze figuur illustreert het negatief economisch effect op aardappelen aan de hand van verschillende overschrijdingskansen. Aan de linkerkant van de x-as staan zeer kleine overschrijdingskansen met een relatief hoog economisch effect, terwijl aan de rechterkant van de x-as grote overschrijdingskansen worden gepresenteerd. Bijvoorbeeld de kans van voorkomen op een economisch effect van 300 miljoen euro is ongeveer 0.01. Dit betekent dat in ongeveer 1% van de jaren een negatief economisch effect van 300 miljoen of meer optreedt. Bij een overschrijdingskans van 0.2 treedt in 20% van de jaren een negatief economisch effect van 100 miljoen of meer op. Het gemiddelde economisch effect, ofwel het droogterisico, voor aardappelen is in dit voorbeeld 70 miljoen.

⁶ Het consumentensurplus van gras en mais is hier bij opgeteld, omdat de consument hier ook de boer is.
Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater



Figuur 2.9: Overschrijdingskans van het negatief economisch effect. De linkerkant van de grafiek laat kleine overschrijdingskansen (kans van 1/100 dat het negatief economisch effect op aardappels is 300 miljoen of meer) zien en de rechterkant van de grafiek grote overschrijdingskansen.

Deze resultaten kunnen gebruikt worden in maatschappelijke kosten-baten analyses. In een dergelijke analyse worden de welvaartseffecten van maatregelen in beeld gebracht. Het gemiddelde negatief economisch effect *met* maatregel wordt vergeleken met het gemiddeld negatief economisch effect *zonder* maatregel. Dit wordt gedaan voor zowel de huidige als de toekomstige situatie. Het verschil geeft het welvaartseffect van de maatregel op de landbouw.

2.5.3 Betrouwbaarheid

Het prijseffect in de prijstool is bepaald op basis van de derving berekend met Agricom. De potentiële opbrengst is hierbij als uitgangspunt genomen. De daadwerkelijke prijs wordt bepaald op basis van de gemiddelde opbrengst. Voor een betere bepaling van het consumenten- en producenten surplus dient men daarom uit te gaan van veranderingen ten opzichte van de gemiddelde opbrengst. Het resultaat is naar verwachting een veel kleinere verandering van het producenten- en vooral het consumentensurplus dan in de huidige berekeningen. De inschatting is dat de huidige berekening het economisch effect overschat.

De Prijstool Landbouw richt zich op het berekenen van het economisch effect van verminderde landbouwproductie door het effect op de prijs te bepalen. De belangrijkste onzekerheid zit hierbij in de vorm van de prijsfunctie, die nu lineair verondersteld is, en de prijselasticiteit. De prijselasticiteit wordt gebruikt om het effect op consumenten in te schatten. Deze prijselasticiteiten zijn bepaald op basis van beperkte data. Aan de hand van de droogte van 2018 kan deze inschatting worden verbeterd. Dit leidt mogelijk tot een andere verdeling van het economisch effect tussen producenten en consumenten. Ook kan per deltasenario gevarieerd worden met de prijselasticiteit. Betere inschatting van de prijselasticiteit kan leiden tot een aanzienlijke overschatting of onderschatting van het economisch effect. In de effectmodule worden hogere productiekosten (door berekening) van agrariërs niet doorberekend in de prijs van producten.

Een andere aanname heeft een beperkt effect op het totaal economisch effect, maar kan wel zorgen voor verschuiving van een deel van het effect van de producent naar de consument.

Bij de bepaling van het economisch effect wordt in de Prijsstool alleen gekeken naar de opbrengst en de prijs. Het effect van droogte op opslag en voorraadvorming wordt niet meegenomen, hoewel dit een belangrijke impact kan hebben. Zo hebben veehouders in de meeste gevallen voldoende ruwvoer voorraad om de gevolgen van één jaar tegenvallende oogst van gras en mais op te vangen. Bij een droogte van twee opeenvolgende jaren wordt de schade exponentieel groter.

Droogte in Nederland gaat vaak gepaard met droogte in onze buurlanden. Nederlandse boeren kunnen mogelijk profiteren van prijsstijgingen van landbouwproducten door afname aan landbouwopbrengst in onze buurlanden. Dit is voornamelijk het geval wanneer de opbrengstderving in onze buurlanden tijdens een droogte groter is dan in Nederland. Polman et al (2019) beschrijft het mogelijke effect van droogte in onze buurlanden op het economisch effect in Nederland.

Verder wordt geen rekening gehouden met mogelijke aanpassing in de teelt van gewassen als reactie op klimaatverandering of economische ontwikkelingen. Als er in de toekomst innovaties beschikbaar komen die tegen lagere kosten opbrengstderving tegen kunnen gaan zal in de praktijk minder van de traditionele vormen van beregening gebruik gemaakt worden. Ook wordt er geen rekening gehouden met verandering in de kwaliteit van de producten.

De prijsstool helpt om het economisch effect van droogte op de landbouwsector in beeld te brengen. De vele onzekerheden laten echter ook zien dat het economisch effect onder of overschat kan worden.

2.6 Conclusie betrouwbaarheid

Met de effectmodule landbouw kan het effect van droogte op de landbouw worden vertaald in een economisch effect op de maatschappij. De effectmodule is in staat om onderscheid te maken in de economische effecten per regio en per gewas, maar ook in effecten op agrariërs en consumenten. De effectmodule bestaat uit hydrologische modellering van bodemvocht, verdamping en chlorideconcentratie met het NWM, inschatting van de gewasderving en beregeningskosten met Agricom en bepaling van het economische effect op de maatschappij met de Prijsstool Landbouw.

In elk van deze onderdelen worden aannames gedaan en zijn beslissingen genomen die effect hebben op de eindresultaten. In Tabel 2.4 zijn alle aannames en beslissingen – zoals besproken in de eerdere paragrafen van dit hoofdstuk - op een rij gezet. Sommige aannames hebben naar verwachting veel invloed op de eindresultaten, terwijl anderen een beperkt effect hebben. Een klein effect heeft de ordegrrootte van een aantal procenten, een middelgroot effect van een aantal tientallen procenten en een groot effect kan honderden procenten uitmaken. De richting van het effect is ook van belang. Indien alle aannames leiden tot een overschatting van de eindresultaten dan kan met zekerheid worden gesteld dat de eindresultaten te hoog worden ingeschat. Daarentegen kan een combinatie van overschattingen en onderschattingen ertoe leiden dat het eindresultaat een goede indicatie geeft van het werkelijke effect.

De betrouwbaarheidsanalyse geeft een combinatie van verwachte onderschatting en overschatting van de resultaten. Hierdoor kan niet met zekerheid worden gesteld of het resultaat dan wel wordt over- of onderschat.

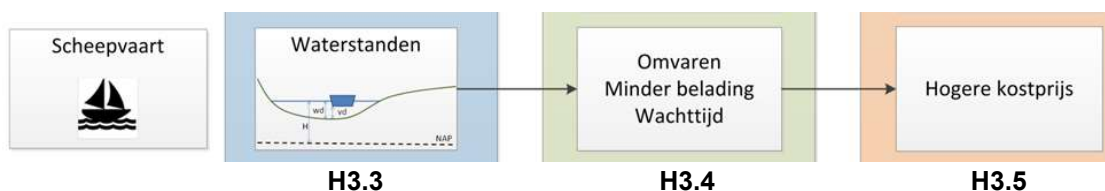
Het effect op de eindresultaten van de meeste aannames is klein tot middelgroot. Voor de aannames met een middelgroot effect bevelen we aan om een aanpassing te doen aan de analyse of een betere inschatting te maken van daadwerkelijke effect op de eindresultaten.

Tabel 2.4: Het effect van aannames en uitgangspunten in de effectmodule landbouw op de eindresultaten.

Aannames/	Effect op eindresultaten	Effect op eindresultaten
Potentiele gewasopbrengst niet geactualiseerd	Klein	Underschatting
Variatie schade gewas per groeistadium	Midden	Overschatting of Underschatting
Remaining yield concept	Klein	Underschatting
Afstemming groeiseizoen LHM – Agricom	Klein	Overschatting of Underschatting
Differentiatie gewasgroepen	Midden	Overschatting of Underschatting
Verminderde droogtegevoeligheid gewassen	Midden	Overschatting
Verdampingsfactor correctie	Midden	Overschatting
Toegenomen gewasopbrengst	Midden	Underschatting
Prijselasticiteit o.b.v. gemiddelde opbrengst	Midden	Overschatting
Vorm van prijsfunctie	Klein	Overschatting of onderschatting
Prijselasticiteit beter inschatten	Midden	Overschatting of onderschatting
Effect opslag en voorraadvorming	Midden	Underschatting
Innovatie in teelten	Klein	Overschatting
Contracten agrariërs	Klein	Underschatting

3 Effectmodule scheepvaart

3.1 Doel en introductie

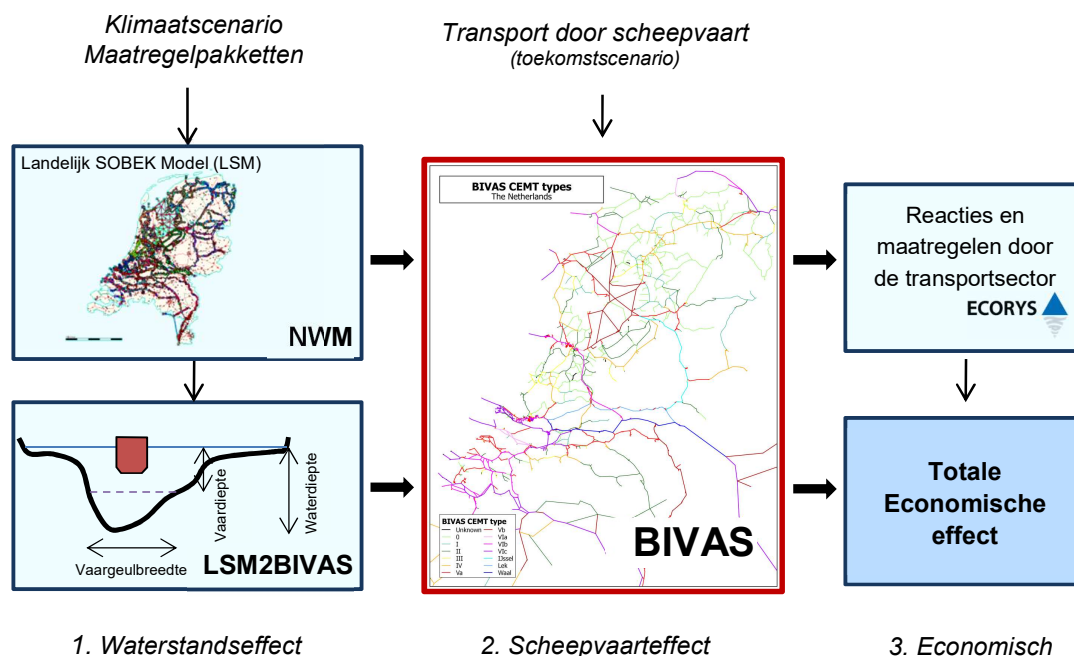


De Effectmodule Scheepvaart berekent het economische effect van een afname van de efficiëntie van de Nederlandse binnenvaartsector door droogte. De effectmodule wordt gebruikt om het huidige en toekomstige risico van droogte voor Nederland in te schatten en om baten (of kosten) van zoetwatermaatregelen voor de binnenvaartsector door te rekenen.

Tijdens een droge periode neemt de afvoer op de rivieren af. Dit heeft tot gevolg dat op vrijafstromende rivieren de waterdiepte afneemt, waardoor schepen niet met volledige belading of in zijn geheel niet kunnen varen. De binnenvaart anticipeert hierop door op basis van uitgegeven metingen van de waterdiepte (Minst Gepeilde Diepte, MGD) een optimale route te kiezen en indien nodig de belading te reduceren. Het resultaat is dat schepen vaker varen, omvaren en langer wachten voor sluisen. Met als gevolg hogere vaarkosten. Andere manieren om te anticiperen op lagere waterstanden zijn het uitstellen van de vaart en het vervoeren van de vracht met andere modaliteiten, zoals trein en via de weg (ook wel modal shift genoemd). Ook dit leidt tot een kostentoeename doordat opslag en transportkosten omhoog gaan. Op de lange termijn zal de sector zich aanpassen, door onder andere het vergroten van de opslagcapaciteit, aanpassingen van de vloot en een permanente modal shift. De toegenomen kosten die worden gemaakt door Nederlandse schippers, verladers en andere bedrijven tijdens een droge periode, samen met de eventuele prijsstijgingen voor Nederlandse consumenten, geeft het totale economische effect van droogte. De toename van kosten wordt bepaald door de kosten in een zeer nat jaar (1916) af te zetten tegen de kosten in een droog jaar.

3.2 Opzet effectmodule

In het onderstaande diagram is de werking van de effectmodule scheepvaart schematisch weergegeven. Ieder van de stappen in de figuur wordt in de hierop volgende paragraaf verder uitgelegd.



Figuur 3.1 Overzicht van de stappen die worden genomen in de effectmodule scheepvaart inclusief de gebruikte modellen.

Het effect van lagere afvoeren op de binnenvaart en de resulterende maatschappelijke effecten wordt berekend door achtereenvolgens de volgende rekenmodellen te draaien:

- Het Landelijk Sobek Model (LSM, zie www.nhi.nu) is onderdeel van het Nationaal Water Model (NWM) en berekent afvoeren, stroomsnelheden en waterdiepten voor de rivieren en kanalen.
- BIVAS berekent de vaarbewegingen en vaarkosten van de binnenvaart. Voor een gegeven herkomst en bestemming, en met opgelegde beperkingen door beperkte vaardiepte en de dimensies van het schip, wordt de optimale vaarroute berekend. Dit wordt gedaan op dagbasis.
- Met de economische effectbepaling scheepvaart (Ecorys, 2018) worden de maatschappelijke kosten van scheepvaartbeperkingen bepaald. Deze bestaan voornamelijk uit een toename van de vaarkosten, zoals berekend door BIVAS, maar ook uit kosten van extra opslag en transport met andere modaliteiten.

Voor het bepalen van het effect van klimaatverandering op de economische effecten voor de scheepvaart, dient bij voorkeur een lange meteorologische tijdreeks doorgerekend worden met de modellen. Voor het Deltaprogramma Zoetwater is hiervoor de tijdreeks 1911-2011 gebruikt. De basis van de effectmodule scheepvaart wordt gevormd door de netwerkmodellering met het pakket BIVAS.

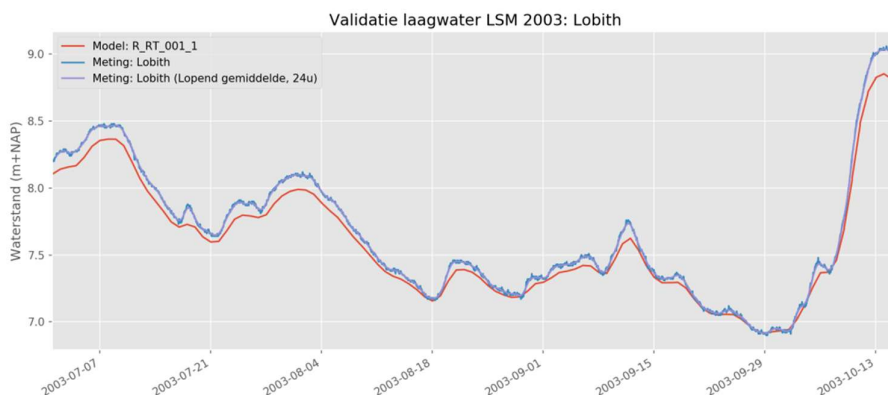
Hieromheen zijn een aantal stappen gedefinieerd om tot de juiste invoer te komen en is de uitvoer van BIVAS nabewerkt door ook de reacties van de transportsector mee te nemen in de berekening van het totale welvaartseffect. De drie stappen worden beschreven als het waterstandseffect, het scheepvaarteffect en het economisch effect.

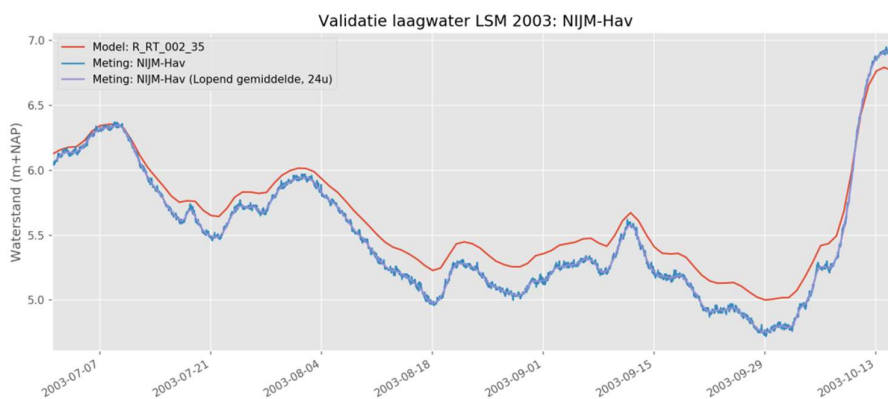
3.3 Hydrologisch effect - Waterstandseffect

3.3.1 Beschrijving

De waterdiepte in de kanalen en rivieren in Nederland wordt bepaald door instromende afvoeren uit België en Duitsland, door neerslag en door diverse onttrekkingen en lozingen op het watersysteem. De watervraag en -aanbod, en de distributie van het water over het netwerk wordt berekend met het Nationaal Water Model (NWM). Het hydrodynamische instrumentarium van het NWM is het Landelijk SOBEK Model (LSM) waarin naast de afvoeren ook de stroomsnelheden en waterdiepten worden berekend.

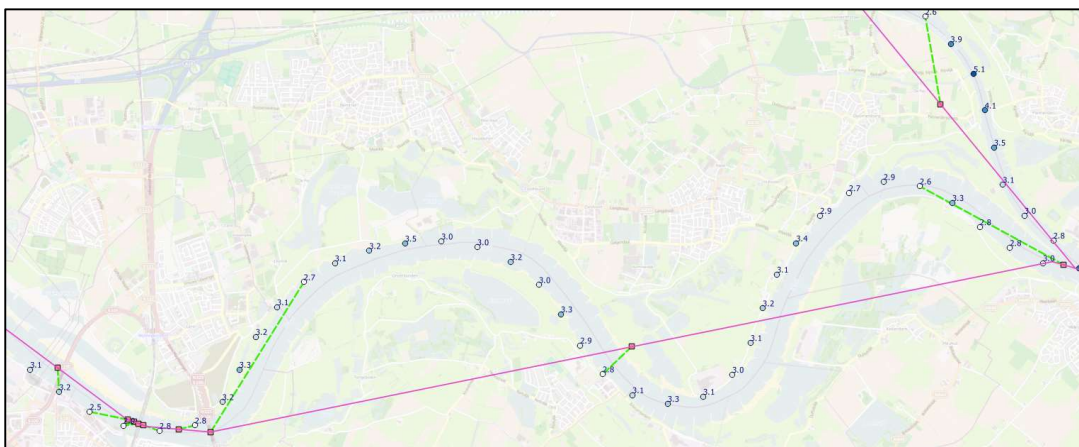
Het NWM is (in beperkte mate) gevalideerd voor waterstanden en afvoerverdeling in reguliere en natte perioden (Wesseling, 2014) en uitgebreid met een validatie voor het droge jaar 2003 (De Jong, 2017). De waterstanden berekend met het LSM en metingen zijn vergeleken voor alle stations van de Rijntakken. De resultaten voor Lobith en Nijmegen zijn overgenomen in Figuur 3.2. De studie toont aan dat de laagwaterperiode voor de meeste meetstations overeenkomt met de waterstanden berekend met LSM. De grootste uitzondering hierop is het station Nijmegen. Om de overschatting van de waterstand bij dit station te reduceren wordt de vaardiepte hier gecorrigeerd met 0.2 meter.





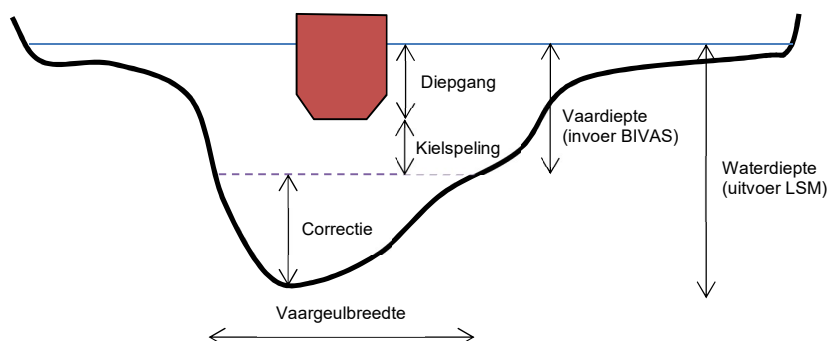
Figuur 3.2 Vergelijking tussen LSM-modelresultaten en gemeten waterstanden. Resultaten voor meer meetstations op de Rijntakken zijn opgenomen in (De Jong, 2017)

De stroomsnelheden en waterdiepten op de vrij-afstromende rivieren worden vertaald naar het netwerk in BIVAS met de python-tool LSM2BIVAS. Voor het bepalen van de koppeling van de netwerken is uitgegaan van een voorselectie van de rekenpunten van de Rijntakken en Maasroute in beide modellen. De rekenpunten die in beide modellen het dichtst bij elkaar liggen zijn aan elkaar gekoppeld. Hierna is handmatig een correctie uitgevoerd om te zorgen dat de maatgevende ondieptes in het LSM ook in het grovere BIVAS-netwerk terecht komen. In Figuur 3.3 is een voorbeeld gegeven van de resulterende koppeling.



Figuur 3.3 Koppeling van het LSM-netwerk (ronde markeringen met minimale vaardiepte in simulatie 1976) met het BIVAS-netwerk (roze lijnen met middelpunten als vierkante markeringen) in LSM2BIVAS. De koppeling is gegeven met groene lijnen.

