

Zoetwaterverkenning Midden-West Nederland

Verkenning naar wateraanvoermaatregelen om de zoetwatervoorziening in Midden-West Nederland te garanderen in de toekomst

F. Bulsink

September 2010

UNIVERSITEIT TWENTE.

Deltares

Enabling Delta Life



Zoetwaterverkenning Midden-West Nederland

Verkenning naar wateraanvoermaatregelen om de zoetwatervoorziening in
Midden-West Nederland te garanderen in de toekomst

Afstudeeronderzoek

Delft, september 2010

F. Bulsink

Water Engineering & Management

Universiteit Twente

rik_bulsink@hotmail.com

Begeleiders

Prof. ir. E. van Beek *Universiteit Twente en Deltares*

Dr. M.S. Krol *Universiteit Twente*

Ir. J. ter Maat *Deltares*

UNIVERSITEIT TWENTE.



Samenvatting

De droogteproblematiek in Midden-West Nederland (Rijnland, Delfland en Schieland) is vooral een waterkwaliteitsvraagstuk. Doordat het waterinlaatpunt bij Gouda verzilt raakt bij lage afvoeren op de Rijn, kan er geen water met de gewenste kwaliteit meer worden ingelaten in het gebied. Door klimaatverandering zal deze verzilting van het inlaatpunt vaker voorkomen. Daarnaast neemt door klimaatverandering het neerslagtekort toe, waardoor er een grotere watervraag voor de functies peilbeheer, doorspoeling en beregening ontstaat. Het huidige watersysteem is niet toereikend om de toekomstige vraag van de functies te voorzien van voldoende water met de gewenste kwaliteit. Maatregelen zullen moeten worden genomen om de problemen rondom de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland tegen te gaan. Deze maatregelen kunnen bestaan uit een combinatie van interne maatregelen (zoals het vergroten van de zelfvoorziening van het gebied) en maatregelen die de externe aanvoer van water verbeteren.

In dit onderzoek is er een verkenning uitgevoerd naar deze externe wateraanvoermaatregelen. Er is onderzocht of dit soort maatregelen haalbaar zijn om de zoetwatervoorziening te garanderen in de toekomst. Dit is gedaan door simulaties uit te voeren voor het droogtejaar 1949. Op basis van deze simulaties zijn de analyses en conclusies gebaseerd. Het karakteristieke droogtejaar 1949 heeft een herhalingstijd van 1:17 en is niet extreem droog zoals het droogtejaar 1976. Het jaar wordt echter gekenmerkt door een lage afvoer van de Rijn en daarmee een grote verzilting van de Hollandse IJssel.

De haalbaarheid van de maatregelen zijn getoetst voor de tijdsperioden 2050 en 2100. Voor deze perioden zijn scenario's ontwikkeld op het gebied van klimaat en beregeningsareaal. Er is uitgegaan van klimaatscenario G+, omdat het overheidsbeleid dit scenario voorschrijft voor problemen rondom watertekorten. Door de toenemende droogte zal het beregeningsareaal in de tijd toenemen.

De simulaties zijn uitgevoerd met behulp van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI). Het model berekent de watervraag, -aanbod en -tekort in de tijd. Het NHI bestaat uit gekoppelde grond- en oppervlaktewatermodellen. Het model is landsdekkend waardoor ontwikkelingen op het gebied van watervraag en -aanbod buiten het studiegebied meegenomen worden in de simulaties.

Om de resultaten te beoordelen is een beoordelingskader ontwikkeld. Aangezien de haalbaarheid van een oplossing meerdere facetten omvat, zijn de criteria waaraan deze richtingen getoetst worden ook divers. Hierdoor worden zoveel mogelijke effecten en kenmerken van een oplossing inzichtelijk gemaakt. De criteria zijn gegroepeerd in 5 categorieën: planet (milieu), people (maatschappij), profit (economie), institutioneel en omgang met onzekerheden.

Referentieberekeningen geven de toekomstige situatie in 2050 en 2100 weer bij voortzetting van het huidige beleid met droogtejaar 1949. In de toekomst zullen de watervragen toenemen door vooral grotere evapotranspiratie en minder neerslag ten opzichte van de huidige situatie. Peilbeheer heeft de grootste watervraag vergeleken met doorspoeling en beregening. In het huidige beleid wordt bij sluiting van de inlaat bij Gouda water via de KWA naar het studiegebied getransporteerd. De inlaat bij Gouda zal in de toekomst vaker sluiten in vergelijking met de huidige situatie vanwege lagere afvoeren op de Rijn en zeespiegelstijging. Ook de Brielse Meerleiding zal in de toekomst vaker aan zijn capaciteit zitten. Daarnaast is er te weinig water beschikbaar in de Lek en het Amsterdam-Rijnkanaal om aan de vraag te voorzien via de KWA. Hierdoor zullen de tekorten voor de verschillende functies toenemen en zal de verdringsreeks vaker toegepast worden, o.a. door te korten op de doorspoeling. Dit kan niet verhinderen dat er een tekort voor peilbeheer zal ontstaan. Dit tekort is onacceptabel, omdat een tekort van water voor peilbeheer kan leiden tot onomkeerbare schade. De tekorten zullen vooral plaats vinden in Rijnland; Delfland kan zichzelf door middel van de Brielse Meerleiding grotendeels voorzien en de tekorten in Schieland zijn minimaal. De effecten op de aquatische en terrestrische natuur vallen mee in de referentiesituatie. Derving in de landbouwsector zal wel toenemen door het drogere klimaat en de toenemende tekorten voor beregening. De schades aan gewassen blijven door de hoge capillaire

nalevering van de bodem echter beperkt. De jaarlijkse verwachtingswaarde (JVW) voor landbouwschade loopt van M€ 8.8 in de huidige situatie op naar M€ 11.2 en M€ 12.8 in respectievelijk 2050 en 2100. Het huidige beleid is dus niet in staat om de effecten van klimaatverandering op te vangen, de tekorten nemen toe evenals de JVW.

Om de watertekorten en negatieve effecten van de klimaatverandering tegen te gaan kunnen er maatregelen worden genomen. De verschillende oplossingen die in de literatuur worden voorgesteld, zijn gemodelleerd met het NHI en geanalyseerd aan de hand van het beoordelingskader. Hieruit zijn de volgende indicatieve conclusies getrokken voor het functioneren van deze maatregelen voor het karakteristieke jaar 1949:

- De oplossing **tweede Brielse Meerleiding** is succesvol om de tekorten in Delfland tegen te gaan. Hierbij dient wel de kanttekening gemaakt te worden dat de toevoer vanuit het Brielse Meer onder druk komt te staan door het Kierbesluit, de lage waterafvoeren in de rivieren en het mogelijk zout worden van het Volkerak-Zoommeer. Als een tweede Brielse Meerleiding wordt aangelegd, welke ook water doorvoert naar Rijnland, daalt de landbouwderving zowel in Delfland als Rijnland. De aanvoer is echter niet voldoende en een watertekort voor peilbeheer blijft bestaan.
- De aanvoer van water van het IJsselmeer via de **Tolhuissluisroute** naar Rijnland heeft een beperkte capaciteit en heeft negatieve effecten voor de recreatie, veiligheid en aquatische milieu. Daarnaast is er bij het huidige beleid in het karakteristieke jaar onvoldoende water aanwezig op het IJsselmeer om de volledige vraag te voorzien, omdat het peil te ver is uitgezakt. Dit kan opgevangen worden door peilverhoging op het IJsselmeer. De landbouwschade neemt echter ten opzichte van de referentiesituatie maar minimaal af en de investeringskosten zijn groot.
- Een nieuw aan te leggen **kanaal tussen Maarssen en Bodegraven** kan de watertekorten in het karakteristieke jaar 1949 ook niet voorkomen, zeker als tegelijkertijd de KWA niet meer gebruikt worden. Door beperkingen in waterbeschikbaarheid op het Amsterdam-Rijnkanaal zullen de tekorten zelfs groter worden dan in de referentiesituatie. Daarnaast zijn de investeringskosten van een nieuw kanaal erg hoog. Het probleem van een watertekort kan verminderd worden door een verandering van de beheerstrategie van de stuw bij **Driel**. Hierdoor kan er meer water over de Lek worden gestuurd. De landbouwschades in het studiegebied nemen dan inderdaad af. Daar staat tegenover dat de functies die afhankelijk zijn van de IJssel waarschijnlijk negatief beïnvloed worden. In het kader van deze studie is daar echter niet naar gekeken.

De samenvattende conclusie is dat bij het huidige beleid de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland in het karakteristieke jaar 1949 in de toekomst verder zal verslechteren. Het leidt tot grotere landbouwschade en watertekorten voor peilbeheer. Externe wateraanvoer kan de tekorten verminderen maar de maatregelen zijn duur. Daarnaast blijkt dat bij dat karakteristieke jaar 1949 met lage rivierafvoeren de beschikbaarheid van water op zich een probleem is. Dat betekent dat maatregelen, zoals de Tolhuissluisroute en het kanaal Maarssen-Bodegraven, alleen mogelijk zijn in combinatie met peilopzet op het IJsselmeer of verandering van de beheerstrategie van de sluis bij Driel. De overige oplossingen, zoals de 2^e Brielse Meerleiding, kunnen de tekorten niet effectief tegengaan. Een vermindering van de tekorten leidt tot een vermindering van de landbouwschade; deze vermindering is echter vaak minimaal en gezien de grote investeringen lijken deze oplossingen niet haalbaar op basis van enkel landbouwschade. Rechtvaardiging van deze maatregelen dient derhalve te komen van de vermindering van de watertekorten voor peilbeheer en van doorspoeling.

Voorwoord

Watertekorten en Nederland worden niet vaak met elkaar geassocieerd. Over het algemeen wordt meer aandacht gevestigd op overschot dan tekort van water in Nederland. Maar droogte is een reëel probleem in Nederland. In 2003 had Nederland voor het laatst te kampen met een grote droogte. Ook dit jaar was er een periode van droogte, maar door tijdige regenval viel de droogte uiteindelijk mee. De problemen rondom droogte zullen alleen maar toenemen vanwege klimaatverandering. Daarom moet tijdig een discussie plaats vinden over het probleem en de oplossingen. Met dit onderzoek hoop ik een bijdrage te hebben geleverd aan het onderzoek over watertekorten in Nederland en dan vooral aan de discussie hoe we de problemen rondom tekorten kunnen oplossen.

Natuurlijk wil ik mijn begeleiders Eelco van Beek, Maarten Krol en Judith ter Maat bedanken voor hun hulp, inzet en ondersteuning tijdens dit onderzoek. Eelco wil ik bedanken voor zijn hulp en aanwijzingen. Dankzij zijn kennis en ervaringen heb ik veel op kunnen steken over de problematiek en oplossingen. Daarnaast wil ik Maarten bedanken voor zijn kritische houding en aanwijzingen. Ook Judith wil ik bedanken voor haar hulp. Met urgente vragen kon ik altijd bij haar terecht. Het afstuderen bij Deltares is mij uitstekend bevallen, ik wil dan ook alle collega's van Deltares bedanken. Het is een organisatie met veel kennis en kunde, het was dan ook een plezier om daar te werken. Tenslotte wil ik mijn familie en vrienden bedanken voor hun support tijdens het afstuderen.

Rik Bulsink

Delft, september 2010

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Voorwoord	5
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doelstelling	11
1.3 Onderzoeksopzet	11
1.4 Leeswijzer	12
2 Systeemaannames en methode	13
2.1 Afbakening	13
2.2 Droogtejaren	13
2.3 Nationaal Hydrologisch Instrumentarium	15
2.4 Agricom	17
3 Systeembeschrijving	21
3.1 Natuurlijk systeem	21
3.2 Socio-economisch systeem	24
3.3 Institutioneel kader	27
4 Scenario's	29
4.1 Klimaatscenario's	29
4.2 Analyse gevolgen van klimaatscenario's	31
4.3 Berekening	33
5 Beoordelingskader	35
5.1 Opzet beoordelingskader	35
5.2 Evaluatiemethode	36
5.3 Invulling beoordelingskader	37
6 Referentiesituatie	41
6.1 Waterkwantiteit	41
6.2 Waterkwaliteit	47
6.3 Effecten voor gebruikers	48

6.4	Conclusie	51
7	Oplossingen	53
7.1	Overzicht	53
7.2	Opstellen van alternatieven	55
8	Resultaten per oplossing	57
8.1	Beheerstrategie stuw Driel	57
8.2	Tolhuissluisroute	60
8.3	Tolhuissluisroute in combinatie met peilopzet IJsselmeer	64
8.4	Tweede Brielse Meerleiding	68
8.5	Tweede Brielse Meerleiding en doorvoer naar Rijnland	70
8.6	Kanaal Maarssen-Bodegraven	73
9	Discussie	77
9.1	Verkenning van de oplossingsrichting	77
9.2	Methode en aannames	80
9.3	Beregeningsareaal	81
10	Conclusies en aanbevelingen	83
10.1	Conclusies	83
10.2	Aanbevelingen	84
	Referenties	87
	 Bijlage A: Jaarlijkse Verwachtingswaarde	 91
	Bijlage B: Grafische weergave van de functies voor de verschillende schadecomponenten	93
	Bijlage C: Formules Agricom voor berekening van potentiële en actuele gewasopbrengst en gewaswaarde	95
	Bijlage D: Schematisering van het watersysteem in DM	97

1 Inleiding

In dit onderzoek zal de focus liggen op de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland en de maatregelen met welke deze voorziening in de toekomst gegarandeerd kan worden. Het achterliggende probleem omtrent de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland wordt in de aanleiding verduidelijkt. Uit deze aanleiding vloeit de doelstelling voort. Daarna zal de opzet van dit onderzoek worden toegelicht. Ten slotte wordt bij de leeswijzer de opbouw van dit rapport verduidelijkt.

1.1 Aanleiding

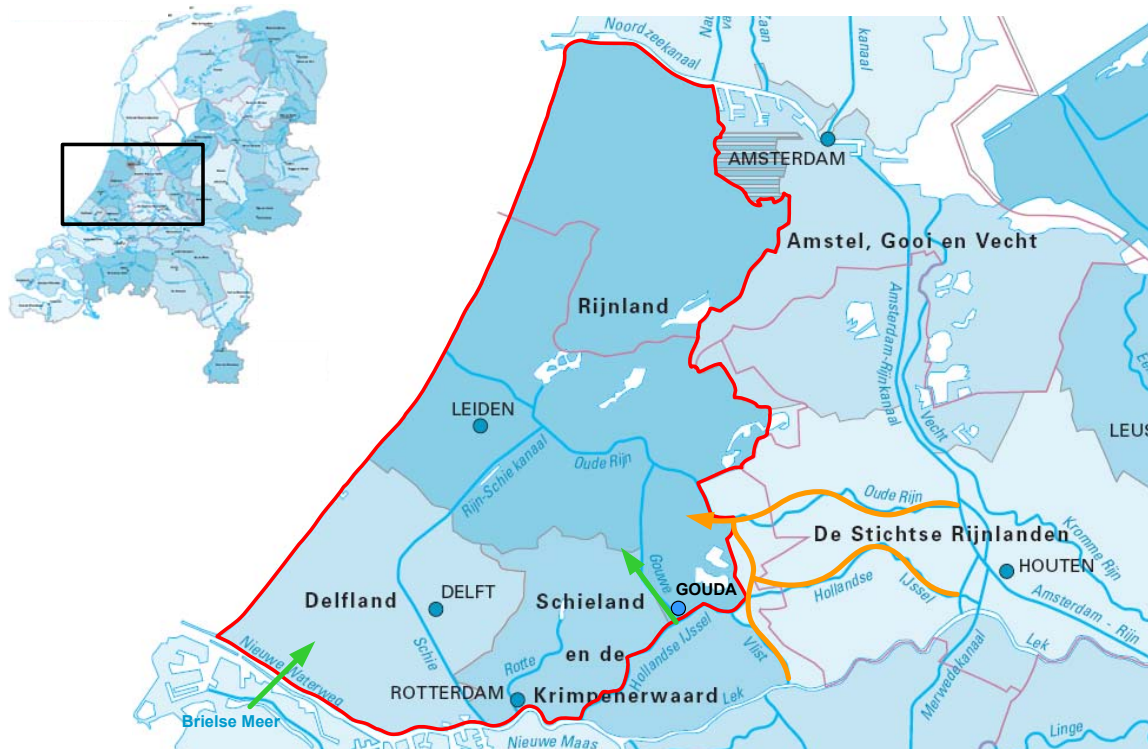
Water is van essentieel belang voor verschillende functies, zoals gewasgroei en natuur. Problemen doen zich voor als er watertekorten zijn. Watertekorten kunnen gedefinieerd worden op twee manieren (RIZA et al., 2005). Ten eerste kan er gesproken worden over een tekort aan oppervlaktewater. In dit geval kan er onvoldoende water met de gewenste kwaliteit worden aangevoerd voor functies die gerelateerd zijn aan oppervlaktewater. Deze functies zijn peilbeheer, beregening, doorspoeling en drinkwater. Ten tweede kan sprake zijn van een tekort aan grondwater of bodemvocht. Hierdoor treedt reductie van de gewasverdamping op door een gebrek aan water in de bodem. In beide gevallen doen problemen zich voor als het aanbod van zoet water van de juiste kwaliteit niet voldoet aan de vraag, dan is er sprake van zoetwatertekort. De belangrijkste oorzaken van deze tekorten zijn een hoog neerslagtekort, lage rivierafvoer, fysieke beperkingen van de aanvoermogelijkheden en een niet optimale verdeling van het beschikbare water (RIZA et al., 2005).

Deze tekorten hebben effecten voor de watergebruikers. Zo leiden watertekorten tot een niet optimale gewasverdamping, met als gevolg schade voor de natuur en landbouwgewassen. Voor de natuur kan worden gesteld dat droogte een normaal fenomeen is. Zo kunnen droogtes voor de natuur een belangrijke bijdrage leveren aan het afremmen van de successie en de instandhouding van de biodiversiteit. Het probleem in Nederland is alleen dat er nauwelijks sprake is van natuurlijke systemen, daardoor zijn veel waterafhankelijke ecosystemen verzwakt door verdroging en versnippering. Een verstoring kan dan leiden tot het lokaal of landelijk uitsterven van een populatie, zonder dat er mogelijkheden zijn voor herstel. Bovendien zijn veel systemen extra droogtegevoelig, omdat ze afhankelijk zijn van aanvoer van water of juist omdat water wordt afgevoerd ten behoeve van andere functies (Runhaar, 2006). Daarnaast leiden tekorten in het oppervlaktewater tot een verslechtering van de chemische en biologische activiteiten, met als gevolg zuurstoftekorten, algenbloei, overmatige kroosontwikkeling, botulisme en bruinrot. Dit heeft gevolgen voor het waterleven, waterrecreatie en veedrenking (Royal Haskoning, 2008). Ook sectoren als drinkwater en scheepvaart komen in de problemen bij grote watertekorten vanwege een laag peil in het oppervlaktewater. Daarnaast kan een laag waterpeil er ook voor zorgen dat onomkeerbare schade aan kunstwerk of waterkeringen ontstaat.

Droogte, watertekorten en de gevolgen hiervan zijn een wereldwijd probleem, zelfs het waterrijke Nederland heeft er mee te maken. In een gemiddeld jaar treedt al een tekort op aan water voor de verschillende gebruikers in het zomerhalfjaar. De tekorten komen overeen met een waterschijf over heel Nederland van 30 mm (RIZA et al., 2005). Binnen Nederland variëren de tekorten van soort. Afhankelijk van de gebiedseigenschappen verschilt de aard, ernst en omvang van watertekorten. Gebiedseigenschappen die van invloed zijn op het probleem zijn onder meer hoogteligging, grondwaterregime, bodemsoort, bodemgebruik en de aanwezigheid van infrastructuur waarmee water kan worden aangevoerd enerzijds en de aanwezigheid van watervragende sectoren anderzijds. Doordat het probleem zo varieert per regio is het oplossen van het droogteprobleem vooral een kwestie van maatwerk in het regionale en lokale systeem (RIZA et al., 2005).

Een belangrijke regio in deze problematiek is Midden-West Nederland, omdat het gebied wordt gekenmerkt door peilbeheersing, zoute kwel en gewasteelten met grote economische waarde. Onder dit gebied vallen de hoogheemraadschappen Rijnland, Delfland en Schieland. Specifiek voor dit deel van Nederland speelt de combinatie watertekort en verzilting een rol (RIZA, 2005). In dit gebied kan water

worden ingelaten tijdens droge periodes om de watervragen van verschillende functies te voorzien. Dit gebeurt onder normale omstandigheden via een leiding vanuit het Brielse Meer en via de Gouwe, zie figuur 1.1. Echter, bij lage rivierafvoeren verzilt de Hollandse IJssel en kan geen water met de gewenste kwaliteit meer worden ingelaten bij Gouda via de Gouwe. Een noodaanvoerroute, de Kleinschalige Wateraanvoervoorzieningen (KWA), wordt dan in werking gesteld om het gebied toch te voorzien van water met de gewenste kwaliteit. Hiermee wordt water vanuit de Lek en het Amsterdam-Rijnkanaal via diverse routes aangevoerd om de zoetwatervoorziening te garanderen. In 2003 is men voor het laatst genooddaakt geweest deze route te gebruiken om de zoetwatervoorziening in Midden-West Nederland veilig te stellen.



Figuur 1.1: Situering van de hoogheemraadschappen Rijnland, Delfland en Schieland (bron: UVW (2007)). De groene pijlen geven de aanvoer via de standaard routes weer en de oranje pijl geeft de KWA weer.

In de toekomst zal de druk op de zoetwatervoorziening verder toenemen. Door klimaatverandering zal zowel de vraag toe- als het aanbod afnemen. Door een afname in neerslag en een toenemende verdamping, zullen er vaker langdurige meteorologische droogteperiodes zijn (Deltacommissie, 2008). Dit leidt tot een grotere vraag naar beregening van gewassen, doorspoeling en peilbeheer. In de aanbodzijde zijn daarnaast ook enkele trends te zien. In de zomer periode zullen de afvoeren van de Maas en Rijn afnemen (Middelkoop et al., 2001). In combinatie met een stijgende zeespiegel is de zoutindringing in de Rijnmond groter en frequenter. Hierdoor zal het inlaatpunt bij Gouda vaker gaan verzilt (Beersma et al., 2005). Daarnaast zal de zoute kwel in het studiegebied ook toenemen (Royal Haskoning, 2007). Door deze processen komt de zoetwatervoorziening in het westen van het land onder druk te staan.

RAND (1981) heeft voor het eerst onderzoek gedaan naar de droogteproblematiek in Midden-West Nederland. In dit onderzoek werd geconcludeerd dat het probleem meeviel en de kosten van veel maatregelen hoger waren dan de baten. Echter, in deze studie werd geen rekening gehouden met klimaatverandering. Bovendien is de economische waarde in het gebied sindsdien gestegen. Om de klimaatverandering in Nederland te beschrijven zijn door het KNMI (2006) scenario's ontwikkeld. Deze

scenario's onderscheiden zich door een gematigde (G) en sterke (W) temperatuurstijging. Een ander verschil tussen de scenario's is een wijziging in de lucht stromingspatronen (+). De opgestelde klimaatscenario's zijn G, G+, W en W+. Al deze scenario's bevestigen de toenemende druk op de zoetwatervoorziening. Door klimaatverandering zal de droogteproblematiek in Midden-West Nederland toenemen, qua omvang en ernst (Royal Haskoning, 2008). De potentiële schade in het geval van de plus-scenario's is dermate groot dat de investeringsruimte toeneemt (Royal Haskoning, 2007). Daardoor zullen grootschalige infrastructurele maatregelen rendabel worden. Maatregelen zijn namelijk nodig omdat het huidige systeem niet robuust genoeg is om de gevolgen van klimaatverandering op te vangen (Royal Haskoning, 2008). Het blijkt dat meer zoet water inlaten nodig is dan nu om aan de toenemende vraag te voldoen. De hoeveelheid hangt af van de beleidsmatige keuzes ten aanzien van peilbeheer, doorspoelen en het aanpassen van watervragende functies aan droogte en verzilting (DHV, 2009). De problematiek in Zuid-Holland is daarmee nadrukkelijk een waterkwaliteitsvraagstuk.

Er zijn meerdere oplossingsrichtingen mogelijk om de zoetwatervoorziening te garanderen. Deze zijn te onderscheiden in watervraag verminderen, wateraanvoer aanpassen, accepteren en bewust worden (Deltares, 2009). Het huidige beleid is erop gericht om aan de watervraag te voldoen middels water van gewenste kwaliteit. Een voortzetting van dit beleid zal eventueel resulteren in schade die gelijk is aan het huidige niveau mits het daarvoor benodigde water beschikbaar is en kan worden aangevoerd (Rijnland, 2008). Vanwege klimaatverandering lijkt de capaciteit van de huidige aanvoerroutes ontoereikend (DHV, 2009), dus zijn omvangrijke ombouw van de aan- en doorvoerroutes onvermijdelijk om in de vraag te voorzien. Echter, het aanvoeren van systeemvreemd water heeft enkele nadelige gevolgen. Zo kan dit water bijvoorbeeld verontreinigend of eutrofiërend werken (Higler et al., 2002). De vraag is of grootschalige ingrepen in de infrastructuur om water aan te voeren wel economisch haalbaar zijn, of er wel voldoende mogelijkheden zijn om water aan te voeren en welke gevolgen dit heeft. Het is dus van belang om alternatieve aanvoermogelijkheden te onderzoeken op rendabiliteit en gevolgen voor gebruikers.

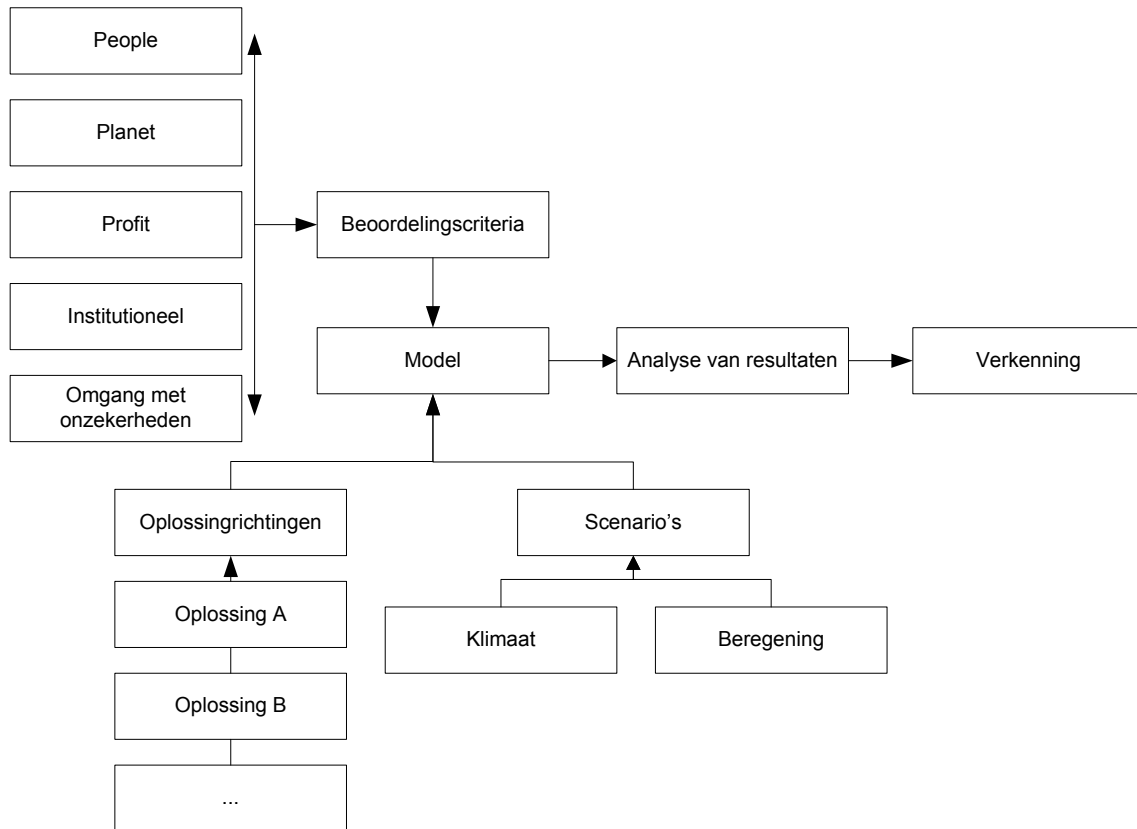
1.2 Doelstelling

Dit onderzoek zal zich richten op de zoetwatervoorziening in Midden-West Nederland. In het gebied zullen problemen rondom droogte vaker voorkomen in de toekomst als gevolg van klimaatverandering. Dit zal resulteren in negatieve effecten voor sectoren en een onwenselijke situatie. Daarom zullen oplossingen worden onderzocht om de zoetwatervoorzieningen toch te kunnen garanderen in de toekomst. De doelstelling van het onderzoek luidt dan ook als volgt:

Het verkennen van de haalbaarheid van oplossingen aan wateraanvoer gerelateerd om de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland te garanderen in de toekomst door alternatieven te inventariseren, modelleren en te beoordelen.