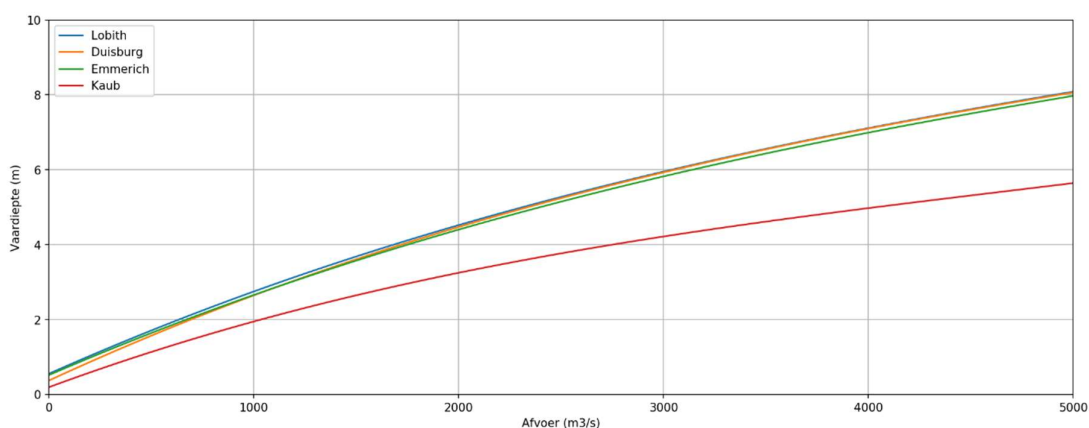
Bij de koppeling wordt ook een correctie uitgevoerd voor de waterdiepte. Door LSM wordt het diepste punt in het dwarsprofiel uitgegeven. Uitgaande van de breedte van de vaarweg uit het Rivierkundig Beoordelingskader wordt een correctiefactor berekend om tot een representatieve minimale vaardiepte te komen (zie Figuur 3.4). De vaardiepte wordt gebruikt als input voor BIVAS. Een correctie voor de kielspeling wordt door BIVAS uitgevoerd en is daarom niet opgenomen in LSM2BIVAS.



Figuur 3.4 De correctie van waterdiepte naar vaardiepte die uitgevoerd wordt door LSM2BIVAS.

NWM berekent enkel de Nederlandse waterstanden. In de praktijk zijn ook de ondiepten in Duitsland bij Kaub en Duisburg vaak maatgevend voor de beladingsgraad van de schepen onderweg naar Duitsland. Omdat deze waterdiepten niet door het LSM uitgegeven worden, is een vereenvoudigde relatie met de afvoer bij Lobith opgesteld. Hiervoor zijn metingen van waterstanden bij Lobith, Duisburg, Emmerich en Kaub geanalyseerd voor de periode 2015 tot 2018 (Waterinfo, Pekelonline)⁷. Op basis van deze data is een polynoom opgesteld om de vaardiepte op het Duitse deel van de Rijn in te schatten (zie Figuur 3.5).

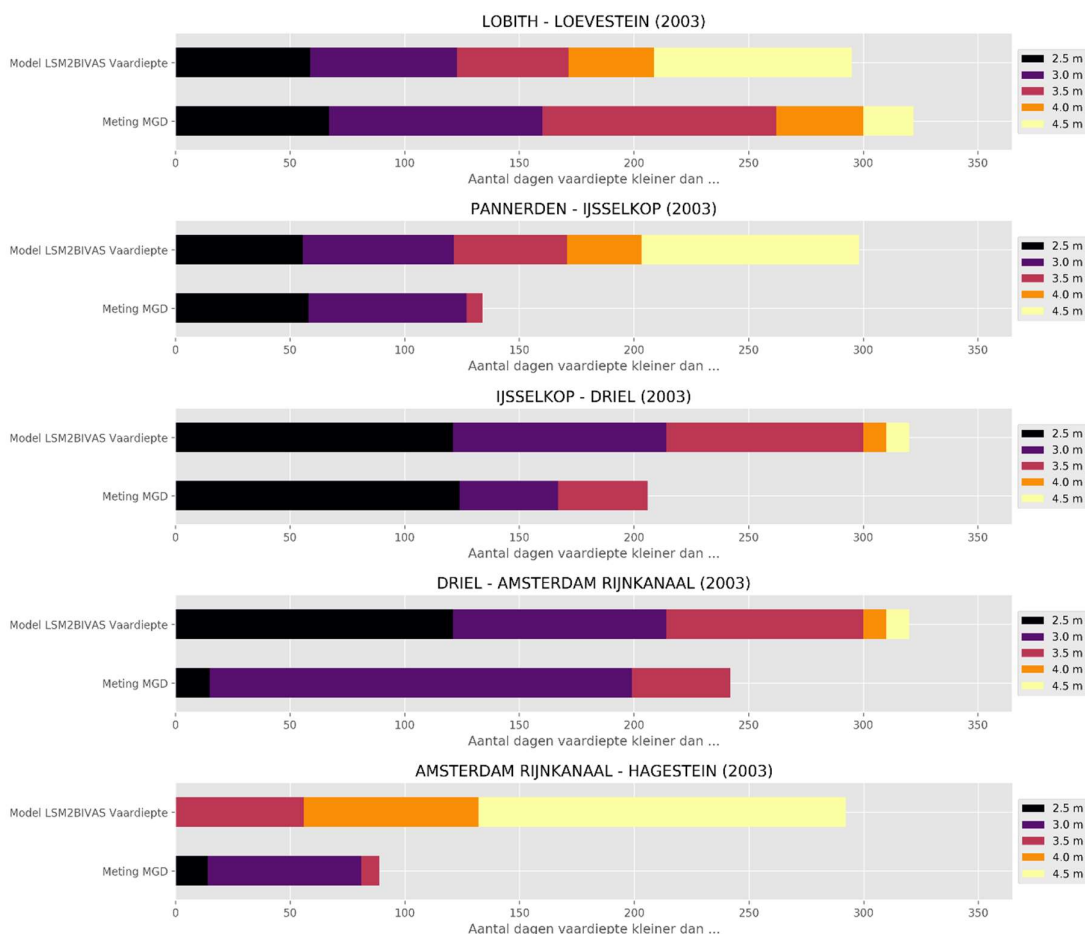
Door de grote afstand tussen Lobith en de Duitse meetstations is de kwaliteit van de polynoom beperkt en bij bepaalde afvoerveranderingen een onnauwkeurigheid tot ruim 1 meter ontstaan ($R^2 = 0.89$). Ondanks deze onnauwkeurigheid is het opnemen van deze vaardiepte een verbetering voor de modellering van de scheepvaart richting Duitsland. De polynomen zijn toegevoegd aan de verwerking in het script LSM2BIVAS.



Figuur 3.5 Afvoer-vaardiepte relatie opgesteld op basis van metingen voor enkele bekende knelpunten op de Rijn in Duitsland.

⁷ De tijdreeksen van waterstanden zijn omgerekend naar een vaardiepte. Hiervoor wordt het verschil gebruikt ten opzichte van de overeengekomen laagwaterstand. Bij deze waterstand is de vaardiepte 2.80m (of 1.90m voor Kaub).

Het resultaat van LSM2BIVAS zijn vaardiepten en stroomsnelheden op de Rijntakken en Maas. Om de vaardiepte te toetsen is een vergelijking gemaakt tussen de resulterende vaardiepte en de Minst Gepeilde Diepte (MGD). De MGD wordt door Rijkswaterstaat dagelijks ingemeten en uitgegeven zodat de scheepvaart hier hun beladingsgraad op kan afstemmen. Deze analyse is uitgevoerd voor alle MGD-trajecten voor de periode van 2002 tot 2010 (De Jong, 2017). In Figuur 3.6 zijn de resultaten voor het droge jaar 2003 weergegeven. In 2003 waren lange perioden met een vaardiepte lager dan 2.5 m. Door LSM2BIVAS worden deze grote droogten redelijk goed benaderd op de belangrijke trajecten Lobith-Loevestein en IJsselkop-Driel. Er zijn echter ook verschillen te zien zoals het aantal dagen dat 3.5m wordt onderschreden op het traject Lobith-Loevestein of de trajecten tussen Driel en Hagestein. Dit wordt veroorzaakt door de methodiek waarop de MGD verkregen wordt en de benadering van de vaardiepte met een 1D-model. Voor toepassing in het Deltaprogramma zijn de resultaten voldoende nauwkeurig.



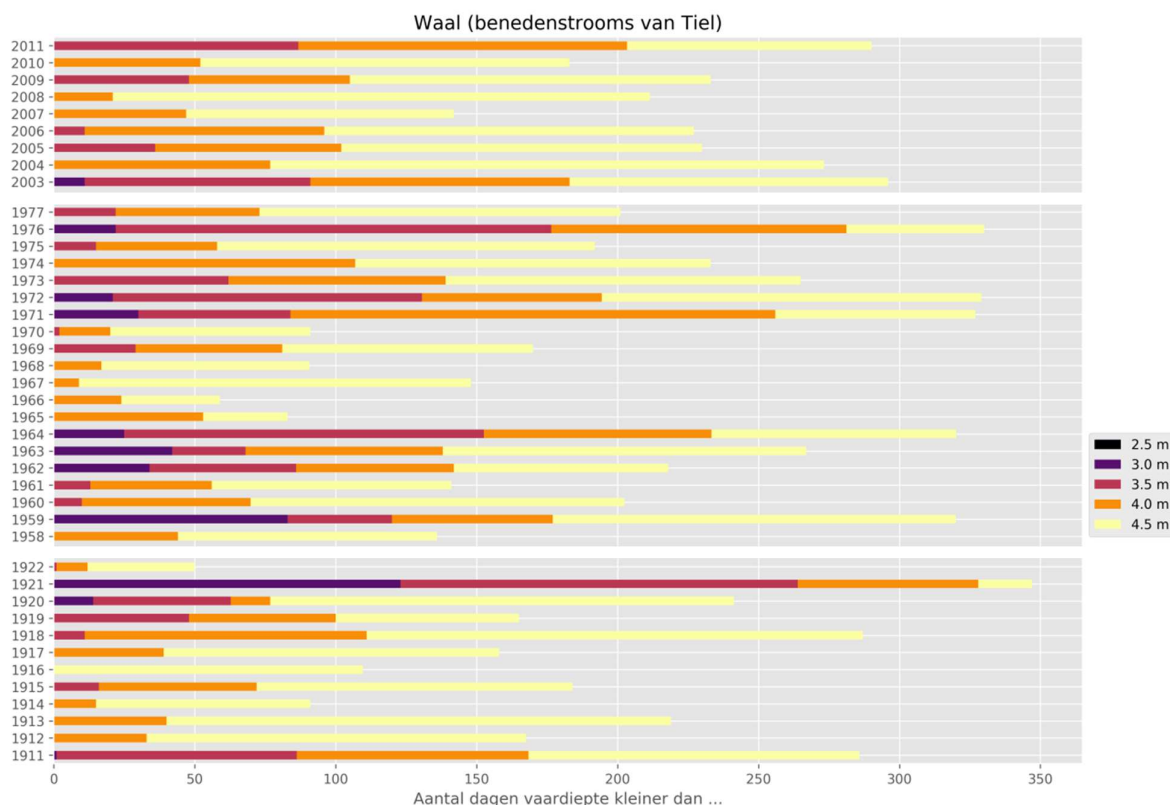
Figuur 3.6 Vergelijking van de LSM2BIVAS vaardiepte met de uitgegeven MGD. De MGD's worden afgegeven voor trajecten. Uit de LSM2BIVAS-resultaten is op hetzelfde traject de minimale vaardiepte genomen.

3.3.2 Resultaat: Vaardiepte op de rivieren

Het resultaat van de analyse zijn vaardiepten op belangrijke rivieren in Nederland, die als invoer dienen voor BIVAS. Het betreft de riviertakken in de corridor Rotterdam – Lobith en de IJssel.

De waterstandsvariatie in het getijdegebied wordt niet meegenomen omdat door LSM daggemiddelden worden uitgevoerd en BIVAS op dagbasis rekent. Hierdoor vervalt de variatie in eb/vloed-stroming en lage getijdewaterstanden. Op wateren waar geen tijdseries uit het LSM wordt toegepast, wordt de standaardwaarde voor de vaardiepte uit BIVAS gebruikt.

Een voorbeeld van de berekende vaardiepte op de Waal voor een deel van de 100 jaar in het referentiescenario is gegeven in Figuur 3.7 (De Jong, 2017).



Figuur 3.7 Weergave van de LSM2BIVAS output naar de vaardiepten per jaar (scenario REF2017BP18) voor de Waal benedenstrooms van Tiel. Voor de leesbaarheid is slechts een deel van de 100-jarige reeks weergegeven.

3.3.3 Betrouwbaarheid

De beladingsgraad wordt bepaald door de beschikbare vaardiepte. Kleine variaties in de vaardiepte hebben een direct effect op de beladingsgraad. Zodra de waterdiepte onder de mediane waarden komt, telt elke centimeter extra diepgang.

Deze vraag naar een hoge nauwkeurigheid van de vaardiepte kan met de gebruikte methoden niet bereikt worden. Ondiepten worden vaak veroorzaakt door de dynamische veranderingen in de bodemhoogte en worden onderhouden door baggerwerkzaamheden. De ondiepten zullen daarnaast vaak zeer lokaal optreden. Het LSM en LSM2BIVAS maken gebruik van een historische bodemligging die voor de 1D-modellering ook over langere trajecten (vaak 500m) is gemiddeld. Hierdoor kan lokaal in de vaardiepte een afwijking ontstaan tot vele centimeters.

Doordat in het NWM geen hydrodynamische modellering van de Duitse wateren was opgenomen en dit wel een knelpunt is voor de scheepvaart, zijn hier grove aannames gedaan op basis van de afvoer bij Lobith. Dit kan een onnauwkeurigheid in de vaardiepte tot enkele decimeters geven.

De focus van het Deltaprogramma ligt echter vooral op het analyseren van de relatieve veranderingen. Deze relatieve verandering in vaardiepten wordt door het LSM voldoende nauwkeurig bepaald, waardoor de resultaten betrouwbaar genoeg zijn voor het DP Zoetwater.

3.4 Scheepvaarteffect: Vaarbewegingen en vaarkosten

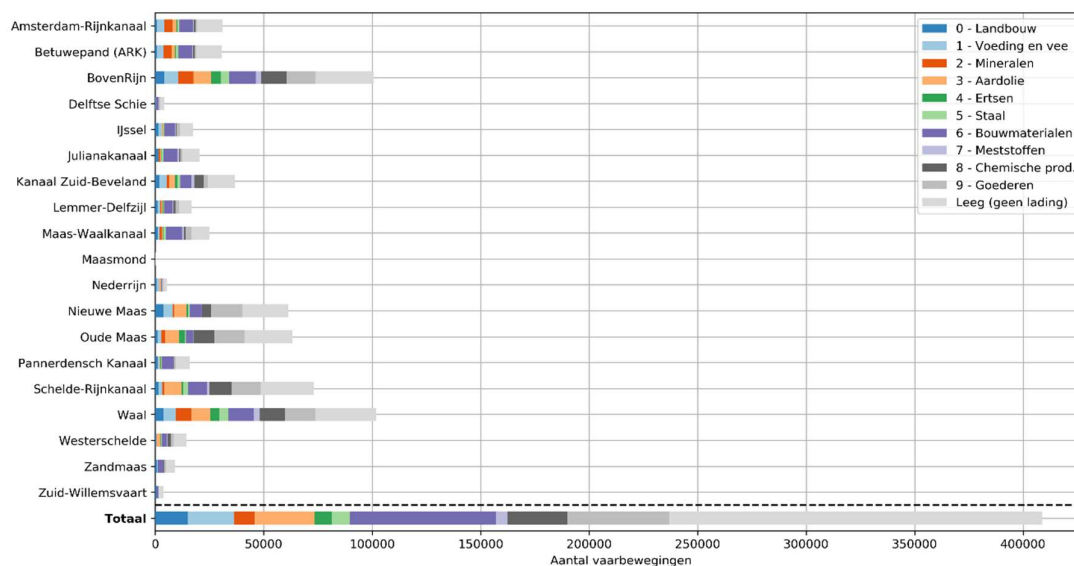
3.4.1 Beschrijving

De totale vaarkosten die gemaakt worden door de binnenvaart worden berekend met de tool BIVAS (**B**innenvaart **A**nalyse **S**ysteem). BIVAS⁸ is ontwikkeld en wordt beheerd door Charta Software in opdracht van Rijkswaterstaat (WVL). BIVAS bevat een netwerk van alle vaarwegen in Nederland en een schematische weergave van het netwerk van onze buurlanden. Voor een gegeven vaardiepte over de takken in het netwerk wordt een ingegeven scheepvaartbestand doorgerekend met van alle schepen de herkomst-bestemmingen en eigenschappen zoals de dimensies, diepgang, en vracht. Voor ieder van de schepen wordt de optimale vaarroute, oftewel de vaarroute met de laagste vaarkosten, berekend door BIVAS. Hierbij wordt rekening gehouden met beperkingen door de dimensies van het schip en de diepgang van het schip en de gestelde limieten van het netwerk. De vaarduur en vaarkosten zijn afhankelijk van de vaarroute, maar ook van de snelheid van het schip. In BIVAS wordt de snelheid daarom uitgerekend op basis van de ingegeven vaardiepte. Is er geen route mogelijk, dan wordt de lading van het schip stapsgewijs verminderd tot de diepgang dusdanig is afgenomen dat er wel een route gevonden kan worden. Om alle lading te transporteren worden er extra vaarritten uitgevoerd; vermindert de beladinggraad van 100% naar 80%, dan neemt de waarde van de rit toe naar 125 % (= 1/0.80). Hierbij wordt geen rekening gehouden met het bereiken van de maximale vlootcapaciteit. Bij extreem lage waterstanden kan het ook voorkomen dat ondanks afladen de minimale diepgang wordt onderschreden en daardoor de vaarbeweging niet uitgevoerd kan worden. Doordat BIVAS rekent op een dagbasis, wordt er niet gekeken of de vracht de volgende dag wel vervoerd kan worden en wordt daarom uitgevoerd als niet-vervoerde vracht.

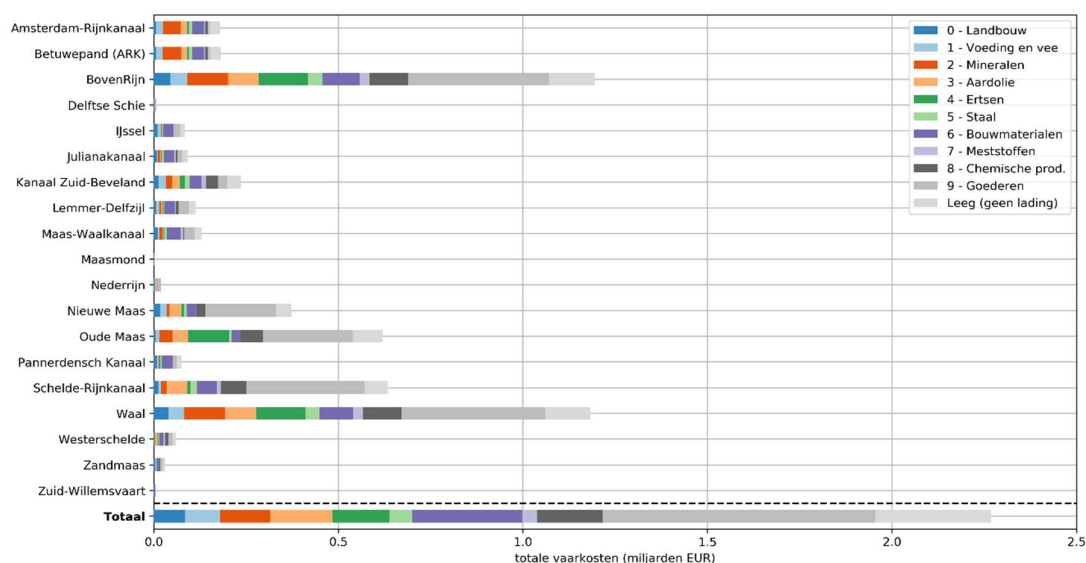
In de analyse zullen we veelal enkel kijken naar de Waal, omdat de beperkingen door droogte en de economische consequenties hier het grootst zijn. Dit is onderbouwd op basis van de spreiding van de vaarbewegingen en vaarkosten gegeven in Figuur 3.8 en Figuur 3.9 (gemaakt op basis van BIVAS-resultaten in een nat jaar in De Jong, 2017). In het eerste figuur is het aantal vaarbewegingen (scheepvaartpassages) per rivier of kanaal te zien (met onderscheid naar goederenklasse (NSTR)). Van de totale scheepvaart gaat ongeveer een kwart over de Waal en Bovenrijn (corridor Rotterdam - Lobith) en zijn er veel vaarbewegingen richting Antwerpen op het Schelde-Rijntakkanaal en binnen de Rijnmaasmonding bij de haven van Rotterdam. Het grootste aandeel van de vaarkosten wordt gemaakt door vaarbewegingen van grote schepen met veel vracht en een grote vaarafstand. In een droge periode zullen deze schepen het snelst de belading moeten verminderen, waardoor er vaker gevaren wordt en de vaarkosten toenemen.

⁸ Er wordt gebruik gemaakt van BIVAS 4.4 met de database als SQLite. Meer informatie over BIVAS is te vinden in de handleiding op: <https://bivas.chartasoftware.com/BIVASApplicatie>

Uit Figuur 3.9 blijkt dat meer dan de helft van de nationale vaarkosten op de corridor Rotterdam-Lobith wordt gemaakt. Verder worden er veel kosten gemaakt binnen het havengebied Rotterdam en op de vaarwegen naar Antwerpen. De kosten op de Maas en IJssel zijn op nationale schaal van een kleinere orde grootte. Dit ondersteunt de keuze om te focussen op het (economisch) effect van vaardieptebeperkingen. Het effect van schutbeperkingen (op de Maas een groot probleem bij lage afvoeren) of breedtebeperkingen (op de IJssel bij enkele bochten) hebben een minder groot effect op de nationale economie.

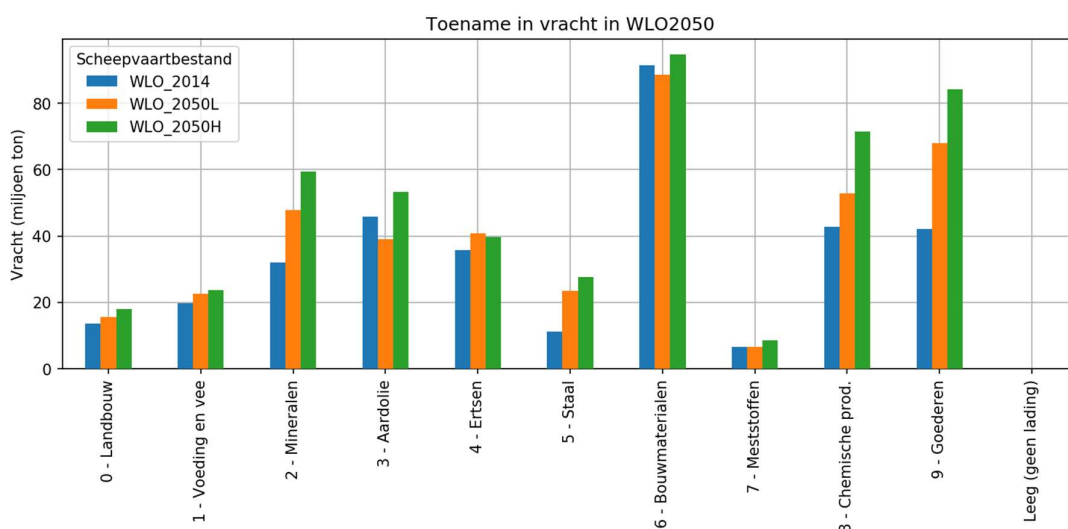


Figuur 3.8 Aantal vaarbewegingen dat plaats vindt op enkele belangrijke scheepvaarwegen



Figuur 3.9 Vaarkosten die gemaakt worden van de scheepvaart die over de gegeven vaarwegen. Opgemerkt wordt dat dit de vaarkosten zijn op het gehele traject van herkomst naar bestemming voor de vaarbewegingen die de vaarweg passeren. Dit betekent dat het op de Waal en Bovenrijn om grotendeels dezelfde vaarbewegingen gaat.

BIVAS berekeningen worden uitgevoerd voor alle vaarbewegingen in het scheepvaartbestand. In het huidige klimaat (referentiescenario) zijn dit ruim 400.000 vaarbewegingen. Voor toekomstige situaties wordt gebruik gemaakt van scenario's uit de Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse (Rijkswaterstaat, 2017) waarbij door grote economische groei dit toeneemt tot 550.000 vaarbewegingen in 2050 (WLO 2050 Hoog). Het WLO Hoog scenario wordt gebruikt in de deltasenario's Druk en Stoom en het WLO Laag scenario in de deltasenario's Rust en Warm. De toename in vervoerde vracht is af te lezen in Figuur 3.10. De grootste groei is aanwezig in de NSTR-classificering mineralen, chemische producten en goederen. Onder deze laatste klasse valt het grootste deel van het containertransport.



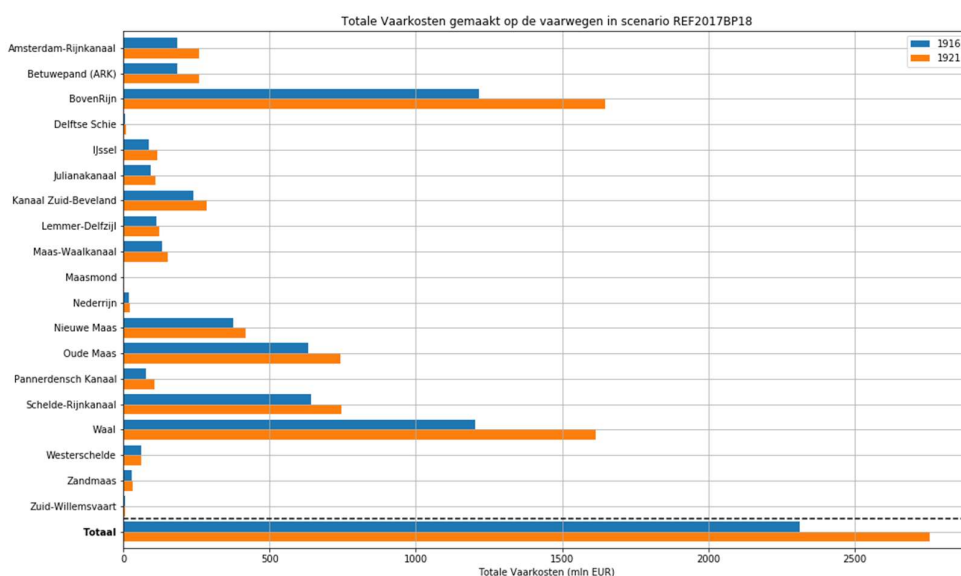
Figuur 3.10 Toename in vracht in het scenarios WLO_2050L en WLO_2050H ten opzichte van basisjaar 2014

3.4.2 Resultaat: Vaarkosten, Vervoerde Vracht en Niet-vervoerde vracht

Het resultaat van BIVAS wordt ten behoeve van de economische analyse gegroepeerd naar transportvorm (droge bulk, natte bulk of containers) en het goederentype (volgens NSTR). Voor iedere combinatie van deze klassen worden onder andere de volgende parameters uitgevoerd:

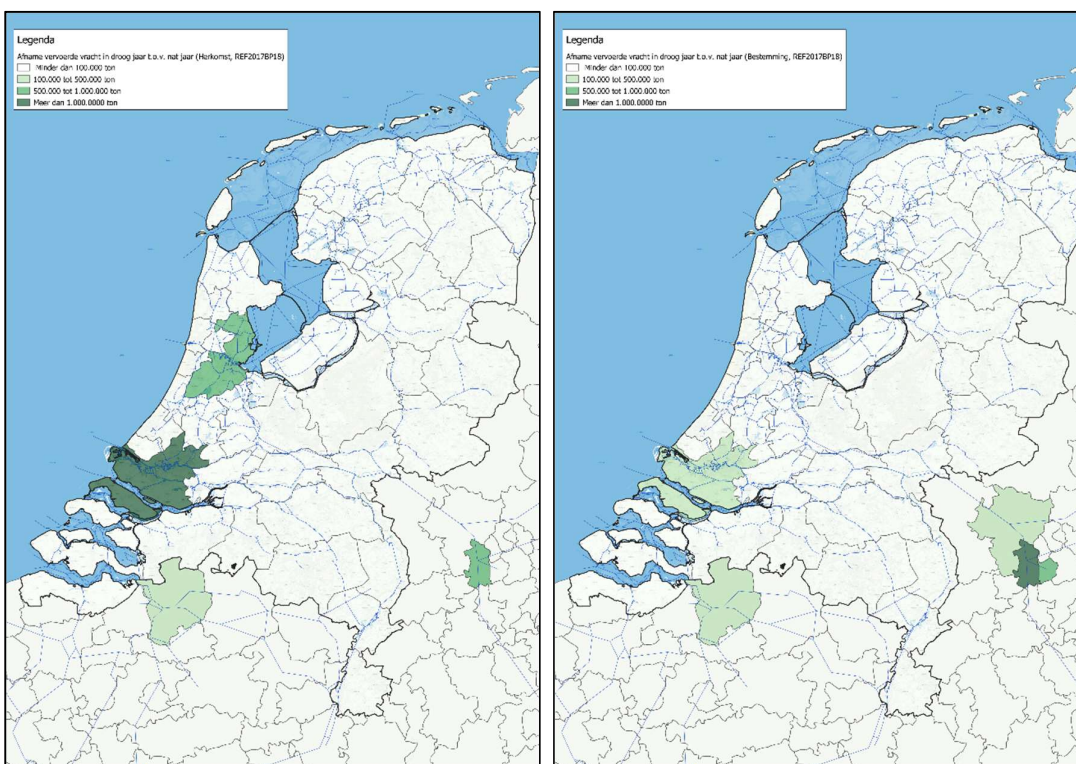
- Totale vaarkosten. Dit bestaat uit zowel directe kosten van de vaarrit (brandstof, personeel, laden en lossen) als indirecte kosten van het schip (onderhoud, verzekeringen, afschrijving). Deze vaarkosten nemen toe als door ondiepte langzamer gevaren wordt en als er meer vaarbewegingen nodig zijn om dezelfde vracht te vervoeren. De vaarkosten nemen echter weer af als door droogte minder vracht vervoerd kan worden.
- Totale vervoerde vracht (uitgedrukt in ton of tonkm). Dit is een maat voor de scheepvaartinspanning die verricht is in een jaar. Een grotere tonkm geeft aan dat er meer vracht is vervoerd of dat er verder gevaren is om deze vracht te vervoeren.
- Totale vracht niet vervoerd (ook wel *achtergebleven vracht*). Als door een lage beschikbare vaardiepte een deel van de lading niet vervoerd kan worden, dan wordt deze niet-vervoerde vracht als post uitgevoerd.

In Figuur 3.11 zijn wederom de vaarkosten gepresenteerd van de scheepvaart over een selectie van vaarwegen en is onderscheid gemaakt tussen een nat jaar (1916) en een zeer droog jaar (1921). De figuur laat duidelijk zien dat het grootste deel van de extra vaarkosten is toe te schrijven aan scheepvaart die de BovenRijn en Waal passeert.



Figuur 3.11 Vaarkosten van vaarbewegingen die plaats vonden op de gegeven vaarwegen voor een nat jaar (1916) en een droog jaar (1921)

De extra vaarkosten worden in de meeste gevallen gedragen door de verladers op de plaats van herkomst of eindbestemming van de vracht. Figuur 3.12 geeft de herkomst en bestemming ruimtelijk weer. Het grootste deel van de vracht is afkomstig uit de havens van Rotterdam, Amsterdam en Antwerpen. De belangrijkste bestemming is het Roergebied, gevolgd door Antwerpen en Rotterdam. Een deel additionele vaarkosten zal dus buiten Nederland worden gemaakt.



Figuur 3.12 Ruimtelijke weergave van de locatie van de afname in vervoerde vracht. Onderscheid is gemaakt naar de afdracht van de kosttoename naar de haven van herkomst (links) of naar de bestemming (rechts).

3.4.3 Betrouwbaarheid

In de conceptuele berekening van BIVAS worden enkele aannamen gedaan. Deze staan hieronder puntsgewijs geformuleerd.

- BIVAS rekent altijd met de eerste mogelijke route waarbij het minst afgeladen hoeft te worden. Dat is niet altijd economisch de meest gunstige optie, als hiervoor ver omgevaren dient te worden.
- Een vaarbeweging die in BIVAS niet uitgevoerd kan worden door te lage diepgang, wordt niet uitgesteld, maar komt te vervallen. Dit wordt in de doorvertaling naar het economische effect verder afgehandeld.
- Er is geen capaciteitsbeperking van de vloot waardoor altijd aan de vraag voldaan kan worden. Ook wordt er geen gebruik gemaakt van het overladen van vracht van grote naar kleinere schepen.
- Er is geen capaciteitsbeperking aan rivieren. Vertragende maatregelen zoals eenrichtingsverkeer zijn hierdoor niet mogelijk. Wel worden bij drukte langere wachttijden bij sluisen meegenomen in de kosten van de vaarrit.
- Langere wachttijden als gevolg van gewijzigd schutregime wordt in BIVAS niet meegenomen.

In de praktijk kunnen schippers en verladers bij droogte andere keuzes maken. Het kan bijvoorbeeld voorkomen dat de schipper een voorkeur heeft voor het afladen van vracht in plaats van omvaren.

In sommige gevallen zal de factor tijd belangrijker zijn voor de verladers dan de kosten, waardoor er niet wordt omgevaan maar wordt afgeladen. Het effect wordt in de effectmodule hierdoor mogelijk licht onderschat.

Daarnaast zijn er beslissingen die de scheepvaartsector kan nemen die niet in BIVAS worden meegenomen. Bijvoorbeeld de schipper kan besluiten om extra duwbakken langszij mee te nemen waardoor feitelijk de vloot verandert. Andere keuzes zijn het halverwege de route overslaan van de vracht naar een kleiner of groter schip en lossen bij een bestemmingshaven met kleinere vaardieptebeperkingen. Doordat deze keuzes niet zijn meegenomen in de effectmodule wordt naar verwachting het effect licht overschat.

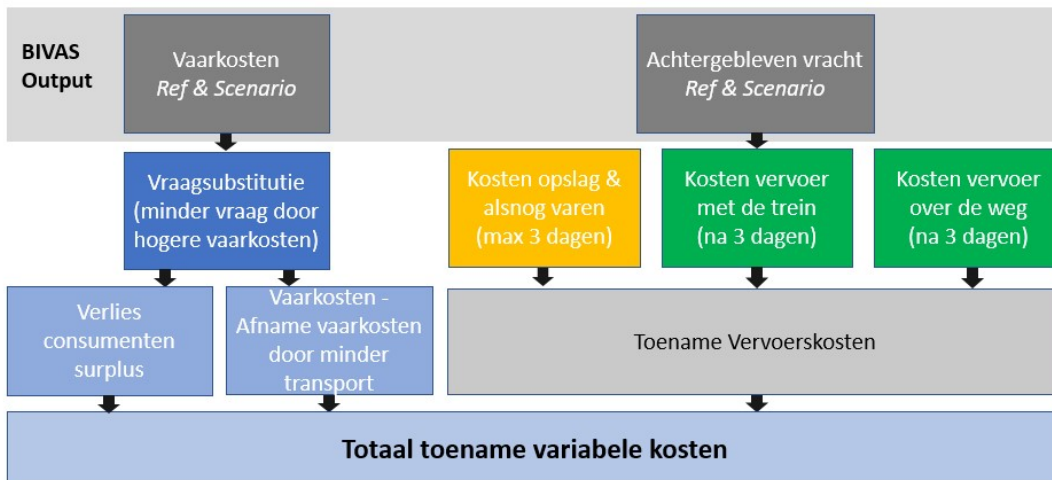
In de praktijk is de capaciteit van de vloot van belang voor het inschatten van de vaarbewegingen. In de huidige situatie is er overcapaciteit. Het is dus mogelijk om tijdens een droogte vracht af te laden en deze vracht te vervoeren met andere schepen. Bij een extreme droogte is de capaciteit mogelijk onvoldoende om de benodigde vaarbewegingen uit te voeren. Deze beperking maakt geen onderdeel uit van BIVAS, waardoor het effect mogelijk wordt onderschat.

3.5 Economische effect

3.5.1 Beschrijving

BIVAS berekent de vaarbewegingen en de resulterende vaarkosten. Het totale economische effect door scheepvaartbeperkingen bestaat echter ook uit andere kosten die de sector maakt om zich voor te bereiden op droogte, waaronder de gevolgen voor de industrie en consumenten. Ecorys (2018) heeft een methode opgezet waarmee de BIVAS uitkomsten kunnen worden verwerkt tot een nationaal economisch effect. Deze paragraaf beschrijft de stappen die Ecorys heeft genomen om het economisch effect van droogte op de scheepvaart te berekenen.

Het economisch effect van droogte op de scheepvaartsector kan worden opgedeeld in het economische effect van korte termijn reacties van de scheepvaart en het economische effect van structurele maatregelen (zie Figuur 3.12). Eerst bespreken we de berekening van het effect van korte-termijn reacties waarna de structurele maatregelen worden besproken. De korte-termijn reacties geven weer hoe de transportsector, onder de dan geldende randvoorwaarden, kan reageren op droogtegebeurtenissen. De genoemde randvoorwaarden betreffen onder andere de vlootsamenstelling, vervoerscapaciteit op de weg en het spoor en opslagcapaciteit in de transportketen. De randvoorwaarden begrenzen dus de mate waarin de transportsector de mogelijkheid heeft om te reageren op droogte.



Figuur 3.13: Analysestappen voor de bepaling van het economisch effect van korte termijn reacties van de scheepvaartsector op droogte. De linkerkant van de figuur laat de stappen zien voor de berekening van de additionele vaarkosten en het effect op het consumentensurplus. De rechterkant representeert de additionele kosten van opslag en/of vervoer van achtergebleven vracht. Tezamen vormen ze de totale toename van de variabele kosten. Onderdeel van het totaal economisch effect door scheepvaartbeperkingen door droogte.

De sector kan op verschillende manieren reageren op vaardieptebeperkingen door droogte. Ze kunnen omvaren, minder belading meenemen (en daardoor vaker varen), later varen of niet varen. De additionele kosten van omvaren en vaker varen worden met BIVAS berekend en zijn input voor de economische analyse⁹. Om de additionele vaarkosten in een droog jaar te berekenen wordt in BIVAS een reeks aan meteorologische jaren doorgerekend (100 jaar voor DP Zoetwater). De gemaakte vaarkosten in een jaar uit de reeks worden vergeleken met de vaarkosten gemaakt in het natste jaar van de reeks. In het Deltaprogramma Zoetwater is 1916 aangemerkt als natste jaar uit de 100 jarige reeks. In dit jaar zijn er nauwelijks lage rivierafvoeren en de vaarkosten minimaal, waardoor dit jaar kan worden gezien als een jaar waarin water het minst beperkend is voor de scheepvaart. De hogere kosten in de overige jaren is het potentieel verlies voor de sector ten gevolge van lagere rivierafvoeren dan in het jaar 1916.

De volgende stap is de bepaling van afname van de vraag door stijging van de vaarkosten. Dit wordt gedaan aan de hand van de prijselasticiteit van de binnenvaart per NSTR klasse. Beuthe (2014) heeft deze prijselasticiteiten afgeleid met een Trans-Europees transport model voor de Rijn en de Donau. Deze resultaten geven naar verwachting een relatief goede schatting van de prijselasticiteiten van transport over de Rijn (Ecorys, 2018).

⁹ In de analyse is aangenomen dat het aanbod hetzelfde blijft. In de praktijk zal het aanbod van de scheepvaartsector eerst toenemen doordat de overcapaciteit wordt ingezet (genoeg vraag om meer schippers te laten varen). Het producentensurplus neemt daardoor waarschijnlijk toe. Wanneer alle capaciteit wordt gebruikt blijft het producentensurplus of gelijk of neemt af (afhankelijk van de vraagcurve).

Met de prijselasticiteit wordt de vraagafname en bijbehorende kostenvermindering berekend. Vervolgens worden de totale vaarkosten gecorrigeerd voor de vraagafname.

Een bijkomend effect van hogere vaarkosten is een hogere prijs van vervoerde producten¹⁰. Het resultaat is dat consumenten een hogere prijs gaan betalen voor producten, waardoor het algehele welzijn van consumenten vermindert (het zogenaamde consumentensurplus). Dit wordt als maat gebruikt voor de bepaling van het economisch effect op de maatschappij. Doordat consumenten meer gaan betalen worden verladers (gedeeltelijk) gecompenseerd voor de toegenomen vaarkosten. De vaarkosten gecorrigeerd voor de afname aan vaarkosten door verminderde vraag inclusief het negatief economisch effect voor de consumenten zijn een belangrijk deel van de variabele kosten.

Het andere deel van de analyse van additionele variabele kosten is gebaseerd op de vracht die achterblijft. Mogelijkheden die de sector heeft naast het varen met minder belading en omvaren zijn de vracht opslaan en later varen, of niet varen. Wanneer er niet wordt gevaren kan de vracht worden getransporteerd met een andere modaliteit. De aanname is dat achtergebleven vracht de eerste 3 dagen¹¹ wordt opgeslagen, met een toename van de opslagkosten tot gevolg. De vracht die na deze periode nog steeds niet per schip kan worden vervoerd, wordt met de trein, vrachtwagen of niet vervoerd. Per NSTR-klasse is op basis van interviews en Beuthe (2014) een verdeling gemaakt van de vracht tussen spoor- en wegvervoer en afname van de vraag (zie Tabel 3.1). De additionele kosten van vervoer over spoor en weg wordt berekend voor de vracht die na 3 dagen opslag nog steeds niet is vervoerd. Een klein deel van de vracht wordt niet vervoerd door afname van de vraag. Het economisch effect van de netto vraagafname is niet geraamd, doordat dit zeer beperkt bijdraagt aan het totale economische effect (Ecorys, 2018). De additionele opslagkosten en additionele kosten voor ander transport zijn samen met de vaarkosten en het consumentensurplus de totale toename aan variabele kosten in een jaar (ten opzichte van het natte jaar 1916).

Tabel 3.1 Verdeling vervoer over weg, spoor en vraagafname na 3 dagen opslag van achtergebleven vracht (Ecorys, 2018)

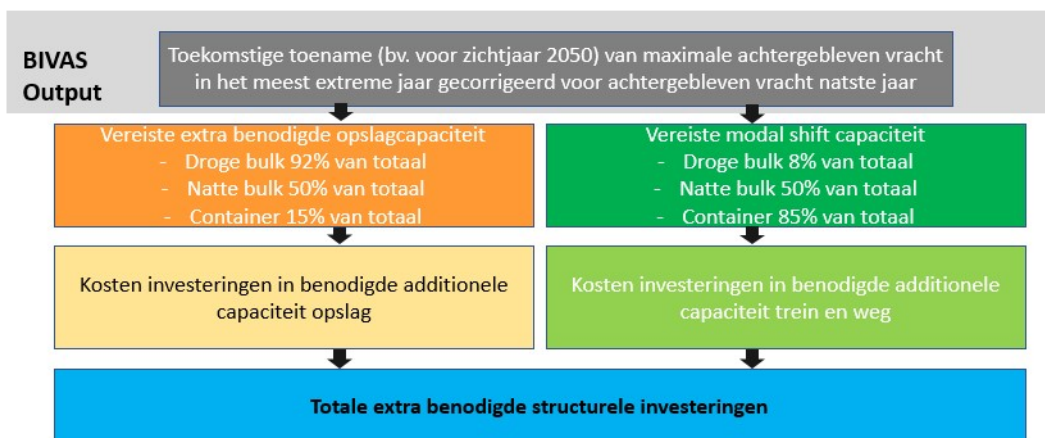
VORM - NSTR klasse	Aandeel weg	Aandeel spoor	Netto vraagafname
Bulk – Landbouw	100%	0%	0%
Bulk – Voeding en vee	89.2%	0%	10.8%
Bulk – Mineralen	31.4%	68.6%	0%
Bulk – Aardolie	92.9% ¹²	14.3%	0%
Bulk – Staal	46.7%	24%	29.3%
Bulk – Bouwmaterialen	100%	0%	0%
Bulk – Meststoffen	53.3%	33.3%	13.3%
Bulk – Chemische producten	83.7%	1.1%	15.1%
Bulk – Goederen	88.1%	0%	11.9%
Bulk – Divers	88.1%	0%	11.9%
Containers	50%	50%	0%
Leeg	88.1%	0%	11.9%

¹⁰ Ervan uitgaande dat de hogere vervoerskosten worden doorberekend in de prijs.

¹¹ Interviews laten zien dat de opslagcapaciteit, afhankelijk van de NSTR klasse, de opslagcapaciteit ligt tussen de 4 en 14 dagen. Deze opslagcapaciteiten leiden echter tot een groot aandeel later vervoerde vracht, daarom is besloten om met 3 dagen te rekenen (Ecorys, 2018).

¹² Het aandeel weg en spoor telt voor aardolie niet op. In een volgende versie van de effectmodule wordt dit aangepast. Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater

Naast het economisch effect van korte-termijn reacties zal de sector zich ook op de lange termijn aanpassen aan droogte, oftewel structurele maatregelen nemen. Deze maatregelen bakenen we af als maatregelen die de transportsector kan nemen om zich aan te passen aan droogte. Hierbij valt te denken aan het uitbreiden van de opslagcapaciteit in de vervoersketen en het uitbreiden van de capaciteit van andere modaliteiten. Verandering van de vlootsamenstelling om de vloot beter in te kunnen zetten bij droogte en het structureel aanpassen van vaarroutes zijn niet meegenomen.



Figuur 3.14 : Analysestappen voor de bepaling van het economisch effect van lange termijn aanpassing van de scheepvaartsector op droogte. Meer opslagcapaciteit en meer modal shift capaciteit (capaciteit op weg en spoor) dient te worden gecreëerd om toename van achtergebleven vracht door droogte op te vangen. De totale extra benodigde structurele investeringen is samen met de totale toename van variabele kosten het economische effect door scheepvaartbeperkingen door droogte.