1.3 Onderzoekopzet

Om de doelstelling van dit onderzoek te bereiken wordt er gewerkt volgens de onderzoekopzet afgebeeld in figuur 1.2. Centraal in deze opzet staat een model. Met dit model worden toekomstige situaties met en zonder oplossingen gesimuleerd. In een referentiesituatie wordt een beeld van de toekomst verkregen bij voortzetting van het huidige beleid zonder extra maatregelen. Bij de overige simulaties worden mogelijke oplossingen meegenomen. De oplossingen vallen onder een bepaalde oplossingsrichting, welke een aanduiding is voor een manier van aanpakken van de droogteproblematiek in algemene termen. Er zullen meerdere oplossingen worden getest en beoordeeld. Om de toekomstige situatie te beschrijven worden scenario's opgesteld. Deze scenario's bevatten toekomstige veranderingen op het gebied van klimaat en beregeningsareaal. De oplossingen worden getoetst aan een beoordelingskader, welke wordt opgesteld aan de hand van kenmerken die de haalbaarheid van de oplossingen representeren. Hiermee worden de resultaten per oplossing geanalyseerd en beoordeeld. Uiteindelijk zullen op basis van deze analyses conclusies worden getrokken over de haalbaarheid van wateraanvoermaatregelen om de zoetwatervoorziening in Midden-West Nederland te garanderen.



Figuur 1.2: Onderzoeksoptzet voor zoetwaterverkenning Midden-West Nederland.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zullen de gebruikte methode en systeemaannames worden verduidelijkt. Deze onderdelen vormen de uitgangspunten van het onderzoek. Vervolgens zal in hoofdstuk 3 het studiegebied worden beschreven. Door deze analyse kan meer inzicht in de problemen, oplossingen en effecten worden verkregen. In hoofdstuk 4 zullen de toekomstige veranderingen van het klimaat en het beregeningsareaal beschreven worden. Deze ontwikkelingen zullen de scenario's vormen die gebruikt worden in dit onderzoek. Daarna zal in hoofdstuk 5 het beoordelingskader worden verduidelijkt. Aan de hand van dit kader worden de oplossingen getoetst. In hoofdstuk 6 worden de huidige en toekomstige situaties beschreven, dit is de referentiesituatie bij voortzetting van het huidige beleid. Hiermee kunnen de oplossingen worden vergeleken. In hoofdstuk 7 staan de oplossingen gesommeerd om de zoetwatervoorziening te garanderen in de toekomst. Het hoofdstuk daarna (hoofdstuk 8) beslaat de modellering van de oplossingen en de toetsing aan het beoordelingskader. Vervolgens zal in hoofdstuk 9 een discussie worden gegeven over de verkenning van deze oplossingsrichting, methodes en aannames. Tenslotte zal er een conclusie worden uiteengezet over de haalbaarheid van oplossingen om de zoetwatervoorziening in Midden-West Nederland te garanderen. Dit zal plaats vinden in hoofdstuk 10.

2 Systeemaannames en methode

Om dit onderzoek uit te voeren worden enkele aannames gedaan, deze worden toegelicht onder afbakening. Om berekeningen uit te voeren zal gewerkt worden met karakteristieke droogtejaren, deze methodiek wordt vervolgens toegelicht. Er zal gebruik worden gemaakt van twee modellen, namelijk het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium en Agricom. De werking, het gebruik en de verwerking van de resultaten zullen voor beide modellen worden verduidelijkt.

2.1 Afbakening

In het onderzoek worden enkele keuzes gemaakt om tot beantwoording van de centrale vraag te komen. Deze keuzes hebben te maken met systeemgrenzen en uitgangspunten. Ten eerste zal het onderzoek zich focussen op het Midden-Westen van Nederland. Hieronder worden de gebieden Rijnland, Delfland en Schieland verstaan.

In deze verkenning zal gekeken worden naar zowel waterkwantiteit als waterkwaliteit. Tekorten die zich onder waterkwantiteit voordoen zijn bodemvochttekorten en tekorten in waterverdeling. Maatstaf voor waterkwaliteit is verzilting, welke uitgedrukt wordt in chlorideconcentraties.

Daarnaast zullen enkele sectoren en functies gerelateerd aan de zoetwatervoorziening in ogenschouw worden genomen. Een functie waar naar gekeken zal worden is peilhandhaving. Gerelateerd hieraan zijn het voorkomen van bodemdaling en veenoxidatie en het waarborgen van de veiligheid zodat de stabiliteit van keringen en kunstwerken kan worden gegarandeerd. Daarmee kan schade aan infrastructuur voorkomen worden. Sectoren waarop de effecten worden onderzocht zijn landbouw en natuur. De overige sectoren als scheepvaart, drinkwater en recreatie zullen niet leidend zijn.

Watervragen, debieten en tekorten zijn over het algemeen uitgedrukt per zomerhalfjaar. Hieronder wordt verstaan de periode van 1 april tot 21 oktober. Het onderzoek zal rekening houden met 2 tijdsperioden. Dit zijn de middellange (2050) en lange termijn (2100). Scenario's op het gebied van klimaat en berekening zullen voor deze tijdsperioden worden meegenomen. Er zal geen rekening worden gehouden met socio-economische scenario's, omdat implementatie van deze scenario's in het gebruikte instrumentarium niet mogelijk is gebleken. Maar het huidige landgebruik sluit aan bij de visie van de Deltacommissie (2008), namelijk dat de functies natuur en landbouw van belang zijn en blijven in de Randstad. Daarom wordt er aangenomen dat er geen drastische veranderingen in het landgebruik plaats zullen vinden en het huidige landschap met haar functies geeft een representatief beeld van de huidige en toekomstige situatie.

Er zijn meerdere oplossingsrichtingen mogelijk om de zoetwatervoorziening te garanderen. Deze zijn te onderscheiden in watervraag verminderen, wateraanvoer aanpassen, accepteren en bewust worden (Deltares, 2009). In dit onderzoek zal alleen gekeken worden naar oplossingen die onder de richting wateraanvoer aanpassen vallen. Ook deze keuze valt samen met de visie van de Deltacommissie (2008), want hierin blijven de functies natuur en landbouw belangrijk in het gebied. Vanuit deze functies is er een vraag naar zoet water. Er zal dus zoet water met de juiste kwaliteit moeten worden aangeboden, zelfs bij verzilting van het inlaatpunt ter hoogte van Gouda. Daarom moeten andere mogelijke aanvoerroutes dan de inlaat van water bij Gouda worden onderzocht om de zoetwatervoorziening te garanderen.

2.2 Droogtejaren

Om het effect van droogte op het gebied te simuleren zal er gewerkt worden met karakteristieke droogtejaren. Echter, het werken met tijdsreeksen zou beter zijn, omdat de stationaire toestand dan bepaald wordt en de structurele effecten op natuur en landbouw beter in beeld worden gebracht. Dit geldt onder meer voor de verandering van de grondwaterspiegel en de langdurige effecten op de natuur. Maar er zal niet gewerkt worden met een tijdreeks, omdat de rekentijd van het model te lang is om tijdreeksen door te rekenen. Een droogtejaar is een historisch jaar dat karakteristiek is voor een bepaalde mate van

droogte (Van Beek et al., 2008). In Nederland worden deze droogtejaren gekarakteriseerd door twee belangrijke factoren, deze zijn het maximale doorlopende potentiële neerslagtekort en het afvoerdeficit van de Rijn (Beersma et al., 2004). In een normale situatie zorgen neerslag en Rijnwater voor het grootste gedeelte het wateraanbod in Nederland. Van het totale wateraanbod is 60% afkomstig van de Rijn, 30% van neerslag en 10% van de overige rivieren (RIZA et al., 2005). Een afname van één van deze bronnen leidt tot een daling van het wateraanbod.

In de studie van Beersma et al. (2004) worden 8 karakteristieke droogtejaren onderscheiden aan de hand van het neerslagtekort en afvoerdeficit van de Rijn. Het doorlopende neerslagtekort wordt bepaald door het verschil van de potentiële verdamping (van kort gras) en de neerslag in het zomerhalfjaar (april t/m september) en wordt gesommeerd over dit halfjaar. Het afvoerdeficit is het verschil tussen een drempelwaarde en de decadegemiddelde afvoer gesommeerd over alle decades in het zomerhalfjaar. De drempelwaarde is 1800 m³/s, wat overeenkomt met 20% van de decadegemiddelde afvoer in het zomerhalfjaar (Beersma en Buishand, 2004). Op basis van deze twee kenmerken kunnen de herhalingstijden van de karakteristieke droogtejaren worden bepaald. Dit is gedaan door een faalgebied te bepalen voor economische schade als gevolg van het neerslagtekort en het afvoerdeficit. De economische schade is gebaseerd op historische data. Aan de hand van het verband tussen de faalgebieden is de herhalingstijd bepaald (Beersma en Buishand, 2004). In tabel 2.1 staan de herhalingstijden op basis van deze methode voor de karakteristieke droogtejaren

Tabel 2.1: Neerslagtekort, afvoerdeficit, landbouwschade, herhalingstijd en typering per karakteristiek droogtejaar (bron: Beersma en Buishand (2004)).

Jaar	Neerslagtekort [mm]	Afvoerdeficit [10 ⁹ m ³]	Landbouwschade [M€]	Herhalingstijd [jaar]	Typering
1949	226.7	9.2	1233	17	Droog
1959	351.7	5.1	1740	55	Zeer droog
1967	151.0	0.3	363	2	Gemiddeld
1974	167.8	4.2		4	
1976	361.1	10.7	2143	110	Extreem Droog
1985	36.0	0.6	33	1	Nat
1995	199.9	0.6	923	4	Matig Droog
1996	199.2	4.8	983	7	

Om de droogtejaren en bijbehorende schade uit te drukken in een hanteerbaar getal, wordt er gewerkt met de jaarlijkse verwachtingswaarde (JVW). De jaarlijkse verwachtingswaarde van de schade voor de landbouw wordt berekend op basis van de kans van voorkomen van de beschouwde karakteristieke jaren en de daarbij optredende schade (RIZA, 2003). Deze methode is onder meer toegepast in de studie van Royal Haskoning (2007). Hierin is de jaarlijkse verwachtingswaarde bepaald door toepassing van de blokaanpak. Dit houdt in dat het oppervlak onder de blokken, welke worden gevormd door schade en frequentie van voorkomen van vijf karakteristieke droogtejaren, de jaarlijkse verwachtingswaarde bepaalt. In de studie van Van Beek et al. (2008) is ervoor gekozen om een curve door de berekende schades te fitten. Het oppervlak onder de lijn is gelijk aan de JVW. Hierdoor wordt het oppervlak en dus ook de jaarlijkse verwachtingswaarde nauwkeuriger bepaald vergeleken met de methode die gehanteerd is in de studie van Royal Haskoning (2007). Daarnaast is de schade van een gemiddeld jaar in de studie van Van Beek et al. (2008) niet meegenomen, er is namelijk aangenomen dat deze schade acceptabel wordt beschouwd. In deze studie is er acceptabele schade bij een overschrijdingskans van 0,52 [1/jaar].

De studie naar de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland heeft een verkennende aard. Bovendien is de rekentijd van het gebruikte model lang. Daarom zal met één karakteristiek droogtejaar worden gewerkt, waarmee uiteindelijk de haalbaarheid van oplossingen wordt bepaald. Voor de keuze van het droogtejaar is het belang om een representatief beeld te krijgen van de toekomst. Er zal een extreem jaar worden gebruikt om de volledige bandbreedte in beeld te krijgen. Echter, zal niet met het

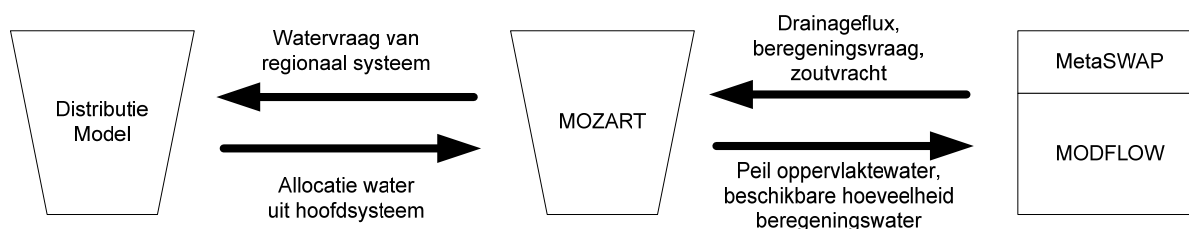
extreem droge jaar 1976 worden gewerkt. Dit jaar heeft een dermate hoge herhalingsjijd (110 jaar) dat de kans op voorkomen zeer klein is. Gezien dit feit is het niet realistisch om hierop de infrastructuur te dimensioneren. Daarnaast wordt de jaarlijkse verwachtingswaarde voor 90% bepaald door de karakteristieke jaren met herhalingsjijden tot 30 jaar. Een uitzonderlijk droog jaar als 1976 telt voor slechts 4% mee in de jaarlijkse verwachte schade. Dit betekent dat maatregelen het meest effectief moeten zijn voor droogtejaren die relatief vaak voorkomen (RIZA, 2003). Daarom zal gebruik worden gemaakt van het droge jaar 1949. Dit jaar heeft de voorkeur boven het zeer droge jaar 1959, omdat er in 1949 een veel hogere afvoerdeficit is welke bijna overeenkomt met het extreem droge jaar 1976. Voor hydrologische aspecten van droogte die met name afhangen van de externe verzilting, was 1949 voor het studiegebied dan ook een extremer jaar dan het zeer droge jaar 1959 (RIZA, 2005).

Aan de hand van de gemiddelde overschrijdingskans en de schade in de landbouwsector voor het jaar in 1949 zal de jaarlijkse verwachtingswaarde worden bepaald. Daarbij wordt aangenomen dat het punt waarbij de schade acceptabel wordt verondersteld constant blijft in de toekomst. Dit punt ligt bij een overschrijdingskans van 0,52 per jaar. Deze overschrijdingskans van een gemiddeld jaar zal waarschijnlijk niet kleiner worden, omdat droogtes zullen toenemen door klimaatverandering en schade daarmee ook. Daarentegen is een groter wordende overschrijdingskans ook niet waarschijnlijk, omdat dit niet acceptabel zal zijn in de landbouwsector. Maatregelen, zoals meer arealen met beregening, zullen dan waarschijnlijk worden genomen om de inkomsten te garanderen. In bijlage A is zichtbaar hoe de JVW wordt berekend aan de hand van het droogtejaar 1949. Tevens wordt in de bijlage ook de afleiding van de JVW uit Van Beek et al. (2008) verduidelijkt.

2.3 Nationaal Hydrologisch Instrumentarium

Het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) zal worden gebruikt om de oplossingen te modelleren onder scenario's en de uitkomsten hiervan te toetsen aan de criteria. Het NHI is een geïntegreerd landsdekkend grond- en oppervlaktewatermodel van Nederland. Het doel van het NHI is om hydrologische ondersteuning te bieden aan beleids- en operationele studies op landelijk en regionaal niveau (NHI, 2008). Het NHI bestaat uit gekoppelde modellen die elk een deel van het watersysteem representeren. Tussen de modellen vindt interactie plaats en de uitwisseling van informatie die hier ontstaat, wordt gebruikt voor het opstellen van waterbalansen in de modellen. De interactie tussen de modellen is weergegeven in figuur 2.1. Hieronder volgt een opsomming van de gekoppelde modellen:

- MODFLOW: verzadigde zone (grondwater),
- metaSWAP: onverzadigde zone,
- MOZART: regionaal oppervlaktewater,
- Distributie Model (DM): landelijk oppervlaktewater.



Figuur 2.1: Weergave van de uitwisselingsrelatie tussen de verschillende modellen van het NHI (bron: Delsman et al., 2008).

In het NHI zal gerekend worden met tijdstappen van 1 dag voor de modellen MODFLOW en metaSWAP. In de modellen MOZART en DM worden tijdstappen van 10 dagen gemaakt. Scenario's kunnen mee worden genomen in het model door de invoergegevens te veranderen, waardoor de watervraag en -

aanbod zullen veranderen. Het model neemt naast waterkwantiteit ook waterkwaliteit mee. Waterkwaliteit wordt uitgedrukt in chlorideconcentratie.

In het deelmodel MOZART vindt de lokale waterverdeling tussen gebruikers plaats. Er worden vijf gebruikers onderscheiden, namelijk peilbeheer, doorspoeling, beregening in de landbouw, industrie en drinkwater. De volgorde waarop deze gebruikers van water worden voorzien, wordt beïnvloed door een op te geven prioriteitstelling. Allereerst wordt een waterbalans berekend per local surface water (lsw), dit is een gebied met een kenmerkend grondwaterpeil. Waarbij de uitstroom, instroom, volumeverschil, verdamping en neerslag worden bepaald. Vervolgens wordt het overschot verdeeld over de watervraag van de gebruikers volgens de prioriteiten (Delsman et al., 2008). De volgende watergebruikers zijn van belang in dit onderzoek: doorspoeling, peilbeheer en beregening. Deze termen zijn hieronder gedefinieerd.

Doorspoeling is nodig om de zout- en nutriëntenconcentratie in de boezems en polders acceptabel te houden voor de verschillende functies. Het doorspoeldebiet is de hoeveelheid water dat uit de districten Rijnland, Delfland en Schieland stroomt naar de randen, zoals de Noordzee en Noordzeekanaal. Het streefdebiet voor doorspoeling wordt vooraf gedefinieerd. In het Hoogheemraadschap Rijnland is het wenselijke doorspoeldebiet $4.6 \text{ m}^3/\text{s}$. Doorspoelen vindt plaats vanaf 1 mei tot 1 september. In het district Delfland is het doorspoeldebiet vastgelegd op $0.39 \text{ m}^3/\text{s}$ en vindt het hele jaar door plaats. In Schieland is geen voorwaarde gesteld omtrent het doorspoeldebiet (RIZA, 2005). Er wordt aangenomen dat dit streefdebiet constant is in de huidige en toekomstige situatie. Het doorspoeldebiet wordt vastgelegd in het model en is niet afhankelijk van de zoutconcentratie. Dit is momenteel ook het beleid bij waterschappen, waar het doorspoelbeleid niet is vastgelegd in expliciete sturingsregels maar vaak gebaseerd is op ervaringsdeskundigheid (WL et al., 2001). In de studie van RIZA (2005) wordt dit streefdebiet ook om deze redenen constant verondersteld in 2050.

Door middel van peilbeheer wordt getracht om het waterpeil in de boezems en polders op het gewenste niveau te houden. Dit is noodzakelijk om de verschillende functies goed te laten functioneren. Hierbij kan gedacht worden aan de functies scheepvaart, landbouw en veiligheid van de kades. Het gewenste peil verschilt in het winter- en zomerseizoen. Door een combinatie van onder meer een gewenst peil, verdamping en neerslag wordt er een vraag of een gift gecreëerd. De watervraag voor peilbeheer wordt voorzien door middel van een externe bron. Het is mogelijk dat het model tekorten voor peilbeheer berekend. Deze tekorten zouden in werkelijkheid niet plaats vinden, omdat tekorten in peilbeheer onacceptabel zijn vanwege de onomkeerbare schade bij een laag waterpeil. Mocht er in werkelijkheid tekorten in peilbeheer voorkomen dan kan er zelfs water met een hoge chlorideconcentratie ingelaten worden om aan het streefpeil te voldoen. Dergelijke noodingrepen zijn niet in het model geïmplementeerd.

Indien beregening mogelijk is, wordt bij overschrijden van een bepaalde drukhoogte een beregeningsgift gesimuleerd. Deze beregeningsgift wordt als neerslag voor de specifieke dag als bovenrandvoorwaarde ingevoerd; opgeteld bij de bruto neerslag. De daadwerkelijke beschikbare hoeveelheid beregeningswater is de bruto beregening minus de interceptieverdamping en oppervlakte-afvoer. De gift is afkomstig uit grondwater en/of oppervlaktewater. Beregening hangt af van het beregeningsseizoen, kritieke drukhoogtes en maximale beregeningsgift.

Een nieuwe versie van het model is begin dit jaar uitgebracht. Er heeft nog geen volwaardige model calibratie plaats gevonden, maar het model is wel geverifieerd op basis van metingen uit 2003 en deelprocessen zijn geijkt. In het rapport NHI (2010) is het instrumentarium beschreven en geëvalueerd. Uit deze evaluatie komen een aantal zaken naar voren. Ten eerst blijft de grondwaterdynamiek nog achter bij de metingen. De dynamiek van water aan- en afvoeren daarentegen komt vergeleken met metingen van Rijnland redelijk overeen. Daarnaast is de kwaliteit van de berekeningen van de zoutconcentraties nog niet helemaal duidelijk. Wel komt de totale berekende watervraag grotendeels overeen met de metingen, alleen lokaal kunnen er nog verschillen zijn. Het model is ook goed in staat de optredende dynamiek in relevante (droogte-) parameters te berekenen. Het kan dan ook toegepast

worden voor verkennende berekeningen rond de zoetwatervoorziening. Wel moet er rekening gehouden worden met regionale afwijkingen vergeleken met metingen. Uit deze evaluatie kan geconcludeerd worden dat de meeste droogteparameters uit het model een betrouwbaar beeld geven. Wel moet er kritisch naar de uitkomsten worden gekeken.

2.4 Agricom

Agricom is een agro-economisch model dat op basis van de resultaten van een hydrologisch model kosten en baten voor de landbouwsector in Nederland berekent. Dit betreft de effecten van te droge, te natte of te zoute omstandigheden op de Nederlandse landbouw (Mulder et al., 2010). Belangrijke termen hierbij zijn de potentiële opbrengst, actuele opbrengst en derving. De potentiële opbrengst is gelijk aan de maximaal mogelijke opbrengst onder ideale condities. Actuele opbrengst is de werkelijke gerealiseerde opbrengst. Derving is het verschil tussen de potentiële opbrengst en de actuele opbrengst.

Allereerst zal de werking van het model worden beschreven. Om de resultaten te verwerken zal gebruik worden gemaakt van schadeconcepten. Deze schadeconcepten zullen daarna worden gepresenteerd en een keuze voor een bepaald schadeconcept zal worden gemaakt.

2.4.1 Werking

Agricom bestaat uit drie deelprogramma's. Het eerste deelprogramma zorgt voor de koppeling met het NHI. In dit deelprogramma worden aan de hand van hydrologische gegevens dervingsfracties voor individuele jaren berekend. De berekening van de totale dervingsfractie vindt plaats aan de hand van verschillende schadecomponenten. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de schadecomponenten droogte, inundatie, verdrassing en zout. De schadecomponent droogte is afhankelijk van het gewastype, groeistadium waarin het gewas verkeert en de relatie tussen de actuele en potentiële verdamping. Inundatieschade is afhankelijk van gewastype en de duur van de inundatie. Voor de schadefunctie verdrassing zijn van belang gewastype, groeistadium en de relatie tussen de actuele en potentiële verdamping. Aan de hand van gewastype, groeistadium en schadecoëfficiënten voor zout wordt de zoutschade bepaald. De schade ten gevolge van droogte, inundatie en verdrassing sluiten elkaar uit. In de bijlage B staat de grafische weergave van de bepaling van de verschillende dervingsfracties.

Deze dervingsfracties in combinatie met hydrologische gegevens over de berekening en de potentiële evapotranspiratie worden gebruikt in het volgende deelprogramma. Hiermee worden op plotniveau de potentiële en actuele gewasopbrengsten en de gewaswaarden bepaald. De potentiële fysieke gewasopbrengst varieert per jaar, afhankelijk van een verdampingsfactor. De actuele fysieke gewasopbrengst wordt per jaar bepaald door de potentiële fysieke gewasopbrengst van dat jaar te reduceren met de totale dervingsfractie. Deze gewasopbrengsten worden vervolgens vermenigvuldigd met de gewaswaarde. De gewaswaarde hangt af van de gemiddelde prijs, prijselasticiteit van de landelijke vraag en aanbod, potentiële gewasopbrengst tijdens de rekenperiode en de gemiddelde potentiële gewasopbrengst. De formules voor deze berekeningen staan weergegeven in bijlage C.

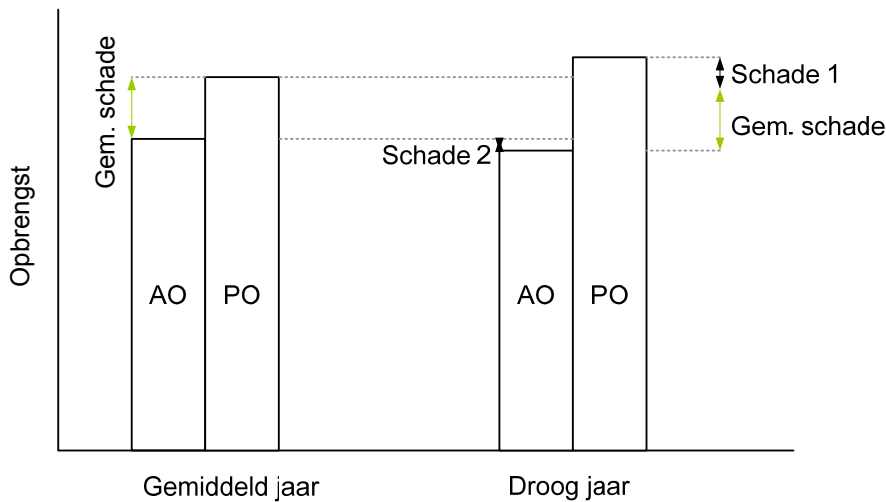
In het laatste deelprogramma worden de gegevens geaggregeerd van gridniveau naar districtniveau.

2.4.2 Schadeconcepten

Om de effecten op de landbouwsector te bepalen, moet een keuze worden gemaakt voor een schadeconcept. Een schadeconcept is een methode om de schade in de landbouwsector te bepalen. In de literatuur worden drie mogelijkheden gegeven om de landbouwschade te bepalen.

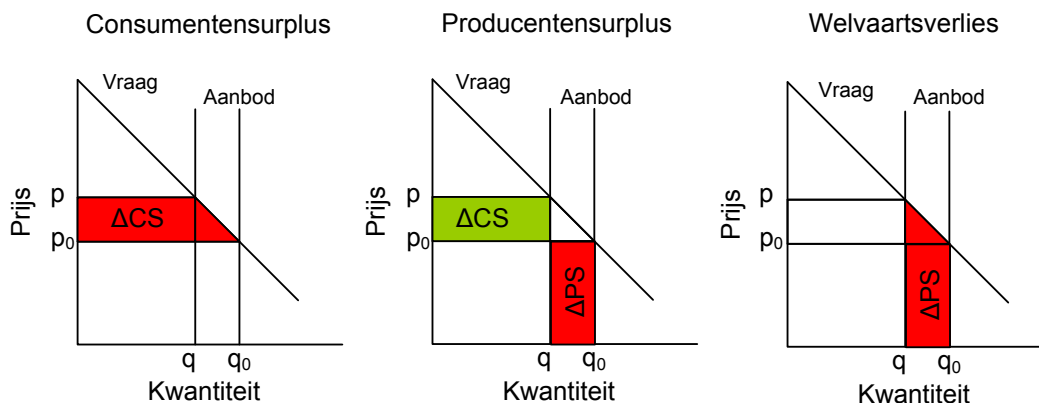
Twee mogelijkheden voor schadeconcepten worden gepresenteerd in de Droogtestudie Nederland (RIZA et al., 2005). De eerste mogelijkheid heeft het uitgangspunt om de aandacht te vestigen op de opbrengst die gemist wordt in het droge jaar. Hierbij is de schade het verschil tussen de gemiddelde derving en de derving in het betreffende droogtejaar. De bovengemiddelde derving wordt gelijk gesteld aan schade. Het uitgangspunt bij het tweede schadeconcept is de opbrengst die juist wel wordt verkregen in het droge jaar. Hierbij is de schade het verschil tussen de gemiddelde actuele opbrengst en de actuele opbrengst in

het betreffende droogtejaar. De ondergemiddelde opbrengst wordt gelijk gesteld aan de schade. In figuur 2.2 zijn de twee schadedefinities zichtbaar gemaakt.



Figuur 2.2: Maatlatten voor schade in de landbouw als gevolg van watertekort (bron: RIZA (2005)). Met AO = actuele opbrengst en PO = potentiële opbrengst.