De berekeningswijze van het economische effect van structurele maatregelen is vergelijkbaar met de ontwikkelde methode voor de effectmodule drinkwater en industrie. Het uitgangspunt van de berekeningswijze is dat in het huidige klimaat voldoende opslag, weg- en spoorcapaciteit aanwezig is voor het omgaan met huidige droogte. In een toekomstig klimaat kan meer vracht achterblijven door droogte waardoor extra geïnvesteerd dient te worden in onder andere opslagcapaciteit en modal shift capaciteit. Hiervoor zijn drie scenario's geformuleerd waarbij de additionele achtergebleven vracht in een scenario in 2050 ten opzichte van de referentiesituatie én ten opzichte van een nat jaar is berekend. De drie scenario's bestaan uit aannames over het totaal aantal achtergebleven vracht gedurende een bepaalde tijdsperiode.

- Laag: Achtergebleven vracht ten opzichte van de referentie voor een periode van 10 dagen in de drie meest extreme jaren
- Midden: Achtergebleven vracht ten opzichte van de referentie voor een periode van 30 dagen in de drie meest extreme jaren
- Hoog: Achtergebleven vracht ten opzichte van de referentie voor een periode van 30 dagen voor het meest extreme jaar

Wanneer gekozen wordt voor het meest extreme jaar en een lange tijdsperiode wordt ervan uitgegaan dat de sector een zeer kleine kans accepteert dat vracht blijft staan door droogte. Bij een kortere tijdsperiode en een groter aantal extreme jaren is de inschatting dat de sector zich in mindere mate aanpast aan droge omstandigheden. In de berekening is vooralsnog aangenomen dat de sector een zeer kleine kans accepteert dat vracht blijft staan ('scenario Hoog'). Dit leidt mogelijk tot een overschatting van de structurele maatregelen die de sector neemt.

De aanname voor deze analyse is dat de huidige capaciteit onvoldoende is om de additionele achtergebleven vracht in een deltaszenario (ten opzichte van de referentie en het jaar 1916) op te slaan of op een andere manier te vervoeren. Daarom moet er additionele capaciteit worden gecreëerd. Op basis van de verdeling tussen opslag, spoor en wegvervoer voor variabele kosten is de achtergebleven vracht verdeeld over ofwel opslag of spoor/wegvervoer (zie Figuur 3.13). Alle investeringen in de benodigde opslag-, weg- en spoorcapaciteit om de achtergebleven vracht in het meest extreme jaar toch te kunnen vervoeren is tezamen de extra benodigde structurele investeringen. De benodigde structurele investering wordt berekend voor elk deltaszenario.

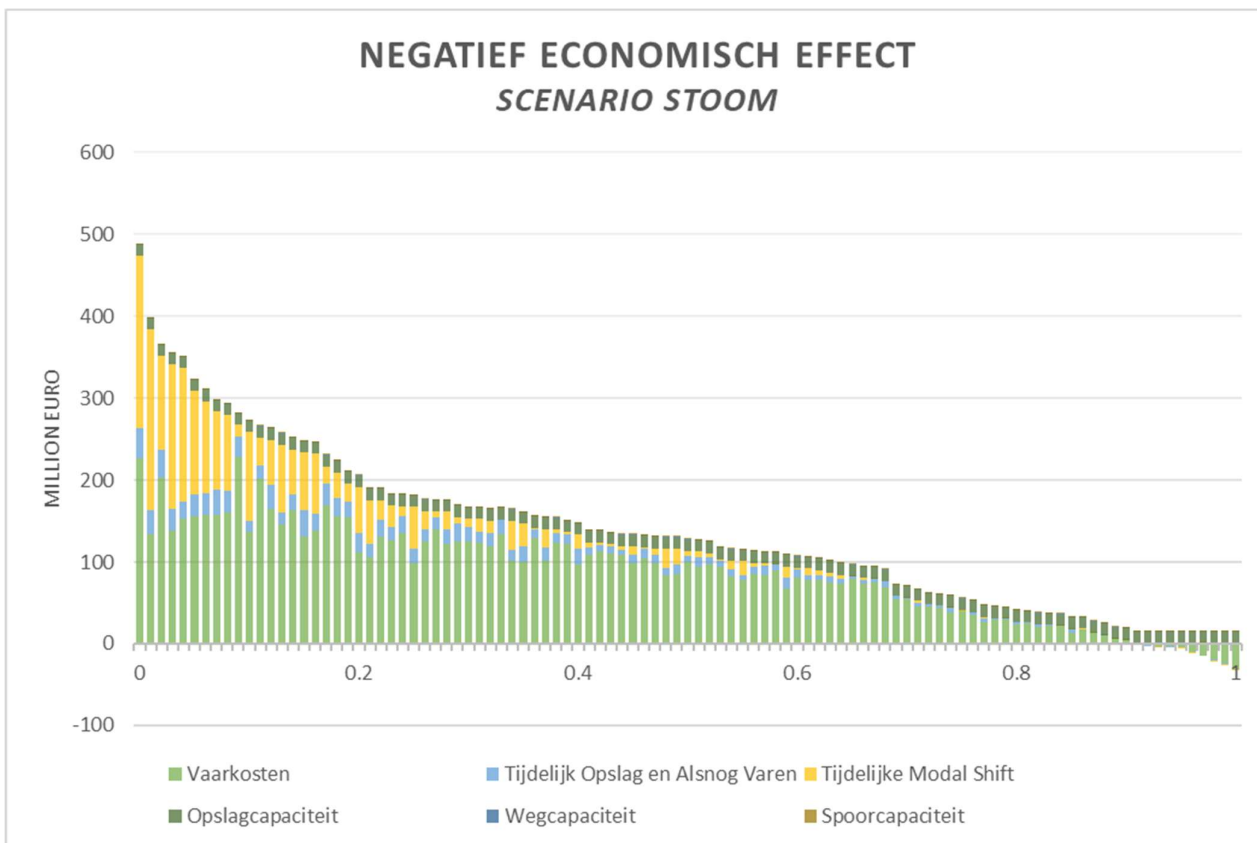
3.5.2 Resultaat: Economisch effect voor Nederland

Het resultaat is een berekening van het economisch effect voor elk jaar van de reeks. In het Deltaprogramma Zoetwater betekent dit dat voor elk jaar in de 100 jarige reeks een economisch effect is bepaald. De variabele kosten variëren per jaar, terwijl de structurele kosten een vast bedrag zijn voor elk jaar in de reeks. Een deel van het negatief economisch effect is buitenlands, bijvoorbeeld verladers in Duitsland krijgen te maken met hogere vaar- en structurele kosten. Ecorys (2018) heeft in beeld gebracht wat het aandeel in het buitenland gevestigde voorwaartse producenten is, om te bepalen welk aandeel van toename in jaarkosten geen effect op Nederland heeft. Het gewogen gemiddelde hiervoor is 50%.

Figuur 3.14 laat de opbouw en verdeling zien van het negatief economisch effect voor de scheepvaartsector voor deltaszenario Stoom. Het economisch effect in de extreem droge jaren (aan de linkerkant van de grafiek) bestaat voor een groot deel uit andere kosten dan additionele vaarkosten. In droge jaren kan een deel van de vracht niet worden vervoerd waardoor de vaarkosten berekend in BIVAS afnemen. In deze jaren nemen de opslagkosten en kosten van tijdelijke modal shift toe, waardoor het uiteindelijk economische effect hoger wordt. De figuur laat ook zien dat de structurele kosten voor elk jaar gelijk zijn, gemiddeld is het 21% uit van het totale economische effect. In de droge jaren neemt dit af tot 5%. In sommige zeer natte jaren is het effect lager dan nul, wat een positief effect op de scheepvaart impliceert. De reden hiervoor is de keuze van het jaar 1916, het jaar met de hoogste rivierafvoer. De vaarkosten in dit jaar kunnen hoger zijn dan in sommige andere jaren, voornamelijk veroorzaakt door de variatie van de waterstand in het jaar. Gemiddeld kan de rivierafvoer in 1916 het hoogste zijn, maar door temporele variatie kan dit toch resulteren in hogere vaarkosten dan in andere natte jaren.

Op basis van deze resultaten is het gemiddelde economische effect, ofwel het droogterisico (Van der Vat et al, 2016), 68 miljoen € in een Stoom scenario. Dit gemiddelde economisch effect kan worden vergeleken met het effect in andere deltaszenario's om een beeld te krijgen van de variatie van het droogterisico voor scheepvaart onder verschillende toekomstige omstandigheden.

Wanneer een maatregel wordt geïmplementeerd kan het economisch effect met en zonder maatregel worden vergeleken. Het verschil hiertussen kan worden gezien als de baten van een maatregel.



Figuur 3.15 : Negatief economisch effect door scheepvaartbeperking voor scenario Stoom. Het effect in een zeer droog jaar is rond de 500 miljoen (zie linkerkant van de grafiek). Op de x-as staat de overschrijdingskans. Bij een overschrijdingskans van 0.2 is de kans dat de waarde wordt overschreden 20%.

3.5.3 Betrouwbaarheid resultaten

Om tot een negatief economisch effect te komen zijn een aantal aannames gedaan die effect hebben op de betrouwbaarheid van de resultaten.

Een belangrijke aanname is dat vracht altijd vervoerd dient te worden. Als het via de scheepvaart niet mogelijk is op korte termijn de vracht te vervoeren, dan worden hiervoor andere modaliteiten gezocht. Aangenomen is dat al na 3 dagen opslag de vracht met andere modaliteiten wordt vervoerd. Deze keuze is vrij arbitrair en zal differentiëren per type vracht. Ook is aangenomen dat een productiestop geen optie is. Gedurende de droogte in 2018 hebben een klein aantal bedrijven de productie wel terugschroefd door beperking van de binnenvaart (waaronder Akzo Nobel). Deze aanname leidt mogelijk tot onderschatting van de gevolgen voor de binnenvaartsector in extreem droge jaren.

Momenteel is er overcapaciteit in de binnenvaartsector. Dit betekent dat wanneer vaardiepte beperkingen optreden een groter deel van de overcapaciteit wordt benut.

Voor schippers is dit een positief effect resulterend in een positief producentensurplus, voor verladers daarentegen leidt dit tot extra kosten. Pas wanneer de overcapaciteit onvoldoende is om aan de extra vraag te kunnen voldoen heeft droogte een negatief effect op de schippers. Wanneer het positieve effect voor de schippers even hoog is als het negatief effect op de verladers is er netto geen nationaal effect. De effecten van de mate van overcapaciteit in de binnenvaartsector zijn niet meegenomen in de analyse. Dit leidt mogelijk tot een overschatting van de gevolgen voor binnenvaart in voornamelijk de minder extreme droge jaren. Ook worden in de huidige situatie schippers financieel gecompenseerd bij vaardieptebeperkingen door droogte. Voor de schippers kan het economische effect van droogte dus positief zijn. Deze compensatie is een overdracht van de overheid aan de schippers, netto heeft dit geen economisch effect op Nederland.

In sommige deltasceario's kan op de lange termijn een zogenaamde modal shift plaatsvinden, omdat de binnenvaartsector minder betrouwbaar en duurder wordt ten opzichte van andere modaliteiten. Het is momenteel onduidelijk wanneer de condities zodanig zijn dat een modal shift optreedt, daarom is dit niet meegenomen in de analyse. De lange termijn effecten van droogte op de scheepvaart kunnen daardoor worden onderschat.

De structurele kosten worden berekend op basis van vrij arbitraire aannames over investeringen van de sector zelf. Op welke situaties de sector voorbereid wil zijn is nog onduidelijk. Deze aanname is momenteel vrij conservatief, waardoor de structurele kosten kunnen worden overschat. De manier waarop de structurele kosten berekend worden leidt tot een overschatting van de kosten in scenario's natter dan de huidige situatie. Om tot structurele kosten te komen wordt eerst het verschil berekend tussen dagelijkse vervoerde vracht in de referentie (het jaar 1916) en andere jaren. Het resultaat is een indicatie van de niet vervoerde vracht. Een natter referentiejaar resulteert in een toename van de vervoerde vracht. Het verschil tussen de vervoerde vracht in het referentiejaar en andere jaren kan hierdoor toenemen, resulterend in meer niet vervoerde vracht. Dit kan resulteren in hogere structurele kosten in een scenario, terwijl deze niet zouden moeten stijgen, oftewel dit leidt tot een overschatting van de structurele kosten.

De prijselasticiteiten en kruislingse elasticiteiten gebruikt voor berekening van de vraagafname en verdeling van transport over trein en weg zijn grotendeels gebaseerd op een artikel over de Rijn en Donau en daardoor mogelijk niet direct te gebruiken voor Nederland. De kruislingse elasticiteiten representeren het effect van een toename van de prijs in de binnenvaart sector op de vraagtoename van weg- en railtransport (als percentage van de desbetreffende sector). Momenteel zijn deze niet als zodanig gebruikt, waardoor dit tot een onderschatting van het daadwerkelijke effect kan leiden.

Toename van wachttijden bij sluizen door een ander schutregime is vooralsnog geen onderdeel van de effectmodule. Vooral voor de Maas kan dit een groot onderdeel zijn van de negatieve effecten van droogte. Voor heel Nederland is het effect van een ander schutregime bij droogte op wachttijden naar verwachting een klein aandeel van het totaal economisch effect. Voor individuele maatregelen kan het toch belangrijk zijn om een uitspraak te doen over het effect op wachttijden. Hiervoor is maatwerk nodig. Wanneer een uitspraak over de wachttijden is gedaan kan dit worden gemonetariseerd aan de hand van de kentallen over de waarde van tijd voor schippers.

Verder zijn externaliteiten, zoals CO2 emissie, van goederenvervoer niet geraamd. Wanneer een deel van het transport over de weg in plaats van over water plaatsvindt. Nemen deze externaliteiten toe resulterend in hogere negatieve economische effecten.

De effectmodule scheepvaart geeft een beeld van de effecten van droogte op de scheepvaartsector. De economische effecten van droogte voor de scheepvaart worden mogelijk overschat of onderschat. Om een beter beeld te verkrijgen van de betrouwbaarheid van de effectmodule is een vergelijking met de huidige kosten van droogte voor de binnenvaartsector in Nederland gewenst.

3.6 Conclusie betrouwbaarheid

Met de effectmodule scheepvaart kan het effect van droogte op de scheepvaart worden vertaald in een economisch effect op de maatschappij. De effectmodule bestaat uit hydrologische modellering van de waterstanden gevolgd door de bepaling van de (minimale) vaardieptes. Met het dynamische model BIVAS kunnen de vaarbewegingen worden gesimuleerd op basis waarvan vaarkosten, de totaal vervoerde en niet-vervoerde vracht worden berekend. Met de economische rekensheet van Ecorys kan vervolgens het effect op de Nederlandse maatschappij worden bepaald.

In elk van deze onderdelen worden aannames gedaan en zijn beslissingen genomen die effect hebben op de eindresultaten. In Tabel 3.2 zijn alle aannames en beslissingen – zoals besproken in de eerdere paragrafen van dit hoofdstuk - op een rij gezet. Sommige aannames hebben naar verwachting veel invloed op de eindresultaten, terwijl anderen een beperkt effect hebben. Een klein effect heeft de ordegrrootte van een aantal procenten, een middelgroot effect van een aantal tientallen procenten en een groot effect kan honderden procenten uitmaken. De richting van het effect is ook van belang. Indien alle aannames leiden tot een overschatting van de eindresultaten dan kan met zekerheid worden gesteld dat de eindresultaten te hoog worden ingeschat. Daarentegen kan een combinatie van overschattingen en onderschattingen ertoe leiden dat het eindresultaat een goede indicatie geeft van het werkelijke effect.

De aannames resulteren voornamelijk in een onderschatting van de resultaten. De verwachting is daardoor dat de gepresenteerde resultaten een onderschatting zijn van het daadwerkelijke effect. Het effect op de eindresultaten van de meeste aannames is klein tot middelgroot. Voor de aannames met een middelgroot tot groot effect bevelen we aan om een aanpassing te doen aan de analyse of een betere inschatting te maken van daadwerkelijke effect op de eindresultaten.

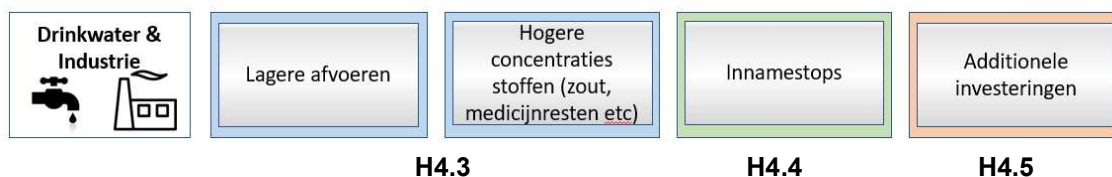
Tabel 3.2: Het effect van aannames en uitgangspunten in de effectmodule scheepvaart op de eindresultaten

Aanname	Belang voor eindresultaten	Effect op eindresultaten
Dynamische verandering bodemhoogte	Middelgroot/Groot	Onderschatting
Vaardieptes Duitsland	Middelgroot/Groot	Onderschatting of overschatting
Keuzes schippers bij droogte	Middelgroot	Onderschatting
Capaciteit vloot	Middelgroot	Onderschatting

Productie terugschroeven bedrijven door niet-leveren	Klein	Underschatting
Lange termijn modal-shift	Middelgroot/Groot	Underschatting
Structurele kosten bepaling	Middelgroot	Overschatting
Korte termijn modal shift na 3 dagen opslag	Middelgroot	Overschatting of underschatting
Betrouwbaarheid prijs- en kruislingse elasticiteiten	Klein	Underschatting
Wachttijden door ander schutregime	Klein (Rijn), Groot (Maas)	Underschatting
Externaliteiten niet meegenomen	Klein	Underschatting

4 Effectmodule drinkwater en industrie

4.1 Doel en introductie



Tijdens langdurige droogte kan verslechterde waterkwaliteit resulteren in een toename aan innamestops van drink- en industriewater. Wanneer dit zich voordoet zetten drinkwaterbedrijven en industriële proceswatergebruikers buffercapaciteit of extra zuiveringscapaciteit in. Door klimaatverandering en de daarmee veranderende afvoerpatronen op de grote rivieren kunnen de sectoren meer last krijgen van een slechtere waterkwaliteit door hogere concentraties van vervuilende stoffen bij innamepunten, zoals medicijnresten, organische microverontreinigingen en zout. Ook toekomstige sociaaleconomische ontwikkelingen, waaronder een steeds ouder wordende bevolking met toenemend medicijngebruik tot gevolg, kunnen effect hebben op de waterkwaliteit. De drinkwatersector heeft een wettelijk vastgelegde plicht om drinkwater te leveren. Ook de industrie zal niet zo snel een productiestop accepteren door gebrek aan zoetwater van voldoende kwaliteit. Deze sectoren zullen dus extra investeren in buffer- of zuiveringscapaciteit. Deze extra investeringen worden beschouwd als het economisch effect van droogte op deze sectoren.

Afbakening

Drinkwateranalyse

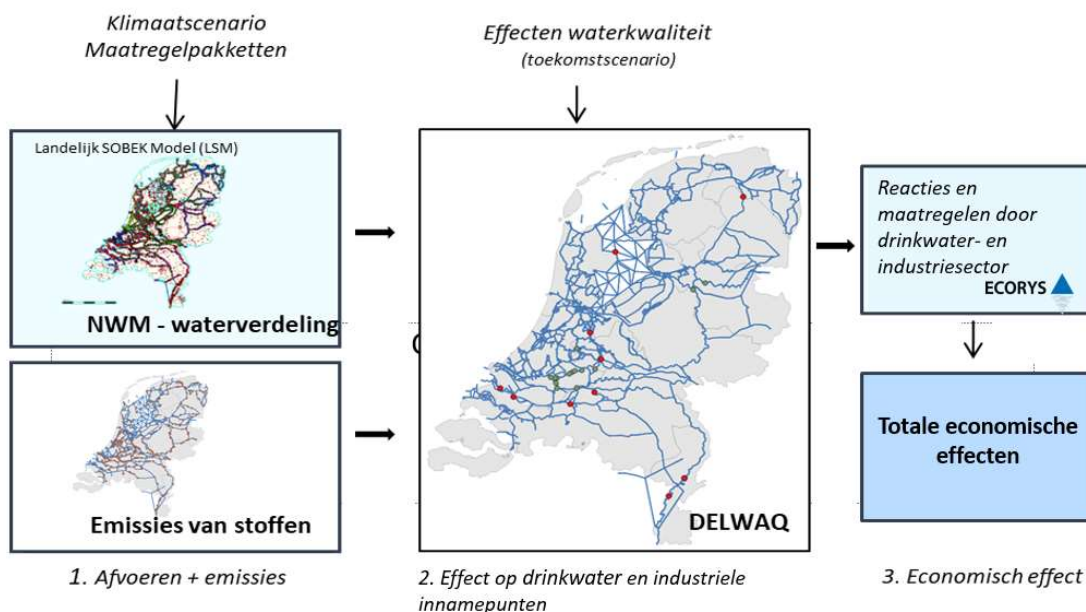
De effectmodule laat de grondwaterafhankelijke drinkwatersector buiten beschouwing. Ook dit deel van de drinkwatersector kan negatieve effecten ondervinden door oplopende neerslagtekorten en een toenemende watervraag. Vooralsnog wordt aangenomen dat de drinkwatersector grondwater zal blijven onttrekken tijdens droge perioden om aan de in de wet vastgelegde verplichte levering van drinkwater te kunnen voldoen. De extra onttrekkingen kunnen leiden voor overschrijding van de vergunning. Eventuele boetes voor drinkwaterbedrijven zijn een financiële overdracht van de ene (semi-)overheid naar de andere. Vanuit een nationaal welvaartspectief is dit geen economisch effect. De mogelijk negatieve effecten van extra onttrekkingen op andere gebruiksfuncties, zoals natuur en landbouw, zijn meegenomen in de landbouw en natuur effectmodules.

Industriewateranalyse

De effectmodule focust op proceswater gebruikende industrie. Voor productwater wordt zelden oppervlaktewater gebruikt. Voor koelwater geldt dat dit type gebruik weliswaar kwetsbaar is, maar dat er nauwelijks handelingsperspectief is vanuit het hoofdwatersysteem voor problemen met temperatuur. Daarbij neemt de afhankelijkheid van koelwater voor de energiesector af door de energietransitie en zijn kwantitatieve gegevens over kwetsbaarheid van de koelwatervoorziening voor chloride niet beschikbaar (Ecorys, 2018).

De effectmodule drinkwater en industrie bestaat uit een aantal stappen, aannames en keuzes. De methodiek wordt beschreven aan de hand van drie hoofdeffecten (1) waterkwaliteitseffect, het (2) effect op buffercapaciteit en het (3) economisch effect.

4.2 Opzet effectmodule



Figuur 4.1 Overzicht van de stappen die genomen worden in de effectmodule drinkwater en industrie inclusief gebruikte modellen

Het effect van waterkwaliteitsveranderingen op de drinkwatersector en industriële sector en de resulterende maatschappelijke effecten wordt berekend door achtereenvolgens de modellen LSM-It en Delwaq te draaien.