Het derde schadeconcept is op basis van de welvaartsverandering. Dit concept is ook opgenomen in het Beoordelingskader Klimaatbestendigheid Zoetwatervoorziening voor Nederland (Kind en Van Duinen, 2009). De schade is gelijk aan de verandering van welvaart, waarbij de verandering van welvaart gedefinieerd is als de som van de verandering in het consumenten- en producentensurplus. In figuur 2.3 wordt de verandering in welvaart, consumenten- en producentensurplus gevisualiseerd.



Figuur 2.3: Verandering van het consumenten- en producentensurplus en welvaartsverlies als gevolg van een verandering van het aanbod (bron: Kind en Van Duinen (2009)). Met ΔCS = consumentensurplus en ΔPS = producentensurplus.

In dit onderzoek zal gewerkt worden met schadeconcept één. De aandacht ligt hierbij op de opbrengst die gemist wordt in het droge jaar. Er zal niet gewerkt worden met schadeconcept twee, want uit RIZA et al. (2005) blijkt dat de statistiek van droogteschade in de landbouw volgens de tweede definitie niet goed aansluit bij de statistiek van de meteorologie van droge jaren. Bij de berekening met het tweede schadeconcept hebben zowel de watertekorten als groeiomstandigheden een grote invloed en deze twee factoren kunnen tegenstrijdig werken. Zo staat het jaar 1959 te boek als een droog jaar, maar met de tweede methode wordt een beperkte schade voor dit jaar berekend. Dit wordt veroorzaakt door de verhoging van de potentiële opbrengst vanwege veel zonneschijn, maar door watertekorten kan de hoge

potentiële opbrengst niet gerealiseerd worden. De gevolgen van de watertekorten worden deels gecompenseerd door goede groeiomstandigheden, waardoor de actuele opbrengst relatief hoog is. Per saldo ontstaat er een beperkte schade volgens de tweede definitie. Terwijl met de eerste methode een relatief grote schade wordt berekend. Daarnaast concludeert de eerdergenoemde bron dat de hoogte van de opbrengst in een droog jaar voor een belangrijk deel wordt verklaard door de potentiële opbrengst. Kortom, de bepalende factor is de potentiële opbrengst en daarom zal de focus hierop liggen. Het derde schadeconcept gerelateerd aan welvaartsverandering is gezien de schaal van het studiegebied te globaal. Daarnaast zijn welvaartsveranderingen afhankelijk van meerdere processen, zoals ontwikkelingen op de internationale markt.

3 Systeembeschrijving

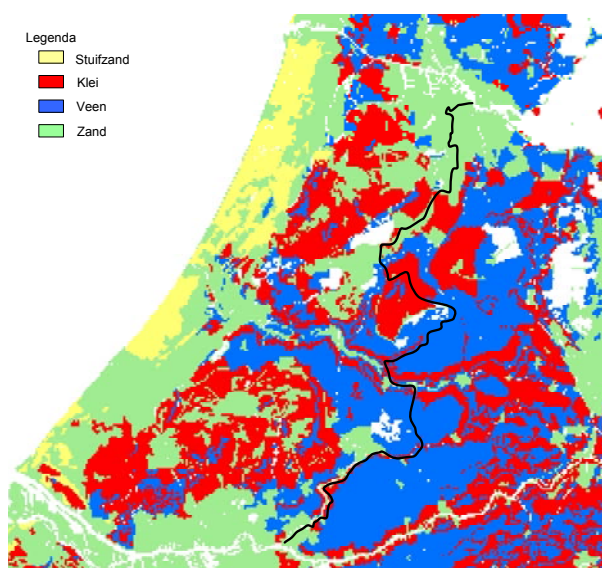
Het is van belang om inzicht te krijgen in de kenmerken van en processen in het studiegebied, zodat verbanden kunnen worden gelegd tussen problemen, resultaten en de kenmerken van het studiegebied. Het studiegebied is geanalyseerd aan de hand van het natuurlijk, socio-economisch en institutioneel systeem. Deze onderverdeling is afgeleid uit Loucks en Van Beek (2005). Alleen de relevante zaken voor deze studie zullen per systeem worden behandeld. Voor de kenmerken die terug komen in het NHI wordt de schematisering in dit model ook besproken. Hierdoor wordt meer inzicht in het model en de berekeningen gekregen.

3.1 Natuurlijk systeem

Het natuurlijk systeem wordt begrensd door het klimaat, de fysieke condities en ander natuurlijke eigenschappen. De volgende zaken uit het natuurlijk systeem zijn van belang voor dit onderzoek en zullen worden behandeld: bodemeigenschappen en watersysteem.

3.1.1 Bodemeigenschappen

De fysische eigenschappen van de bodem zijn van belang voor de dynamiek van het grondwatersysteem. Het zal voor een groot deel de bergingscoëfficiënt en capillaire opstijging bepalen. In figuur 3.1 zijn de bodemfysische kenmerken in het studiegebied zichtbaar. De figuur is gebaseerd op Wösten et al. (1988), alleen zijn de oorspronkelijke 21 klassen geclusterd tot 4 klassen.



Figuur 3.1: Bodemfysische eigenschappen van het studiegebied (bron: Wösten et al. (1988)).

Globaal kan worden gesteld dat in het studiegebied vier grondsoort voorkomen. De gronden langs de kust kenmerken zich voornamelijk als stuifzand. Deze liggen ook hoger in het landschap. Achter deze kuststrook met veel duinen bevinden zich de kleigronden. Daarna kenmerken de gronden zich als veen. Deze veengebieden zijn gevoelig voor bodemdaling. Tussen deze stukken bevinden veel zandgronden. De veen- en kleigronden hebben sterk capillaire werking en kunnen goed water vast houden. Dit in tegenstelling tot zand, zand is namelijk erg onsaamenhangend en laat water goed door. Natuurlijk zijn er veel tussenvorm, zoals kleidek op veen, en is de geografische verspreiding niet zo sterk, maar dit is een globale beschrijving van de bodemfysische eenheden in het gebied.

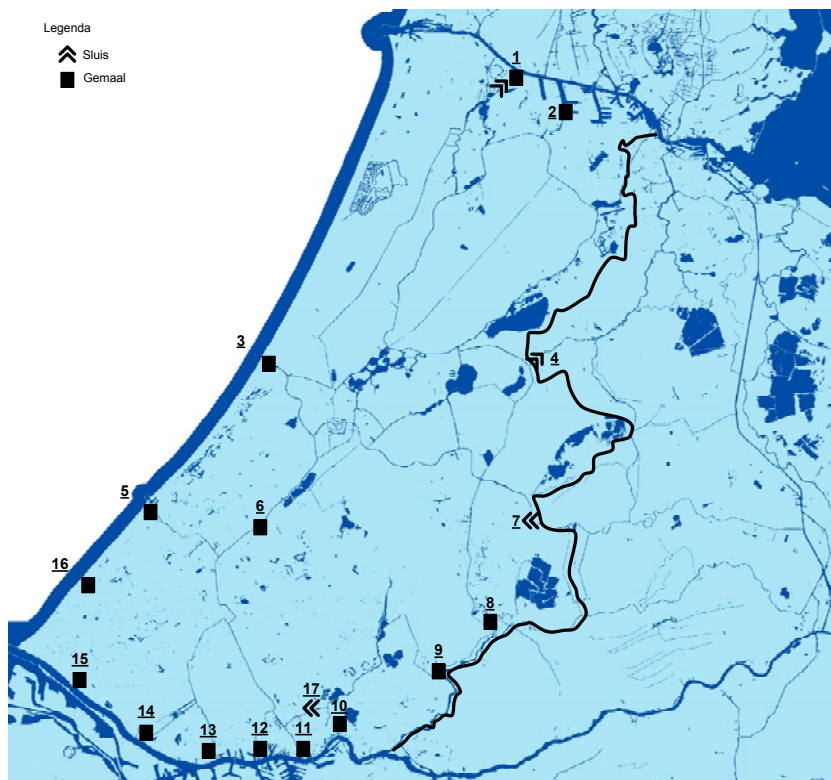
In het NHI is gebruik gemaakt voor de bodemfysische schematisatie van Wösten et al. (1988). Op basis van de Bodemkaart 1:250000 zijn 21 bodemfysische eenheden gedefinieerd en per eenheid zijn de karakteristieken, zoals doorlatendheid, beschreven.

3.1.2 Watersysteem

Het watersysteem kan worden onderverdeeld in twee systemen, namelijk het oppervlakte- en grondwatersysteem.

3.1.2.1 Oppervlaktewater

Het huidige watersysteem is voornamelijk het resultaat van menselijk handelen. Door droogleggerijen en drainagesystemen is het systeem van boezems en polders ontstaan. Een boezem voert water aan of af voor polders, afhankelijk van het wateraanbod en -vraag in de polders. Hierdoor kunnen in de polders en op boezems een bepaald streefpeil worden gehanteerd. Dit peil is afhankelijk van de gebruikersfuncties in een gebied. Figuur 3.2 geeft de oppervlaktewateren weer. Hierin zijn ook de kunstwerken (gemalen en sluizen) meegenomen. Van deze werken staat een beschrijving in de tabel eronder.



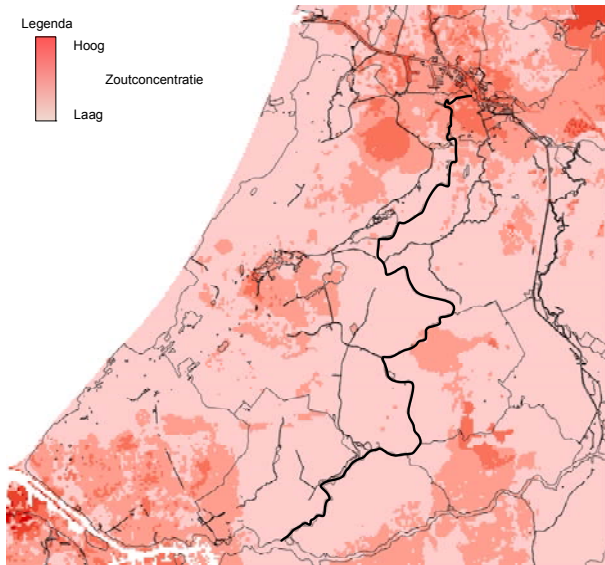
Nummer	Object	Capaciteit [m ³ /s]	
		Afvoer	Aanvoer
1	Gemaal en schutsluis Spaarndam	32.0	0.0
2	Gemaal Halfweg	33.0	0.0
3	Gemaal en spuisluis Katwijk	53.8	0.0
4	Gemaal Tolhuisluis	0.0	13.0
5	Gemaal Scheveningen	19.3	0.0
6	Gemaal Dolk	8.0	5.0
7	Schutsluis Bodegraven	0.0	25.0 (vrij verval)
8	Inlaat Gouda	34.6	33.0 (vrij verval) 25.0 (gemaal)
9	Gemaal Abraham Kroes	7.5	1.5
10	Gemaal Schilthuis	17.5	1.8
11	Gemaal Parksluizen	20.0	0.0
12	Schiegemaal	8.0	0.0
13	Gemaal Zaayer	30.0	0.0
14	Gemaal Winsema	0.0	4.0
15	Gemaal Westland	24.0	0.0
16	Gemaal Vlotwatering	8.0	0.0
17	Bergsluis	3.0	3.0

Figuur 3.2: Situering oppervlaktewater en kunstwerken in het studiegebied, inclusief tabel met een beschrijving van de kunstwerken.

In het NHI zijn gebieden met een kenmerkend streefpeil gemodelleerd als een lsw's, dit komt dus overeen met een polder. Voor elke lsw berekent MOZART elke tijdstap een waterbalans. Meerdere lsw's vormen samen een district. Met behulp van uitwisselingsrelaties worden verbanden gelegd tussen de districten in MOZART en de knopen in het netwerk van het DM. Het DM is een waterbalansmodel van de schematisering van het hoofdwatersysteem. Het hoofdwatersysteem zijn de belangrijkste rivieren en kanalen in Nederland. In bijlage D is de schematisatie van het hoofdwatersysteem voor het studiegebied zichtbaar zoals deze gebruikt wordt in het DM.

3.1.2.2 Grondwater

Het grondwatersysteem wordt uitgesplitst in stroming en samenstelling. Deze twee facetten zijn van belang voor interne verzilting. Interne verzilting duidt op het omhoogkomen van brakke watervoorraden. Extern verzilting daarentegen is de instroom van chloriderijk water vanuit de rivieren en de zee (Huitea et al., 2007). Bij grondwaterstroming wordt er onderscheid gemaakt tussen wegzijging en kwel. Langs de kustgebieden, onder de duinen, is er een zoetwaterlens gevormd, hier vindt wegzijging plaats. Op veel overige plaatsen is er voornamelijk kwel. Vooral in de diepere droogmakerijen is de kwelflux groot. Door de ligging van het studiegebied nabij de zee is het grondwater brak tot zout. Door de combinatie van kwel en de zoutconcentratie treedt er interne verzilting op. In figuur 3.3 is zichtbaar op welke plekken de chlorideconcentratie in het grondwater hoog is. Lokaal kunnen 's zomers chloridegehalten van 500-600 mg Cl/l worden aangetroffen in de polders door de kwelflux (Rijnland, 2007), terwijl 200 mg Cl/l de norm is.



Figuur 3.3: Chlorideconcentratie in de bovenste watervoerende pakket (bron: Oude Essink (2008)).

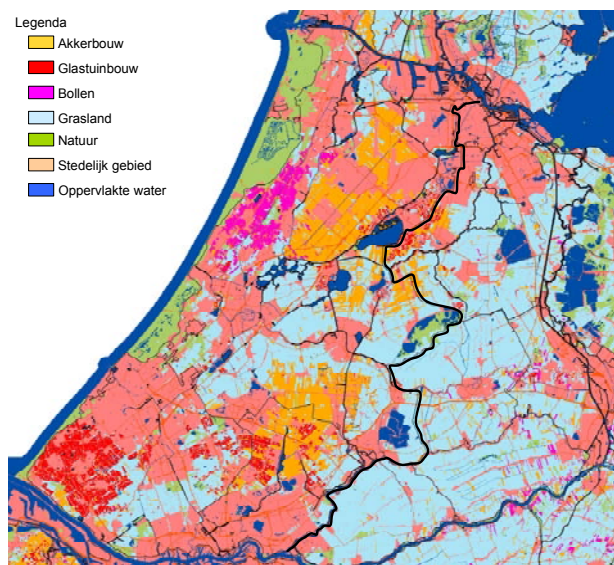
Binnen het NHI wordt de verzadigde grondwatervergelijking gemodelleerd in MODFLOW. De vergelijking wordt opgesteld voor een rekencel van 250 m bij 250 m. De ondergrond is verdeeld in zeven modellen, waarbinnen de grondwaterstroming wordt berekend. In het model is aangenomen dat de initiële 3D zoutconcentratiebeeld niet verandert door de tijd, dit houdt in dat de zoutconcentratie in de ondergrond constant wordt gesteld. Dit initiële zoutconcentratiebeeld is gebaseerd op 3D REGIS Zoet-Zout beeld van de Nederlandse ondergrond (Kloosterman, 2007).

3.2 Socio-economisch systeem

In het socio-economisch systeem worden kenmerken behandeld die te maken hebben met watergebruik en water gerelateerde activiteiten. Landgebruik en waterbeheer vallen onder dit deelsysteem.

3.2.1 Landgebruik

De ligging van verschillende landgebruikfuncties in het studiegebied wordt onder meer bepaald door factoren als bodemfysische eigenschappen, historische ontwikkelingen en watersysteem. Er is veel stedelijk gebied in de regio. Ook zijn er een aantal greenports, dit zijn landbouwgebieden die van economische waarde zijn en aangewezen zijn als groeilocaties. Hieronder vallen de glastuinbouw in het Westland, Oostland en rondom Aalsmeer en de boom- en heesterteelt in Boskoop en de Bollenstreek. Daarnaast is er veel akkerbouw in de Haarlemmermeerpolder en bij Zoetermeer. Ook zijn er nog een aantal belangrijk natuurgebieden gelegen in het studiegebied. Naast een aantal duingebieden is de Wilck in Zuid-Holland aangewezen als Natura 2000 gebied. Het overige land wordt voornamelijk gebruikt als grasland. De exacte situering van de belangrijkste landgebruiktypen staan weergegeven in figuur 3.4. De figuur is gebaseerd op de LGN5 kaart van Hazeu (2005). Deze LGN5 kaart onderscheidt 39 landgebruiktypen, in dit figuur zijn deze typen geclusterd tot 7 typen.



Figuur 3.4: Landgebruik in het studiegebied (bron: Hazeu (2005)).

De verschillende functies hebben een bepaalde watervraag. Deze vraag is onder meer het gevolg van evapotranspiratie van gewassen en natuur, beregening van gewassen en verdamping uit oppervlaktewater. De evapotranspiratie van gewassen en planten wordt in het NHI bepaald in een aantal stappen (Van Bakel et al., 2008). Allereerst wordt de verdampingsvraag van de atmosfeer bepaald door middel van de formule van Makkink voor de referentie gewasverdamping. De verdamping is afhankelijk van de temperatuur en netto straling en wordt berekend per dag. Deze referentiewaarde wordt gecorrigeerd voor de verdamping van gewassen. Per landgebruiksvorm is een gidsgewas gekozen en hiervoor zijn de verdampingskenmerken gespecificeerd. In totaal zijn er 13 gidsgewassen vastgesteld en hiervoor worden de potentiële gewas- en bodemverdamping in metaSWAP berekend. De verdamping die daadwerkelijk plaatsvindt, is de actuele verdamping. Als de gewassen volledig worden voorzien in de watervraag is de actuele verdamping gelijk aan de potentiële verdamping. Bij een watertekort is de actuele verdamping lager dan de potentiële verdamping. Door beregening kunnen de tekorten bij landbouwgewassen tegen worden gegaan. Een gedeelte van het landbouwgebied wordt beregend. Grotendeels vindt beregening in het studiegebied plaats met oppervlaktewater (Hoogeveen et al., 2003).

3.2.2 Waterbeheer

Tijdens droogtes wordt water in het studiegebied ingelaten voor twee beheerdoeleinden, namelijk doorspoelen en peilhandhaving. Deze zullen hieronder worden besproken en daarnaast ook de uitvoering van het waterbeheer.

3.2.2.1 Doorspoelen

Door interne en externe verzilting kan de waterkwaliteit beneden het gewenste niveau liggen. De gewenste waterkwaliteit hangt af van het eindgebruik. In tabel 3.1 staan de normen qua chlorideconcentratie voor de verschillende gebruikers. Als het water voldoet aan deze kwaliteitsnorm dan ondervinden de functies geen schade ten gevolge van een te hoge chlorideconcentratie.

Tabel 3.1: Gewenste waterkwaliteit voor de verschillende functies (bron: Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1998) en Rijnland (2008)) [mg Cl/l].

Functie	Norm
Boezemwater	200
Zoete natuur	100
Hoogwaardige teelten	200
Tuinbouw	300
Landbouw	600
Veeteelt	1000

In het studiegebied is een belangrijke bron van interne verzilting de diepe polders. Schutsluizen en de inlaat bij Gouda zijn voor externe verzilting belangrijke bronnen. Door de bronnen kan op sommige locaties de verzilting oplopen tot chloridewaarden van 500-600 Cl mg/l. Door water met een laag chlorideconcentratie in te laten wordt bereikt dat de zoutgehalten in het boezemsysteem in de regel onder de 200 Cl mg/l blijven (Rijnland, 2007). Dit principe van water inlaten om interne verzilting tegen te gaan, wordt doorspoelen genoemd. Zoutschade wordt daarmee onder normale omstandigheden voorkomen.

3.2.2.2 Peilhandhaving

Verschillende functies stellen andere eisen aan het waterpeil. Het waterpeil is van belang voor de sectoren landbouw, natuur, recreatie, stedelijk gebied en infrastructuur. Daarnaast hangt de mate van veenoxidatie ook af van het waterpeil en is het peil ook van belang voor de veiligheid van keringen en kunstwerken. Vanwege het voorkomen van onomkeerbare droogteschade (bodemklink), droogvallen van paalfunderingen en instabiliteit van de waterkeringen heeft peilhandhaving de hoogste prioriteit ten tijde van droogte (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005). Water voor peilhandhaving is dan meer van belang dan water voor nutsvoorzieningen, kleinschalig hoogwaardig gebruik en overige belangen. Dit zou betekenen dat in noodgevallen water wordt in gelaten van slechte kwaliteit mits er geen andere aanvoer mogelijkheden zijn om het waterpeil op het gewenste niveau te houden.

Door de verschillende belangen en wensen verschilt het waterpeil per locatie en tijdsperiode. Ook is het peil hoger in de zomer dan in de winter, omdat in de winter de boezems een waterbergend vermogen moeten hebben en in de zomer watertoevoer meer van belang is. In de loop van de maand april wordt er over gegaan op het zomerpeil en de overgang naar het winterpeil is in de loop van september (Rijnland, 2004).

Het streefpeil in de zomer voor het beheersgebied Rijnland is -0.59 m NAP (Rijnland, 2007). Het streefpeil voor het Hoogheemraadschap van Delfland is -0.42 m NAP. Voor de Rotteboezem en Ringvaartboezem in Schieland is het streefpeil respectievelijk -1.00 m NAP en -2.00 m NAP (Groot et al., 2009).

3.2.2.3 Uitvoering

De hoeveelheid ingelaten water varieert per zomerhalfjaar. Bepalende factor gedurende deze periode is het weer. Zo varieert de hoeveelheid waterinlaat voor het Hoogheemraadschap Rijnland bij een gemiddelde zomer tussen de 40 en 60 Mm³. Bij droge zomers kan de waterinlaat oplopen tot circa 100 Mm³ (Rijnland, 2008). Onder de normale omstandigheden wordt er water bij Gouda ingelaten. Maar bij droge zomers is het Kleinschalige Wateraanvoervoorzieningen Midden-Holland (KWA) van kracht. Dan is er een deel van de 100 Mm³ bestemd voor de districten Delfland en Schieland. De waterbehoefte voor Schieland is geraamd op 2.5 m³/s voor doorspoeling en peilhandhaving. Voor Rijnland is 6 m³/s ten behoeve van doorspoeling en 18 m³/s ten behoeve van peilhandhaving nodig. Delfland heeft 8 m³/s nodig voor doorspoeling en peilhandhaving (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005). Deze waardes gelden voor een droogteperiode die eens in de 35 jaar voorkomt.

De waterstanden voor het beheersgebied van Rijnland worden gehandhaafd door middel van vier boezemgemalen voor de afvoer (Katwijk, Halfweg, Spaarndam en Gouda) en één voor aanvoer (Gouda) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005). Voor peilhandhaving en doorspoeling kan water voor Delfland worden ingelaten vanuit Hoogheemraadschap van Rijnland via het gemaal Mr.Dr.Th.F.J.A. Dolk te Leidschendam of vanuit de Brielse Meer via een pijpleiding. Bij normale omstandigheden wordt water uit de Brielse Meer onttrokken, alleen bij droogte wordt het gemaal Dolk ingezet. Voor Schieland wordt onder normale omstandigheden water onttrokken uit de Hollandse IJssel en Nieuwe Maas. Bij verzilting van deze inlaatpunten wordt er water aangevoerd uit het Hoogheemraadschap van Delfland.

3.3 Institutioneel kader

Verschillende overheidsorganen spelen een rol in het studiegebied met betrekking tot het waterbeheer. Per orgaan zal uitgelegd worden wat de belangrijkste verantwoordelijkheden en taken zijn. Ook zal aangegeven worden welke besluiten of nota's vastgesteld worden door het desbetreffende orgaan gerelateerd aan de droogteproblematiek.

Het Rijk. De nationale overheid is verantwoordelijk voor strategische planvorming, deze planvorming is meestal indicatief van aard. Daarnaast houdt zij toezicht op de lagere overheden. Belangrijke ministeries die een rol spelen bij de zoetwaterproblematiek zijn het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (VWS), het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) (Van Tilburg & Brouwer, 2006). De kaderscheppende nota's en wetten zijn onder ander de Waterwet (2009), Nationaal Bestuursakkoord (2003) en 4^e Nota Waterhuishouding (1998). Daarnaast stelt de nationale overheid de Kaderrichtlijn Water vast, welke verder wordt uitgewerkt door de provincies en waterschappen. Hierin worden stroomgebiedbeheersplannen gemaakt betreffende de ecologische en chemische waterkwaliteit. Ook wijst het Rijk de Natura 2000 gebieden aan, dit zijn beschermde natuurgebieden met hoge biologische waarde.

Provincie. De provincie doet ook aan strategische planvorming maar op een gedetailleerder niveau dan het Rijk. Daarnaast heeft ze de mogelijkheid rijkssubsidies en -bijdragen te herverdelen en eigen middelen in te zetten. De provincie houdt ook toezicht op zowel gemeenten als waterschappen (Van Tilburg & Brouwer, 2006). De provincie is verantwoordelijk voor het waterhuishoudingsplan, grondwaterbeheersplan en streekplan.

Waterschap. Een waterschap doet vooral aan operationele planning. De activiteiten van een waterschap hebben raakvlakken met ruimtelijke ordening, natuur- en milieubeheer en recreatie. De verantwoordelijkheid voor het doorspoelen en peilhandhaving ligt bij de waterschappen. De focus richt zich zowel op waterkwaliteit als kwantiteit. Een waterschap is de enige overheidspartij die zich richt op het buitengebied. De daadwerkelijke ruimte voor planvorming is sterk gebonden aan opvatting van de provincie (Van Tilburg & Brouwer, 2006). De waterschappen zijn verantwoordelijk voor peilbesluiten, waterakkoorden, Gewenste Grond- en Oppervlaktewater Regime en het opstellen van de regionale verdringingsreeks. Een voorbeeld van een waterakkoord tussen verschillende waterschappen is de KWA.

Gemeente. De gemeente doet aan zowel strategische als operationele planvorming. Vooral dat laatste eist meer aandacht. Daarnaast zijn ze ook verantwoordelijk voor lokale infrastructuur, waaronder vaarwegen en riolering (Van Tilburg & Brouwer, 2006). Bestemmingsplannen worden ook door de gemeente vastgesteld.

4 Scenario's

Om met de onzekerheid van de toekomst om te gaan wordt gewerkt met scenario's. Een scenario beschrijft mogelijke, toekomstige, externe ontwikkelingen. Door te werken met verschillende scenario's wordt inzicht verkregen in de bandbreedte van de mogelijke ontwikkelingen in de toekomst, de effecten van de ontwikkelingen op het gebied en de dimensies van de oplossingen. In dit onderzoek wordt gewerkt met scenario's op het gebied van klimaat en beregening. Voor het jaar 2050 wordt een scenario ontwikkeld evenals voor het jaar 2100. Een dergelijk scenario bevat dan een verandering in het klimaat en beregeningsareaal. De verschillende veranderingen worden hieronder toegelicht aan de hand van de achterliggende factoren en gevolgen voor het studiegebied.

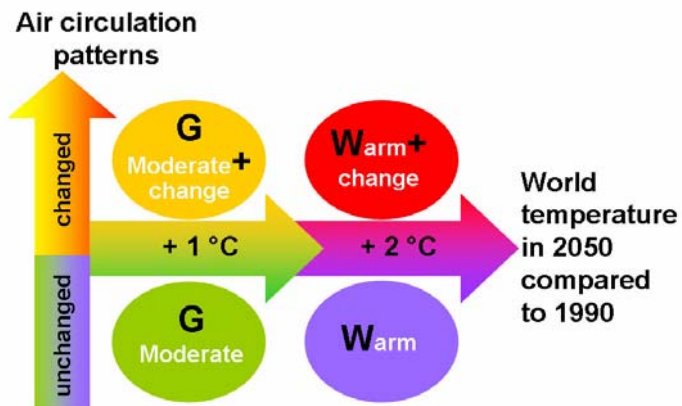
4.1 Klimaatscenario's

Het huidige klimaat verandert als gevolg van menselijk handelen. Maar de onzekerheid in berekeningen van de toekomstige klimaatveranderingen is erg groot. Oorzaken van deze onzekerheid zijn:

- Onbekende ontwikkelingen van menselijke activiteiten, natuurlijke krachten en de mate van invloed op de broeikasgassen in de atmosfeer,
- Beperkingen in de huidige klimaatmodellen,
- Gebrek aan kennis over de reactie van het klimaat op veranderingen in de atmosferische samenstelling,
- Natuurlijke variabiliteit in het klimaat (Van den Hurk et al., 2006).

Om met deze onzekerheden om te gaan, zijn er voor Nederland klimaatscenario's opgesteld door het KNMI (Van den Hurk et al., 2006). De scenario's zijn tot stand gekomen door middel van enkele stappen. Ten eerste, worden simulaties uitgevoerd met Global Circulation Models (GCM). De uitkomsten hiervan worden gebruikt als randvoorwaarden voor de Regional Climate Models (RCM), welke informatie geven over meso-schaal effecten en kleinschalige temporele en ruimtelijke variabiliteit. Vervolgens worden de uitkomsten van de RCM empirisch en statistisch geïnterpoleerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van lokale observaties in Nederland.

Op basis van deze uitkomsten en de belangrijkste indicatoren voor de samenleving zijn er vier klimaatscenario's opgesteld. Onderscheid tussen de scenario's kan worden gemaakt door circulatie regime en temperatuur stijging. Het circulatie regime in de scenario's kan variëren tussen een sterke (+) en een zwakke wijziging. Deze wijziging heeft te maken met de warmere en nattere winters en de grotere kans op drogere en warmere zomers. Daarnaast is er een onderscheid gemaakt in temperatuurstijging van 1°C of 2°C (Van den Hurk et al., 2006). Deze onzekerheden leiden in totaal tot vier scenario's, welke weergegeven zijn in figuur 4.1.



Figuur 4.1: Schematisering van de vier verschillende klimaatscenario's (bron: Van den Hurk et al. (2006)).

Voor de berekening van de zeespiegelstijging is een andere methode gebruikt, omdat er geen duidelijk verband is tussen zeespiegelstijging in de Noordzee en regionale patronen in atmosferische circulatie. Voor de scenario's van zeespiegelstijging is direct gebruik gemaakt van GCM simulaties met recentelijk gepubliceerde resultaten. Hieruit zijn twee scenario's naar voren gekomen gebaseerd op globale temperatuur stijging en geldend voor 2050 en 2100. Echter, is de onzekerheid in zeespiegelstijging in relatie met globale gemiddelde temperatuursverandering aanzienlijk. Doordat zeespiegelstijging veel later reageert op de broeikasemissie scenario's, worden verschillen tussen de zeespiegelscenario's pas na 2050 waarneembaar. Daarom ligt de focus op 2100 met een doorkijk naar de 22^e eeuw. Volgens veel simulatiemodellen is de zeespiegelstijging in de Noordzee hoger dan de gemiddelde zeespiegelstijging. Dit wordt veroorzaakt door variatie in opname van hitte door een oceaan, verversing en circulatie (Van den Hurk et al., 2006).

In tabel 4.1 staan de klimaatscenario's voor Nederland met bijbehorende waarden voor het zomerhalfjaar. Deze scenario's presenteren een mogelijke klimaatverandering voor Nederland als geheel. Er is geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende regio's, omdat Nederland een relatief klein gebied is. Daardoor is het op basis van de modeluitkomsten niet mogelijk om Nederland verder onder te verdelen (Van den Hurk et al., 2006). De waarden voor het jaar 2100 zijn een verdubbeling van de waarden in tabel 4.1.

Tabel 4.1: Klimaatveranderingscenario's voor 2050 ten opzichte van 1990 (bron: Van den Hurk et al. (2006)).

Variabele	G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging	+1 °C	+1 °C	+2 °C	+2 °C
Verandering luchtstromingspatroon in West Europa	nee	ja	nee	ja
<i>Zomer</i>				
Gemiddelde temperatuur	+0.9 °C	+1.4 °C	+1.7 °C	+2.8 °C
Warmste zomerdag per jaar	+1.0 °C	+1.9 °C	+2.1 °C	+3.8 °C
Gemiddelde neerslaghoeveelheid	+2.8%	-9.5%	+5.5%	-19.0%
Potentiële verdamping	+3.4%	+7.6%	+6.8%	+15.2%

Zeespiegel gevoeligheid	G scenario's		W scenario's	
	2050 (+1 °C)	2100 (+2 °C)	2050 (+2 °C)	2100 (+4 °C)
Laag	15 cm	35 cm	20 cm	40 cm
Hoog	25 cm	60 cm	35 cm	85 cm

In het Nationaal Bestuursakkoord Water actueel (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008) is besloten om voor watertekorten op lange termijn uit te gaan van een bandbreedte G en G+. In deze studie zal gewerkt worden met klimaatscenario G+, zodat de oplossingen gemodelleerd worden op de bovengrens van de bandbreedte. Hierdoor zijn de maximale effecten en de capaciteit van de oplossingen zichtbaar bij simulaties. De data over klimaat, ten aanzien van neerslag en evaporatie, komen van het KNMI. De data bevatten reeksen voor de huidige als toekomstige situaties onder klimaatscenario G+. Gegevens over de zoutwaarde op de rivieren zijn berekend aan de hand van zeespiegelstijging conform de KNMI scenario's en de verandering van afvoeren in de Rijn en Maas berekend door Van Deursen (2006 en 2007).

4.2 Analyse gevolgen van klimaatscenario's

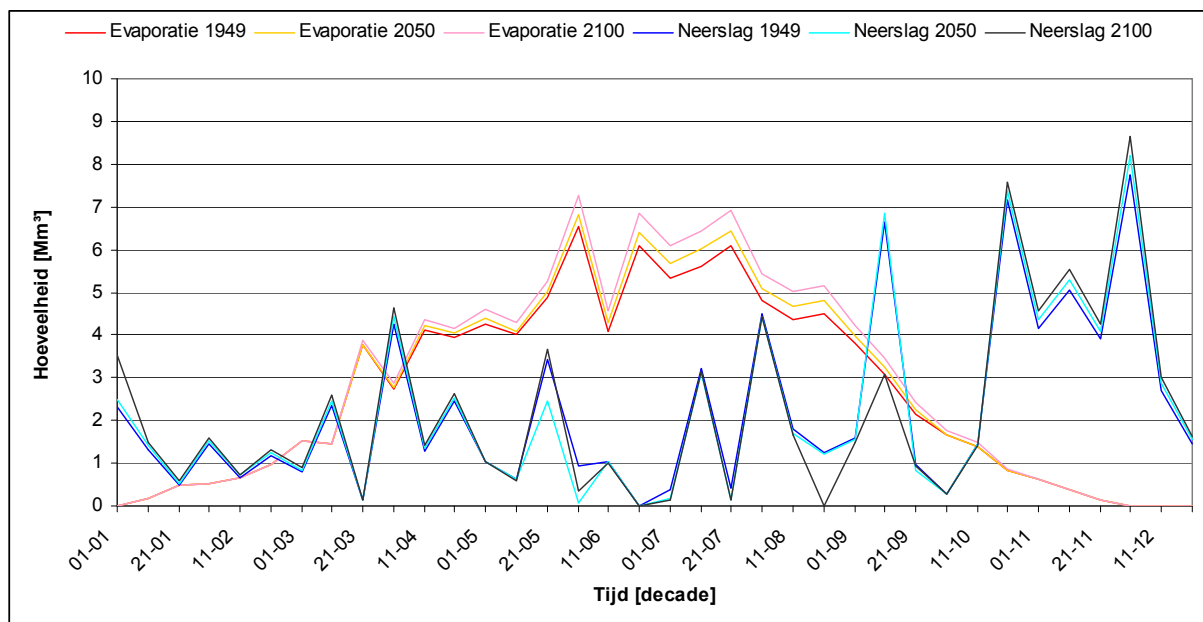
Klimaatverandering zal invloed hebben op het wateraanbod in Nederland. De verandering van het wateraanbod zal worden toegelicht met de twee factoren die droogte in Nederland karakteriseren, namelijk het neerslagtekort en het afvoerdeficit van de Rijn.

Om de verandering van de afvoeren in de Rijn en de Maas te bepalen, moeten de veranderingen in het gehele stroomgebied worden gemodelleerd. Informatie over verandering in temperatuur, verdamping en neerslag worden toegepast op het stroomgebied van de Rijn en Maas. Dit is gebruikt als invoer voor de simulaties met Rhineflow en Meuseflow om de toekomstige afvoeren te bepalen. In tabel 4.2 staat de gemiddelde, procentuele verandering van de Rijn bij Lobith en de Maas bij Borgharen. Om de afvoeren voor 2050 en 2100 te bepalen worden de huidige afvoeren gecorrigeerd met deze waarden. In de zomerperiode zullen de rivierafvoeren van de Rijn en Maas onder het klimaatscenario G+ afnemen in vergelijking met de huidige situatie.

Tabel 4.2: Gemiddelde verandering van de maandafvoer bij Lobith en Borgharen bij G+ scenario voor 2050 en 2100 (bron: Van Deursen (2006; 2007)) [%].

Maand	Rijn (Lobith)		Maas (Borgharen)	
	G+; 2050	G+; 2100	G+; 2050	G+; 2100
jan	7.5	14.2	4.2	8.6
feb	9.4	18.2	4.7	9.5
mrt	7.9	16.2	4.8	10.3
apr	5.6	11.9	2.6	6.2
mei	0.5	1.7	-2.3	-2.9
jun	-6.5	-11.9	-8.5	-13.5
jul	-12.9	-24.5	-13.7	-22.4
aug	-18.5	-34.3	-16.1	-24.8
sep	-20.3	-37.3	-16.9	-25.5
okt	-17.7	-32.9	-20.8	-35.7
nov	-9.6	-18.6	-13.4	-25.9
dec	1.1	2.1	-0.4	-2.2

Daarnaast zal in de zomerperiode door klimaatverandering de verdamping toenemen en de neerslag afnemen, wat resulteert in een groter neerslagtekort in het zomerhalfjaar. In figuur 4.2 staat de ontwikkeling van de neerslag en evaporatie gedurende het jaar 1949 voor het huidige klimaat en onder klimaatverandering in 2050 en 2100. In de huidige situatie is het neerslagtekort in totaal 55 Mm³ over een jaar voor het studiegebied. Dit neemt onder klimaatscenario G+ in 2050 toe naar 62 Mm³ en in 2100 naar 67 Mm³. Opvallend is dat de toename na 2050 minder extreem is vergeleken met de toename tussen de huidige situatie en de situatie in 2050. Uit de figuur blijkt dat de toename van de evaporatie door de tijd veel gelijkmatiger verloopt vergeleken met de verandering van neerslag in de verschillende tijdsperiode. In de neerslag verandering is geen duidelijke trend zichtbaar.



Figuur 4.2: Evaporatie en neerslaghoeveelheid in het studiegebied voor het jaar 1949 onder de huidige omstandigheden en onder klimaatscenario G+ in 2050.

4.3 Beregening

Beregening wordt ingezet voor verschillende redenen. De belangrijkste reden is het voorkomen van droogteschade. Daarnaast wordt er beregend om plantmateriaal aan te laten slaan of het voorkomen van schade als gevolg van nachtvorst (Meeusen et al., 2000). Het voorkomen van droogteschade leidt tot het veiligstellen van de opbrengsten, zowel ter beperking van bedrijfsrisico's voor ondernemers als voor een evenwichtige prijsontwikkeling voor de consument (RIZA et al., 2005). Het gevolg van de beregening is een extra watervraag vanuit de landbouwsector tijdens droge periodes. De toekomstige ontwikkelingen op dit gebied zullen invloed hebben op de watervraag vanuit de landbouwsector en de schade in deze sector. Het is dus van belang voor dit onderzoek om de toekomstige veranderingen in beregening te onderzoeken en mee te nemen. Een verandering in het beregeningsareaal kan gezien worden als een autonome ontwikkeling of als oplossing. In dit onderzoek ligt de focus op de waterbeheerders en niet de watergebruikers, vandaar dat beregening en de ontwikkeling hierin wordt gezien als een scenario. Eerst zullen de ontwikkelingen worden toegelicht. Vervolgens wordt de invulling van beregening in het onderzoek verduidelijkt.

4.3.1 Ontwikkelingen

De herkomst van het beregeningswater in het studiegebied is hoofdzakelijk oppervlaktewater. Van belang voor het beregenen van een areaal zijn de factoren grondsoort en gewassen (Hoogeveen et al., 2003). Bij zandgronden is beregenen sneller nodig dan op andere grondtypen. Voor gewassen speelt de droogtegevoeligheid een rol. Zo zijn aardappelen droogtegevoelig, deze worden dan ook eerder en vaker beregend vergeleken met ander gewassen. Daarnaast geven Van Beek et al. (2008) aan dat vooral waardevolle gewassen beregend worden, omdat deze gewassen relatief de hoogste baten hebben.

Het waterverbruik voor beregening hangt sterk af van de droogte tijdens het groeiseizoen. Het extra waterverbruik in een droog jaar vergeleken met een nat jaar wordt veroorzaakt doordat zowel een groter areaal wordt bergend als door een grotere beregende hoeveelheid per hectare (Hoogeveen et al., 2003). Daarnaast blijkt uit het onderzoek van Hoogeveen et al. (2003) dat de verdeling van beregening over de gewassen grotendeels gelijk blijft tussen een droog en nat jaar.

De toekomstige ontwikkelingen op het gebied van het beregende areaal en gift hangt af van een aantal factoren. Onderzoek van Hoogeveen et al. (2003) geeft aan dat over het algemeen de beregening in omvang niet veel verandert in de toekomst, afgezien van de invloed van weerseffecten. Een belangrijke oorzaak voor een toename in beregening zou kunnen ontstaan door de verwachte klimaatverandering. Omdat de belangrijkste reden voor beregening het voorkomen van droogteschade is en door klimaatverandering drogere zomers zullen voorkomen in Nederland, kan dit leiden tot een toename van het beregende areaal en gift. Daarnaast neemt het aantal bedrijven in de land- en tuinbouw ieder jaar af en de economische omvang per bedrijf neemt toe. In Dijk et al. (1994) is geconstateerd dat het percentage bedrijven dat beregening toepast evenredig is met de economische omvang van het bedrijf. Het gevolg van deze toename van de economische waarde per bedrijf is dat er meer beregening kan worden toegepast. Ook is een toename te verwachten vanwege een verschuiving van traditionele akkerbouwgewassen naar vollegrondsgroenten (Huinink et al., 1998). Hierdoor zal de vraag naar water voor beregening ook toenemen. Ten slotte blijkt dat ten opzichte van het totaal aantal landbouwbedrijven in Nederland het aantal bedrijven met beregeningsapparatuur minder afneemt dan bedrijven zonder beregeningsapparatuur. Een verklaring hiervoor is dat grotere bedrijven gemiddeld genomen meer economische perspectief hebben en vaker beregeningsapparatuur bezitten (Hoogeveen et al., 2003). Daarentegen zal er waarschijnlijk ook minder beregening plaatsvinden in de toekomst vanwege wet en regelgeving en door de kwaliteit van het water (Hoogeveen et al., 2003). Wet en regelgeving als EU-kaderrichtlijn water, gewenste grond- en oppervlakteregime en 4^e Nota Waterhuishouding stellen eisen aan functies en onttrekkingen. Daarnaast kan door een slechtere kwaliteit water, vanwege verzilting en ijzergehalte, het onaantrekkelijk zijn om beregening toe te passen.

4.3.2 Invulling beregening

Vanwege de bovengenoemde onzekerheden is het onduidelijk hoe het beregende areaal en gift zich gaat ontwikkelen. Van bepalende invloed is wel de ontwikkeling op het gebied van het klimaat. In dit onderzoek wordt er alleen gewerkt met klimaatscenario's en niet met socio-economische scenario's. Vanwege het feit dat de zomers droger worden en de landbouwsector de opbrengsten veilig wil stellen, wordt aangenomen dat het beregende areaal en gift zullen toenemen in de toekomst. Het is een adaptatie van de landbouwsector aan klimaatverandering. Dus is dit ook een scenario voor de waterbeheerders van het studiegebied.

Voor verandering van de beregening in de landbouwsector zijn twee zaken van belang, namelijk de beregeningsvraag en het beregeningsareaal. Het NHI reguleert de beregeningsvraag en gift. De criteria voor beregening zijn de gewasverdamping en kritieke drukhoogtes. Klimaatverandering zal invloed hebben op de gewasverdamping, welke groter zal worden door hogere temperaturen. Met als gevolg dat de beregeningsvraag zal toenemen door klimaatverandering. De toename in het beregende areaal is handmatig aangepast. Omdat in de literatuur niet bekend is hoeveel dit areaal gaat veranderen, zijn er enkele aannames gedaan. In RIZA (2005) wordt een toename van de beregeningscapaciteit als maatregel doorgevoerd. Hierbij is er gekozen voor een verdubbeling van het beregeningsareaal. In het onderzoek is rekening gehouden met klimaatscenario W+ in 2050. De maatregel is in combinatie met andere maatregelen doorgerekend en blijkt effectief te zijn. Een dergelijke verdubbeling zou de droogteschade minimaliseren, mits in de beregeningsvraag wordt voorzien. Aangezien in dit onderzoek uitgegaan wordt van klimaatscenario G+, kan gesteld worden dat een verdubbeling van het areaal pas in 2100 aan de orde is. Daarom is aangenomen dat in 2050 het beregeningsareaal is toegenomen met 50% en in 2100 met 100%. Deze toename wordt constant verondersteld over de gewassen, omdat het beregende oppervlak over de verschillende gewassen tussen een droog en nat jaar grotendeels constant is in de huidige situatie. In tabel 4.3 zijn per gewas de huidige en toekomstige percentages beregeningsareaal ten opzichte van het totale areaal per gewas zichtbaar. De nieuwe beregeningsarealen zijn ter hoogte van bestaande beregende arealen gealloceerd. Bij deze bestaande arealen is het effectief om te beregenen en een uitbreiding hierop wordt ook aangenomen als effectief.

Tabel 4.3: Percentage van het areaal dat beschikt over beregeningsmogelijkheden ten opzichte van het totaal voor de huidige situatie, 2050 en 2100 [%].

	Huidig	2050	2100
Gras	18	27	36
Aardappelen	3	5	6
Overige Landbouwgewassen	6	10	13
Boomteelt	100	100	100
Glastuinbouw	100	100	100
Boomgaard	100	100	100
Bollen	77	100	100

5 Beoordelingskader

Om de kenmerken en effecten van de verschillende oplossingen inzichtelijk te maken en te beoordelen, is een beoordelingskader nodig. Een beoordelingskader bestaat uit een lijst van criteria die voor de besluitvorming relevant zijn (Rijkswaterstaat en Deltares, 2008a). In dit onderzoek moet het beoordelingskader inzicht geven in de haalbaarheid van oplossingen om de zoetwatervoorziening in Midden-West Nederland te garanderen. De gehanteerde criteria vloeien voort uit de doelstelling, wat in dit geval is de haalbaarheid van verschillende oplossingen. Aangezien de haalbaarheid van een oplossing meerdere eigenschappen omvat, zullen de criteria ook divers zijn. Zodoende wordt bij toetsing van een oplossing aan de criteria een beeld verkregen van de belangrijkste effecten voor het studiegebied.

Er zijn verschillende manieren en theorieën om een beoordelingskader op te stellen. De verschillende manieren zullen eerst worden gepresenteerd en vervolgens wordt hieruit een keuze gemaakt voor de invulling van het kader welke wordt toegepast in dit onderzoek. Na het opstellen van het beoordelingskader moeten de oplossingen worden getoetst aan de criteria. De toetsing kan ook op verschillende manieren worden gedaan. Enkele manieren zullen worden genoemd en ook hier zal een keuze worden gemaakt voor een toetsingsmethode. Vervolgens wordt het gehanteerde beoordelingskader in dit onderzoek gegeven en toegelicht.

5.1 Opzet beoordelingskader

Beoordelingskaders zijn alom vertegenwoordigd in onderzoeken. Over het algemeen wordt een beoordelingskader ingedeeld in thema's en subthema's. Deze thema's en subthema's representeren criteria, welke verwijzen naar het onderwerp van beoordeling op een abstract niveau. Voor elke criterium is in ieder geval één indicator opgesteld, welke aangeeft in welke mate een criterium bereikt is op een kwantitatieve of kwalitatieve manier. Een set van criteria moet veelomvattend en relevant zijn, waar een indicator representatief is en de prestatie gerelateerd aan een criterium kan beoordelen (De Bruijn et al., 2008). De indeling van thema's kan op verschillende manieren worden gedaan. Zo wordt in het onderzoek van Rijkswaterstaat en Deltares (2008b) de thema's kosteneffectiviteit, koppelkansen, flexibiliteit/aanpasbaarheid en bestuurlijk en maatschappelijke acceptatie onderscheiden in het beoordelingskader.

Een belangrijk aspect in de beoordeling waar naar gekeken zal worden is duurzaamheid. Duurzaamheid kreeg grote aandacht na de publicatie van *Our Common Future* door de Brundtland commissie (1987). Hierin wordt duurzaamheid verwoord als ontwikkeling die voldoet aan de huidige vraag zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen vraag te voorzien in gevaar te brengen. Regelmatig toegepaste termen bij duurzaamheid zijn de 3 P's: planet, people en profit. Deze termen zijn afgeleid van de drie domeinen (sociaal gelijkheid, ecologische integriteit en economische efficiëntie) voor duurzame ontwikkeling geïntroduceerd door Young (1992). Planet refereert naar criteria op het gebied van ecologie en milieu, people verwijst naar sociale criteria en profit heeft met economische criteria te maken. Er zijn meerdere methoden mogelijk om te toetsen op duurzaamheid dan de 3 P's. Vaak worden er andere termen gebruikt of er vinden kleine aanpassingen plaats. Zo onderscheiden Loucks en Van Beek (2005) vier soorten hoofdgroepen, namelijk economie, milieu, ecologie en sociaal. Het beoordelingskader ontwikkeld door de Verenigde Naties (1995) voor duurzame ontwikkeling omvat de thema's economie, ecologisch, sociaal en institutioneel. Hierin zijn duidelijk de duurzaamheidstermen planet, people en profit terug te herkennen, maar met een aanvulling op institutioneel gebied.

Niet alle zaken worden ondervangen door de 3 P's, zo wordt er onder meer geen rekening gehouden met robuustheid en flexibiliteit. Robuustheid is het vermogen van het systeem om met natuurlijke variabiliteit en onverwachte gebeurtenissen om te gaan. Flexibiliteit is wanneer een alternatief gemakkelijk aan te passen is aan een veranderende omstandigheid en wanneer toekomstige spijt over besluiten en geïmplementeerde maatregelen klein is (Vis et al., 2001). Robuustheid en flexibiliteit geven aan hoe een

systeem kan omgaan met onzekerheden. De termen zijn van belang voor de analyse van oplossingen en zouden dus ook mee moeten worden genomen in het beoordelingskader. In vergelijking met de 3 P's hebben de termen een hoger abstractieniveau. Bovendien zijn ze gerelateerd aan het hele systeem en niet zo zeer aan de effecten op het systeem. Echter, deze twee termen geven wel het vermogen aan van alternatieven om met de onzekere toekomst om te gaan. Daarom adviseert De Bruijn et al. (2008) om robuustheid en flexibiliteit mee te nemen in een nieuwe groep naast de 3 P's.

Gezien het feit dat duurzaamheid een belangrijk aspect is in het Deltaprogramma, zullen de groepen *planet*, *people* en *profit* terug komen in het beoordelingskader. Dit zal aangevuld worden met de hoofdgroepen institutioneel kader en omgang met onzekerheden, waaronder flexibiliteit valt. De oplossingen moeten niet conflicteren met de zoetwatervoorziening van overige delen in Nederland. Aanvullend hierop zullen de richtingen worden getoetst aan het huidige beleid. Daarom is er voor gekozen om institutioneel kader als hoofdgroep toe te voegen. Daarnaast moeten de oplossingen om kunnen gaan met onzekerheden van de toekomst, vandaar dat flexibiliteit ook meegenomen wordt in de beoordeling. Op robuustheid zullen de oplossingen niet getoetst worden, omdat de oplossingen al getoetst worden op twee tijdsperiodes, namelijk 2050 en 2100. Daarom zal een extra toetsing van het systeem aan natuurlijke variabiliteit geen extra informatie opleveren.

5.2 Evaluatiemethode

De oplossingen worden getoetst aan de criteria met een evaluatiemethode. Er bestaan verschillende evaluatiemethoden, maar veel voorkomende methoden zijn de Multi-Criteria Analyse (MCA), Kosten Baten Analyse (KBA) en de scorekaart. Deze methoden zullen kort worden toegelicht. Vervolgens zal een keuze voor een evaluatiemethode worden gemaakt.

MCA

Kenmerkend voor de MCA is dat er wordt uitgegaan van verschillende, expliciete beoordelingscriteria. Deze criteria kunnen onderling sterk uiteenlopen en uitgedrukt worden in zowel kwantitatieve als kwalitatieve zin. Een MCA houdt rekening met het feit dat een bepaald criterium in de beoordeling zwaarder mee kan tellen dan een ander criterium (Ministerie van Financiën, 1992). Vaak wordt door middel van een participatief proces invulling gegeven aan deze methode. Een nadeel van de MCA is dat het belangrijke informatie over gewichten en afwegingen neigt achter te houden. Transparantie en objectiviteit zijn daarom lastig te waarborgen bij deze methode. Daarnaast is er een kans op compensatie van effecten. Hiermee wordt bedoeld dat positieve effecten negatieve effecten compenseren en hierdoor kan een oplossing gunstiger uit een MCA komen dan oplossingen die minder extreem scoren.

KBA

Bij een KBA wordt gestreefd naar een systematische weergave van in financiële termen uitgedrukt effecten (kosten en baten) van alternatieven. Om de kosten en baten vast te stellen, wordt als regel een referentiesituatie in beschouwing genomen. Vaak is dit de situatie die ontstaat als het project niet wordt uitgevoerd (Ministerie van Financiën, 1992). Over het algemeen wordt een KB uitgevoerd door specialisten. Het grote nadeel van de KBA is dat alle termen uitgedrukt moeten worden in monetaire eenheden, wat leidt tot een te grote nadruk op economische effecten in vergelijking met de overige effecten en resulteert in een niet gelijke balans tussen de thema's (De Bruijn et al., 2008). Ook bij een KBA bestaat, net als bij een MCA, de kans op compensatie van effecten.

Scorekaart

De scorekaart is een methode om het vergelijken van verschillende alternatieven te vergemakkelijken zonder dat een oordeel wordt geveld over de alternatieven zodanig (Ministerie van Financiën, 1992). Het is goed toe te passen bij een toetsing op sterk verschillende thema's (De Bruijn et al., 2008). De toepassing hiervan leidt niet tot een voorkeursalternatief of een uitspraak over economisch rendement, dit kan als een nadeel worden gezien bij toepassing voor besluitvorming.

In dit onderzoek wordt een verkenning uitgevoerd naar de haalbaarheid van oplossingen. Het doel is dus niet het kiezen van een voorkeursalternatief. Daarom voldoet een scorekaart voor dit onderzoek het beste als evaluatiemethode in vergelijking met de andere beoordelingsmethodes. Hierdoor hoeft er geen afweging te worden gemaakt over wegingsfactoren en keuzes om effecten te waarderen in financiële eenheden.

De scorekaart zal in dit geval zowel kwalitatieve als kwantitatieve informatie bevatten. Bij kwantitatieve indicatoren zullen de scores van oplossingen vergeleken worden een referentiewaarde. Deze referentiewaarde kan een norm zijn of een vergelijking ten opzichte van de referentiesituatie. In het geval van kwalitatieve indicatoren zal alleen een vergelijking ten opzichte van elkaar plaats vinden. De waardering van een kwalitatieve indicator zal weergegeven worden door middel van +, 0 of -. De argumentatie voor deze beslissingen zal zo inzichtelijk mogelijk worden gemaakt.

5.3 Invulling beoordelingskader

Bij het opstellen van het beoordelingskader is uitgegaan van de groepen planet, people, profit, institutioneel kader en omgang met onzekerheden. Een hoofdgroep is onderverdeeld in thema's en subthema's, welke een criterium representeren. Voor elke (sub)thema is een indicator opgesteld. Voor elke kwantitatieve indicator is een eenheid en soms een norm opgesteld. Tevens staat per indicator aangegeven met welk model worden gekwantificeerd, op welke locatie wordt gekeken en hoe de bepaling verloopt. In tabel 5.1 staat het beoordelingskader voor dit onderzoek. De verschillende criteria en indicatoren zullen verder worden toegelicht aan de hand van de hoofdgroepen. Ten slotte zal nog een conclusie worden gegeven omtrent de beoordeling van haalbaarheid en de toetsing.

Profit

Bij de hoofdgroep profit worden de economische effecten van een bepaalde oplossing beoordeeld. Belangrijk hierbij zijn de financiële gevolgen als schade en investeringen. De landbouwsector ondervindt grote schade door droogte, daarom zal alleen naar de schade in de landbouwsector worden gekeken. Door het nemen van maatregelen zal de schade veroorzaakt door droogte afnemen. De mate van afname ten opzichte van de toekomstige situatie waarbij geen maatregelen worden genomen (referentiesituatie) is van belang, want dit geeft de verbetering (schadevermindering) van een bepaalde oplossing aan. Met behulp van de effectmodule Agricom kan de schade in de landbouwsector worden bepaald. Onder profit valt ook de overheid, want de overheid zal verantwoordelijk zijn voor de investeringen, beheer en onderhoud. De kosten zijn opgesplitst in incidentele kosten (investering) en structurele (beheer en onderhoud), deze zullen aan de hand van kengetallen worden bepaald. Er zal niet gekeken worden of oplossingen rendabel zijn, omdat niet alle baten, zowel indirecte als van andere sectoren, in beeld kunnen worden gebracht. Dit vanwege het feit dat vele sectoren buiten de scope vallen en indirecte baten lastig te achterhalen zijn.