Delwaq berekent het effect op de waterkwaliteit gebruikmakend van de afvoer op dagbasis van het Landelijk Sobek Model light (LSM-It), dat meedraait als onderdeel van het Nationaal Water Model. Voor het Deltaprogramma Zoetwater is er gewerkt met een lange meteorologische tijdreeks die loopt van het jaar 1911 tot het jaar 2011. Verder is gebruik gemaakt van de deltasenario's met een nabewerking van het RIVM om de relatie tussen bevolkingsgroei in de deltasenario's en medicijngebruik te leggen (zie Bijlage A). Met Delwaq worden vervolgens de effecten op de waterkwaliteit bij geselecteerde innamepunten berekend. Deze effecten worden vertaald naar een verandering in overschrijdingsduur van een normwaarde van de meest kritische stof (bijvoorbeeld chloride of een medicijnrest). Wanneer in een deltasenario de maximale overschrijdingsduur van de normwaarde hoger is dan in de referentie wordt aangenomen dat er economische effecten optreden voor de drinkwater en industriële sector (KWR, 2017; Ecorys, 2018b).

Het waterkwaliteitsmodel is ontwikkeld voor het Deltaprogramma Zoetwater en is nog niet eerder gerapporteerd. De stappen genomen om het model te ontwikkelen worden daardoor uitvoeriger besproken dan de gebruikte modellen in de effectmodule scheepvaart en landbouw.

4.3 Waterkwaliteitseffect

4.3.1 Beschrijving

Het waterkwaliteitseffect is het effect van lage rivierafvoeren op de waterkwaliteit bij drinkwater- en industrie-innamepunten. De belangrijkste input voor de berekening van het effect vormt uitvoer van het Landelijk Sobek Model (LSM-It), waarmee voor de referentie en de deltasceario's langjarige reeksen met afvoeren worden berekend (de zogenaamde Basisprognoses 2018). Aan het hydrologische patroon worden de voornaamste emissies toegevoegd van een aantal voor de drinkwatersector relevante stoffen (chloride, medicijnresten, bestrijdingsmiddelen (KWR, 2017; Ecorys, 2018b). Door middel van een waterkwaliteitsberekening kan vervolgens het concentratieverloop worden berekend bij diverse drinkwaterinnamepunten. De verspreiding en de verdunning van stoffen staat hierbij centraal.

4.3.1.1 Selectie bepalende stoffen

In de drinkwaterregeling en het besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009 (bkmw) zijn wettelijke normen opgesteld voor de bereiding van drinkwater. Bij overschrijding van de normen moet er een ontheffing worden aangevraagd of is er een innamestop. Naast de wettelijke normen zijn er indicatieve normen voor prioritaire stoffen. Deze normen hebben een lagere status dan de wettelijke norm. In de effectmodule wordt ervan uitgegaan dat de inname stopt wanneer de (indicatieve) norm van een stof opgenomen in de drinkwaterregeling of bkmw wordt overschreden. Aangezien met de huidige kennis het niet haalbaar is om alle mogelijke stoffen te modelleren is een selectie van stoffen gemaakt op basis van de volgende criteria:

- Drinkwaterbedrijven geven aan (tijdens droogte) problemen te ondervinden met deze stof
- De concentratie van de stof is gecorreleerd aan rivierafvoeren
- Emissiegegevens zijn (zoveel mogelijk) bekend

Het resultaat hiervan zijn de volgende stoffen:

Tabel 4.1 Selectie van stoffen en de bijbehorende waterkwaliteitseisen als toetswaarden ((Sjerps & Huiting, 2017)

Stof	Type stof	Waterkwaliteitseis
Chloride	Anorganische stof, zout	150 mg/L (Bkmw) en jaargemiddeld 150 mg/L (drinkwaterbesluit)
Bromide	Anorganische stof, ion	Geen waterkwaliteitseis
Glyfosaat	Bestrijdingsmiddel	0.1 µg/L (Bkmw)
AMPA	Omzettingsproduct van glyfosaat	1 µg/L (Drinkwaterbesluit)
Carbamazepine	Geneesmiddel, via RWZI effluent geloosd	0.1 µg/L (signaleringswaarde)
Amidotrizoïnezuur	Röntgencontrastmiddel	0.1 µg/L (signaleringswaarde)

Door de concentratie van het verschillende type stoffen bij innamepunten door te rekenen wordt een beeld gekregen van het effect van lagere afvoeren op stoffen met verschillende emissiepaden. Voor alle stoffen is berekend in hoeverre de norm bij de huidige en toekomstige afvoeren (vier deltasceario's) wordt overschreden.

Voor bromide, glyfosaat, AMPA en amidotrizoïnezuur is het emissiepad niet in voldoende detail bekend, daardoor kan er met minder zekerheid uitspraak worden gedaan over de concentratie van deze stoffen bij innamepunten. Het emissiepad van chloride en carbamazepine is wel voor het grootste deel bekend. Chloride kan toenemen door interne of externe verzilting, terwijl de voornaamste bron van carbamazepine de rioolwaterzuiveringsinstallaties zijn. In het model worden drie relevante paden onderscheiden (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Emissie paden van stoffen

Emissiepad	Stoffen	Omschrijving
RWZI's	Geneesmiddelen	Via de RWZI komen de resten van medicijnen in het oppervlaktewater
Buitenlandse aanvoer	Geneesmiddelen, Chloride, org micro's	De Rijn en de Maas zijn beide een relevante bron van stoffen, zoals geneesmiddelen, chloride en organische micro verontreinigingen Nederland binnen
Landelijk gebied	Chloride, org. Micro's	Via uit en afspoeling van water komen diverse stoffen op het oppervlaktewater. Emissies zijn relatief

4.3.1.2 RWZI's

Medicijnen worden ingenomen en deels in het lichaam opgenomen. Een deel van de medicijnen wordt uitgescheiden (excretie) via het riool naar de waterzuivering. In de waterzuivering wordt ook een deel verwijderd. Het restant komt op het oppervlaktewater terecht. De mate van opname in een menselijk lichaam en de mate van verwijdering in de RWZI is per geneesmiddel verschillend. Sommige geneesmiddelen worden goed opgenomen in het lichaam, andere slechter. Excretiewaarden en verwijderingsrendementen zijn gedocumenteerd door RIVM (Venhuis, Beekman, van Driesum, & Kommer, 2018).

Voor deze studie is een schatting nodig om tot de emissie van geneesmiddelen per RWZI te komen. Daarvoor zijn verkoopcijfers gebruikt per gemeente, die vervolgens gekoppeld zijn aan RWZI's. De uiteindelijke emissie per geneesmiddel is vervolgens bepaald door:

$$L_{stof} = V_{stof} * \frac{E_{stof} * (100 - R_{stof})}{100}$$

- L Emissie per stof (kg/jaar)
- V Verkoopcijfer (kg/jaar)
- E Excretie (%)
- R Rendement (%)

4.3.1.3 Buitenland

Voor de Maas en de Rijn wordt gebruik gemaakt van constante vrachten van stoffen (KWR, 2017), afgeleid op basis van metingen van waterkwaliteitsparameters en debieten. Voor de geneesmiddelen zijn vrachten berekend op basis van metingen van RIWA (Tabel 4.3). De waarden voor Carbamazepine zijn tevens vergeleken met eerder gerapporteerde vrachten (van der Aa, 2014). Daarin worden voor Carbamazepine orde 4000 kg/jaar bij Lobith en 110 kg/jaar bij Eijsden gerapporteerd.

Tabel 4.3 Vrachten in kg/jaar van geneesmiddelen voor Lobith en Eijsden afgeleid uit metingen

Stof	locatie	Minimum	Maximum	Gemiddelde
Carbamazepine	LOBH	438	33405	4038
Clarithromycine	LOBH	374	11899	1637
Gabapentine	LOBH	5518	56504	20289
Valsartan	LOBH	3534	18751	9220
Carbamazepine	EIJS DGS	19	537	117
Clarithromycine	EIJS DGS			
Gabapentine	EIJS DGS			
Valsartan	EIJS DGS	76	861	294

De vrachten uit het buitenland worden in de deltasce­nario's constant verondersteld. Aangezien de debieten op de Rijn en Maas wel veranderen zullen de concentraties wel veranderen.

4.3.1.4 Landelijk gebied

Emissies uit het landelijk gebied zijn in deze studie onderbelicht gebleven. Alleen voor Chloride is een constante waarde aangenomen van 65 mg/l. Voor polders in het westen van Nederland met brakke kwel is deze waarde te laag. Interne verzilting kan daar een grotere rol spelen. Het is een aanbeveling om met name dit aspect in de toekomst verder te onderzoeken.

4.3.2 Waterkwaliteitsmodel

Voor de waterkwaliteitsanalyse zijn twee modellen gebruikt (1) het Noordelijk Deltabekken Model, onderdeel van het NWM, en (2) Delwaq. Het Noordelijk Deltabekken Model geeft chlorideconcentraties op basis van achtergrondconcentraties, interne en externe verzilting. Deze modelresultaten worden gebruikt voor de innamepunten langs de Lek. In deze notitie gaan we niet in op het NDB model, daarvoor verwijzen we naar Svasek Hydraulics (2005) en Hoogewoud et al (2013). Aan het hydrodynamisch model LSM-It is het waterkwaliteitsmodel Delwaq (Deltares, 2018b, 2018a) gekoppeld. Dit model wordt gebruikt voor alle drinkwater- en industriële innamepunten waar andere stoffen of de achtergrondconcentratie van chloride bepalend zijn.

4.3.2.1 Delwaq

Aan Delwaq zijn alle RWZI locaties toegevoegd. Voor de watergangen die niet opgenomen zijn in LSMIt zijn de afstromingsroutes naar de dichtstbijzijnde wel in LSMIt geschematiseerde water gevolgd. Deze punten zijn vervolgens toegekend aan een waterkwaliteitsrekensegment. In het model worden niet de daadwerkelijke emissies opgegeven, maar er wordt gebruik gemaakt van model tracers en een *eenheidslozing*.

Het werkt als volgt:

1. Iedere RWZI, de Maas en de Rijn krijgen een eigen set van twee tracers.
2. Iedere set bestaat uit een conservatieve en een afbreekbare tracer¹³ (eerste orde afbraak).
3. Ieder lozingspunt krijgt een eenheidslozing van 1000 g/s.

Uit de resultaten kunnen vervolgens alle relatieve bijdragen van de RWZI's worden weergegeven. Deze relatieve bijdragen worden vervolgens geschaald met de daadwerkelijke emissies van de RWZI's en het buitenland.

Deze methode heeft een aantal voordelen:

1. In principe kan iedere stof die volgens dit emissiepad in het oppervlaktewater terecht komt achteraf worden geschaald. De modelberekeningen in het NWM hoeven slechts een keer gemaakt te worden.
2. De herkomst van de stoffen blijft bekend. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om de bijdrage van RWZI x weer te geven of de verhouding buitenland/binnenland.
3. Maatregelen op bijvoorbeeld (een aantal) RWZI's zijn eenvoudig door te rekenen.

Een nadeel van deze techniek is de grote hoeveelheid model variabelen aangezien er orde 330 RWZI's zijn opgenomen in LSM.

Ook voor de stoffen die niet worden uitgescheiden door een RWZI moet een vracht worden toegekend. Vooralsnog wordt voor het buitenland met een vaste vracht toegekend aan de Rijn en de Maas.

Op de overige laterale instromingen (aan de kust en in het binnenland) worden een constante waarde van 65 mg/l voor chloride opgegeven. Voor de Noordzee randen wordt een zoute waarde van 16500 mg/l toegekend.

4.3.2.2 Deltascenario's

Het model wordt vervolgens gedraaid voor de referentie situatie en de 4 deltasenarior's. In de scenarior's wordt naast klimaat ook rekening gehouden met sociaaleconomische veranderingen.

Verschillen in bevolkingsaantallen en leeftijdsopbouw hebben effect op medicijngebruik en daarbij ook op medicijnrestlozingen van RWZI's. Het RIVM heeft per RWZI prognoses gemaakt voor de lozing van medicijnresten op basis van bevolkingssamenstelling in het omliggende gebied. Op basis van deze prognoses zijn voor alle vier de deltasenarior's schattingen gemaakt van medicijngebruik en lozing van medicijnresten door RWZI's (zie Bijlage A voor een uitgebreidere beschrijving).

Voor andere niet puntbronnen, zoals chloride, kon geen zinnige schatting per deltasenarior worden gemaakt. Vandaar dat de concentratie van deze stoffen enkel varieert op basis van verandering in afvoer en verdunning.

¹³ Vooralsnog wordt de afbreekbare tracer niet gebruikt. Als aan zowel de conservatieve als afbreekbare tracer dezelfde emissie wordt toegekend, kan uit het verschil in concentratie de looptijd worden herleid. De afbreekconstante is immers bekend. Op basis daarvan iedere niet conservatieve stof later te modelleren.

4.3.2.3 Nabewerking resultaten

De nabewerking van de resultaten vindt plaats in twee stappen.

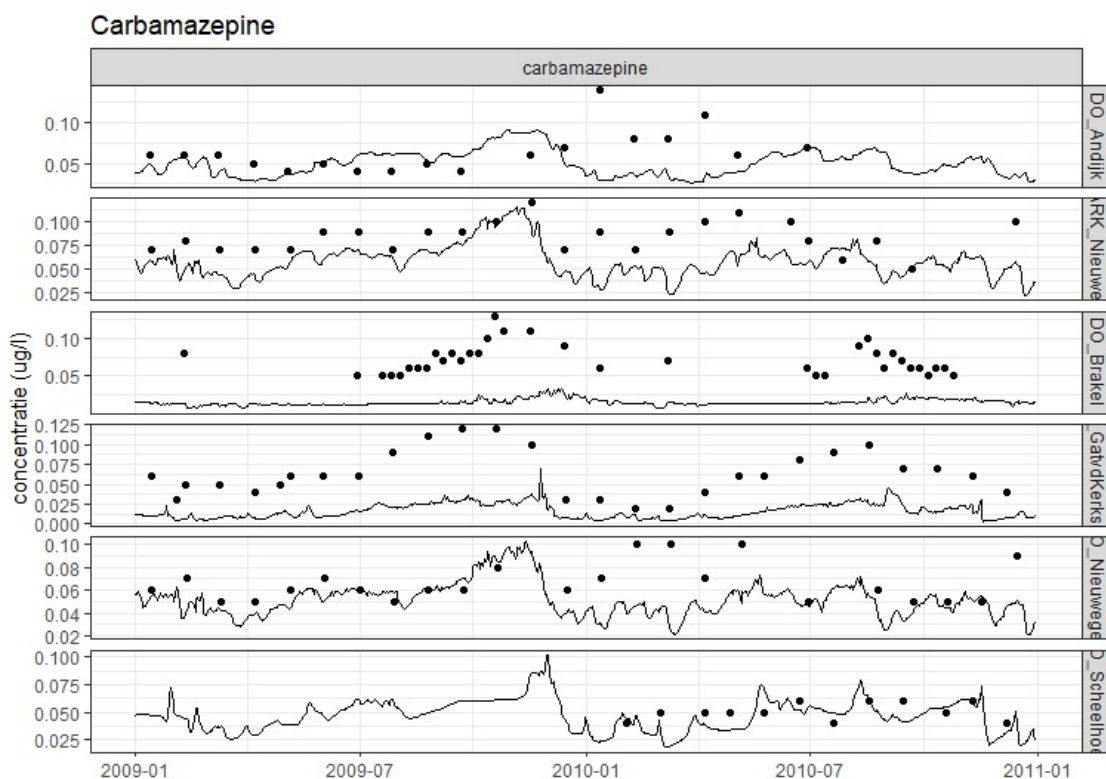
Allereerst worden, door middel van een R – script, de eenheidslozingen voor geneesmiddelen vertaald naar daadwerkelijke emissiewaarden per lozingslocatie. Het resultaat is een tijdserie per stof per locatie.

Vervolgens worden de tijdseries ingeladen in een nabewerkingsscript (python) die de overschrijdingsduren per stof en locatie bepalen. Dit script gaat uit van een drempelwaarde voor de concentratie en berekend het aantal dagen dat de waarde voor een stof wordt overschreden.

4.3.3 Validatie

Het Delwaq model is gevalideerd op basis van gegevens over medicijnresten. Voor de overige stoffen is geen validatie uitgevoerd. Voor de drinkwater innamepunten zijn in de recente jaren metingen van medicijnresten beschikbaar bij de RIWA. Deze metingen kunnen vergeleken worden met de modelresultaten. Het model is gevalideerd de periode 2009-2011.

In Figuur 4.2 zijn resultaten voor Carbamazepine vergeleken met metingen op een aantal drinkwater innamepunten.



Figuur 4.2 Eerste validatierun Carbamazepine

Deze validatie geeft veel informatie, namelijk:

- Model resultaat en metingen liggen in de juiste orde grootte.
- De locaties in he Rijn stroomgebied (Andijk, Nieuwersluis, Nieuwegein) volgen de metingen behoorlijk goed.
- De locaties in het Maas stroomgebied (Gat van de Kerksloot, Brakel) laten een onderschatting zien ten opzichte van de metingen.

Vervolgens zijn de emissie schattingen van Carbamazepine nader bekeken. In Tabel 4.4 zijn deze weergegeven inclusief de verhouding. Opvallend is dat de vracht voor Carbamazepine bij Eijsden (schatting) gelijk is aan de totale bijdrage vanuit Nederland. De vracht bij Lobith daarentegen is 35 keer zo hoog als zowel de vracht bij Eijsden als de RWZI bijdrage.

Tabel 4.4 Vergelijking vrachten geneesmiddelen RWZI's en buitenlandse aanvoeren

Stof	RWZI NL	Lobith	Eijsden	Verhouding	Bevolkings verhouding ¹⁴
carbamazepine	117	4038	117	1 : 35 : 1	3 : 8 : 1
claritromycin	204	1637		1 : 8 : -	3 : 8 : 1
gabapentine	6701	20289		1 : 3 : -	3 : 8 : 1
valsartan	4404	9220	294	15 : 30 : 1	3 : 8 : 1

Op basis van bevolkingsverhoudingen in het Maas en Rijn stroomgebied zou een veel hogere vracht in Nederland te verwachten zijn.

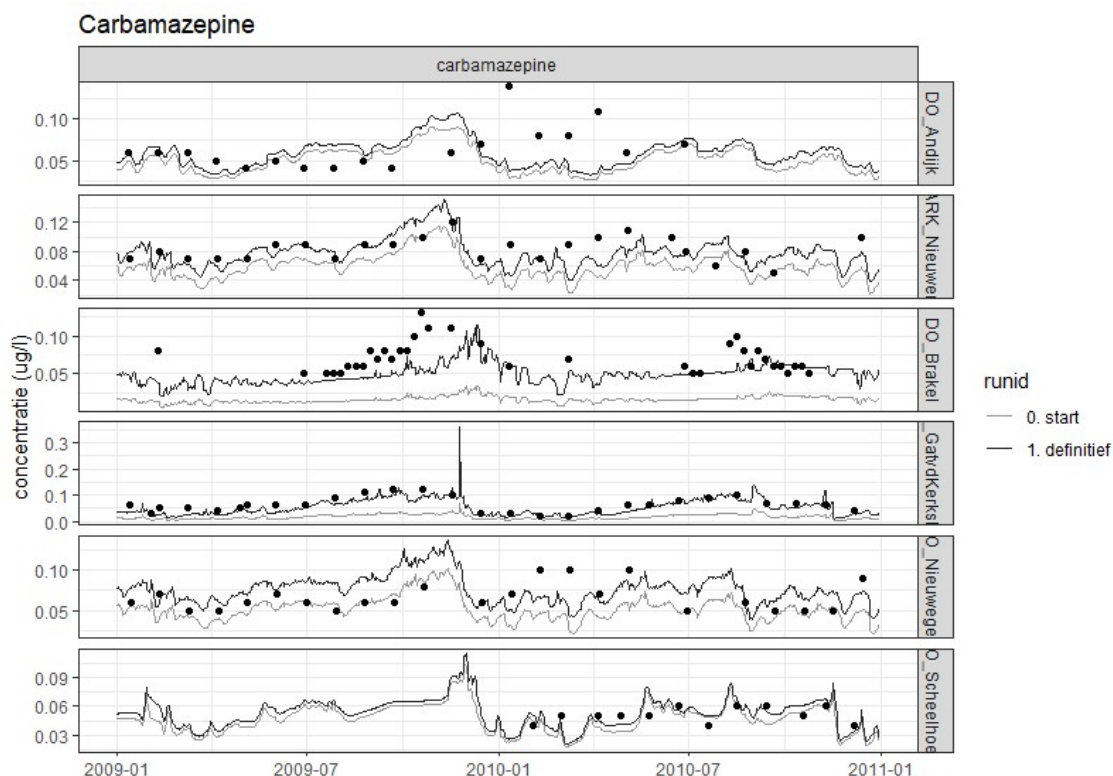
In een kalibratie stap zijn vervolgens de RWZI vrachten aangepast door de excretiewaarden bij te stellen van Carbamazepine bijgesteld van 2% naar 15%. Daarmee wordt de totale vracht uit Nederlandse RWZI's verhoogd (zie Tabel 4.5). Ook de vracht op de Maas bij Eijsden is verdubbeld.

Tabel 4.5 Model instellingen voor en na kalibratie

Parameter	Eerste run	Kalibratierun
Excretie	2%	15%
Verwijdering RWZI	10 %	10 %
Totale RWZI belasting (kg/j)	117	877
Vracht Eijsden	117	234
Vracht Lobith	3919	3919

Het resultaat van de aangepaste medicijnvrachten is weergegeven in Figuur 4.3.

¹⁴ Uitgegaan van: 17 miljoen inwoners Nederland, 48 miljoen Rijn stroomgebied bovenstrooms NL, 6 miljoen Maas stroomgebied bovenstrooms NL, dus 17 : 48: 6 oftewel 3 : 8 : 1

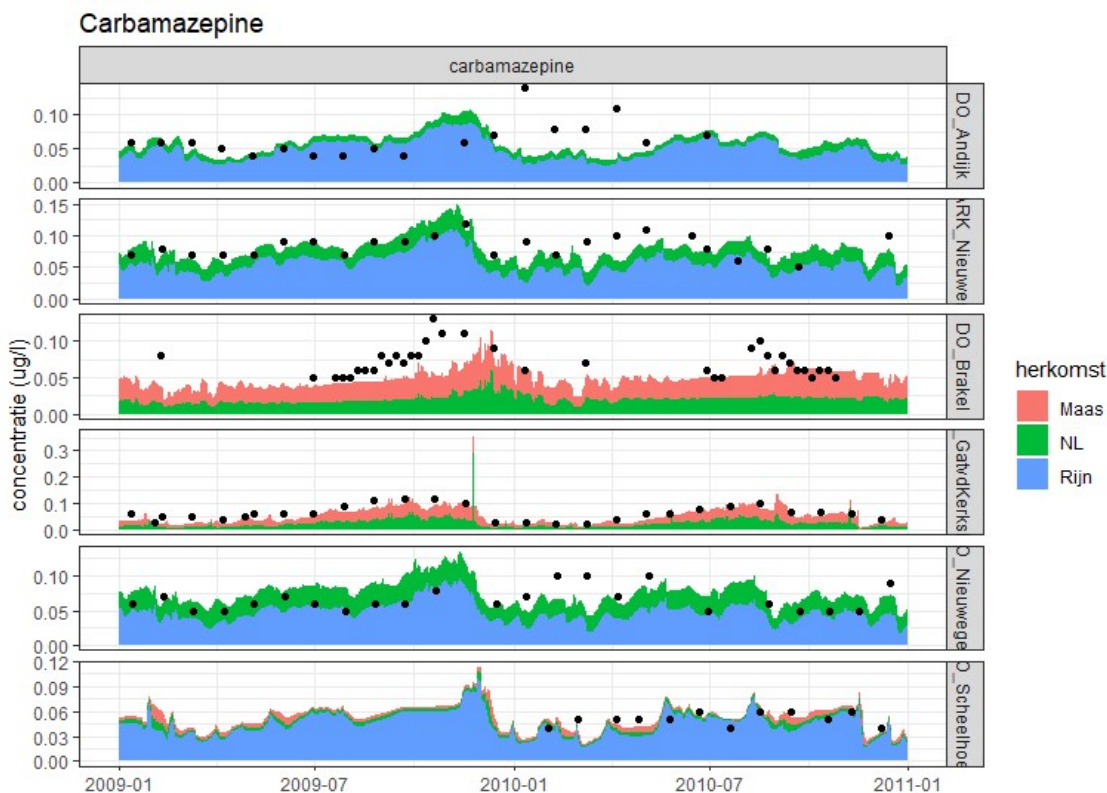


Figuur 4.3 Modelresultaten na validatie. De donkere lijn geeft het definitieve resultaat weer.