Planet

Onder planet vallen de ecologische effecten van oplossingen. Er zal onderscheid worden gemaakt tussen aquatische en terrestrische ecologie. Voor aquatische natuur is onder meer de waterkwaliteit van belang. Indicatoren hiervoor zullen zijn fractie systeemvreemd water, samenstelling gebiedsvreemd water en zoutconcentratie. Er zal gekeken worden of de zoutconcentratie beneden de norm van 200 mg Cl/l blijft in een district. In de vierde Nota Waterhuishouding (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998) is voor oppervlakte water deze norm gesteld, want blootstelling van zoutgevoelige organismen aan licht brak water kan sterfte veroorzaken (Runhaar, 2006). Het model bepaalt de gemiddelde zoutconcentratie per decade in een district en het maximum wordt als maatgevend beschouwd. Daarnaast is bij de oplossingsrichting aan wateraanvoer gerelateerd de samenstelling van het water belangrijk, want gebiedsvreemd water kan door een andere samenstelling leiden tot onwenselijke situaties als eutrofiering en verontreiniging (Higler et al., 2002). Belangrijke factoren hierbij zijn nutriënten, zuurgraad en ionensamenstelling (Rijnland, 2007). Hier zal per oplossing kwalitatief onderzoek naar gedaan worden. Ten slotte zal gekeken worden of de fractie systeemvreemd water tot het minimum beperkt blijft. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat het effect van gebiedsvreemd water verschilt van gebied tot gebied, het kan bijvoorbeeld van betere kwaliteit zijn dan gebiedseigen water. Daarom is het van belang om deze indicator in relatie te zien met de aard en samenstelling van het gebiedsvreemde water. Voor terrestrische natuur wordt gekeken naar de drie laagste grondwaterstanden (LG3). De LG3 is een indicator voor droogte stress bij planten. Het wordt berekend door gedurende een jaar de drie laagste grondwaterstanden op de 14^e en 28^e dag in een maand te middelen. De norm is dat de daling van de LG3 niet groter is dan 10 cm ten opzichte van de huidige situatie. De grondwaterstanden zullen gemeten worden in een stuk weidelandschap tussen Leiden en Zoetermeer.

People

Sociale effecten van oplossingen worden bij people beoordeeld. Hieronder valt het criterium beleving. Dat wil zeggen de beleving van de maatschappij ten aanzien van het landschap. Indicator voor beleving is de verandering van het landschap. De oplossingen kunnen ingrijpen in het landschap, dit kan positief of negatief ervaren worden afhankelijk van de soort en grote van de ingreep. Daarnaast zal ook nog naar recreatie worden gekeken. Hiervoor zal gekeken worden naar aanpassingen aan de infrastructuur en de effecten hiervan op recreatie. Ook als oplossingen worden toegepast kan dit hinder of kansen opleveren voor de recreatie. De indicatoren zijn kwalitatief van aard.

Institutioneel kader

Er zal gekeken worden of de oplossingen passen in het waterbeheer. Hierbij zal gekeken worden naar de hoofddoelen in beleid als KRW, Natura 2000 of WB21. De mogelijkheid is dat veel oplossingen niet passen binnen het beleid. De conclusie kan zijn dat de wetgeving in de toekomst zal moeten veranderen om deze oplossingen te kunnen faciliteren. Aansluiting bij het huidige beleid is immers niet noodzakelijk, want de kans bestaat dat dit beleid zal of zelfs moet wijzigen in de toekomst. Ook zal gekeken moeten worden of er geen negatieve effecten zijn voor de zoetwatervoorziening van andere delen van het land bij implementatie van een oplossing. Hiermee wordt getoetst of de oplossingen voor dit gebied passen binnen de zoetwatervoorziening en beleid hiervoor van heel Nederland. Er zal gefocust worden op de gevolgen voor beschikbaarheid van water in de overige delen van Nederland. Dit alles zal kwalitatief getoetst worden.

Omgang met onzekerheden

Onder omgang met onzekerheden valt het criterium flexibiliteit. Flexibiliteit kan opgesplitst worden in aanvoer en infrastructuur. Met aanvoer wordt de aanpassing in de tijd van 2050 naar 2100 bedoeld. Met infrastructuur wordt gekeken of de oplossing technisch en fysiek gemakkelijk is aan te passen aan nieuwe omstandigheden. Belangrijke factoren hierbij zijn gemalen, sluizen en capaciteit van kanalen.

Conclusie

De criteria vertegenwoordigen de belangrijkste facetten waarop de oplossingen effect kunnen hebben. Bovendien zijn enkele criteria opgesteld ten aanzien van het gehele systeem van oplossingen en de aansluiting bij bestaand beleid. Deze set van criteria is een goede afbeelding van de doelstelling van dit onderzoek. Een oplossing zal haalbaar zijn als het niet te negatief scoort op een hoofdgroep. Er zal beoordeeld worden of een oplossing wel tot een duurzame situatie leidt. Op basis van de verdringingsreeks van Rijkswaterstaat (2010) hebben de criteria betreffende natuur een hogere prioriteit. Er moet namelijk worden voorkomen dat er onomkeerbare schade optreedt. De overige indicatoren zijn niet hard en een negatieve score maakt een oplossing nog niet onacceptabel. Maar deze effecten worden wel meegenomen in de beoordeling van een oplossing.

Tabel 5.1: Beoordelingskader voor het toetsen van oplossingen aan de doelstelling.

Hoofdgroep	Criteria Thema	Subthema	Indicator	Norm	Eenheid	Toetsing	Locatie	Berekening
Profit	Landbouw		Vermindering van financiële schade tov referentiesituatie	Maximaal	€/jaar	Agricom	Waterschappen	Sommatie
		Overheid	Investeringskosten voor de aanleg van de maatregel	Minimaal	€	Kengetallen	Oplossingsrichting	Sommatie
			Jaarlijkse kosten voor het onderhouden en beheren van de infrastructuur	Minimaal	€/jaar	Kengetallen	Studiegebied	Sommatie
Planet	Aquatische natuur	Verziling	Zoutconcentratie in boezem	200	Cl concentratie [mg/l]	NHI	Waterschappen	Maximum
		Water aanvoer	Samenstelling gebiedsvreemd water	Minimaal	Nutriënten, zuurgraad en ionensamenstelling	Expert judgement	Herkomst	Kwalitatief
	Terrestrische natuur		Fractie gebiedsvreemd water	Minimaal	[-]	NHI	Waterschappen	Maximaal
People	Beleving		Daling LG3	10	tov huidige situatie [cm]	NHI	Tussen Leiden en Zoetermeer	Verschil
			Verandering van het landschap	Minimaal	Indicatoren	Expert judgement	Nederland	Kwalitatief
	Recreatie		Effect van aanpassingen infrastructuur	Minimaal	Aantal infrastructurele aanpassingen	Expert judgement	Nederland	Kwalitatief
Institutioneel	Inpassing in waterbeheer		Aansluiting bij ander beleid (KRW, Natura2000, WB21)	Maximaal	Kenmerken oplossingsrichting	Expert judgement	Studiegebied	Kwalitatief
			Gevolgen voor zoetwatervoorziening van overige delen in NL	Minimaal	Beschikbaarheid zoet water	Expert judgement	Nederland	Kwalitatief
Omgang met onzekerheden	Flexibiliteit	Aanvoer	Aanpassing door de tijd 2050 naar 2100	Minimaal	Toename aanvoerdebiet [Mm ³]	NHI	Oplossingsrichting	Verschil
		Infrastructuur	Aanpassing van infrastructuur en kunstwerken	Minimaal	Aantal infrastructurele aanpassingen	Expert judgement	Oplossingsrichting	Kwalitatief

6 Referentiesituatie

Om een beter beeld te krijgen van de huidige en toekomstige situatie en daarbij behorende problemen zijn referentieberekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen dienen tevens voor vergelijking met de verschillende oplossingen. In de referentiesituatie wordt uitgegaan van voortzetting van het huidige beleid. Referentieberekeningen zijn uitgevoerd met het NHI voor het jaar 1949 onder de huidige omstandigheden en onder klimaatscenario G+ en een toename van het beregeningsareaal in 2050 en 2100. De resultaten van de referentiesituatie worden gepresenteerd aan de hand van de onderwerpen waterkwantiteit, waterkwaliteit en effecten voor gebruikers. Ten slotte zal het beoordelingskader voor de referentiesituatie worden ingevuld en hieraan worden conclusies verbonden.

6.1 Waterkwantiteit

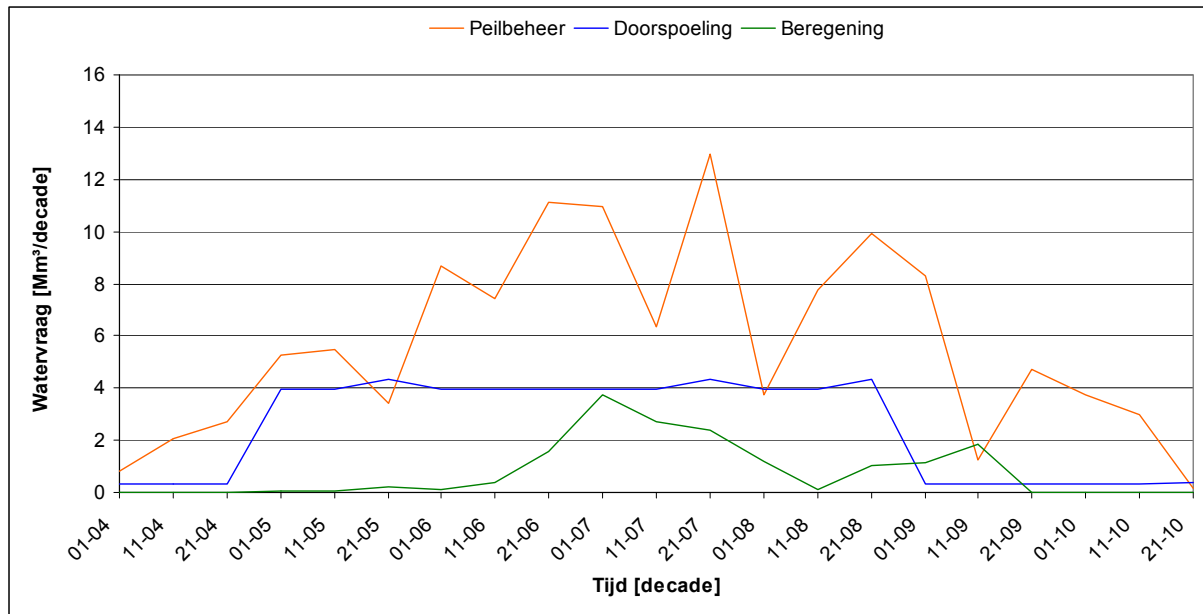
De toekomstige veranderingen op het gebied van de waterkwantiteit zullen besproken worden aan de hand van de gevolgen voor de watervraag, -aanvoer en -tekorten.

De watervraag voor de functies peilbeheer, doorspoeling en beregening zijn onderzocht en staan voor de verschillende situaties weergegeven in tabel 6.1. Uit de tabel blijkt dat de totale watervragen toe nemen in de tijd. Dit wordt veroorzaakt door een toename in de watervraag voor peilbeheer en beregening. Door minder neerslag en meer evaporatie is meer water nodig voor peilbeheer. Daarnaast ontstaat er door de grotere evaporatie ook een grotere vraag voor beregening van gewassen. De toename van de watervraag voor beregening wordt ook veroorzaakt door het toenemende beregeningsareaal in de tijd. De doorspoeling blijft in beide situaties gelijk, dit wordt veroorzaakt doordat deze vraag, het streefdebiet, vooraf gedefinieerd is en constant blijft. De figuren 6.1, 6.2 en 6.3 geven de ontwikkeling van deze vragen over het zomerhalfjaar weer.

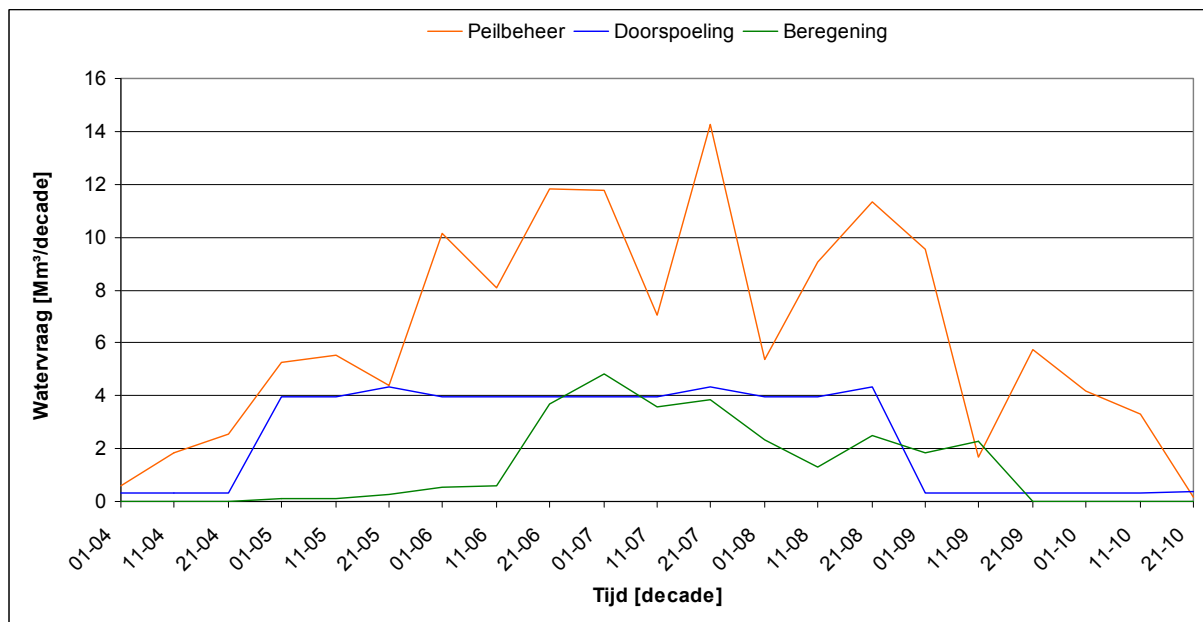
Tabel 6.1: Watervraag per functie voor het jaar 1949 onder de huidige omstandigheden en onder klimaatscenario G+ en toename van het beregeningsareaal in 2050 en 2100 [Mm³/zomerhalfjaar].

	Peilbeheer	Beregening	Doorspoeling	Totaal
Huidig	119.72	16.51	51.85	188.07
2050	133.72	27.80	51.85	213.37
2100	156.45	35.90	51.85	244.20

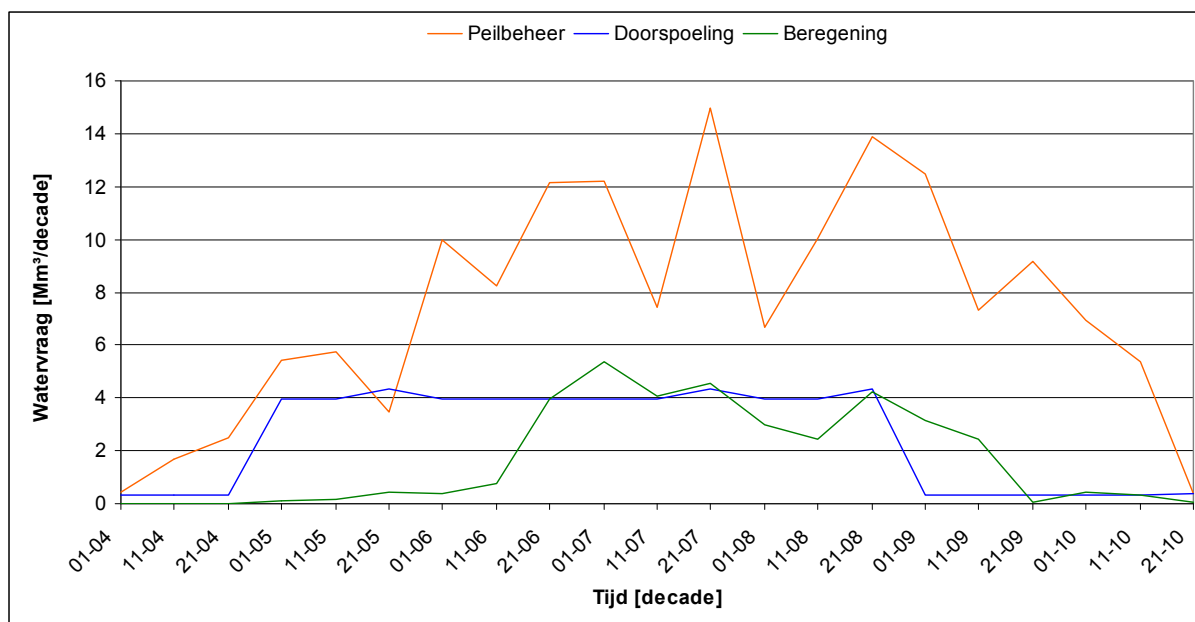
De watervraag voor beregening lijkt aan de hoge kant, het aandeel beregening is ongeveer 9% van de totale watervraag voor de huidige situatie. Ter vergelijking, in het rapport van de Zuidwestelijke Delta (2007) wordt aangenomen dat 25% van het potentieel beregend oppervlak wordt beregend met 15 cm/seizoen. In dit onderzoek wordt er uitgegaan van een normaal jaar in Nederland. Met deze aannames zou dit betekenen dat 4.7 Mm³ nodig is voor beregening in de huidige situatie voor dit studiegebied bij een gemiddeld jaar. Echter, gaat het in deze studie om een droog jaar, daarom zal de beregeningsgift groter zijn evenals het beregende oppervlak ten opzichte van een normaal jaar (Hoogeveen et al., 2003). Voor het studiegebied betekent dit globaal een verdubbeling van het waterverbruik tijdens een droog jaar ten opzichte van een normaal jaar en het beregend oppervlak neemt met 30% toe (Hoogeveen et al., 2003). Op basis van deze gegevens zou de watervraag voor beregening in een droog jaar uitkomen op 16.0 Mm³. Dit zou overeenkomen met de berekende watervraag in het NHI voor het jaar 1949. Dus de door het NHI berekende beregeningsvraag in de huidige situatie voor 1949 lijkt een correcte inschatting.



Figuur 6.1: Watervraag per functie tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder de huidige klimaatomstandigheden.



Figuur 6.2: Watervraag per functie tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra berekeningareaal in 2050.

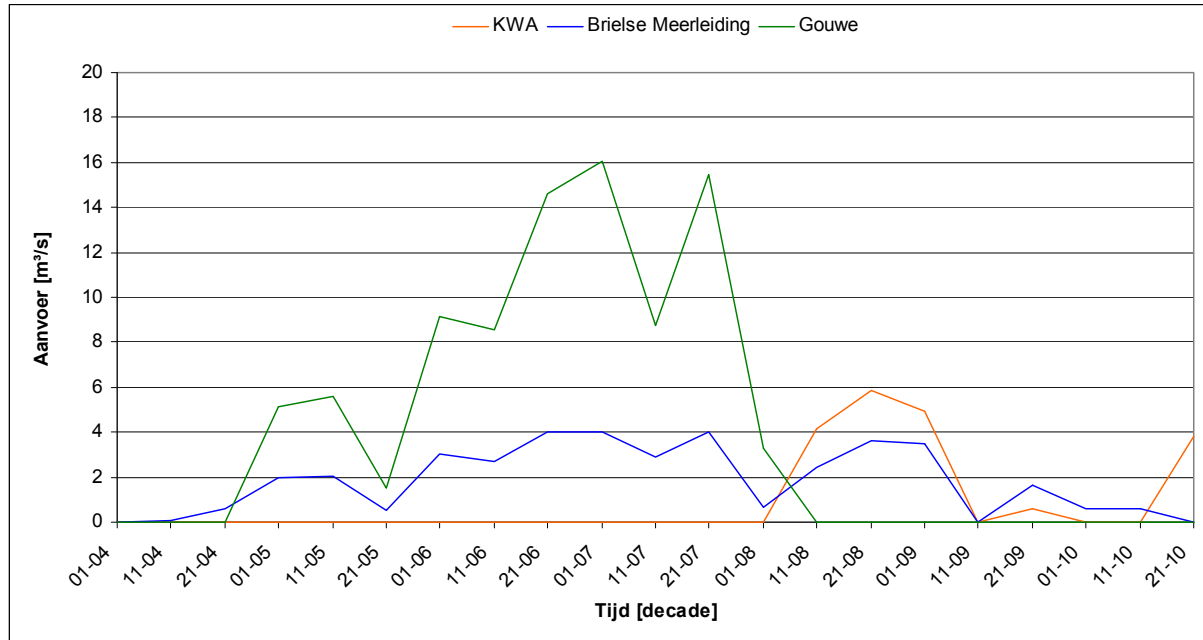


Figuur 6.3: Watervraag per functie tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra berekeningareaal in 2100.

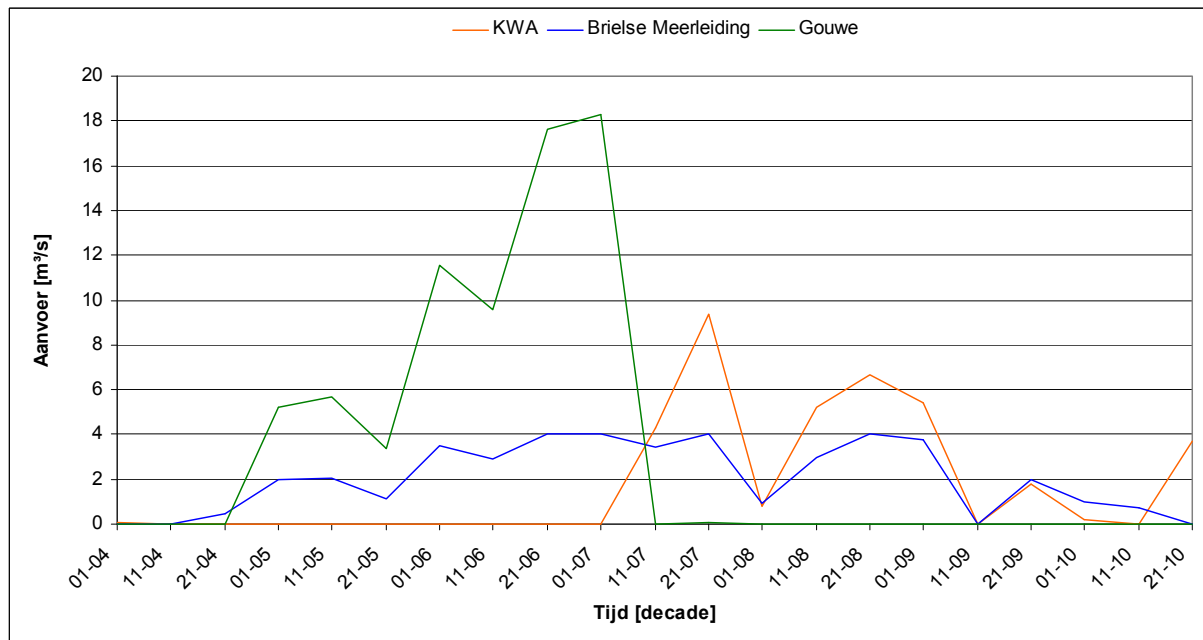
In de bovenstaande figuren is zichtbaar dat doorspoeling in Rijnland maar enkele maanden per jaar plaatsvindt, vanwege de tijdelijke verhoging van de watervraag voor doorspoeling. Peilbeheer heeft in de huidige situatie de grootste watervraag en dit verandert niet door klimaatverandering in 2050 en 2100. De watervraag voor doorspoeling lijkt niet constant, maar dit is wel het geval. De ongelijkheid wordt veroorzaakt door een verschil in lengte van een decade, in sommige gevallen is dit 11 dagen vanwege de lengte van een maand. De watervragen voor de functies peilbeheer en berekening nemen toe in de toekomstige situatie vergeleken met de huidige situatie. Maar er zijn geen grote verschuivingen zichtbaar in het moment van de watervragen. Het enige verschil is dat de watervraag voor berekening in 2100 langer duurt dan in de overige situaties. Dit komt doordat de periode met een neerslagtekort langer aanhoudt in 2100, waardoor er nog een berekeningsvraag is voor enkele gewassen. In de overige situaties is op dat moment het neerslagtekort verdwenen, waardoor berekening niet noodzakelijk is.

In de referentiesituatie wordt water aangevoerd via de inlaat bij Gouda en de Brielse Meerleiding. De inlaat bij Gouda sluit als de chlorideconcentratie boven de 250 mg/l op de Hollandse IJssel is. Dit is voor het jaar 1949 onder de huidige omstandigheden 11 decaden en onder klimaatverandering in 2050 14 decaden. Onder de omstandigheden in 2100 is de sluiting ook 14 decaden. De chloridewaarden zijn tijdens de sluiting in 2100 vele malen hoger dan in 2050, alleen is het moment van de sluiting gelijk in 2100 en 2050. Bij sluiting van de inlaat bij Gouda wordt water in het huidige beleid via de KWA aangevoerd. Figuren 6.4, 6.5 en 6.6 geven de debieten weer van de aanvoerroutes de Gouwe, KWA en Brielse Meerleiding voor de verschillende omstandigheden. In de huidige situatie wordt de capaciteit van de Brielse Meerleiding vier decaden volledig benut. In 2050 bij klimaatscenario G+ zal de capaciteit van de Brielse Meerleiding van 4 m³/s ook vier decaden worden gehaald en in 2100 zal dit vijf decades zijn. De capaciteit van de KWA wordt onder alle omstandigheden niet volledig benut. Onder de huidige omstandigheden wordt er in totaal 152 Mm³ water per jaar in het studiegebied ingelaten. Dit wordt dan via de Brielse Meerleiding, KWA en Gouda in gelaten. Het meeste water komt Rijnland binnen, namelijk 113 Mm³. Volgens Rijnland (2008) wordt er tijdens normale zomers 40 tot 60 Mm³ water ingelaten en dit kan oplopen tot 100 Mm³ tijdens droge zomers. Aangezien er tijdens 1949 sprake is van een droge periode, lijkt de berekende inlaat onder de huidige situatie voor het jaar 1949 van 113 Mm³ redelijk overeen te komen met de werkelijke waarde. In de situatie 2050 onder klimaatscenario G+ voor het jaar 1949 wordt er minder water in Rijnland gelaten, namelijk 100 Mm³. Deze daling van het ingelaten water wordt

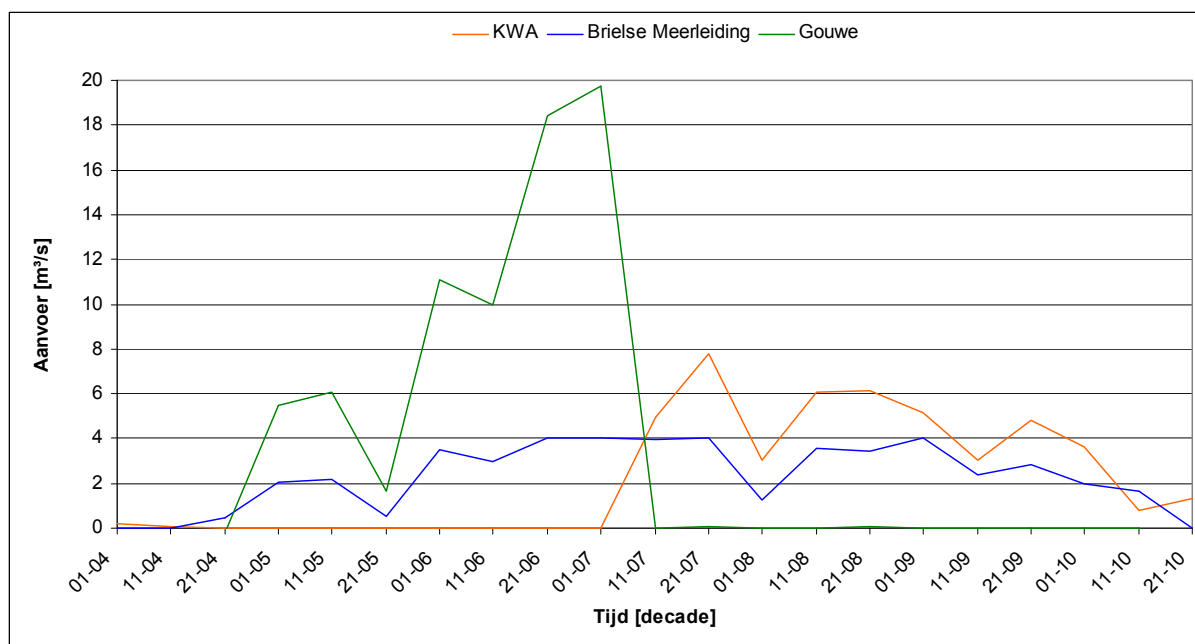
veroorzaakt door een eerdere sluiting van de inlaat bij Gouda en het debiet op de KWA is lager dan op de Gouwe. Op de aanvoerroutes, welke in gebruik zijn als de inlaat bij Gouda gesloten is, is er dus sprake van een beperking in de infrastructuur om voldoende water aan te voeren.