Na kalibratie komen de gemodelleerde concentraties beter overeen met de metingen. De effecten zijn vooral sterk zichtbaar in het Maas stroomgebied en op de innamepunten op het Amsterdam-Rijnkanaal. Het innamepunt Brakel is een bijzonder punt, omdat het beïnvloed wordt door water van de Maas en de Rijn. De menging van dit water zit mogelijk onvoldoende in het model waardoor de meetgegevens van de modelresultaten afwijken. De resultaten voor de Brakel zijn daardoor minder betrouwbaar dan voor andere innamepunten.

4.3.3.1 Verhouding Nederlandse bijdrage / buitenland

De bijdrage van medicijnresten is ook te relateren aan de herkomst. In Figuur 4.4 is de herkomst van Carbamazepine onderscheiden in Maas, Rijn en NL (RWZI's).



Figuur 4.4 Herkomst van Carbamazepine

In het Rijnstroomgebied is vooral het water uit het buitenland dominant. Bij Nieuwersluis en Nieuwegein is de invloed van regionale RWZI's al groter (tot 25%). Voor de inlaatpunten vanuit de Maas is het aandeel van de Nederlandse RWZI's veel groter (tot 50%). Een soortgelijk figuur is te maken voor individuele RWZI's, zodat de potentie van maatregelen in beeld gebracht kan worden.

In de deltasenario's zijn de emissieschattingen van medicijnresten aangepast. Deze zijn weergegeven in Tabel 4.6. De verschillen tussen de scenario's zijn klein. Wel opvallend dat er in de scenario's Rust en Warm een afname van de carbamazepine vracht is waar te nemen. Carbamazepine is een anti-epilepticum, wat voornamelijk door jongeren gebruikt wordt. In de scenario's Rust en Warm neemt deze groep in omvang af.

Tabel 4.6 Carbamazepine vracht (kg/j) in de referentie situatie en de 4 deltasenario's

Bron	Ref2017	R2050	W2050	D2050	S2050
RWZI	877	789	789	970	970
Rijn	3920	3920	3920	3920	3920
Maas	234	234	234	234	234

De vrachten op de Rijn en de Maas worden voornamelijk constant verondersteld.

4.3.4 Resultaat: Achtergrondconcentratie vervuilende stoffen

Het resultaat is per innamepunt een indicatie van de achtergrondconcentratie van chloride, bromide, glyfosaat, AMPA, amidotrizoïnezuur en carbamazepine per dag voor een 100-jarige reeks voor de referentie en de vier deltasceario's. Carbamazepine is in de modellering de stof die het snelst tot innamestops leidt. De overschrijding van de concentraties van de stoffen bij innamepunten kan worden doorvertaald in de benodigde buffercapaciteit in de referentie en voor de vier deltasceario's.

4.3.5 Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van het model verschilt per stof. De medicijnrest concentraties voor onder andere carbamazepine, zijn vergeleken met metingen en lijken betrouwbaar. Carbamazepine heeft enkel een signaleringsnorm, waardoor bij overschrijding de inname niet direct wordt gestopt. Dit leidt tot een overschatting van het effect. De schatting van de chloride achtergrondconcentratie is minder betrouwbaar. De reden hiervoor is dat er onvoldoende gegevens zijn over de chlorideconcentraties in (individuele) regionale wateren. Daarbij is onduidelijk waar de bronnen van chloride precies liggen. De gemodelleerde resultaten kunnen onvoldoende worden vergeleken met meetgegevens, waardoor de betrouwbaarheid lastig is in te schatten. Voor de overige stoffen geldt hetzelfde als voor chloride. De herkomst van de stof is onduidelijk en daarbij kan er geen betrouwbare schatting gegeven van de interne bijdrage van deze stoffen aan de concentratie in de Nederlandse wateren. Voor de innamepunten dichtbij het punt waar de Maas (Eijsden) en de Rijn (Lobith) ons land binnenstromen heeft dit weinig effect op de resultaten. Voor innamepunten verder benedenstrooms kunnen de stofconcentraties worden over- of onderschat.

4.4 Effect op benodigde buffercapaciteit

4.4.1 Beschrijving

Het concentratiepatroon van vervuilende stoffen heeft effect op het aantal dagen dat een drinkwaterbedrijf geen water kan inlaten. De aanname is dat wanneer de concentratie van een stof bij een innamepunt boven de waterkwaliteitseis uitkomt de inname stopt. Een drinkwaterbedrijf of industrie heeft buffercapaciteit nodig om de duur van de innamestop te overbruggen. In de huidige situatie is dit voldoende, aangezien drinkwaterbedrijven een leveringsplicht hebben en de industrie geen productiestop zal accepteren door gebrek aan water. In de toekomst kan de buffercapaciteit onvoldoende blijken door langdurige overschrijding van de waterkwaliteitseisen. Dit zorgt voor extra benodigde investeringen, oftewel een negatief economisch effect voor de sector.

Allereerst wordt berekend hoeveel dagen per jaar de waterkwaliteitseis per stof wordt overschreden in de huidige situatie en in 2050 onder de verschillende deltasceario's. Indien het maximaal aantal dagen overschrijding toeneemt in 2050 ten opzichte van de huidige situatie zal er meer buffercapaciteit nodig zijn. Deze additionele capaciteit wordt berekend door het verschil in maximaal aantal dagen overschrijding te delen door het aantal dagen in een jaar. Dit wordt vervolgens vermenigvuldigd met de productiecapaciteit van het innamepunt (zie voor een meer gedetailleerde beschrijving Ecorys, 2018).

Voor oeverinfiltraties wordt gewerkt met een jaargemiddelde concentratie. Wanneer deze in 2050 onder de verschillende deltasceario's toeneemt, is er meer buffercapaciteit nodig.

Vooralsnog wordt ervan uitgegaan dat de hele productiecapaciteit nodig is als additionele capaciteit.

De analyse is afgebakend en er zijn verschillende aannames gedaan. De belangrijkste worden in de volgende paragrafen één voor één beschreven.

4.4.1.1 *Keuze innamepunten*

In de inleiding is al beschreven dat de effectmodule enkel de oppervlaktewater drinkwaterinnamepunten beschouwd. Een aantal van deze punten wordt buiten beschouwing gelaten doordat er (1) geen handelingsperspectief is, (2) het systeem onvoldoende begrepen wordt, (3) geen problemen verwacht worden. Tabel 4.7 geeft een overzicht van de beschouwde punten inclusief karakteristieken. Tabel 4.8 laat zien welke punten met welke reden niet in de analyse worden meegenomen.

Tabel 4.7: Drinkwaterinnamepunten meegenomen in de analyse

Waterbedrijf	Innamepunt	Jaarlijkse inname (Mm ³)	Bron water	Model	Maatgevende indicator	Type drink waterpunt	Drempelwaarde	Opmerkingen
Evides	Gat van de Kersloot	127	Rijn & Maas	Delwaq	Carbamazepine	Oppervlaktewater	>0.1 µg/liter	Signaalwaarde voor zowel Rijn als Maaswater gebruikt Carbamazepine kan ook als indicator gebruikt worden. In droge periode is er een reserve innamepunt op de Lek bij Bergambacht; deze wordt als bepalend verondersteld
Waternet	Nieuwegein	65	Lekkanaal (Rijn)	Delwaq	Chloride	Oppervlaktewater winning	>200 mg/l	
Dunea	Bergambacht	75	Lek (Rijn)	Delwaq	Chloride	Oppervlaktewater winning	>150 mg/l	Zelfde modeluitvoerpunt als Dunea Bergambacht met uitzondering van de mogelijkheid tot inlaat vanuit de Lek.
Dunea	Brakel	75	Afgedamde Maas (Maas)	Delwaq	Carbamazepine	Oppervlaktewater winning	>0.1 µg/liter	
PWN	Nieuwegein	16	Lekkanaal (Rijn)	Delwaq	Chloride	Oppervlaktewater winning	>200 mg/l	Voor dit punt wordt voor een deel rivierwater gebruikt. Het innamepunt Kinderdijk wordt hiervoor gebruikt.
Oasen	Schuwacht, Krimpen aan de Lek	3	Lek (Rijn)	NWM	Chloride	Oeverinfiltratie	>150 mg/l	
Oasen	Rodenhuis, Bergambacht	13	Lek (Rijn)	NWM	Chloride	Oeverinfiltratie	>150 mg/l	Dit punt wordt deels gevoed door rivierwater. Modeluitvoerpunt Kinderdijk wordt hiervoor gebruikt.
Oasen	Reijerwaard, Ridderkerk	3	Nieuwe Maas en Noord	NWM	Chloride	Oeverinfiltratie Oppervlaktewater winning en oevergrondwaterwinning	>150 mg/l	
WML	Heel	20	Lateraalkanaal (Maas)	Delwaq	Bromide/Glyfosaat	Oppervlaktewater winning	>0.1 µg/liter	
Vitens	Engelse Werk	12	IJssel	LHM	Debiet	Oppervlaktewater winning		

Tabel 4.8: Drinkwaterinnamepunten niet beschouwd in de analyse

Waterbedrijf	Innamepunt	Bron water	Maatgevende indicator	Type drink waterpunt	Opmerkingen
Vitens	Vechterweerd	Overijsselse Vechterweerd	Niet beschikbaar	Oppervlaktewater	Bij lage afvoeren bestaat afvoer Overijsselse vechterweerd voornamelijk uit RWZI effluent uit Duitsland. Geen handelingsperspectief en kwaliteit effluent onduidelijk.
Vitens	De Punt	Drentsch Aa	NVT	Oppervlaktewater	Overschakeling op grondwaterproductie bij tekorten, potentiële uitbreiding grondwaterproductiecapaciteit niet gekwantificeerd
PWN	Andijk	IJsselmeer	Chloride	Oppervlaktewater	Niet te modelleren, fysieke processen onvoldoende begrepen
Oasen	De Put	Grondwater	Chloride	Oeverinfiltratie	Infiltreert grondwater in de oever. Niet direct beïnvloed door hogere zoutconcentraties
Oasen	De Laak	Diep grondwater	Chloride	Oeverinfiltratie	Infiltreert diep grondwater in de oever. Niet direct beïnvloed door hogere zoutconcentraties
Oasen	De Hooge Boom, Kamerik	Oude Rijn	Zoute kwel/externe verzilting	Oeverinfiltratie	Geen problemen verwacht
Oasen	De Steeg, Langerak	Diep grondwater en oevergrondwater	Chloride	Oeverinfiltratie	Infiltreert diep grondwater en oevergrondwater in de oever. Niet direct beïnvloed door hogere zoutconcentraties
Waternet	Nieuwersluis	Amsterdam -Rijnkanaal	Chloride	Oppervlaktewater	Dit punt is een reserve innamepunt. Tijdens droge perioden wordt incidenteel water vanuit ARK (max 5% op jaarbasis) gemengd met water uit de Bethunepolder. Dit leidt tot sterke verdunning van de stofconcentraties. Daardoor geen problemen verwacht.

Niet alle locaties van de proceswater-gebruikende industrie zijn bekend, daarom zijn de industriële innamepunten op een andere manier afgebakend. Voor de industrie is per COROP-regio bekend hoeveel proceswater door de industrie wordt gebruikt. De volgende COROP-regio's gebruiken het meeste proceswater (van groot naar klein):

- Groot-Rijnmond
- Oost-Groningen
- Zuid-Limburg
- West-Noord-Brabant
- Arnhem-Nijmegen
- Zuidoost-Zuid-Holland
- Noord-Limburg
- Noord-Friesland
- Midden-Limburg

Op basis hiervan zijn per COROP-regio innamepunten in het Delwaq model bepaald. Deze punten worden representatief verondersteld voor de industrie in die regio. Voor de industrie afhankelijk van Brielse Meer water is een aparte analyse gedaan. Zie Bijlage B voor beschrijving van deze analyse.

4.4.1.2 *Nooit problemen in de referentiesituatie*

De belangrijkste aanname is dat in de huidige situatie drinkwaterbedrijven en de industrie voldoende buffercapaciteit hebben om met de huidige concentratiepatronen om te gaan. Dit leidt ertoe dat in de referentiesituatie drinkwaterbedrijven vrijwel nooit (<1% kans) te maken krijgen met leveringsproblemen, ook niet tijdens zeer droge perioden. Voor de industrie geldt hetzelfde. Ook daar wordt ervan uitgegaan dat in de referentie productieprocessen nooit worden stopgezet door verslechterde waterkwaliteit of gebrek aan water. Stopzetten van productieprocessen is te kostbaar, daardoor heeft de industrie zich aangepast aan de huidige omstandigheden (Ecorys, 2018).

4.4.1.3 *Effect van droogte op incidenten*

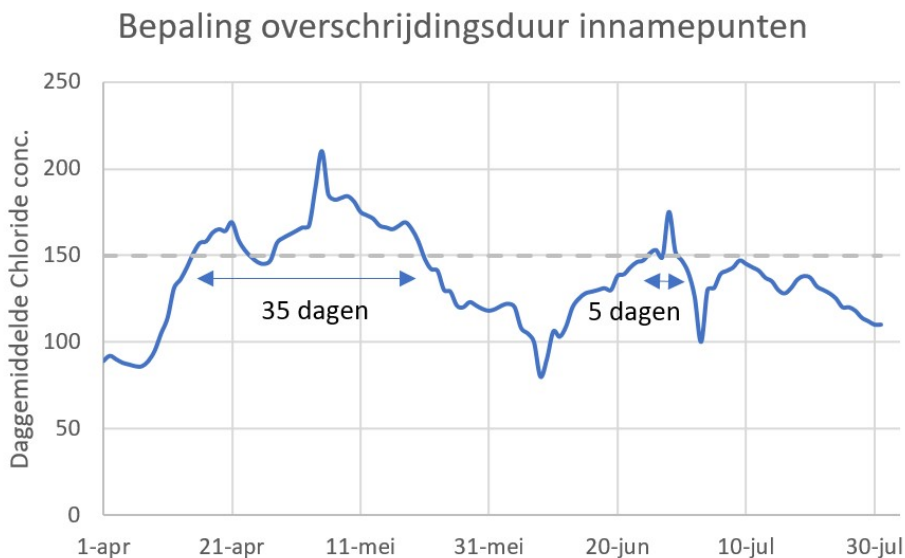
Onderzoek toont aan dat lagere rivierafvoeren kunnen leiden tot een langdurige overschrijding van de normen bij incidenten (b.v. drugslozingen). Dit effect is vooralsnog niet meegenomen in de effectmodule. (Corrales Duque, 2018)

4.4.1.4 *Aannames over waterkwaliteitseisen essentieel*

De waterkwaliteitseisen zijn belangrijk in de analyse. De aannames is dat wanneer deze worden overschreden wordt aangenomen dat inname stopt. In de praktijk zal de inname niet te allen tijde stoppen wanneer de waterkwaliteitseis wordt overschreden. In de meeste gevallen wordt om een ontheffing gevraagd, waardoor drinkwaterbedrijven kunnen blijven inlaten.

4.4.1.5 *Bepaling aantal dagen normoverschrijding*

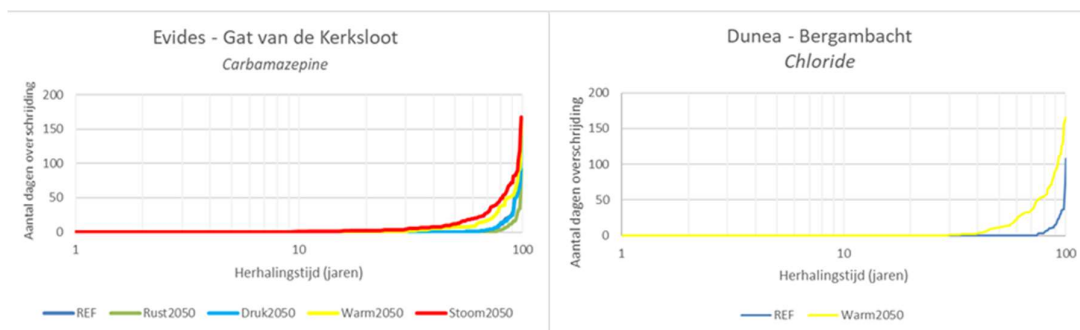
De benodigde capaciteit om periodes van normoverschrijdingen te overbruggen wordt uitgedrukt als de langst aaneengesloten normoverschrijding in dagen voor een specifieke stof per gemodelleerd jaar (zie ook KWR, 2017). Omdat periodes met normoverschrijdingen elkaar zeer snel op kunnen volgen is een hersteltijd aangehouden van 7 dagen (expertbeoordeling). Dit houdt in dat wanneer twee afzonderlijke periodes met normoverschrijding 7 dagen of minder van elkaar af liggen de overschrijdingsduren worden opgeteld. Wanneer er meer dan 7 dagen tussen twee periodes met normoverschrijding zitten worden deze als aparte periodes beschouwd. Het resultaat is voor alle jaren per stof de langste overschrijdingsduur. Deze procedure wordt voor alle deltascenario's toegepast.



Figuur 4.5 Bepaling overschrijdingsduur innamepunten

4.4.2 Resultaat: Overschrijding van de concentratie en benodigde buffercapaciteit

Het resultaat is de herhalingsjijd van aaneengesloten dagen overschrijding van de concentratie van kritische stoffen per scenario. Figuur 4.6 laten de herhalingsjijd van overschrijdingen zien voor carbamazepine en chloride bij respectievelijk de innamepunten Gat van de Kerkslot en Bergambacht. In met name de deltasenario's Warm en Stoom neemt het aantal dagen overschrijding toe. De huidige buffer is in deze toekomstige scenario's daardoor onvoldoende waardoor extra buffercapaciteit dient te worden gecreëerd om voldoende drinkwater te leveren. Voor innamepunt Bergambacht is de benodigde buffer bijvoorbeeld 22 Mm³ in de referentie, het uitgangspunt is dat deze buffer voldoende is om drinkwaterlevering te garanderen in het huidige klimaat (Zie Tabel 4.9). In het scenario Stoom is de benodigde buffer 34 Mm³. Oftewel om aan de leveringsplicht te voldoen moet er 12 Mm³ additionele buffercapaciteit worden gecreëerd.

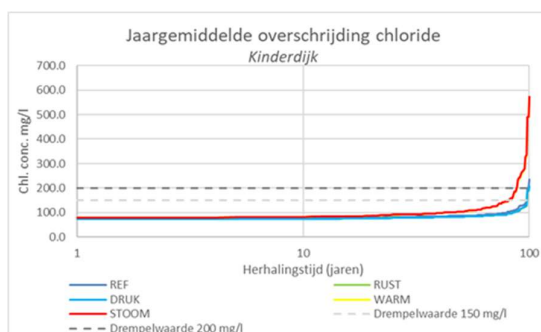


Figuur 4.6: Herhalingsjijd van overschrijding van de drempelwaarde van carbamazepine en chloride bij innamepunten Gat van de Kerkslot en Bergambacht

Tabel 4.9: Voorbeeld aantal dagen overschrijding in de Referentiesituatie en twee deltasenario's (Druk en Stoom) voor innamepunt Gat van de Kerksloot en Bergambacht

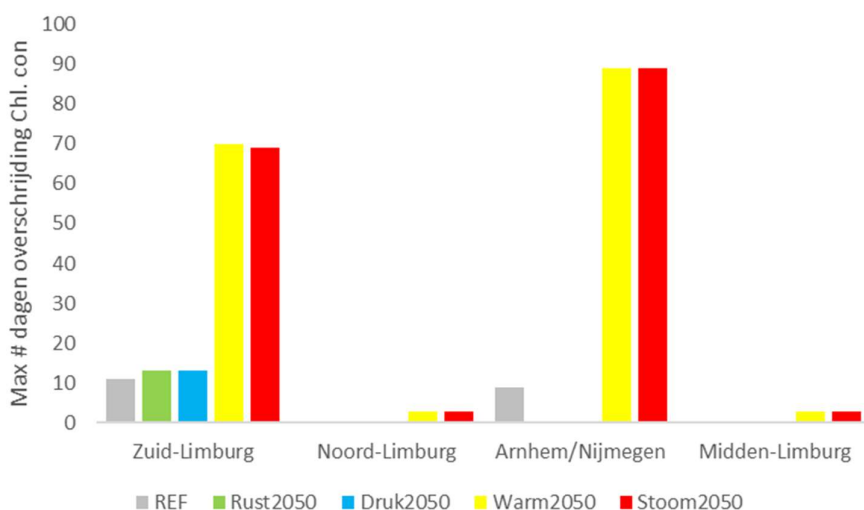
		Evides – Gat van de Kerksloot	Dunea - Bergambacht
REF	Max # dagen overschrijding	163	108
	Benodigde buffer (Mm3)	57	22
Druk2050	Max # dagen overschrijding	140	102
	Benodigde buffer (Mm3)	49	21
Stoom2050	Max # dagen overschrijding	167	167
	Benodigde buffer (Mm3)	58	34

Voor de oeverinfiltratiepunten is het resultaat de herhalingsjijd van een jaargemiddelde overschrijding van de chlorideconcentratie per scenario (Zie Figuur 4.7). In de scenario's Stoom en Warm komt de concentratie een aantal jaren boven de drempelwaarde van chloride uit. Dit betekent dat er extra investeringen nodig zijn om aan de wettelijk vastgelegde drinkwaterlevering te voldoen.



Figuur 4.7: Herhalingsjijd overschrijding jaargemiddelde chlorideconcentratie onder verschillende deltasenario's bij innamepunt Kinderdijk.