Figuur 6.4: Debiet in de aanvoerroutes Gouwe, KWA en Brielse Meerleiding tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder de huidige klimaatomstandigheden.



Figuur 6.5: Debiet in de aanvoerroutes Gouwe, KWA en Brielse Meerleiding tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050.



Figuur 6.6: Debiet in de aanvoerroutes Gouwe, KWA en Brielse Meerleiding tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2100.

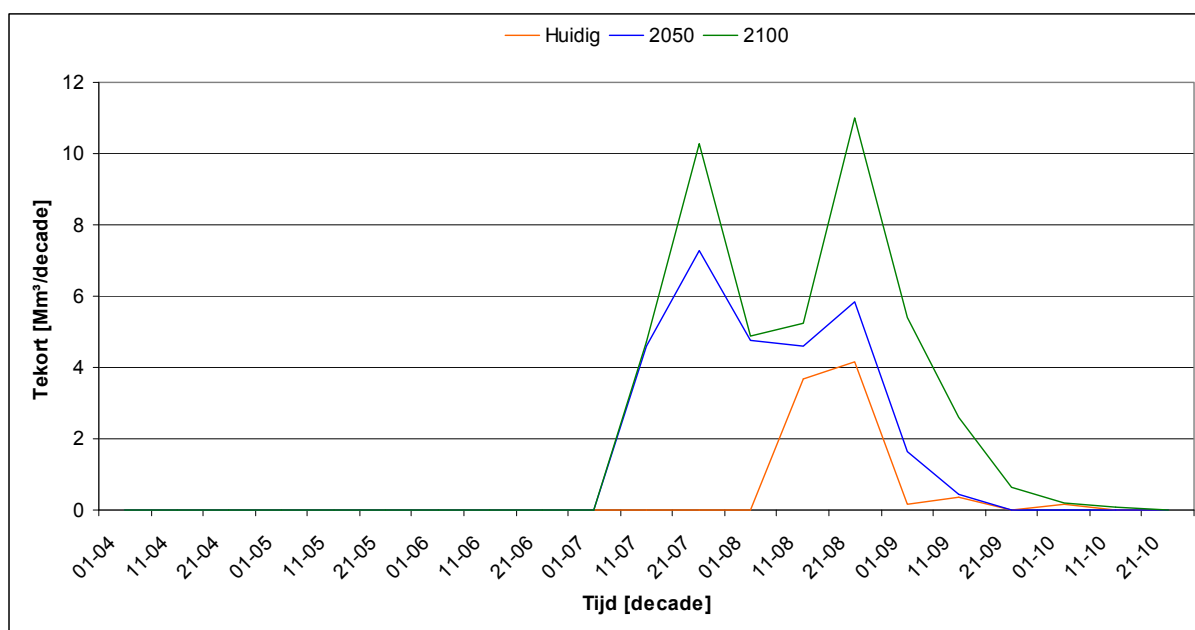
Onder de huidige omstandigheden is vanwege aanvoerbeporingen niet voldoende water aanwezig om de functies in haar behoefte te voorzien. Er treden dus tekorten op tijdens het jaar, cumulatief is dit tekort 9 Mm³ over het zomerhalfjaar. Alleen bij de functie doorspoeling treden noemenswaardige tekorten op. Door klimaatverandering zullen de tekorten in 2050 toenemen, het totale tekort over het zomerhalfjaar is 29 Mm³. Dit loopt in 2100 op tot een tekort van 45 Mm³. Voor alle functies nemen de tekorten toe in 2050 en 2100. De tekorten voor de functie peilbeheer zijn onacceptabel. Peilbeheer is namelijk van belang voor het voorkomen van bodemdaling en het waarborgen van de veiligheid van keringen en kunstwerken. Tabel 6.2 geeft de tekorten voor de functies en districten onder de verschillende situaties weer.

Tabel 6.2: Tekorten per hoogheemraadschap en functie voor het jaar 1949 onder de huidige klimaatomstandigheden en onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [Mm³/zomerhalfjaar].

	Hoogheemraadschap			Functie			Totaal
	Rijnland	Delfland	Schieland	Peilbeheer	Beregening	Doorspoeling	
Huidig	8.23	0.25	0.01	0.12	0.57	7.80	8.49
2050	27.98	1.14	0.02	2.59	6.98	19.57	29.14
2100	42.03	3.01	0.02	12.44	12.67	19.95	45.06

De functies doorspoeling en beregening ondervinden relatief het grootste tekort ten opzichte van de watervraag. Dit is het gevolg van prioriteitstelling, welke is afgeleid van de verdringingsreeks (Rijkswaterstaat, 2010). Peilbeheer heeft de hoogste prioriteit om te worden voorzien in haar vraag, gevolgd door beregening en doorspoeling. De tekorten vinden gelijktijdig over de functies plaats en ontstaan na sluiting van de inlaat bij Gouda. In figuur 6.7 zijn de tekorten over het zomerhalfjaar te zien voor de situatie in 2010 en 2050 en 2100. Na 1 september is het tekort voor doorspoeling verdwenen, want de vraag voor doorspoeling vanuit Rijnland is dan ook afgenomen. De overige functies ondervinden nog wel tekorten na 1 september. In Rijnland vinden veruit de meeste tekorten plaats, zowel in absolute zin als relatief ten opzichte van de vraag. In Delfland zijn de tekorten vele malen minder en in Schieland vinden er zelfs geen noemenswaardige tekorten plaats. De toevoer vanuit het Brielse Meer naar Delfland zorgen voor een betrouwbare aanvoer van water en beperken het tekort. Doordat in 2100 de capaciteit

van de Brielse Meerleiding vaker wordt bereikt, nemen de tekorten in 2100 vergeleken met 2050 aanzienlijk toe in Delfland. De grote watervraag in Rijnland kan niet worden voorzien via de standaard aanvoerroutes. Ondanks dat de KWA nog niet aan haar capaciteit zit, is de toevoer via deze route onvoldoende. Er blijkt onvoldoende water beschikbaar te zijn in de Lek en Amsterdam-Rijnkanaal om het debiet in de KWA te vergroten. Figuur 6.6 laat ook een lager maximaal debiet op de KWA in 2100 zien dan figuur 6.5 in 2050. Hieruit kan opgemaakt worden dat de waterbeschikbaarheid om Rijnland te voorzien beperkend is. De waterverdeling over de IJssel en Neder-Rijn is gemodelleerd met een verdeling afhankelijk van het debiet in het Pannerdensch Kanaal. In het model wordt gestreefd om een debiet van 25 m³/s op de Neder-Rijn te hebben, dit is conform het huidige beleid (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009). In het jaar 1949 is de afvoer op de Rijn dermate laag dat voor een langere periode het debiet op de Neder-Rijn 25 m³/s of lager is. Met als gevolg dat er onvoldoende water is om via de KWA naar Midden-West Nederland te transporteren en hiermee de watervraag in de regio volledig te voorzien.



Figuur 6.7: Tekort voor 2010, 2050 en 2100 tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder de huidige klimaatomstandigheden en onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100.

Voor de vergelijking is er ook gekeken wat het effect is van enkel Gouda als toevoer van water naar het studiegebied. In een dergelijk geval zou bij een verzilting van de Hollandse IJssel de inlaat bij Gouda worden gesloten en geen water wordt aangevoerd via een andere noodaanvoerroute. De sluiting bij Gouda gebeurt volgens "normaal procedure", dit is als de zoutwaarde boven de 250 mg/l zit op de Hollandse IJssel. Aangenomen wordt dat er in dit geval geen water via de KWA en Brielse Meerleiding naar het gebied getransporteerd wordt. In tabel 6.3 zijn de tekorten zichtbaar voor deze situatie. De tekorten voor alle functies schieten omhoog. Peilbeheer heeft de grootste tekorten in vergelijking met de overige functies, omdat peilbeheer ook de grootste watervraag heeft. In werkelijkheid zullen er geen peilbeheertekorten optreden, omdat deze tekorten onacceptabel zijn. Desnoods wordt er brak water ingelaten om de behoefte in peilbeheer te voorzien. Dit heeft wel gevolgen voor de functies natuur en landbouw. Een dergelijke ingreep kan alleen niet in het model worden geïmplementeerd. Relatief gezien heeft beregening het grootste tekort ten opzichte van de vraag. Bij voortzetting van het huidige beleid dalen de tekorten wel in vergelijking met de situatie waarbij geen water aangevoerd wordt bij sluiting van Gouda. Alleen is het tekort voor peilbeheer bij voortzetting van het huidige beleid onacceptabel.

Tabel 6.3: Watertekorten per functie met de referentiesituatie en de situatie met geen noodtoevoer voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [Mm³].

	Referentiesituatie				Geen toevoer			
	Peilbeheer	Berekening	Doorspoeling	Totaal	Peilbeheer	Berekening	Doorspoeling	Totaal
2050	2.59	6.98	19.57	29.14	67.14	16.21	22.31	105.65
2100	12.44	12.67	19.95	45.06	76.59	25.12	22.31	124.02

6.2 Waterkwaliteit

De indicatoren om de gevolgen voor de waterkwaliteit te beoordelen zijn in dit onderzoek chlorideconcentratie en fractie systeemvreemd water.

De maximale chlorideconcentraties op de boezems van de drie hoogheemraadschappen blijven onder de 200 mg/l. Dit geldt voor zowel de huidige omstandigheden als voor de omstandigheden in 2050 en 2100. In beide omstandigheden is de chlorideconcentratie in Rijnland en Delfland hoger vergeleken met Schieland, dit verschil wordt veroorzaakt door de zoutere kwel in deze hoogheemraadschappen dan in Schieland. In tabel 6.4 zijn chlorideconcentraties zichtbaar voor de verschillende omstandigheden. Opmerkelijk is dat in 2100 de chlorideconcentratie omhoog schieten ten opzichte van de huidige situatie en in 2050.

Tabel 6.4: Maximale chlorideconcentratie in het oppervlaktewater per hoogheemraadschap voor het jaar 1949 onder de huidige klimaatomstandigheden en onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [mg/l].

	Rijnland	Delfland	Schieland
Huidig	132	130	71
2050	133	134	84
2100	141	164	135

In tabel 6.5 zijn voor de districten de maximale fracties systeemvreemd water weergegeven. In alle districten neemt deze fractie toe in 2050 en 2100 vergeleken met de huidige situatie. Oorzaak hiervan is de toename in de aanvoer van water om de grotere vraag te bedienen. Er is duidelijk een verband tussen de fractie systeemvreemd water en aanvoer van water, want de maxima aan systeemvreemd water vallen samen met de toevoer maxima. In Schieland is de fractie het laagst, want dit district kan zich zelf grotendeels voorzien in haar behoefte.

Tabel 6.5: Maximale fractie systeemvreemd water per hoogheemraadschap voor het jaar 1949 onder de huidige klimaatomstandigheden en onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [-].

	Rijnland	Delfland	Schieland
Huidig	0.43	0.70	0.16
2050	0.46	0.73	0.22
2100	0.48	0.75	0.27

6.3 Effecten voor gebruikers

Verandering in de waterkwantiteit en -kwaliteit hebben effect op natuur en landbouw. Deze effecten zullen per gebruiker besproken worden.

Indicatoren voor de effecten op de natuur zijn de chloridewaarden in het oppervlaktewater, fractie systeemvreemd water, samenstelling systeemvreemd water en de drie laagste grondwaterstanden (LG3). De chlorideconcentraties blijven onder de 200 mg/l, dit is positief voor de aquatische natuur. Deze waarden nemen echter wel toe in de tijd. Daarnaast is de fractie systeemvreemd water groot in Delfland en de samenstelling van dit water is goed. Het water voor Delfland is voornamelijk afkomstig uit het Brielse Meer, welke van goede waterkwaliteit is. Dus hier zijn geen negatieve effecten voor de aquatische natuur te verwachten. In Rijnland is de fractie ook hoog en de samenstelling van dit systeemvreemd water is slechter in vergelijking met Delfland. Maar de samenstelling is niet zo slecht dat negatieve effecten voor de aquatische natuur zijn te verwachten. In Schieland is de fractie systeemvreemd water dermate klein dat geen negatieve effecten te verwachten zijn. De LG3 neemt af in de tijd, dit is zichtbaar in tabel 6.6. De daling is nog maar enkele centimeters, dus grote gevolgen voor de terrestrische natuur zijn nog niet te verwachten.

Tabel 6.6: Daling LG3 tov de huidige situatie in 1949 voor de locatie tussen Leiden en Zoetermeer onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [cm].

	2050	2100
Leiden-Zoetermeer	0.9	3.2

Door de toenemende watertekorten in de tijd, neemt de gemiddelde fractie schade aan gewassen toe van 0.13 onder de huidige omstandigheden naar 0.18 in 2050 en 0.19 in 2100. Deze fractie wordt volledig veroorzaakt door droogte. De componenten zout, inundatie en verdrassing dragen niet bij aan schade fractie van gewassen. Droogte is over het algemeen de belangrijkste component voor het bepalen van de schade fractie (RIZA, 2005). Alleen lijken in dit geval de berekende zoutwaardes in het NHI nogal laag, waardoor zoutschade niet optreedt. Dit is overigens in de studie van Mulder et al. (2010) ook al geconstateerd. Met behulp van Agricom is de totale derving voor de districten bepaald, deze staat weergegeven in tabel 6.7. De grootste derving wordt geleden in Rijnland, wat natuurlijk ook het grootste district is. De derving per hectare is het grootst in Delfland.

Tabel 6.7: Derving en fractie derving tov potentiële opbrengst per hoogheemraadschap voor het jaar 1949 onder de huidige klimaatomstandigheden en onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [M€] [%].

	Derving [M€]				Fractie derving tov potentiële opbrengst [%]			
	Rijnland	Delfland	Schieland	Totaal	Rijnland	Delfland	Schieland	Totaal
Huidig	19.50	7.50	3.00	30.00	5.13	20.48	12.14	6.80
2050	24.07	9.90	4.18	38.15	6.57	25.99	16.82	8.89
2100	27.80	11.20	4.90	43.80	8.05	27.76	23.56	10.66

Uit bovenstaand tabel blijkt dat de derving toeneemt naarmate het klimaat droger wordt. De potentiële opbrengst in kg/ha neemt toe dankzij verbeterde groeiomstandigheden. Ten opzichte van de huidige situatie neemt de potentiële opbrengst in 2050 met 4% toe en in 2100 met 12%. Maar doordat er een groter neerslag- en wateraanvoertekort is, neemt de derving ook in de toekomst toe. Om de toename in de tekorten en derving tegen te gaan wordt meer landbouwwareaal berekend in de toekomst. Hiermee wordt getracht de bodemvochttekorten tegen te gaan en blijft de daling van de actuele opbrengst beperkt. Als gevolg daarvan is de stijging in derving niet extreem en ligt de fractie derving ten opzichte van de potentiële opbrengst gemiddeld rond de 10%. De dervingstoename in Schieland is het grootst in vergelijking met de overige districten, dit wordt veroorzaakt door een toename van schade aan het gewas gras. In tijden van droogte veroorzaken watertekorten gemiddeld over de landbouwsector in Nederland

een 5% tot 35% lagere opbrengst, uitgedrukt in tonnen geoogst product dan in potentie mogelijk (Van Waveren et al., 2009a). In deze studie komt voor de huidige situatie de derving uit op 7% van de potentiële opbrengst. Onder meer door de hoge capillaire nalevering in het gebied wordt de schade beperkt.

Tabel 6.8 laat de derving per gewas zien, zowel in absolute zin als relatieve ten opzichte van de potentiële opbrengst. Opvallend is dat in Rijnland de schade aan bollen afneemt in de toekomstige omstandigheden in vergelijking met de huidige omstandigheden. Dit wordt veroorzaakt doordat bollen vroeg in de zomer worden geoogst en het verschil in neerslagtekort tussen de huidige omstandigheden en die in 2050 en 2100 is aan het begin van de zomer nog minimaal. In combinatie met betere groeiomstandigheden door een toenemende evaporatie is de potentiële opbrengst in de toekomst hoger. Doordat meer areaal wordt berekend in de toekomst, stijgt ook de actuele opbrengst en neemt de derving voor bollen in 2050 en 2100 af in vergelijking met de huidige situatie. Bij de overige gewassen is een toename in de derving te zien over de tijd. Bij gewassen die later in het jaar worden geoogst neemt de derving fractie ten opzichte van de potentiële opbrengst meer toe in vergelijking met gewassen die eerder in het seizoen worden geoogst. Gewassen waarvoor deze toename geldt zijn mais, aardappelen, suikerbieten en zaaiuien (overige landbouwgewassen). Verder in het jaar nemen de verschillen in het neerslagtekort toe in 2050 en 2100 vergeleken met de huidige situatie. Daarom hebben de gewassen die later worden geoogst in het jaar een grotere derving dan gewassen die vroeg in het seizoen worden geoogst. De dervingsschade en fractie derving ten opzichte van de potentiële opbrengst is voor het gewas gras erg hoog. Dit wordt veroorzaakt door het grote areaal gras dat wordt verbouwd in het studiegebied. De derving per hectare voor gras ligt rondom de gemiddelde derving per hectare.

Tabel 6.8: Derving en fractie derving tov potentiële opbrengst per gewas voor het jaar 1949 onder de huidige klimaatomstandigheden en onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [M€] [%].

	Derving [M€]			Fractie derving tov potentiële opbrengst [%]		
	Huidig	2050	2100	Huidig	2050	2100
Gras	22.01	29.89	34.35	14.13	18.49	20.02
Mais	0.16	0.23	0.33	8.89	12.19	16.18
Aardappelen	1.44	1.71	1.67	11.44	16.07	19.88
(Suiker)bieten	0.67	1.07	1.54	7.18	10.87	14.62
Granen	0.42	0.64	0.81	4.42	6.55	7.67
Overige landbouw	0.73	1.08	1.70	7.50	10.62	15.61
Boomgaard	0.03	0.04	0.06	1.92	3.23	4.63
Bollen	4.55	3.48	3.34	1.89	1.55	1.71
Totaal	30.00	38.15	43.79	6.80	8.89	10.66

De kosten voor berekening nemen in de toekomst toe, vanwege meer berekening in gift als areaal. Desondanks zijn de kosten ten opzichte van de opbrengsten verwaarloosbaar klein.

Aan de hand van de bovenstaande schade en de herhalingstijd kan de jaarlijkse verwachtingswaarde (JVW) worden bepaald, deze staat weergegeven in tabel 6.9. In bijlage A staat de gevolgde methodiek voor bepaling van de JVW.

Tabel 6.9: Jaarlijkse verwachtingswaarde voor het jaar 1949 onder de huidige klimaatomstandigheden en onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [M€].

	JVW
Huidig	8.8
2050	11.2
2100	12.8

Uit de tabel blijkt dat de JVW toe neemt met ongeveer 27% tussen de huidige situatie en de situatie in 2050. De toename tussen de huidige situatie en die in 2100 is 46%. In Rijnland (2007) is een JVW voor de huidige situatie berekend van M€ 6.9. Dit is berekend aan de hand van vier representatieve jaren voor het Hoogheemraadschap Rijnland. Aangezien in dit onderzoek een groter gebied wordt onderzocht, lijkt de berekende JVW van M€ 8.8 nog redelijk overeen te komen met de studie van Rijnland. De studie concludeerde ook dat grootschalige infrastructurele werken tot hoge investeringen leiden die niet tegen de baten opwegen. Echter, in een vervolgstudie hierop (Rijnland, 2008) worden deze werken niet uitgesloten, want hoge investeringen en ruimtelijke consequenties zijn denkbaar om het huidige niveau van de zoetwatervoorziening te garanderen. Oplossingen op het gebied van accepteren en vertragen kunnen de schade beperken, maar de schade kan niet op het huidige niveau worden gehandhaafd. Met wateraanvoermaatregelen kan volgens Rijnland (2008) wel de schade op het huidige niveau worden gehouden, mits voldoende water beschikbaar is en dit kan worden aangevoerd.

Voor de overige gebruikers die gerelateerd zijn aan beleving zijn er geen grote verandering te verwachten. Het is een voortzetting van het huidige beleid, er zijn geen ingrepen in het landschap. Voor recreatie is er wel effect merkbaar. Bij uitvoering van de KWA wordt op sommige routes een vaarverbod ingesteld, vanwege lagere doorvaarthoogten en extra stroming. Dit gebeurt onder meer bij de Leidsche Rijn, de Oude Rijn, de Lange en Korte Linschoten en de Montfoortse vaart. Ook zijn enkele sluizen gestremd voor scheepvaartverkeer. Dit leidt dus tot hinder voor de plezier- en commerciële vaart.

De effecten voor de natuur en landbouw zijn ook bepaald voor de situatie waarbij geen toevoer van water naar het gebied is bij sluiting van de inlaat bij Gouda. In tabel 6.10 staan de schade en de JVW voor de referentiesituatie en de situatie met alleen toevoer vanuit Gouda. Bij geen toevoer als Gouda is gesloten nemen de tekorten toe, dit leidt ook tot een toename van de schade. Alleen is de stijging van de derving en JVW maar 2% in 2100 ten opzichte van de referentiesituatie. Ondanks de grote tekorten voor berekening is de derving minimaal gestegen vergeleken met de referentiesituatie. Het blijkt dat de gemiddelde schadefractie per areaal ook maar stijgt van 0.19 in de referentiesituatie naar 0,20 in dit geval voor 2100. Voor de meeste gewassen is de stijging maar minimaal.

Tabel 6.10: Derving en jaarlijkse verwachtingswaarde in de landbouwsector met de referentiesituatie en de situatie met alleen Gouda voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [M€].

	Referentiesituatie		Geen toevoer	
	Derving	JVW	Derving	JVW
2050	38.15	11.20	38.45	11.30
2100	43.79	12.80	44.54	13.10

Voor natuur is er in tabel 6.11 een daling van de LG3 te zien ten opzichte van de huidige situatie bij de situatie met geen toevoer. Deze daling is in de situatie met alleen Gouda als toevoer vele malen groter dan in de referentiesituatie. Een daling van 31 cm in 2100 van de LG3 in deze situatie ten opzichte van de huidige situatie kan ernstige problemen opleveren voor de terrestrische natuur. In tegenstelling tot de landbouwsector zijn de effecten voor de natuur groot bij het niet aanvoeren van water als de inlaat bij Gouda gesloten is.

Tabel 6.11: Daling LG3 tov de huidige situatie in 1949 met de referentiesituatie en de situatie met alleen Gouda voor de locatie tussen Leiden en Zoetermeer onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [cm].

	Referentiesituatie	Geen toevoer
2050	0.9	16.8
2100	3.2	31.0

6.4 Conclusie

Aan de hand van bovenstaande analyse is het beoordelingskader voor de referentiesituatie ingevuld, welke staat in tabel 6.12. In de toekomst zullen er tekorten ontstaan voor alle functies, zelfs voor de functie peilbeheer. Tekorten in peilbeheer zijn onacceptabel vanwege de effecten op bodemdaling en veiligheid. Daarnaast neemt de financiële schade voor het karakteristieke jaar 1949 door klimaatverandering toe met M€ 8.15 in 2050 en M€ 13.79 in 2100 ten opzichte van de huidige situatie. Dit wordt veroorzaakt door een toenemend bodemvochttekort. Tevens nemen de beheer- en onderhoudskosten ook toe, omdat de KWA vaker actief is en meer water wordt via de diverse routes aangevoerd. Deze kosten zijn gebaseerd op Rijnland (2007). Daarnaast zullen ook de zoutconcentraties en fractie systeemvreemd water binnen de districten toenemen. De samenstelling van het systeemvreemd water is gemiddeld, het water is afkomstig uit de Lek, Amsterdam-Rijnkanaal en Brielse Meer. Hierdoor zijn de gevolgen voor de aquatische natuur niet al te groot. Doordat er geen aanpassingen aan de infrastructuur plaats vinden, zijn er geen positieve of negatieve gevolgen voor het thema beleving. Recreatie daarentegen ondervindt negatieve effecten van de KWA. Voortzetting van het huidige beleid zorgt voor een betere situatie dan geen toevoer van water als de inlaat bij Gouda gesloten is. In dat geval zou de landbouwschade relatief meevallen, maar de effecten voor natuur en peilbeheer zijn groot en onacceptabel. Het huidige beleid is niet in staat om de effecten van klimaatverandering op te vangen, want de tekorten nemen toe evenals de JVV. Er is onvoldoende water aanwezig om via de KWA te transporteren naar Midden-West Nederland om in de watervraag van verschillende functies te voorzien. Dit wordt veroorzaakt doordat bij het karakteristieke jaar 1949 met lage rivierafvoeren de beschikbaarheid van water op zich een probleem is.

Tabel 6.12: Beoordelingskader voor de referentiesituatie.

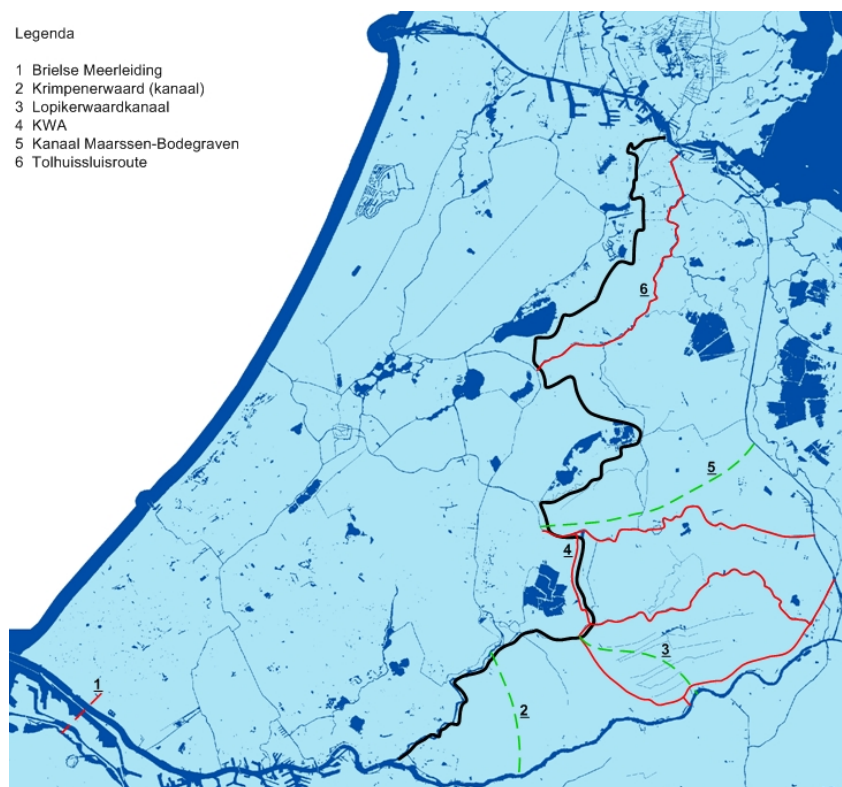
Hoofdgroep	Criteria		Indicator	Score			Eenheid
	Thema	Subthema		Huidig	2050	2100	
Profit	Landbouw		Financiële schade	29.74	38.15	43.79	[M€/jaar]
		Overheid	Investeringskosten voor de aanleg van de maatregel		0		[M€]
		Investering Beheer/onderhoud	Beheer en onderhoudskosten	0.3	0.5		[M€/jaar]
Planet	Aquatische natuur	Verzilting Water aanvoer	Zoutconcentratie in boezem	130	134	164	Cl concentratie [mg/l]
			Samenstelling gebiedsvreemd water		0		Nutrienten, zuurgraad en ionensamenstelling
			Fractie gebiedsvreemd water	0.7	0.73	0.75	[-]
	Terrestrische natuur		Verandering LG3 tov huidige situatie	0	-0.89	-3.2	[cm]
People	Beleving		Verandering van het landschap		0		Indicatoren
	Recreatie		Effect van aanpassingen infrastructuur		-		Aantal infrastructurele aanpassingen
Institutioneel	Inpassing in waterbeheer		Aansluiting bij andere beleid (KRW, Natura2000, WB21)		0		Kenmerken oplossingsrichting
			Gevolgen voor zoetwatervoorziening van overige delen in NL		0		Beschikbaarheid zoet water
Omgang met onzekerheden	Flexibiliteit	Aanvoer	Aanpassing door de tijd 2050 naar 2100		+39		Toename aanvoerdebiet [Mm3]
		Infrastructuur	Aanpassing van infrastructuur en		+		Aantal infrastructurele aanpassingen

7 Oplossingen

De referentiesituatie heeft uitgewezen dat watertekorten zullen toenemen en dat de zoetwatervoorziening in Midden-West Nederland onder druk komt te staan in de toekomst. Om de tekorten en negatieve effecten hiervan te minimaliseren kunnen er oplossingen worden aangedragen. Er zijn verschillende mogelijke oplossingen voor het probleem, zoals acceptatie en watervraag verminderen. Echter, in deze studie zal alleen gekeken worden naar de oplossingsrichting gerelateerd aan infrastructuur voor wateraanvoer. Dit houdt in dat alle oplossingen gekenmerkt worden door het aanvoeren van zoet water naar het studiegebied. Allereerst zal een overzicht worden gegeven van mogelijke oplossingen die in de literatuur worden genoemd. Ten slotte zal een keuze worden gemaakt voor een aantal van de oplossingen. Deze zullen dan verder worden gemodelleerd en getoetst.