Voor industrie wordt de analyse gedaan voor de COROP regio's waar het meeste proceswater wordt gebruikt. Ook hier wordt de analyse gedaan op basis van overschrijding van de chloride achtergrondconcentratie en het aantal aaneengesloten dagen overschrijding. Voor Zuid-Limburg en Arnhem/Nijmegen neemt het aantal dagen overschrijding toe (Zie Figuur 4.8). De verwachting is dat industrieën in deze gebieden gaan investeren in extra zuivering om de kwaliteit van het proceswater te garanderen.



Figuur 4.8: Overschrijding chloride achtergrondconcentratie COROP regio's met meeste proceswatergebruikende industrie

4.4.3 Betrouwbaarheid

De overschrijdingsduur van de stofconcentraties en de benodigde buffercapaciteit worden sterk beïnvloed door de gekozen stoffen, drempelwaarden en aannames over de huidige problemen. Op basis van modelresultaten is voor alle drinkwaterinnamepunten carbamazepine maatgevend. Chloride wordt het vaakst genoemd door de drinkwater- en industriële sector als meest maatgevende stof. Het drinkwaterinnamepunt Heel daarentegen ziet Bromide en Glyphosaat als meest maatgevende stof. De keuze is daarom gevallen op een combinatie van chloride, wanneer aangegeven door de sector als meest bepalende stof, en carbamazepine, aangevuld met Glyphosaat en Bromide voor innamepunt Heel. Verandering van de gekozen stof of modellering van een grotere variatie aan stoffen kan de resultaten beïnvloeden. KWR ontwikkeld momenteel een zuiveringsopgave index (getoetst aan drinkwaternormen) waarin meerdere stoffen zijn meegenomen. Gebruik van deze index zou in de toekomst de betrouwbaarheid kunnen vergroten.

Om de gevoeligheid voor de signaalwaarde te kunnen duiden is een overschrijdingsdagen analyse uitgevoerd met een drempelwaarde van carbamazepine van 0.1 µg/liter en 0.2 µg/liter. Deze drempelwaarde zorgt bij de drinkwaterinnamepunten van Evides en Dunea voor een afname van meer dan 70%. Bij Heel blijven de overschrijdingen hoog, maar nemen wel ongeveer met de helft af.

Ook voor chlorideconcentratie geldt dat de keuze van de drempelwaarde zeer bepalend is voor de analyse. Bijvoorbeeld, bij een oeverinfiltratie bij Bergambacht is in de referentie een overschrijding van de chlorideconcentratie (gemiddeld 152 mg/l). Dit verschil valt weg in de onzekerheidsmarge die gehanteerd moet worden bij dit soort modelberekeningen. Bij het interpreteren van de resultaten dient hier rekening mee gehouden te worden.

De industriële innamepunten zijn in het model vrij arbitrair bepaald. In elke COROP regio zitten zeer diverse typen proceswater gebruikende industrieën. Een indicatie van de chloride achtergrondconcentratie voor één punt in de regio voor alle soorten industrie is dus vrij beperkt. Ook voor de regio's waar interne en externe verzilting een rol speelt, waaronder Groot-Rijnmond, Oost-Groningen, Noord-Friesland en West-Noord-Brabant, is de achtergrondconcentratie van chloride niet representatief. De industriële resultaten geven dus enkel een indicatie van de mogelijke toename van overschrijdingen en problemen bij de industrie in de regio's Zuid-Limburg, Arnhem-Nijmegen, Noord-Limburg en Midden-Limburg. Voor de grootste regio, Regio Groot-Rijnmond (meer specifiek Bernisse-Brielse Meer), wordt daarom een additionele analyse gedaan. Aan te raden is om met behulp van een additionele analyse ook voor de andere regio's na te gaan of er knelpunten gaan optreden.

De verwachting is dat de relatieve verschillen tussen de referentie en 2050 voor de verschillende deltasce­nario's vrij betrouwbaar zijn. De belangrijkste reden hiervoor is het hanteren van dezelfde aannames voor referentie en de deltasce­nario's. De onzekerheid in het absolute aantal dagen overschrijding is groot, wederom door de vele aannames. De limitering tot één maatgevende stof per innamepunt leidt waarschijnlijk tot een onderschatting van het droogterisico. Terwijl het hanteren van de signaleringswaarde van carbamazepine als norm voor een innamestop leidt tot een overschatting van het droogterisico. Kortom, een analyse op basis van relatieve verschillen is redelijk betrouwbaar, terwijl een grote onzekerheids­marge zit omtrent de absolute getallen.

4.5 Economische analyse

4.5.1 Beschrijving

De eerdere stappen lieten zien dat langdurig lage rivierenafvoeren kunnen leiden tot een verslechterde waterkwaliteit waardoor normconcentraties van stoffen langer worden overschreden. Dit resulteert in langere innamestops en grotere benodigde buffers. Per innamepunt is geïnventariseerd (Ecorys, 2018) welke maatregelen worden genomen om de additionele buffercapaciteit te kunnen realiseren. De meest genoemde maatregelen voor drinkwater zijn het inzetten van extra zuivering, zoals UV peroxide zuivering en Reversed Osmose (RO). Voor de industrie is het uitbreiden van de capaciteit van demiwaterproductie als maatregel geïdentificeerd. De kosten van deze maatregelen liggen tussen de 72k-282k per Mm3 additionele buffercapaciteit per jaar voor drinkwater en 249k per Mm3 additionele buffercapaciteit per jaar voor industrie. Om het economisch effect te berekenen wordt de additionele buffercapaciteit vermenigvuldigd met de kosten­k­entallen van deze maatregelen. Het resultaat is een schatting van het economisch effect voor de drinkwater en industrie. Voor meer informatie zie Ecorys (2018). Om dit resultaat te krijgen is de analyse afgebakend en zijn er aannames gedaan. De belangrijkste worden één voor één beschreven in de volgende paragrafen.

4.5.1.1 *Toename productiekosten drinkwaterbedrijven gebaseerd op reservecapaciteit*

Het economisch effect is gebaseerd op de structurele toename van productiekosten door realisatie van extra reservecapaciteit. Hiermee wordt aangenomen dat er op tijd mitigerende maatregelen worden genomen. De operationele kosten zijn bepaald op basis van hoe vaak wordt verwacht dat de reservecapaciteit ingezet moet worden. Hierbij is niet meegenomen hoe vaak deze (per deltasenario) daadwerkelijk ingezet gaat worden.

4.5.1.2 *Geen operationele overcapaciteit bij drinkwaterinnamepunten*

De operationele overcapaciteit is geen onderdeel van de analyse. Dit betekent dat er is aangenomen dat dergelijke overcapaciteit niet ingezet kan worden gedurende een droogte-event. De reden is dat operationele overcapaciteit onderdeel is van het reguliere productieproces \

4.5.1.3 *Toename kosten industrie nemen toe door vaker optreden verhoogde chlorideconcentraties*

De toename van kosten voor de industrie door het vaker optreden van hogere chlorideconcentraties is niet meegenomen. Schade door chloride aan installaties begint al onder de 150 mg/l. Wanneer in een deltasenario vaker verhoogde concentraties optreden (ook onder de 150 mg/l) kan de schade door corrosie toenemen. De industrie kan dit voorkomen door corrosie inhibitors en het bijmengen van drinkwater. De kosten voor de industrie bestaan dan uit de extra schade door corrosie of de extra kosten van de inzet maatregelen om corrosie te voorkomen. Door beperkte beschikbaarheid van data over corrosie als schademechanisme is deze extra kostenpost niet meegenomen.

4.5.1.4 *Volledige inzet productiecapaciteit bij overschrijding concentratie bij oeverinfiltratiepunten*

Bij oeverinfiltraties is de aanname dat wanneer de jaargemiddelde chlorideconcentratie wordt overschreden, de volledige productiecapaciteit moet worden opgevangen door UV peroxide of RO installaties. In de praktijk hoeft maar een klein deel te worden gezuiverd om onder een concentratie van 150 mg/l uit te komen. De hoeveelheid die moet worden gezuiverd is afhankelijk van de hoogte van de chlorideconcentraties. Deze aannames leiden dus tot een overschatting van het economisch effect bij oeverinfiltraties.

4.5.2 Resultaat: Additionele investeringen drinkwater en industrie

De additioneel benodigde buffercapaciteit per deltasenario wordt vermenigvuldigd met de kostenkentalen om het economisch effect te verkrijgen. Hierbij wordt vanuit gegaan dat dit kosten zijn die door de drinkwatersector worden opgevangen en niet worden doorvertaald in hogere drinkwatertarieven.

In het Stoom scenario is de additioneel benodigde buffercapaciteit 1 Mm³ voor Gat van de Kerksloot en 12 Mm³ voor Bergambacht (zie Tabel 4.9). Dit wordt vermenigvuldigd met 72 k€ (kostenkental UV peroxide zuivering) resulterend in 72 k€ jaarlijks economisch effect voor Gat van de Kerksloot en 864 k€ voor Bergambacht. Hetzelfde geldt voor de industrie de additionele buffercapaciteit wordt vermenigvuldigd met het kostenkental voor industrie (249 k€) om het jaarlijks economisch effect te bepalen.

4.5.3 Betrouwbaarheid

Het economisch effect voor de drinkwatersector is gebaseerd op de kosten van maatregelen die de sector zelf zou kunnen nemen. Hiermee lijken de inschattingen vrij betrouwbaar voor de reguliere drinkwaterinnamepunten. Voor de oeverinfiltraties leidt de methode tot een overschatting van het economisch effect doordat bij overschrijding van de jaargemiddelde concentratie de kosten van het omzetten van de volledige productie naar UV peroxide zuivering of RO wordt gerekend tot het economisch effect.

De betrouwbaarheid van het economisch effect voor de industrie is beperkt. Onderdeel van de effectmodule zijn de benodigde additionele investering om de effecten van een verhoogde achtergrondconcentratie van chloride te verminderen. Schade aan installaties en/of additionele operationele kosten door bijmenging van drinkwater of inzet van corrosie inhibitors worden niet geraamd. De verwachting is daardoor dat de resultaten van de effectmodule een onderschatting is van de daadwerkelijke effecten.

4.6 Conclusie betrouwbaarheid

Met de effectmodule drinkwater en industrie kan het effect van droogte op de industrie en drinkwatersectoren worden vertaald in een economisch effect op de maatschappij. De effectmodule bestaat uit hydrologische modellering van de waterstanden gevolgd door de bepaling van concentraties van vervuilende stoffen met het model Delwaq. Per drinkwaterinnamepunt en industrieel innamepunt wordt vervolgens met een postprocessing stap de toename van het aantal dagen overschrijding van bepaalde stofconcentraties per deltasceario berekend. Op basis hiervan kan de additioneel benodigde buffercapaciteit per deltasceario worden bepaald. De extra investeringen om de extra buffercapaciteit te realiseren zijn het economisch effect op de maatschappij.¹⁵

In elk van deze onderdelen worden aannames gedaan en zijn beslissingen genomen die effect hebben op de eindresultaten. In Tabel 4.10 zijn alle aannames en beslissingen – zoals besproken in de eerdere paragrafen van dit hoofdstuk - op een rij gezet. Sommige aannames hebben naar verwachting veel invloed op de eindresultaten, terwijl anderen een beperkt effect hebben. Een klein effect heeft de orde grootte van een aantal procenten, een middelgroot effect van een aantal tientallen procenten en een groot effect kan honderden procenten uitmaken. De richting van het effect is ook van belang. Indien alle aannames leiden tot een overschatting van de eindresultaten dan kan met zekerheid worden gesteld dat de eindresultaten te hoog worden ingeschat. Daarentegen kan een combinatie van overschattingen en onderschattingen ertoe leiden dat het eindresultaat een goede indicatie geeft van het werkelijke effect.

De analyse geeft een combinatie van onderschatting en overschatting van de resultaten. Hierdoor kan niet met zekerheid worden gesteld of het resultaat dan wel wordt over- of onderschat. Het effect op de eindresultaten van de meeste aannames is middelgroot. Voor één aanname, de keuze van de indicator stof en drempelwaarde, is het effect groot. Vooral voor deze aanname bevelen we daarom een gevoeligheidsanalyse aan en eventueel een aanpassing van de methodologie. Voor de aannames met een middelgroot effect bevelen we aan om een betere inschatting te maken van de daadwerkelijke grootte van het effect en op basis daarvan eventueel de analyse aan te passen.

¹⁵ Drinkwaterbedrijven zijn in publieke handen. Additioneel benodigde overheidsinvesteringen zijn een maatschappelijk economisch effect.

Tabel 4.10: Het effect van aannames en uitgangspunten in de effectmodule drinkwater/industrie op de eindresultaten

Aanname/Onzekerheid	Belang voor eindresultaten	Effect op eindresultaten
Aanvraag ontheffingen drinkwaterbedrijven ipv innamestop	Middelgroot	Overschatting
Innamestop gebaseerd op 1 stof ipv meerdere stoffen	Middelgroot/Groot	Underschatting of overschatting
Emissiepad chloride, bromide, glyfosaat grotendeels onbekend	Middelgroot	Underschatting of overschatting
Effect droogte op incidenten niet meegenomen	Klein	Underschatting
Keuze stoffen en drempelwaardes	Groot	Underschatting of overschatting
Volledige compensatie productie bij overschrijding concentratie oeverinfiltratiepunten	Middelgroot	Overschatting
Locatie industriële innamepunten	Middelgroot	Underschatting of overschatting
Underscheid type proceswater gebruikende industrieën	Klein/Middelgroot	Underschatting of overschatting
Operationele overcapaciteit niet meegenomen	Klein/Middelgroot	Overschatting
Additionele kosten industrie door vaker optreden hogere Cl. Conc.	Middelgroot	Underschatting
Beperkt meenemen interne en externe verzilting	Middelgroot/Hoog	Underschatting

5 Conclusies en aanbevelingen

De effectmodules zijn ontwikkeld om de economische effecten van droogte en zoetwatermaatregelen te berekenen voor het Deltaprogramma Zoetwater. Het belangrijkste doel van deze rapportage is het vastleggen van de huidige stand van zaken van de effectmodules om de toepassing van de effectmodules voor andere partijen mogelijk te maken en het analyseren van de resultaten te vergemakkelijken. Een goede discussie over de aannames en betrouwbaarheid van de modules draagt bij aan het analyseren en duiden van de resultaten, vandaar dat de rapportage hier ook aandacht aan besteed. Op basis hiervan kunnen ook aanbevelingen worden gedaan voor de doorontwikkeling van de modules. Per effectmodule worden eerst kort de belangrijkste conclusies beschreven waarna aanbevelingen voor vervolg onderzoek worden gegeven.

5.1 Effectmodule landbouw

5.1.1 Conclusie en discussie

De effectmodule landbouw berekent het economische effect van een vermindering van de gewasopbrengst en/of toename van de berekening door droogte op de maatschappij. De effectmodule bestaat uit hydrologische modellering van bodemvocht, verdamping en chlorideconcentratie met het NWM, inschatting van de gewasgeving en beregeningskosten met Agricom en bepaling van het economische effect op de maatschappij met de Prijsstool Landbouw.

Gedurende droge periodes gaan agrariërs meer beregenen met hogere beregeningskosten tot gevolg. Het resterende bodemvochttekort en/of zoutstress leidt tot minder gewasopbrengst. Voor de agrariërs kan de vermindering van de gewasopbrengst gedeeltelijk worden gecompenseerd door hogere prijzen. Consumenten moeten daardoor meer gaan betalen voor landbouwproducten. Het effect op de producenten en de Nederlandse consumenten van een verminderde gewasopbrengst en hogere beregeningskosten samen is het economisch effect op de maatschappij. Onderscheid kan worden gemaakt in de economische effecten per regio en per gewas, maar ook in effecten op agrariërs en consumenten. Het negatief effect van opbrengstgeving op producenten en consumenten kan worden gezien als schade door droogte, terwijl de extra kosten van beregening geschaard worden onder aanpassing van de sector aan een veranderd klimaat.

Om tot de eindresultaten te komen zijn een aantal aannames gedaan. De meeste van deze aannames hebben een klein tot middelgroot effect op de eindresultaten. Het effect van de aannames op de eindresultaten is niet eenduidig, oftewel de aannames kunnen leiden tot een overschatting of onderschatting. Bijvoorbeeld in Agricom ontbreekt een dynamische terugkoppeling tussen waterbeschikbaarheid en gewasgroei, daarbij wordt gewasschade niet bepaald aan de hand van het groeistadium van het gewas. Ook blijkt in Agricom de verdampingsfactor niet te worden aangepast aan het deltasceario, mogelijk leidend tot een overschatting van de potentiële opbrengst.

Het economisch effect van droogte voor de landbouw wordt voor een groot deel bepaald door de beregeningskosten. Een goede inschatting van de mate van beregening en potentieel beregend areaal is daarom bepalend voor het economisch effect. Het economisch effect van derving wordt mede bepaald door de prijselasticiteit per gewas. Deze is echter zeer onzeker, een betere inschatting kan resulteren in andere effecten.

In de huidige analyse is het uitgangspunt dat alleen Nederland een droogte kent. Wanneer omliggende landen ook te maken krijgen met droogte, kan door een stijging van de prijzen het economisch effect voor de Nederlandse agrariërs positief uitvallen. Een ander belangrijk uitgangspunt van de analyse is dat opbrengstderving wordt bepaald op basis van het verschil tussen de opbrengst in een situatie met optimale waterbeschikbaarheid en de waterbeschikbaarheid in het te analyseren jaar. Voor de analyse van de relatieve verschillen tussen scenario's of maatregelen is dit een uitstekend uitgangspunt. De (absolute) berekende opbrengstderving moet echter niet worden geïnterpreteerd als schade voor de landbouwsector. De landbouwsector zal immers veel minder schade ervaren dan wordt berekend met de effectmodule.

5.1.2 Aanbevelingen

De belangrijkste aanbeveling is om Agricom op termijn te vervangen door Waterwijzer Landbouw. Met een dynamisch gewasgroei model kan de opbrengstderving beter worden bepaald. Ook is het model recent gevalideerd, waardoor de berekende opbrengstderving betrouwbaarder is. Aangezien beregeningskosten een groot aandeel hebben in het economisch effect is ook aan te raden om meer aandacht te besteden aan de afweging van agrariërs om te gaan beregemen. Dit kan bijvoorbeeld door een goede analyse te maken van het moment dat agrariërs een beregeningsinstallatie aanschaffen en starten met beregemen. Technieken als agent-based modelling kunnen hierbij helpen. Voor het economische deel van de effectmodule is aan te bevelen een validatie uit te voeren op basis van recente droogtegebeurtenissen, bijvoorbeeld de droogte van 2018. Met name de actuele opbrengst, prijselasticiteit en belang van contractteelten kunnen goed worden gevalideerd. Ten slotte, is een aanbeveling om de schadebeleving van agrariërs te analyseren, zodat schade voor de agrariërs zelf kan worden bepaald. Deze resultaten kunnen vervolgens vergeleken worden met het maatschappelijke effect van droogte op de landbouwsector.

5.2 Effectmodule scheepvaart

5.2.1 Conclusie en discussie

De effectmodule scheepvaart vertaalt het effect van droogte op de scheepvaart in een economisch effect op de maatschappij. De effectmodule bestaat uit hydrologische modellering van de waterstanden gevolgd door de bepaling van de (minimale) vaardieptes. Met het dynamische model BIVAS kunnen de vaarbewegingen worden gesimuleerd op basis waarvan vaarkosten, de totaal vervoerde en niet-vervoerde vracht worden berekend. Met de economische rekensheet van Ecorys kan vervolgens het effect op de Nederlandse maatschappij worden bepaald.

Tijdens droge periode kan de vaardiepte op de rivieren afnemen waardoor schepen niet meer of niet meer met volledige belading kunnen varen. De binnenvaart anticipeert hierop door een andere route te varen of de belading te reduceren. Het resultaat is vaker varen, omvaren en langer wachten met hogere vaarkosten tot gevolg. Andere manieren om te anticiperen zijn het uitstellen van de vaart en vervoer met andere modaliteiten (modal shift) met een toename van de opslag- en transportkosten tot gevolg. Wanneer door klimaatverandering droogte toeneemt kunnen er structurele maatregelen door de sector worden genomen, zoals vergroten van de opslagcapaciteit en aanpassing van de vloot. De korte termijn en lange termijn kosten die worden gemaakt door Nederlandse schippers, verladers en andere bedrijven tijdens een droge periode, samen met de eventuele prijsstijgingen voor Nederlandse consumenten, geeft het totale economische effect van droogte.

Het economisch effect bestaat voor een deel uit aanpassingen aan een veranderend klimaat. Dit zijn voornamelijk de structurele kosten, zoals investeringen in additionele opslag- en wegcapaciteit.

Om tot de eindresultaten te komen zijn een aantal aannames gedaan. De meesten van deze aannames hebben een middelgroot effect op de eindresultaten. De aannames resulteren voornamelijk in een onderschatting van de resultaten. De meeste onzekerheid zit in de reactie van de scheepvaartsector op droogte. De aanname in BIVAS is dat wanneer niet meer kan worden omgevaren de beladingsgraad naar beneden gaat. Als ook de beladingsgraad niet meer naar beneden kan worden gebracht wordt er niet meer gevaren. Vervolgens is aangenomen in de nabewerking van de resultaten dat na 3 dagen opslag de lading alsnog vervoerd wordt met een andere modaliteit. In de praktijk kan deze reactie anders zijn met tot gevolg andere economische effecten. In de huidige hydrodynamische modellering kan verandering van de bodemligging van de rivier niet goed worden meegenomen. Verandering van de bodemligging en ontstaan van drempels kan vaarbepeningen tot gevolg hebben. In de effectmodule kan dit vooralsnog niet goed worden meegenomen.

Capaciteit van de sector zit niet in BIVAS waardoor de vloot altijd aan de vraag kan voldoen. In de praktijk zal de grootte van de vloot tegen beperkingen aanlopen in extreem droge jaren. In deze jaren wordt het economisch effect daarom mogelijk onderschat. In de minder extreem droge jaren is het gunstig voor schippers om vaker te varen, doordat de bestaande overcapaciteit wordt ingezet. Een negatief effect voor de verladers wordt hierdoor naar verwachting grotendeels gecompenseerd door een positief effect op de schippers. Dit heeft mogelijk een overschatting van het economisch effect tot gevolg.

5.2.2 Aanbevelingen

De belangrijkste aanbeveling is het valideren van de resultaten aan de hand van een recente droogte, bijvoorbeeld de droogte van 2018. In deze studie kunnen de vaarbewegingen, vaarkosten en opslagkosten worden vergeleken met monitorings- of meetgegevens. Ook kan het effect van droogte op de overcapaciteit van de sector worden geanalyseerd.