7.1 Overzicht

Er is veel literatuur aanwezig over de zoetwaterproblematiek in het Midden-Westen van Nederland. Op basis van deze literatuur is een overzicht gevormd met oplossingsrichting gerelateerd aan wateraanvoeren. In figuur 7.1 is de situering van alle genoemde oplossingen zichtbaar. De gestippelde lijnen in de figuur geven aan dat de infrastructuur voor de oplossing nog niet aanwezig is. Daarnaast geeft nummer twee zowel de oplossing Krimpenerwaardkanaal aan als Krimpenerwaard naar Schieland.



Figuur 7.1: Situering van de oplossingen voor het aanvoeren van water.

Hieronder worden de oplossing per stuk besproken aan de hand van kenmerken, capaciteiten, kosten en neveneffecten. De gebruikte bronnen voor deze lijst zijn Royal Haskoning (2008; 2004), RIZA (2005), PAWN (RAND, 1981), HKV (2009), Van Waveren et al. (2009b; 2009c) en Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2004).

Tweede Brielse meerleiding

Momenteel ligt er al een leiding van de Brielse Meer naar het gemaal Winsemius. Dit heeft als doel om in droge zomers het gebied van Delfland en dan vooral de glastuinbouw te voorzien van zoet water. De huidige capaciteit is 4 m³/s. Uit de referentiesituatie blijkt dat de Brielse Meerleiding een betrouwbare bron is om Delfland te voorzien in haar behoefte. In 2100 wordt de capaciteit van de Brielse Meerleiding vijf decades bereikt, hierdoor nemen de tekorten in Delfland voor deze situatie toe. Door een 2^e Brielse Meerleiding aan te leggen wordt de aanvoercapaciteit vergroot. De kosten van een tweede leiding zijn onbekend, maar de aanlegkosten van de 1^e Brielse Meerleiding in 1988 was M€ 25. Een nadeel van deze maatregel is dat de toevoer van zoet water kwetsbaar is. Bij harde wind wordt de aanvoer bedreigd door stuwing van zout water uit de Noordzee. Door het op een kier zetten van de Haringvlietsluizen en het zout maken van het Volkerak-Zoommeer zou de toevoer van zoet water onder druk komen te staan (Stuurgroep Zuidwestelijke Delta, 2009). Maatregelen zouden moeten worden getroffen om de toevoer toch te garanderen bij deze twee ontwikkelingen.

Kleinschalige Wateraanvoervoorzieningen (KWA)

Tijdens verzilting van het inlaatpunt bij Gouda, wordt de KWA van kracht. Via drie routes, Leidsche- en Oude Rijn, Lopikerwaardroute en Noordergemaal wordt water uit de Lek en Amsterdam-Rijnkanaal aangevoerd naar Bodegraven. De formele capaciteit van deze aanvoerroutes is 6,9 m³/s. In potentie kan 12 m³/s worden gehaald (RIZA, 2005). In 2003 is via deze route al een debiet van 10 m³/s bereikt. De huidige capaciteit is bij lange na niet toereikend om aan de maximale totale gezamenlijke waterbehoefte van de hoogheemraadschappen te voldoen. Deze aanvoerbehoefte is in maatgevende omstandigheden bijna 40 m³/s (HKV, 2009). Volgens de referentieberekeningen is maar een aanvoerdebiet van 21 m³/s nodig om de maximale watervraag tijdens een decade te voorzien. De huidige capaciteit is niet toereikend om zowel 21 m³/s als 40 m³/s aan te voeren, daarom kan capaciteitsvergroting als een mogelijke oplossing worden gezien. De investeringskosten zullen circa M€ 10 zijn en de beheerkosten € 300.000 per jaar. Een nadeel is dat de grotere watervraag van het Amsterdam-Rijnkanaal probleem veroorzaakt bij de energiecentrale in Utrecht. Daarnaast heeft het grote gevolgen voor het beheer door Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, de stroomrichtingen en waterstanden zijn anders dan normaal. Door die hoge waterstanden drogen kades daarentegen minder snel uit. Deze maatregel leidt ook tot stremming van scheepvaart.

Tolhuissluisroute

Via de Tolhuissluisroute is het mogelijk om water vanuit het IJmeer door middel van het gemaal Zeeburg via de Amstel naar Rijnland te transporteren. Het gaat hierbij om een ongeveer 10 m³/s tot 13 m³/s. Het gemaal heeft een capaciteit van 40 m³/s. De infrastructuur voor deze maatregel is in principe aanwezig. Maar in 2003 moesten vanwege een mogelijke verspreiding van een zoute kwelprop damwanden worden geplaatst. De route is zelden in gebruik. In 2003 is voor het laatst gebruik gemaakt van de route toen de aanvoercapaciteit van de KWA niet voldoende was. Doordat het wordt ingezet als noodoplossing, zijn de beheerkosten niet inzichtelijk. In 2003 liepen de kosten op tot ruim een half miljoen euro. Een belangrijk nadeel van de maatregel is dat veel sluizen en vaarten afgesloten zijn, dit geeft hinder voor de scheepvaart, recreatievaart en rondvaartboten in Amsterdam. Daarnaast is de veiligheid langs de route niet volledig gegarandeerd door de peilverhoging. Het is niet duidelijk wat dit lokaal voor een gevolgen kan hebben. Ook heeft het water een slechter samenstelling dan het Rijnwater dat onder normale omstandigheden in het gebied wordt gelaten.

Lopikerwaardkanaal

In de PAWN (RAND, 1981) wordt de aanleg van een nieuw kanaal voorgesteld om de zoetwatervoorziening te garanderen. Dit kanaal loopt vanaf de Lek naar de Hollandse IJssel door de Lopikerwaard. Vanaf de Hollandse IJssel zou een deel naar de inlaat bij Gouda stromen. Het andere deel zou via de Enkele Wiericke naar de Oude Rijn stromen, welke het naar Rijnland zou brengen. De voorgestelde capaciteit zou $20 \text{ m}^3/\text{s}$ zijn en de kosten zouden destijds rond de M€ 1 bedragen. Vanaf de Lek naar Polsbroek zal een nieuw kanaal moeten worden gegraven. Na Polsbroek kan gebruik worden gemaakt van een reeds bestaand kanaal. Dit alternatief is voor de rest niet uitgewerkt in andere studies.

Krimpenerwaardkanaal

Evenals de Lopikerwaardkanaal wordt dit kanaal ook voorgesteld in de PAWN. Ook hier zal water vanaf de Lek naar de Hollandse IJssel lopen. Echter, zal het kanaal door de Krimpenerwaard lopen. Een 13 km lang kanaal zal moeten worden aangelegd met een capaciteit van $40 \text{ m}^3/\text{s}$. De kosten in de PAWN zijn geschat op M€ 2,6. Een nadeel van deze oplossing ten opzichte van het Lopikerwaardkanaal is dat de inlaat lager op de Lek bevindt. Hierdoor is de zekerheid op voldoende water voor het Krimpenerwaardkanaal kleiner dan voor het Lopikerwaardkanaal.

Kanaal Maarssen-Bodegraven

Een nieuw aan te leggen kanaal tussen Maarssen en Bodegraven kan een alternatief zijn voor de zoetwatervoorziening. Er zijn verschillende varianten in het verleden onderzocht waarbij de maximale capaciteit varieerde van 20 tot $60 \text{ m}^3/\text{s}$. In de Rijnland (2007) worden de kosten geraamd op M€ 750. Uiteindelijk is de maatregel niet rendabel bevonden (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1984).

Krimpenerwaard naar Schieland

Dit alternatief zal water uit de Lek transporteren naar Schieland via de Krimpenerwaard. Het idee is om via de inlaat bij het gemaal Krimpenerwaard water in te laten en te transporteren naar een nog aan te leggen persleiding onder de Hollandse IJssel bij gemaal Verdood. Indien er te weinig water beschikbaar is bij het gemaal Krimpenerwaard kan bij Vlist water ingelaten worden. Een deel van het water is beschikbaar voor Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard ($0.75 \text{ m}^3/\text{s}$) en een deel voor Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden ($0.75 \text{ m}^3/\text{s}$). De kosten kunnen worden uitgesplitst in drie delen, namelijk de persleiding (M€ 1.7), aanpassen watergangen Krimpenerwaard (M€ 2.3) en aanpassingen Vlist (M€ 0.2). De beheerkosten zijn nog onbekend. Het wordt gezien als een kansrijke en effectieve maatregel om de watertekorten in Schieland te voorkomen. De waterkwaliteit in de Lek is over het algemeen beter dan de waterkwaliteit in de Hollandse IJssel en IJsselmeer. Voorwaarde is wel dat het inlaatpunt bij gemaal Krimpenerwaard niet verzilt. Anders is er de mogelijkheid om water bij Vlist in te nemen. Daarnaast moet de Lek bij gemaal Krimpenerwaard wel op peil blijven.

7.2 Opstellen van alternatieven

Niet alle uit de literatuur gebaseerde maatregelen kunnen de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland in zijn geheel garanderen. Op basis van de resultaten van de referentieberekeningen zullen de meest kansrijke oplossingen en combinaties van oplossingen worden geanalyseerd.

Een capaciteitsvergroting van de KWA blijkt niet effectief, want uit de referentiesituatie is naar voren gekomen dat de huidige capaciteit niet bereikt wordt en er toch tekorten ontstaan. Er is namelijk te weinig water in de Lek en Amsterdam-Rijnkanaal aanwezig om via de KWA te transporteren. Een aanpassing van de waterverdeling over de IJssel en Neder-Rijn lijkt dan meer voor de hand te liggen. Hierdoor kan het debiet op de Lek en Amsterdam-Rijnkanaal worden vergroot. Deze ingreep zal dan ook worden geanalyseerd bij de oplossing beheerstrategie stuw Driel.

Het IJsselmeer dient voor enkele delen van Nederland als groot waterreservoir tijdens droogte. Het meer zou ook een rol kunnen spelen voor de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland. Het voordeel hiervan is dat geput kan worden uit een grotere voorraad zoet water dan dat mogelijk is bij de KWA. Via de Tolhuissluisroute kan het studiegebied van water worden voorzien uit het IJsselmeer. Gekeken zal worden of met het huidige beleid ten aanzien van peilbeheer op het IJsselmeer de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland gegarandeerd kan worden. Daarnaast zal onderzocht wat de effecten zijn van peilopzet op het IJsselmeer voor de zoetwatervoorziening. Peilopzet op het IJsselmeer sluit aan bij de visie van de Deltacommissie (2008) voor een robuustere zoetwatervoorziening voor Nederland.

Uit de referentiesituatie blijkt dat de huidige Brielse Meerleiding zeer effectief is om Delfland te voorzien in haar behoefte. Door een capaciteitsvergroting kan de toenemende vraag vanuit Delfland worden voorzien. Daarom zal een tweede Brielse Meerleiding worden onderzocht. Ook zal gekeken worden of een tweede leiding effectief is als deze ook bijdraagt aan de watervoorziening van Rijnland.

Er worden ook een aantal nieuw aan te leggen kanalen voorgesteld in de literatuur. Er is gekozen om het kanaal Maarssen-Bodegraven te analyseren, omdat het kanaal een betrouwbare aanvoer van zoet water heeft in vergelijking met de nieuw aan te leggen Krimpenerwaard- en Lopikerwaardkanaal. Om water via de Krimpenerwaard naar Schieland te transporteren blijkt uit de referentieberekeningen niet effectief, omdat de tekorten in Schieland minimaal zijn.

8 Resultaten per oplossing

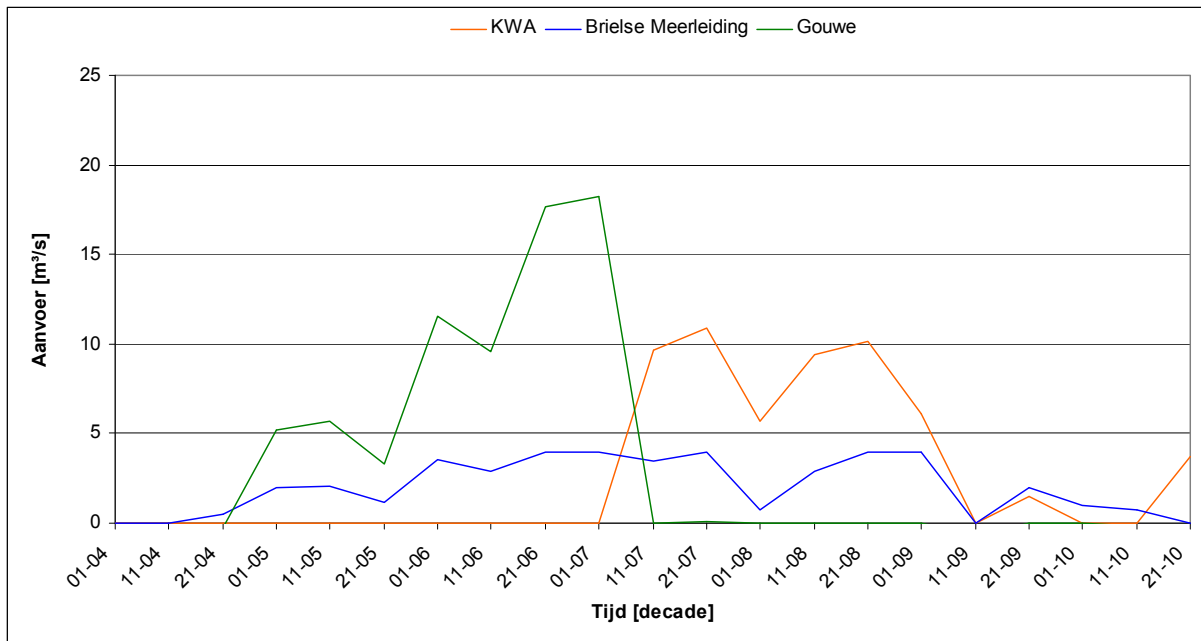
Voorgaande hoofdstukken hebben uitgewezen dat de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland onder druk komt te staan in de toekomst en dat verschillende maatregelen mogelijk zijn om de zoetwatervoorziening toch te garanderen. In dit hoofdstuk worden de voorgestelde oplossingen geanalyseerd met het NHI en het droogtejaar 1949. De volgende oplossingen worden gemodelleerd en geanalyseerd: tweede Brielse Meerleiding met en zonder doorvoer naar Rijnland, Tolhuissluisroute met en zonder peilopzet op het IJsselmeer, kanaal Maarssen-Bodegraven, en beheerstrategie stuw Driel. De analyses gebeuren aan de hand van de thema's afkomstig uit het beoordelingskader. Per oplossing volgt een conclusie over de betreffende oplossing. Uiteindelijk zal er een algemene conclusie over de oplossingen worden gegeven.

8.1 Beheerstrategie stuw Driel

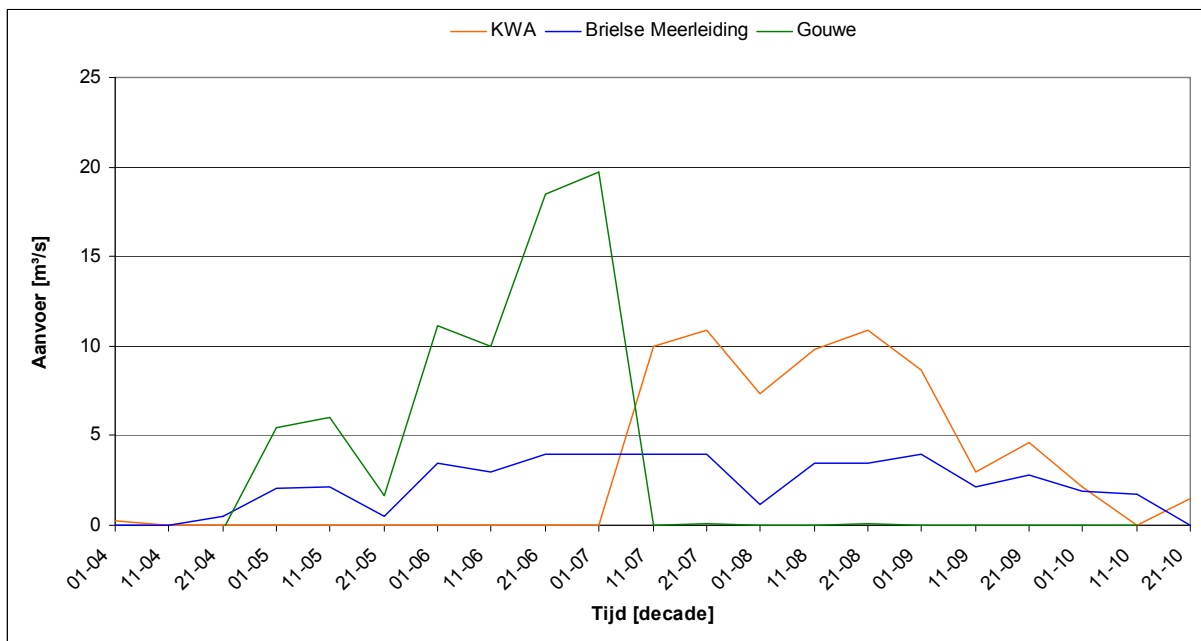
In de referentiesituatie is er op de Lek en Amsterdam-Rijnkanaal te weinig water aanwezig om de vraag in het studiegebied te voorzien via de KWA. Door het beleid van de stuw bij Driel in Neder-Rijn aan te passen kan ervoor gezorgd worden dat het debiet in de Lek en Amsterdam-Rijnkanaal wordt vergroot.

Watertoevoer

Het huidige beleid op het gebied van de waterverdeling is erop gefocust om zo lang mogelijk 285 m³/s naar de IJssel te sturen en 25 m³/s naar de Neder-Rijn. Als de afvoer van de Rijn bij Lobith lager is dan 1300 m³/s, wordt er gekort op de afvoer naar de IJssel. Er blijft wel 25 m³/s gereserveerd voor de Neder-Rijn (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009). Door deze verdeling te veranderen zal er meer water door de Lek stromen en is er meer water voorhanden om via de KWA te transporteren naar het studiegebied. Bij deze maatregel is ervoor gezorgd dat in 2050 ongeveer 60 m³/s meer door de Lek stroomt dan in de referentiesituatie voor 2050 en in 2100 is het verschil in debiet tussen de beheerstrategie stuw Driel en referentiesituatie ongeveer 40 m³/s. In figuren 8.1 en 8.2 zijn de debieten over de verschillende aanvoerroute voor 2050 en 2100 zichtbaar. In zowel 2050 als 2100 wordt de maximale capaciteit op de KWA niet bereikt. Echter, wordt er veel meer water getransporteerd over de KWA dan in de referentiesituatie. In 2050 komt bij deze oplossing 48 Mm³ via de KWA het studiegebied binnen en bij de referentiesituatie is dit 31 Mm³. In 2100 is de hoeveelheid water dat via de KWA het studiegebied in komt 40 Mm³ bij de referentiesituatie en 60 Mm³ bij de beheerstrategie stuw Driel. Doordat er meer water voorradig is op de Lek, wordt de KWA beter voorzien van water.



Figuur 8.1: Debiet in de aanvoerroutes de Gouwe, Tolhuissluis en Brielse Meerleiding tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050.



Figuur 8.2: Debiet in de aanvoerroutes de Gouwe, Tolhuissluis en Brielse Meerleiding tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2100.

De tekorten dalen bij deze oplossing ten opzichte van de referentiesituatie, in 2050 is de daling 21 Mm³ en in 2100 33 Mm³. Deze daling wordt alleen veroorzaakt doordat extra water beschikbaar is op de Lek en Amsterdam-Rijnkanaal en dit getransporteerd kan worden via de KWA. Dit is ook deels de reden dat de effecten vooral merkbaar zijn in Rijnland. De doorvoer via het gemaal Dolk van Rijnland naar Delfland neemt ook toe vergeleken met de referentiesituatie. Dit leidt ook tot een afname van het tekort in

Delfland. In 2050 zijn alleen voor doorspoeling de tekorten merkbaar, er zijn bijna geen tekorten voor peilbeheer en voor beregening is het tekort 1 Mm³ in het zomerhalfjaar. Voor 2100 komt hetzelfde beeld naar voren, de tekorten voor beregening bedragen 2 Mm³, peilbeheer heeft amper een tekort en de tekorten voor doorspoeling zijn het grootst.

Tabel 8.1: Watertekort voor de referentiesituatie en met de beheerstrategie stuw Driel voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [Mm³/zomerhalfjaar].

	Referentie situatie	Beheerstrategie stuw Driel
2050	29	8
2100	45	12

Profit

Doordat de tekorten in beregening minimaal zijn, daalt de landbouwschade. In 2050 is de landbouwschade M€ 37.34, dit is een daling van M€ 0.81 ten opzichte van de referentiesituatie. In 2100 is de daling van de landbouwschade M€ 1.29. Er zijn geen investeringskosten te verwachten, omdat alleen het beleid van de stuw bij Driel verandert. De beheer- en onderhoudskosten zijn gelijk aan de referentiesituatie, omdat dezelfde aanvoerroutes worden gebruikt. Hierbij is geen rekening gehouden met de operationele kosten van de stuw bij Driel en de extra kosten die voortkomen uit functies gerelateerd aan de IJssel. Hierbij kan gedacht worden aan schade voor de scheepvaart op de IJssel.

Planet

De zoutconcentratie neemt in 2050 sterk toe vergeleken met de referentiesituatie. Een lichte toename in de fractie systeemvreemd water is te zien. Voor 2100 zijn dezelfde trends waarneembaar, de zoutconcentratie stijgt zelfs boven de norm van 200 mg Cl/l. Dit kan dan tot ernstige problemen leiden voor de aquatische natuur. Dit wordt veroorzaakt door een hoge chlorideconcentratie van het Rijnwater. Extra Rijnwater inlaten zorgt dus ook voor een stijging van de chlorideconcentratie. Afgezien van de chlorideconcentratie is de samenstelling van het water redelijk. De effecten voor de terrestrische natuur zijn wel positief te noemen, want de LG3 is ongeveer gelijk aan de huidige situatie.

People

De aanvoerroutes zijn gelijk gebleven aan de referentiesituatie. Dit leidt niet tot een verandering in de waardering voor beleving ten opzichte van de referentiesituatie. De negatieve effecten van de KWA voor recreatie blijven, de scheepvaart ondervindt namelijk hinder als de KWA inwerking is.

Institutioneel

Doordat er meer water over de Lek stroomt, zal het debiet op de IJssel afnemen. Hierdoor kunnen er problemen ontstaan voor de scheepvaart op de IJssel. Het minimale streefdebiet op de IJssel is 285 m³/s. In de referentiesituatie voor het jaar 1949 is het debiet op de IJssel al lager dan dit streefdebiet, dit wordt alleen maar versterkt bij deze maatregel. Er is dus geen aansluiting bij ander beleid. Daarnaast heeft de oplossing wel negatieve gevolgen voor de zoetwatervoorziening van overige delen in Nederland. Er kunnen problemen ontstaan rondom de zoetwatervoorziening die afhankelijk is van de IJssel.

Omgang met onzekerheden

Tussen 2050 en 2100 neemt de aangevoerde hoeveelheid water toe met 17 Mm³. Hiervoor zijn geen aanpassingen in de infrastructuur noodzakelijk, de capaciteit op de KWA wordt niet bereikt. Alleen is deze oplossing afhankelijk van het inkomende debiet bij Lobith en verdeling van dit water over de Waal, IJssel en Neder-Rijn.

Conclusie

Door verandering van het beleid bij de stuw van Driel wordt het debiet op de Lek, Amsterdam-Rijnkanaal en KWA verhoogd in vergelijking met de referentiesituatie. Dit leidt tot een afname van watertekorten en een lichte daling van de landbouwschade. Daarnaast blijft de LG3 op het huidige niveau. Het huidige beleid in het studiegebied ten aanzien van de zoetwatervoorziening kan voortgezet worden. Alleen zou deze maatregel wel negatieve effecten kunnen hebben voor het debiet op de IJssel en de zoetwatervoorziening die hiervan afhankelijk is. Daarnaast leidt deze maatregel ook tot een zoutconcentratie op de boezem boven de norm van 200 mg Cl/l.

Tabel 8.2: Beoordelingskader voor beheerstrategie stuw Driel.

Hoofdgroep	Criteria		Indicator	Score		Eenheid
	Thema	Subthema		2050	2100	
Profit	Landbouw		Financiële schade tov referentie situatie	-0.81	-1.29	[M€/jaar]
	Overheid	Investering	Investeringskosten voor de aanleg van de maatregel	0		[M€]
		Beheer/onderhoud	Beheer en onderhoudskosten tov referentie situatie	+0.0		[M€/jaar]
Planet	Aquatische natuur	Verziltiging Water aanvoer	Zoutconcentratie in boezem	+47	+86	Cl concentratie [mg/l]
			Samenstelling gebiedsvreemd water	0		Nutrienten, zuurgraad en ionensamenstelling
			Fractie gebiedsvreemd water	0.74	0.76	[-]
	Terrestrische natuur		Verandering LG3 tov huidige situatie	-0.6	-1.4	[cm]
People	Beleving		Verandering van het landschap	0		Indicatoren
	Recreatie		Effect van aanpassingen infrastructuur	-		Aantal infrastructurele aanpassingen
Institutioneel	Inpassing in waterbeheer		Aansluiting bij andere beleid (KRW, Natura2000, WB21)	0		Kenmerken oplossingsrichting
			Gevolgen voor zoetwatervoorziening van overige delen in NL	-		Beschikbaarheid zoet water
			Aanpassing door de tijd 2050 naar 2100	+18		Toename aanvoerdebiet [Mm ³]
Omgang met onzekerheden	Flexibiliteit	Aanvoer	Aanpassing van infrastructuur en kunstwerken	+		Aantal infrastructureel aanpassingen
		Infrastructuur				

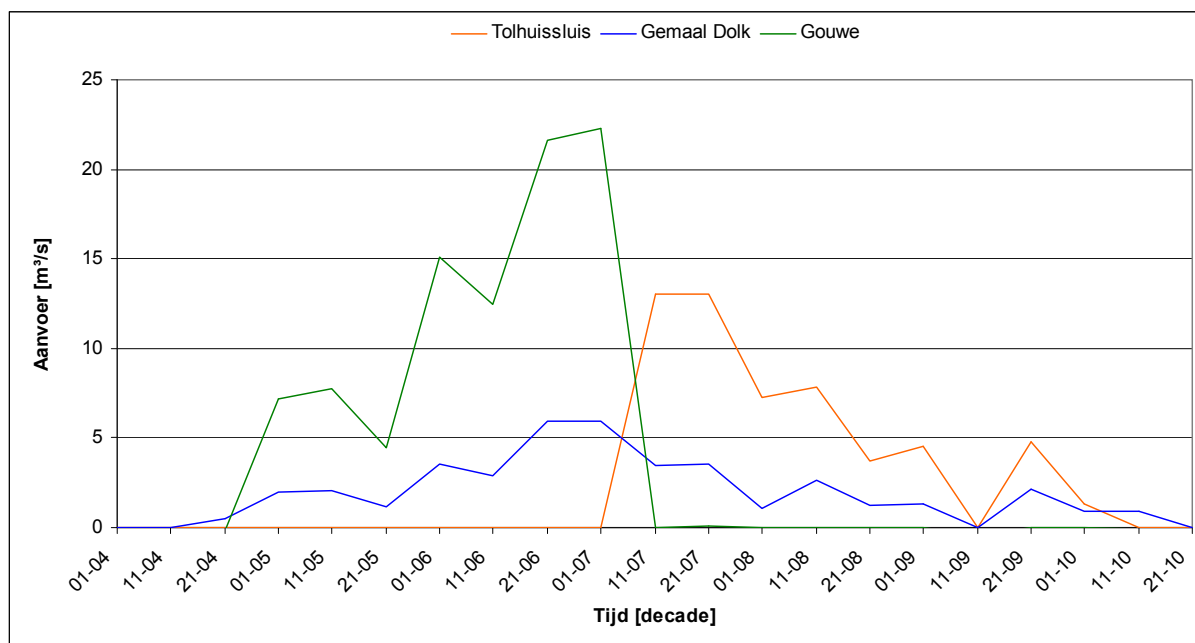
8.2 Tolhuissluisroute

De oplossing beheerstrategie stuw Driel kan de meeste tekorten oplossen door ervoor te zorgen dat meer water voorhanden is op het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek. De Tolhuissluisroute kan putten uit een grote voorraad water op het IJsselmeer. De huidige capaciteit van deze route bedraagt 13 m³/s, dit is ook aangehouden bij deze oplossing. Daarnaast is vastgehouden aan het huidige beleid op het IJsselmeer.