Het effect van een dalende rivierbodem en drempels op de scheepvaart is nog onvoldoende bekend. Het is aan te raden om deze effecten ten tijden van droogte te onderzoeken. Verder is het aan te bevelen om problemen met vaardiepte langs de hele rivier te beschouwen (ook het Duitse deel). Mogelijk treden er in Duitsland eerder dan in Nederland problemen met vaardiepte op waardoor schepen de beladingsgraad moeten aanpassen of niet meer kunnen varen. Wanneer dit het geval is hebben investeringen in het Duitse deel van de vaarwegen mogelijk meer effect dan investeringen in het Nederlandse deel.

5.3 Effectmodule drinkwater/industrie

5.3.1 Conclusie en discussie

De effectmodule drinkwater/industrie geeft een inschatting van de economische effecten van lagere afvoeren op de waterkwaliteit bij drinkwater en industriële innamepunten. De economische effecten worden bepaald op basis van de toename van innamestops waardoor meer buffer- en/of zuiveringscapaciteit nodig is. De kosten van investeringen in de zuiveringscapaciteit om aan de drinkwaterleveringsplicht te voldoen of door te gaan met industriële productie is gelijk aan het economisch effect. De effectmodule bestaat uit een combinatie van het Landelijk Sobek Model (LSM) voor rivierafvoeren, het waterkwaliteitsmodel Delwaq en een berekening van de overschrijdingsduur van bepaalde stofconcentraties en

benodigde buffercapaciteit. Het economisch effect bestaat in zijn geheel uit de aanpassing van de sector aan een veranderend klimaat.

Om tot de eindresultaten te komen zijn een aantal aannames gedaan. De meesten van deze aannames hebben een klein tot middelgroot effect op de eindresultaten. Het effect van de aannames op de eindresultaten is niet eenduidig, oftewel de aannames kunnen leiden tot een overschatting of onderschatting.

De analyse geeft een combinatie van onderschatting en overschatting van de resultaten. Hierdoor kan niet met zekerheid worden gesteld of het resultaat dan wel wordt over- of onderschat. Het effect op de eindresultaten van de meeste aannames is middelgroot. Vooral de keuze van de indicatorstof en drempelwaarde zijn zeer bepalend voor het eindresultaat. Ook het daadwerkelijke gedrag van de industrie- en drinkwatersector is bepalend. Drinkwaterbedrijven vragen bijvoorbeeld ontheffingen aan bij overschrijding van de waterkwaliteitseis van het innamewater. Dit gedrag leidt tot minder innamestops dan gemodelleerd. Niet alle stoffen kunnen goed worden gemodelleerd door het ontbreken van kennis over de emissiepaden. Vooral voor stoffen uit diffuse bronnen, zoals glyfosaat, is het emissiepad vaststellen complex.

5.3.2 Aanbevelingen

Belangrijkste aanbeveling is het gebruik van meerdere signaalstoffen voor de bepaling van sluiting van drinkwaterinnamepunten. Door te werken met een beperkte hoeveelheid stoffen (beperkt aantal bronnen en verspreidingen) kan het effect worden onderschat. Verder is een validatie aan te raden van de economische effecten op de drinkwater en industrie sector aan de hand van de droogte van 2018. Mogelijk hebben bijvoorbeeld koelwaterbeperkingen en schade aan installaties door chloride toch voor negatieve economische effecten gezorgd. De locaties waar (grote) economische effecten te verwachten zijn, bijvoorbeeld voor Bernisse-Brielse Meer, zijn apart geanalyseerd. Voor de effecten op industrie is een hotspot aanpak gewenst, waarmee wordt ingezoomd op locaties waar problemen door industrie te verwachten zijn. Voor deze locaties kunnen dan op basis van maatwerk economische effecten van droogte worden bepaald (vergelijkbaar met de aanpak voor Bernisse-Brielse Meer).

5.4 Ter afsluiting

Met de ontwikkelde effectmodules kunnen de effecten van droogte op de landbouw, scheepvaart, drinkwater en industrie worden vertaald in een economisch effect op de maatschappij. Hiermee kan het huidige en toekomstige droogterisico worden berekend, maar ook de baten van zoetwatermaatregelen. Dit is belangrijke input voor een maatschappelijke kosten baten analyse (MKBA).

Voor alle effectmodules geldt dat de reactie van de sector essentieel is voor het daadwerkelijke economisch effect. Bijvoorbeeld in de kop van Noord-Holland wordt in droge jaren hoge opbrengstderving gemodelleerd door hoge zoutconcentraties in het oppervlaktewater. In de praktijk zullen agrariërs niet beregenen met zout water, waardoor er eerder derving door watertekorten ontstaat dan door zout. Betere inschatting van het gedrag van actoren (en sectoren) kan leiden tot verbeterde inschatting van het daadwerkelijke effect van droogte op de economie.

De effectmodules zijn ontwikkeld voor (en binnen) het Deltaprogramma Zoetwater, maar kunnen ook in andere projecten worden toegepast. Doorontwikkeling van de effectmodules is essentieel, om op de lange termijn de beschikking te hebben over een betrouwbaar economisch instrumentarium voor de inschatting van de effecten van droogte op Nederland.

6 Referenties

- Abrahamse, A.H., G. Baarse and E. van Beek, 1982. Policy analysis of water management for the Netherlands [online] <<http://www.rand.org/pubs/notes/N1500z12>>
- Alterra, 2015. Toelichting op berekenen van verdamping in MetaSWAP in LHM [online], <http://www.nhi.nu/nl/files/8314/3652/5687/Berekenen_van_verdamping_in_het_NHI_met_MetaSWAP_4.pdf>
- van Bakel, P.J.T., V.G.M. Linderhof, C.E. Klooster, A.A. Veldhuizen, D. Goense, H.M. Mulder and H.T.L. Massop, 2009. Definitiestudie Agricom. Alterra rapport [online] <<http://edepot.wur.nl/50811>>
- CPB & PBL, 2015. Nederland in 2030 en 2050: Twee referentiescenario's (WLO). ,
- Corrales Duque, A., 2018. Relation of river discharge and precipitation with water intake stops: The Meuse case. Master thesis RIWA en UU.
- De Jong (2017). Effectmodule Droogte-Scheepvaart - Resultaten 2017. Deltares memo 11200588-013-ZWS-0001
- Deltares, 2014. Integrale analyse zout NHI 3.01 en aanbevelingen voor NHI 3.02 en verder [online]. <http://www.nhi.nu/nl/files/7714/2740/8596/rapportage_integrale_analyse_zout_versie_2014.pdf>
- 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.
- Deltares, 2018a. D-Water Quality Input File Description.
- Deltares, 2018b. D-Water Quality Processes Library Description.
- Ecorys, 2018a. Kosten en effecten van droogte voor de scheepvaart, eindrapportage.
- Ecorys, 2018b. Welvaartseffecten waterbeschikbaarheid op de sectoren drinkwater, energie en industrie, Eindrapport.
- Emissieregistratie. (n.d.). www.emissieregistratie.nl. Retrieved from www.emissieregistratie.nl
- Feddes, R.A., Zaradny, H, 1978. Model for simulating soil-water content considering evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 37 (3-4), pp. 393-397.
- Hoogewoud, J.C., Prinsen, G.F., Hunink, J.C., Veldhuizen, A.A., Van der Bolt, F.J.E., De Lange, W.J., 2013. Toetsingsrapportage NHI 3.0. Deltares.
- Hunink, J., J. Deisman, G. Prinsen, L. Bos - Burgering, N. Mulder, M. Visser (2018) Vertaling van Deltascenario's 2017 naar modelinvoer voor het Nationaal Water Model. Deltares rapport 11202240-009-ZWS. Utrecht, oktober 2018.
- KWR, 2017. Gevolgen van zoetwatertekorten voor industrie en drinkwaterproductie. 2017.099
- KWR, 2019. Effecten van klimaatverandering op natuur in Nederland, Een landelijke toepassing van Waterwijzer Natuur in het kader van het Deltaplan Zoetwater.
- Mens , M., Hunink, J., Delsman, J., Pouwels, J., Schasfoort, F., 2019. Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II, Voorlopige rapportage.
- Mulder, M., Veldhuizen, A., (2014). Agricom handleiding 2.01. Alterra-rapport 2576
- NHI, 2008. Hoofdrapport [online] <http://www.nhi.nu/nl/files/6214/2651/4485/NHI2008HR_v2_hoofdrapport_NHI_versie_1.pdf>
- Polman, N., Peerlings, J., van der Vat, M., 2019. Economische effecten van droogte voor de landbouw in Nederland, samenvatting.
- Prinsen, G., Mens, M., Diermanse, F., Loos, S., 2018. Toepasbaarheidstoets Nationaal Water Model voor Wabes. Deltares.
- Prinsen, G.F. and E.A. Verschuur, 1995. AGRICOM gebruikershandleiding. rapport Waterloopkundig Laboratorium, WL.
- Reinhard, S., 2019. Advies voor gebruik kosten berekening in Agricom.

- Rijkswaterstaat, 2017. Deelrapportage Vaarwegen voor de Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse (NMCA)
- RIVM, 2018. Toekomstverkenning geneesmiddelenemissie. Memo 198/2018 DMG/BG/lvD
- RWS, RIZA and WL Delft Hydraulics, 2005. Functioneel detailontwerp MOZART. RWS rapport.
- Sjerps, R., & Huiting, H. (2017). Gevolgen van zoetwatertekorten voor industrie en drinkwaterproductie -KWR 2017.099.
- STOWA (2018). Regioscan Zoetwatermaatregelen, Verkennen van het perspectief van kleinschalige zoetwatermaatregelen voor de regionale zoetwateropgave. Rapport 13.
- Svasek Hydraulics, 2005. Herkalibratie van de zouverdeling NDB-model, fase 2.
- van der Aa, M., 2014. Drinkwaterbereiding uit oppervlaktewater : verkennende analyse herkomst vier geneesmiddelen.
- Van der Vat, M., 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. Risicobenadring voor de Nederlandse zoetwatervoorziening, Methode ontwikkeling en toepassing op casestudies in Nederland.
- Van Geest, G., Altena, W., De Keizer, O., 2019. Natuureffectmodule voor de grote rivieren, Eerste analyse van het effect van lage afvoeren op natuur in Maas, Waal, Nederrijn/Lek en IJssel. Deltares
- Venhuis, B., Beekman, J., van Driesum, I., & Kommer, G.-J., 2018. Toekomstverkenning geneesmiddelenemissie - RIVM memo 198/2018 DMG/BG/lvD.
- Wolters, H.A., van den Born, G.J. van den Born, Dammers, E., Reinhard, S., 2018, Deltascenario's voor de 21e eeuw, actualisering 2017, Deltares, Utrecht

A Toekomstverkenning geneesmiddelen emissies

Voor het Deltaprogramma Zoetwater wordt gewerkt met deltasenario's om de bandbreedte van het toekomstige droogterisico te berekenen. Het RIVM heeft een toekomstverkenning gedaan naar geneesmiddelen emissies, de resultaten geven een prognose van toekomstige emissies per RWZI tot 2050 (RIVM, 2018). Dit heeft effect op de toekomstige waterkwaliteit en op het aantal sluitingen van inlaatpunten. De deltasenario's hebben een variërende bevolkingssamenstelling (leeftijdsopbouw en aantallen) gebaseerd op de WLO scenario's Hoog en Laag (CPB & PBL, 2015). Laag is gebruikt voor de deltasenario's Rust en Warm en Hoog voor de deltasenario's Druk en Stoom. Op basis van de analyse van het RIVM zijn aanpassingen gedaan om geneesmiddelen emissies per deltasenario te berekenen. Hiervoor zijn de volgende stappen genomen:

1. Berekening verandering bevolkingsaantallen en aandeel 65+'ers per COROP regio op basis van de WLO scenario's.
2. Berekening verandering in groei bevolkingsaantallen en hoeveelheid 65+'ers in het WLO scenario tov de prognose. Resultierend in een groei of krimpfactor per COROP regio per deltasenario.
3. Relateren type medicijn aan bevolkingsaantallen en/of aandeel 65+'ers. Concentraties Cabapentine en Clarithromycine zijn voornamelijk afhankelijk van bevolkingsaantallen terwijl de overige stoffen vooral afhankelijk is van de groei van het aantal 65+'ers (aangezien deze medicijnen vooral door ouderen worden gebruikt). Resultierend in een groei of krimpfactor per medicijn per COROP regio per deltasenario.
4. De groei- of krimpfactor per COROP regio voor elk deltasenario is vermenigvuldigd met de medicijnconcentratie per RWZI uit de prognose.

B Effecten van verzilting op industrie in de regio Bernisse-Brielse Meer

Voor Bernisse-Brielse Meer wordt de effectmodule industrie niet gebruikt, maar wordt maatwerk geleverd. De aannames voor de berekening van het economisch effect zijn hier vastgelegd.

Langdurige verzilting van Bernisse treedt in huidig klimaat vooral op ten gevolge van nalevering. Dit is het proces waarbij door windopzet eerst zout via de Nieuwe Waterweg, Oude Maas en Spui het Haringvliet instroomt (achterwaartse verzilting) en bij gesloten Haringvlietsluizen weer terug stroomt via het Spui naar het noorden (nalevering) en voor langdurige verhoging van de chlorideconcentraties bij Bernisse kan zorgen. In de toekomst kan de frequentie end duur van nalevering veranderen met potentieel effect op de industrie tot gevolg. In Huismans et al (2019) is een methode uitgewerkt om nalevering beter te voorspellen. Ook worden hierin uitspraken gedaan over de mogelijke verandering van de duur en frequentie van nalevering. De volgende conclusies worden hierin getrokken:

- De frequentie van nalevering neemt ongeveer met 25% toe in het WARM 2050 scenario
- De toename van de duur wordt geschat op enkele procenten tot maximaal 20% (lastig te bepalen).
- Problemen treden zowel in de winter als de zomer op. De effecten zijn mogelijk wel groter in de zomer door een grotere watervraag.

Het watergebruik uit de Brielse Meer voor industriële toepassing is als volgt (KWR, 2015):

- Stofbestrijding 0.55 miljoen M3/jaar
- Koelwater
 - o Once through: 29 miljoen M3/jaar
 - o Recirculerend: 2.75 miljoen M3/jaar
- Proceswater: 12 miljoen M3/jaar
- Demiwater: 17 miljoen M3 jaar

Wanneer er nalevering optreedt wordt er als volgt gereageerd door waterbeheerders:

- Bij verhoogde chloride concentraties tot 250 mg/l die tot 10 dagen aanhouden wordt de Brielse Meer inlaat gestopt
- Bij langdurig verhoogde chloride concentraties (vanaf 150 mg/l) wordt zout water ingelaten in het Brielse Meer.

De aanname is dat de industrie als volgt reageert op hogere chlorideconcentraties (KWR, 2016):

- Circulerende koeling en proceswater: Bijmenging van drinkwater
- Once thorough koeling: Reactie mogelijkheden beperkt. Eventueel inzet/aanschaf corrosie inhibitors (
- Demiwater: Accepteren kostenstijging chemicaliën en energiegebruik (korte termijn) en indien nog niet aanwezig RO capaciteit bijbouwen (lange termijn)

Om de economische effecten te berekenen voor de industrie zijn de volgende aannames gedaan op basis van Huismans et al (2019):






- Gemiddelde duur nalevering is 26 dagen in de huidige situatie en 30 dagen in scenario Warm
- Gemiddelde CL concentratie bij naleveringsgebeurtenissen is 400 mg/l. Dit is een zeer conservatieve aanname, waardoor de bovengrens van het economisch effect voor industrie wordt berekend.

De berekening van het economisch effect is gebaseerd op een toename van de duur en frequentie van de overschrijding van de chlorideconcentratie en de additionele kosten voor de sector door bijmenging van drinkwater en toename kosten chemicaliën en energiegebruik voor circulerende koeling, proceswater en demiwater. De berekening is gedaan voor de scenario's Warm en Stoom. In de scenario Warm neemt de industriewatervraag met 10% af en in Stoom met 15% toe. Hiermee is rekening gehouden in de berekening.




Tabel B1 geeft het economisch effect voor de industrie in Bernisse-Brielse Meer in deltasenario Warm en Stoom. De verwachting is dat in de deltasenario's Rust en Druk het economisch effect niet veranderd of kleiner wordt. De resultaten geven de bovengrens van het economisch effect. De effecten zijn uitgedrukt ten opzichte van de referentiesituatie.

	Warm	Stoom	Per event
Proceswater & recirculerende koeling	230 k€	510 k€	1.8-2.5 Miljoen €
Demiwater	55 k€	55 k€	13-18 k€
TOTAAL	285 k€	565 k€	1.9-2.7 Miljoen €

C Ecosysteemdiensten in de effectmodules

Type ecosysteemdienst	Onderdeel van effectmodule :	Toelichting
Productiediensten		
	Voedsel	Landbouw
		De effectmodule landbouw waardeert het effect van verminderde waterbeschikbaarheid op de productie van voedsel.
	Niet-Drinkwater	landbouw, scheepvaart, industrie, natuur
		Dit is de kern van het Deltaprogramma zoetwater, de beschikbaarheid van water voor verschillende doelen. Dit is opgenomen in de effectmodules landbouw, scheepvaart, industrie en natuur.
	Drinkwater	Drinkwater
		In de drinkwatermodule zit het effect van lagere afvoeren op de indikking van drinkwater en het effect van externe en interne verzilting. Onttrekking vanuit het grondwater is niet meegenomen uit de effectmodule.
	Hout	Gedeeltelijk landbouw
		Houtproductie is niet expliciet onderdeel van de effectmodules. Alleen sierteelt is een categorie in de effectmodule landbouw. De verwachting is dat verminderde waterbeschikbaarheid een beperkt effect kan hebben op de groei van productiebos. Het belang van productiebos voor de NL economie is echter beperkt en het verwachte effect is klein. Vandaar dat deze productiedienst niet expliciet wordt meegenomen in de analyse.
	Energie	Gedeeltelijk industrie
		In het rapport 'effecten waterbeschikbaarheid op de sectoren drinkwater, energie en industrie' Ecorys (2017) wordt beschreven dat de effecten van verminderde waterbeschikbaarheid op de energiesector beperkt zijn. Daarbij is er een energietransitie gaande waarbij de afhankelijkheid van zoet koelwater afneemt door verplaatsing van centrales naar de kust en overstappen naar andere vormen van energie. Sommige specifieke maatregelen hebben mogelijk wel effect op de energiesector dit zal in de uiteindelijke MKBA worden meegenomen.

Regulerende diensten			
	Bodemvruchtbaarheid	Maatregel in DP	Verbeteren van de bodemvruchtbaarheid is een mogelijke maatregel in DP Zoetwater. De effecten van deze maatregel op voornamelijk de landbouwsector worden via deze weg meegenomen. Het effect van verminderde waterbeschikbaarheid op de bodemvruchtbaarheid wordt niet voor alle deltasenario's apart doorgerekend.
	Erosiebestrijding	Geen	Verminderde waterbeschikbaarheid heeft zeer indirect een impact op erosiebestrijding. Vandaar dat deze ecosystemedienst niet apart wordt meegenomen.
	Waterberging	Maatregel in DP	Verschillende manieren van waterberging zijn maatregelen in DP Zoetwater. Via de effectmodules wordt de impact op productiediensten gekwantificeerd.
	Kustbescherming	Geen	Verminderde waterbeschikbaarheid heeft geen direct effect op kustbescherming. Wel kan de uitdroging van veenkades effect hebben op de stabiliteit van kades en daardoor de waterbescherming. Onderzoek is gedaan naar effect van peiluitzakking (hetgene dat waterbeheerders kunnen sturen) op stabiliteit van veenkades. Hier kwam uit naar voren dat uitzakken geen negatief effect heeft. Er is enkel gevaar wanneer na uitzakking het peil plotseling wordt verhoogt (bijvoorbeeld door hevige regen). Hierdoor is besloten deze ecosystemedienst niet in de effectmodules mee te nemen. Wanneer een maatregel hier een grote invloed op heeft wordt dit meegenomen in de MKBA.
	Verkoeling in de stad	Geen	Dit is onderdeel van DP Ruimtelijke Adaptatie
	Waterzuivering	Geen	Waterzuiverende vermogen van natuur is niet expliciet meegenomen. Het is lastig om het effect van verminderde waterbeschikbaarheid op de waterzuivering in te schatten. Daarnaast lijkt het effect niet significant. Indikking is wel meegenomen in effectmodule drinkwater.
	Plaagonderdrukking	Geen	Plaagonderdrukking is niet expliciet meegenomen. Dit is vooral gerelateerd aan biodiversiteit. Verwachting is dat verminderde waterbeschikbaarheid een zeer klein effect heeft op plaagonderdrukking.

	Bestuiving	Gedeeltelijk natuur	Bestuiving is niet expliciet meegenomen. Dit is vooral gerelateerd aan biodiversiteit (en dan vooral bijen), dit zit verwerkt in de effectmodule natuur. Verwachting is dat verminderde waterbeschikbaarheid een zeer klein effect heeft op bestuiving.
	Koolstofvastlegging	Geen	Koolstofvastlegging is gerelateerd CO2 emissies. Wanneer het neerslagtekort toeneemt kan versnelde veenoxidatie plaatsvinden in het veenweidegebied waardoor de CO2 emissies toenemen. Peilbeheer heeft een beperkt invloed op de mate van veenoxidatie. Vooralsnog is het effect van een verhoogd neerslagtekort op de mate van veenoxidatie niet meegenomen. Een uitgebreide studie door PBL over bodemdaling geeft een indicatie van dit effect. De relatie tussen droogte en bodemdaling is nog niet voldoende duidelijk om dit mee te nemen in een effectmodule.
Culturele diensten			
	Groene recreatie	Geen	In eerdere analyses is gekeken naar het effect van verminderde waterbeschikbaarheid op recreatie. Het bleek dat op een nationaal niveau het effect klein is, doordat er substitutie optreedt tussen natuurgebieden en verschillende vormen van recreatie (denk aan niet zwemmen in de plas met blauwalg, maar in een andere naburige plas zonder blauwalg). Lokaal kunnen er wel effecten optreden. Ook is er een economisch effect wanneer niet de voorkeurs recreatieve activiteit wordt uitgevoerd, maar een andere activiteit. Dit effect is naar verwachting ook klein. Wanneer de maatregelen worden geanalyseerd zal per maatregel worden bekeken of er grote (lokale) effecten op de recreatie te verwachten zijn.

	<p>Natuurlijk erfgoed</p>	<p>Geen</p>	<p>Het economisch effect van veranderend natuurlijk erfgoed is lastig te kwantificeren. Vandaar dat het niet is meegenomen in de effectmodule. Wanneer er maatregelen worden uitgevoerd met een groot effect op het natuurlijk erfgoed wordt dit kwalitatief beschreven of gescoord in de MKBA.</p>
	<p>Symboolwaarde natuur</p>	<p>Geen</p>	<p>Het economisch effect van veranderend symboolwaarde natuur is lastig te kwantificeren. Vandaar dat het niet is meegenomen in de effectmodule. Wanneer er maatregelen worden uitgevoerd met een groot effect op het natuurlijk erfgoed wordt dit kwalitatief beschreven of gescoord in de MKBA.</p>
<p>*Categorieën en figuren gebaseerd op natuurlijk kapitaal balans PBL</p>			