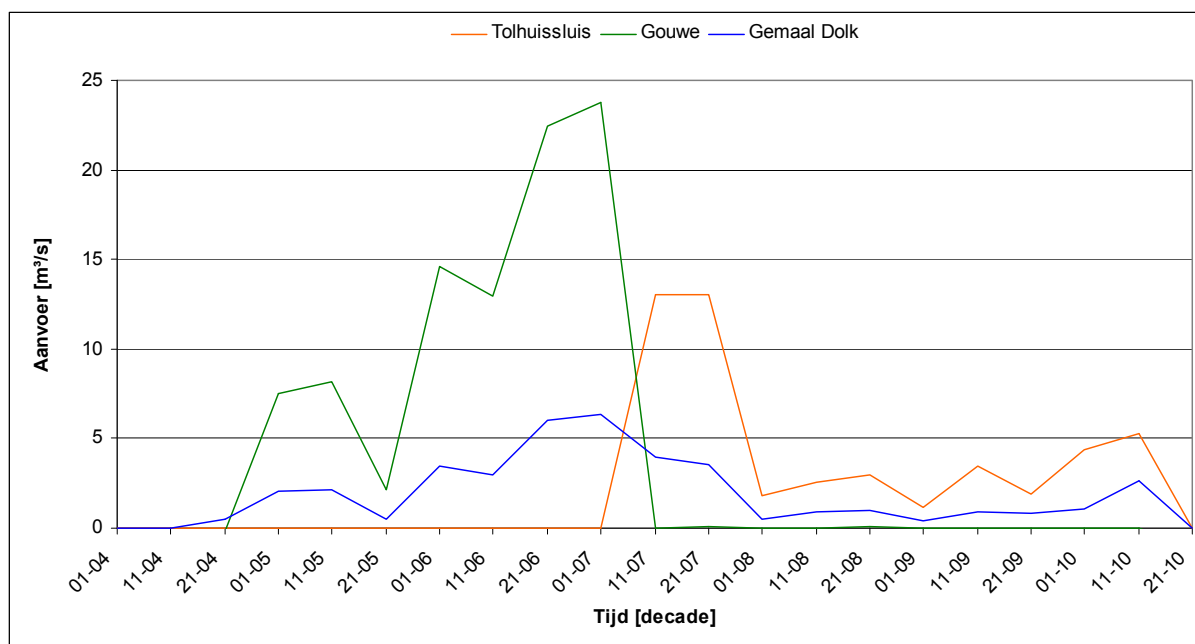
Watertoevoer

In deze situatie wordt water aangevoerd via de Tolhuissluisroute naar het studiegebied. De Brielse Meerleiding wordt in deze situatie niet gebruikt. Om Delfland toch te voorzien van water wordt via het gemaal Dolk het gebied voorzien van IJsselmeer water. In figuren 8.3 en 8.4 zijn de aanvoer debieten te zien voor de situaties in 2050 en 2100. In 2050 en 2100 wordt tijdens twee decades de capaciteit van de Tolhuissluisroute bereikt. Opvallend is dat de toevoer via de Tolhuissluisroute lager is in 2100 dan in 2050. De watervraag daarentegen is in 2100 hoger dan in 2050. Kortom, er is minder water in het IJsselmeer voor handen om de grote vraag in 2100 te voorzien. Dit komt door een grotere onttrekking, hogere verdamping en minder instroom vanuit de IJssel in 2100 dan in 2050. Daarnaast wordt vastgehouden aan de huidige beheerregels van het IJsselmeer. Het minimale peil op het IJsselmeer is -0.4 m NAP. Dit wordt in 2050 al enkele malen bereikt, maar in 2100 wordt dit nog vaker bereikt. Bij het bereiken van het minimale peil is onttrekking uit het IJsselmeer niet meer mogelijk. Opvallend is dat de

peiluitzakking in het IJsselmeer in deze situatie gelijk is aan de referentiesituatie. Blijkbaar heeft de extra onttrekking vanwege deze maatregel geen grote invloed op het peil van het IJsselmeer. Voor een langere periode wordt er in 2100 water via de Tolhuissluisroute aangevoerd dan in 2050, omdat het neerslagtekort in 2100 langer aanhoudt. De belemmerende factor om voldoende water te transporteren naar het studiegebied is de uitzakking van het peil. Zelfs als gebruik wordt gemaakt van de Brielse Meerleiding zou de watertoevoer via de Tolhuissluisroute niet voldoende zijn om in de volledige vraag te voorzien. Uit de berekeningen blijkt dat na verloop van tijd het debiet op de Tolhuissluisroute lager is dan het debiet op de KWA bij de referentiesituatie. In de referentiesituatie traden er al onacceptabele tekorten op en deze zullen ook blijven op treden bij de Tolhuissluisroute met het huidige beheer op het IJsselmeer. Dus met het huidige beleid op het IJsselmeer kan het studiegebied in de toekomst niet volledig worden voorzien in de watervraag via deze route, zelfs niet in combinatie met de Brielse Meerleiding.



Figuur 8.3: Debiet in de aanvoerroutes de Gouwe, gemaal Dolk en Tolhuissluis tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 [m³/s].



Figuur 8.4: Debiet in de aanvoerroutes de Gouwe, gemaal Dolk en Tolhuissluis tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2100 [m³/s].

Er is een duidelijke toename in het tekort zichtbaar vergeleken met de referentiesituatie, zie hiervoor tabel 8.3. Vooral de functie peilbeheer draagt bij aan dit tekort. Het aandeel van peilbeheer aan het totale tekort stijgt van 28% in de referentiesituatie voor 2100 naar 53% bij deze oplossing in 2100. Geografisch gezien vindt de grootste stijging tussen de referentiesituatie en de situatie voor de oplossing plaats in Delfland. De oorzaak is natuurlijk het stop zetten van de directe toevoer vanuit het Brielse Meer. Daarnaast valt het maximale aanvoerdebiet niet samen met het tijdstip van het maximale tekort. Dus is er niet echt sprake van een capaciteitsprobleem in de Tolhuissluisroute. De oorzaak voor dit tekort is het onvoldoende beschikbaar zijn van water in het IJsselmeer. Het laagste peil in het IJsselmeer valt namelijk samen met het grootste tekort in het studiegebied. Peilstijging op het IJsselmeer zou dit probleem kunnen doen oplossen.

Tabel 8.3: Watertekort met de referentiesituatie en met de Tolhuissluisroute voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [Mm³/zomerhalfjaar].

	Referentiesituatie	Tolhuissluisroute
2050	29	32
2100	45	80

Profit

De derving neemt voor 2050 licht af en blijft voor 2100 gelijk. De tekorten uit te tabel 8.3 zijn vooral merkbaar voor de functie peilbeheer. De tekorten in de berekening blijven constant. In 2050 neemt het tekort voor berekening zelfs licht af ten aanzien van de referentiesituatie in 2050. Om deze maatregel structureel te maken moeten er aanpassingen worden gedaan aan de infrastructuur. Het gaat hierbij om aanpassingen aan het gemaal Zeeburg, schutsluis Amsterdamse grachten, afsluitwerken in zijtakken van de Amstel en afsluitwerken in de Rijnlandse boezem. De totale kosten van deze aanpassingen bedragen M€ 52 en de beheer en onderhoudskosten zullen per jaar M€ 0.3 bedragen (Rijnland, 2007).

Planet

De zoutconcentratie op de boezem blijft voor de situatie in 2050 gelijk maar daalt in 2100 ten opzichte van de referentiesituatie. Maar de Amstel heeft te kampen met een hoge initiële chlorideconcentratie als gevolg van de continue lozing van zout kwelwater vanuit polder Groot-Mijdrecht (Van Heeringen en Icke, 2003). Het systeem zou eerst doorgespoeld moeten worden om aan de gewenste kwaliteit te voldoen. Dit heeft ook plaats gevonden in 2003 toen deze route voor het laatst in gebruik werd genomen. Toch voldoet de zoutconcentratie ruim aan de norm van 200 mg Cl/l. De samenstelling van het water uit het IJsselmeer is slechter dan het Rijnwater. De fractie systeemvreemd water neemt wel af, maar daar staat tegenover dat de tekorten voor doorspoelen toenemen in vergelijking met de referentiesituatie. Voor de terrestrische natuur wordt gekeken naar de LG3. Deze daalt ten opzichte van de referentiesituatie in 2100 met 9 cm. In totaal is dit een daling van 14 cm ten opzichte van het huidige niveau. Dit kan dan ook problemen opleveren voor de terrestrische natuur en is onacceptabel.

People

Er is geen verandering van het landschap merkbaar, omdat er gebruik gemaakt wordt van grotendeels bestaande infrastructuur. De maatregel levert wel enkele problemen op voor de recreatie. Zo keert de stroomrichting op Amstel en zijn veel sluizen en vaarten afgesloten. Dit levert hinder op voor de scheepvaart, recreatievaart en rondvaartboten in Amsterdam.

Institutioneel

Langs de route van de Tolhuissluisroute is de veiligheid door de verhoogde waterstanden niet volledig gegarandeerd. Het sluit dus niet aan bij het beleid ten aanzien van veiligheid. Wat betreft de toekomst van de zoetwatervoorziening van Nederland biedt deze oplossing perspectief, omdat het IJsselmeergebied als zoetwaterreservoir moet dienen en peilopzet tot de mogelijkheden behoort om dit te garanderen onder klimaatverandering (Deltacommissie, 2008). Maar bij voortzetting van het huidige beleid is er onvoldoende water beschikbaar in het IJsselmeer om alle gebruikers te voorzien.

Omgang met onzekerheden

De huidige flexibiliteit van dit systeem is laag, omdat er onvoldoende zoet water aanwezig is om de toekomstige vraag te voorzien. Dit is merkbaar in het afnemende aanvoerdebiet tussen 2050 en 2100. Peilopzet kan de oplossing zijn om de toenemende watervraag in de tijd te voorzien. Daarbij zijn geen infrastructurele aanpassingen nodig op de aanvoeroute, omdat er amper sprake is van een capaciteittekort.

Conclusie

Deze oplossing heeft enkele nadelen, zo is de samenstelling van het water slecht, heeft het negatieve gevolgen voor de recreatie, zijn de kosten redelijk hoog, is de daling van de LG3 groot en is de veiligheid langs de route niet volledig te garanderen. Echter, biedt deze optie ook perspectief, want het sluit aan bij het overige beleid en kan een betrouwbare bron van zoet water zijn. Dit laatste is het geval als het peil op het IJsselmeer wordt verhoogd. Daarom kan gekeken worden naar deze oplossingen in combinatie met peilverhoging op het IJsselmeer.

Tabel 8.4: Beoordelingskader voor de Tolhuissluisroute.

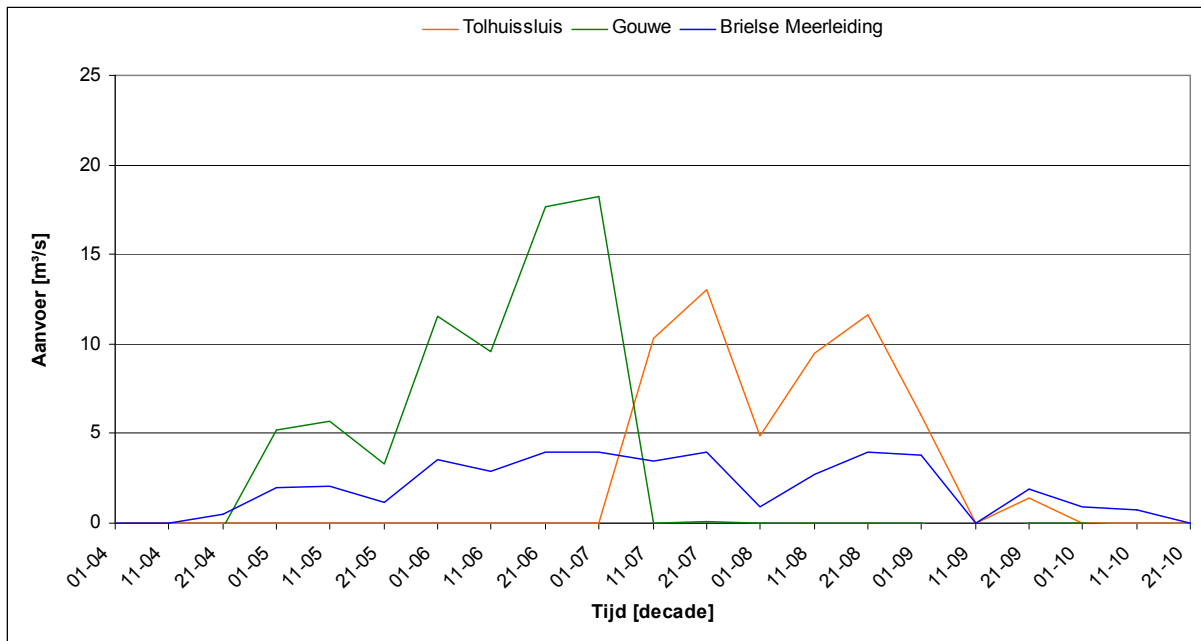
Hoofdgroep	Criteria		Indicator	Score		Eenheid
	Thema	Subthema		2050	2100	
Profit	Landbouw		Financiële schade tov referentie situatie	-0.70	+0.00	[M€/jaar]
	Overheid	Investering	Investeringskosten voor de aanleg van de maatregel	52		[M€]
		Beheer/ onderhoud	Beheer en onderhoudskosten tov referentie situatie	-0.2		[M€/jaar]
Planet	Aquatische natuur	Verzilting Water aanvoer	Zoutconcentratie in boezem	+0	-26	Cl concentratie [mg/l]
			Samenstelling gebiedsvreemd water	-		Nutrienten, zuurgraad en ionensamenstelling
			Fractie gebiedsvreemd water	0.68	0.68	[-]
	Terrestrische natuur		Verandering LG3 tov huidige situatie	-1.7	-12.0	[cm]
People	Beleving		Verandering van het landschap	0		Indicatoren
	Recreatie		Effect van aanpassingen infrastructuur	-		Aantal infrastructurele aanpassingen
Institutioneel	Inpassing in waterbeheer		Aansluiting bij andere beleid (KRW, Natura2000, WB21)	-		Kenmerken oplossingsrichting
			Gevolgen voor zoetwatervoorziening van overige delen in NL	-		Beschikbaarheid zoet water
			Aanpassing door de tijd 2050 naar 2100	-5		Toename aanvoerdebiet [Mm3]
Omgang met onzekerheden	Flexibiliteit	Aanvoer	Aanpassing van infrastructuur en kunstwerken	-		
		Infrastructuur		+		Aantal infrastructureel aanpassingen

8.3 Tolhuissluisroute in combinatie met peilopzet IJsselmeer

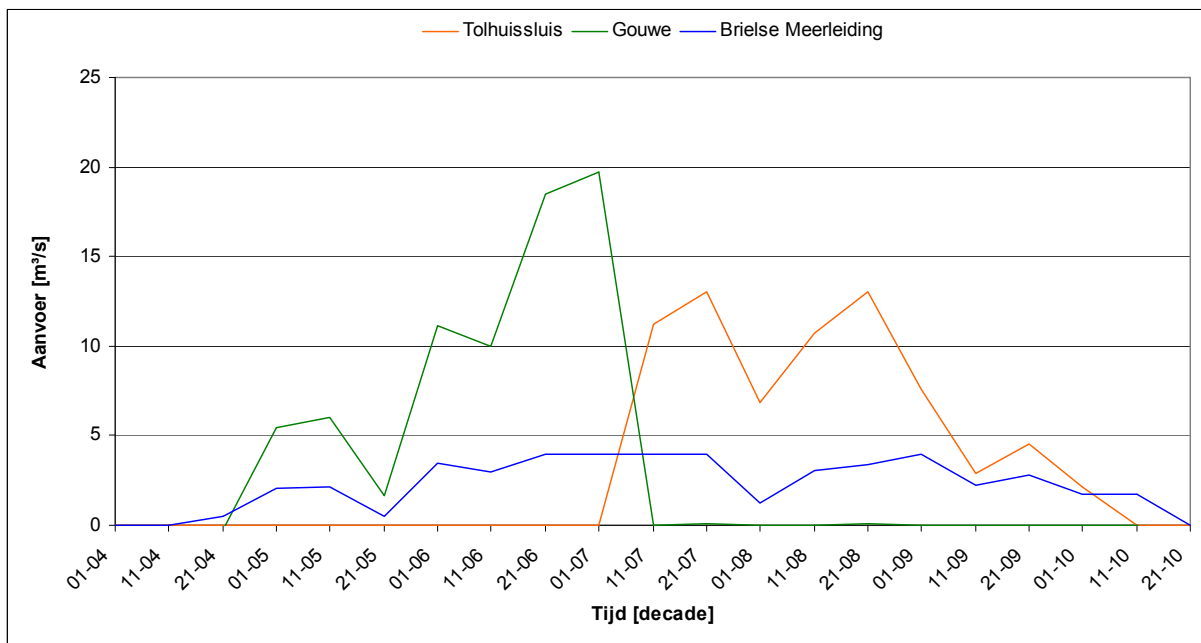
De Tolhuissluisroute biedt potentie bij peilopzet in het IJsselmeer als betrouwbare aanvoer van water. In de berekeningen met enkel de Tolhuissluisroute en de referentieberekeningen bereikt het waterpeil in het IJsselmeer vaker het minimum peil in de toekomst. Met peilopzet kan dit voorkomen worden en zou er voldoende water aanwezig moeten zijn om de verschillende regio's in de watervraag te voorzien.

Watertoevoer

Bij verzilting van de inlaat bij Gouda wordt water aangevoerd via de Tolhuissluisroute en de Brielse Meerleiding. Uit voorgaande berekeningen blijkt dat de watervoorraad op het IJsselmeer de beperkende factor was om het studiegebied te voorzien van water via de Tolhuissluisroute. Daarom is het peil van het IJsselmeer met 1.5 m opgezet. Deze verhoging is gekozen omdat het aansluit bij het advies van de Deltacommissie (2008). In figuren 8.5 en 8.6 zijn de debieten voor de verschillende aanvoerroutes zichtbaar. In 2050 worden de capaciteiten van de Tolhuissluisroute één decade bereikt en van de Brielse Meerleiding vier decaden. De capaciteiten van de Tolhuissluisroute en Brielse Meerleiding worden in 2100 respectievelijk twee en vijf decaden bereikt. Door een peilverhoging op het IJsselmeer is er voldoende water aanwezig om in de vraag te voorzien. De maximale uitzakking van het peil gedurende het zomerhalfjaar op het IJsselmeer is 0.47 m in 2050 en 0.80 m in 2100. Terwijl in de referentiesituatie de peiluitzakking rond de 0.20 m ligt voor 2050 en 2100.



Figuur 8.5: Debiet in de aanvoerroutes de Gouwe, Tolhuissluis en Brielse Meerleiding tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 [m³/s].



Figuur 8.6: Debiet in de aanvoerroutes de Gouwe, Tolhuissluis en Brielse Meerleiding tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2100 [m³/s].

In tabel 8.5 staan de tekorten voor de referentiesituatie en deze oplossing. De tekorten zijn minimaal bij deze oplossing vergeleken met de referentiesituatie. In 2050 komt het tekort hoofdzakelijk voor in Rijnland. Dit tekort valt samen met het bereiken van de capaciteit op de Tolhuissluisroute. In 2100 is dit ook de oorzaak van de tekorten in Rijnland. Voor de overige districten zijn de tekorten in 2100 minimaal. Ondanks dat de capaciteit van de Brielse Meerleiding enkele malen wordt bereikt in 2100 blijven de

tekorten minimaal in Delfland. Het tekort aan toevoer via de Brielse Meerleiding wordt opgevangen door water via het gemaal Dolk te transporteren naar Delfland. In de referentiesituatie voor 2100 wordt via dit gemaal 3.8 Mm³ water getransporteerd tegen 6.5 Mm³ bij deze oplossing. Er is meer water voorradig in Rijnland dus kan er ook meer water doorgevoerd worden naar Delfland bij deze oplossing.

Tabel 8.5: Watertekort met de referentiesituatie en met de Tolhuissluisroute en peilopzet in het IJsselmeer voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [Mm³/zomerhalfjaar].

	Referentie situatie	Tolhuissluisroute en Brielse Meerleiding
2050	29	5
2100	45	8

Profit

De derving in de landbouwsector zal bij deze oplossing dalen in 2050 met M€ 0.98 en in 2100 met M€ 1.55 voor het jaar 1949 ten opzichte van de referentiesituatie. Dit bedrag zou gemiddeld jaarlijks bespaard worden in de landbouwsector bij aanleg van deze oplossingen. Ondanks de grote daling in de watertekorten, daalt de derving in de landbouw minimaal. Oorzaak hiervan is dat de wateraanvoer richting de wortels voornamelijk het knelpunt is (RIZA, 2003). Ook als de watervraag voor berekening wordt voorzien blijft dit een beperkende factor. Tegenover de afname van de derving staat wel dat de Tolhuissluisroute moet worden aangepast om deze aanvoerroute structureel te maken. De totale kosten van deze aanpassingen bedragen M€ 52 en de beheer en onderhoudskosten zullen per jaar M€ 0.3 bedragen (Rijnland, 2007). Aan de Brielse Meerleiding zullen geen aanpassingen worden gedaan. De extra kosten voor het ophogen van het peil van het IJsselmeer zijn niet meegenomen.

Planet

In 2050 blijft de zoutconcentratie gelijk aan de referentiesituatie. Door de extra toevoer van water vergeleken met de referentiesituatie daalt de maximale zoutconcentratie op de boezem wel in 2100. Vanwege dezelfde oorzaak stijgt de fractie systeemvreemd water. Dit water is afkomstig uit het IJsselmeer en het Brielse Meer. Het water uit het IJsselmeer heeft een slechtere samenstelling dan het water uit het Brielse Meer. Via het gemaal Dolk komt er ook IJsselmeer water in Delfland terecht. Dit heeft negatieve effecten voor de aquatische natuur in het studiegebied. De LG3 daalt in 2050 en 2100 ten opzichte van de huidige situatie minimaal. Dit is dus een verbetering van de terrestrische natuur vergeleken met de referentiesituatie in 2050 en 2100.

People

De verandering van het landschap is minimaal, er vinden hoogstens enkele aanpassingen plaats aan het traject van de Tolhuissluisroute. Voor recreatie is de in gebruik name van de Tolhuissluisroute negatief, want op enkele plekken wordt de pleziervaart gehinderd.

Institutioneel

Door de verhoogde waterstanden langs de route van de Tolhuissluis, sluit deze maatregel niet aan bij ander beleid. Zeker nu de route enkele malen aan haar capaciteit zit, zijn de waterstanden extra hoog en kan de veiligheid niet volledig worden gewaarborgd langs de route. Bij deze oplossing wordt het peil van het IJsselmeer met 1.5 m verhoogd, hierdoor ontstaat er een groot zoetwaterreservoir voor Nederland. Er is bij deze peilverhoging voldoende water aanwezig om de gebruikers die afhankelijk zijn van het IJsselmeer te voorzien. De gevolgen voor de zoetwatervoorziening voor de overige delen in Nederland zijn dus minimaal.

Omgang met onzekerheden

De aanvoer van water richting het studiegebied neemt toe in 2100 vergeleken met 2050 met 19 Mm³, er is dus voldoende water voor handen om in de toenemende vraag te voorzien. Dit komt vanwege een grotere zoetwatervoorraad op het IJsselmeer ten opzichte van de referentiesituatie. Daarnaast is capaciteitsvergroting ook niet noodzakelijk op de aanvoerroutes. De flexibiliteit van het systeem is dus groot.

Conclusie

Door de peilopzet op het IJsselmeer is voldoende water beschikbaar om de vraag in Rijnland, Delfland en Schieland te voorzien van water via de Tolhuissluisroute en Brielse Meerleiding. De tekorten nemen dan ook grotendeels af. Dit heeft grote voordelen voor de terrestrische natuur, de LG3 blijft bijna op het huidige niveau. De schade in de landbouw neemt maar minimaal af, terwijl de investeringskosten groot zijn. Vanwege het nationale beleid is peilopzet in het IJsselmeer waarschijnlijk en moet het IJsselmeer gaan dienen als een groot zoetwaterreservoir. Deze oplossing sluit dan aan bij het nationale beleid op gebied van de zoetwatervoorziening. Alleen zitten aan de Tolhuissluisroute enkele nadelen, zoals geen volledige garantie van de veiligheid langs de Tolhuissluisroute en de slechte samenstelling van het IJsselmeerwater. Hoewel de capaciteit van de Tolhuissluisroute twee decades wordt bereikt in 2100, ligt een capaciteitsvergroting om de tekorten verder af te laten nemen niet voor de hand. Voor een dergelijke ingreep zijn structurele aanpassingen van dijken en kades nodig om de veiligheid langs de route te garanderen. Een dergelijke aanpassing zou economisch niet haalbaar zijn.

Tabel 8.6: Beoordelingskader voor de combinatie van Tolhuissluisroute en peilopzet IJsselmeer.

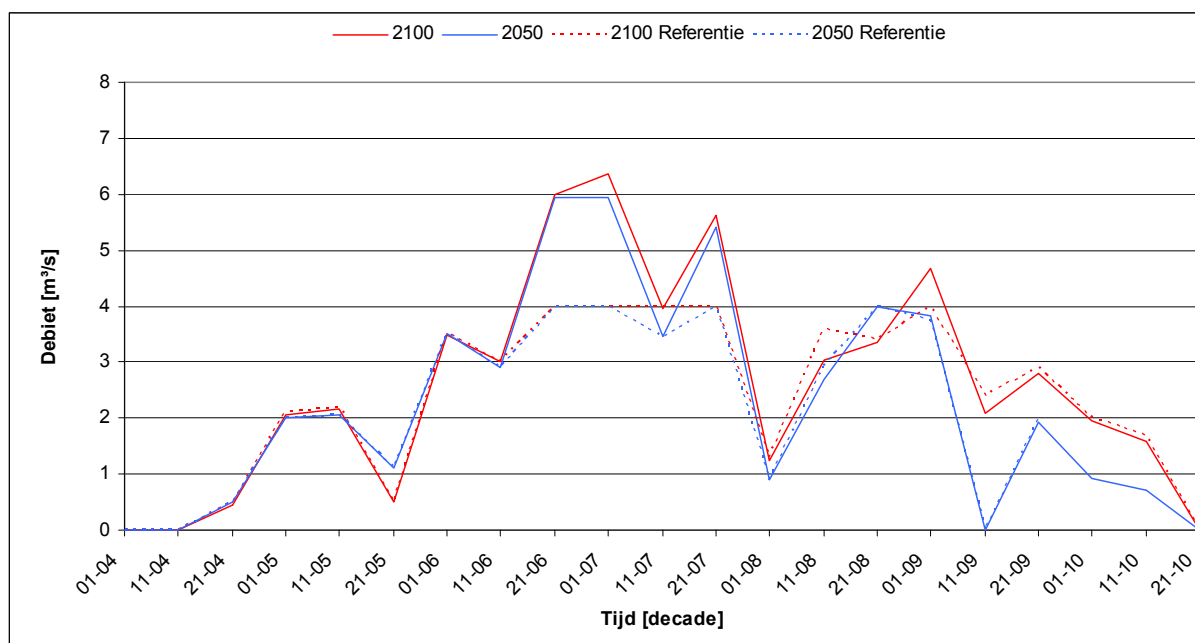
Hoofdgroep	Criteria		Indicator	Score		Eenheid
	Thema	Subthema		2050	2100	
Profit	Landbouw		Financiële schade tov referentie situatie	-0.98	-1.55	[M€/jaar]
	Overheid	Investering	Investeringskosten voor de aanleg van de maatregel	52		[M€]
		Beheer/ onderhoud	Beheer en onderhoudskosten tov referentie situatie	-0.2		[M€/jaar]
Planet	Aquatische natuur	Verziltting Water aanvoer	Zoutconcentratie in boezem	+0	-7	Cl concentratie [mg/l]
			Samenstelling gebiedsvreemd water	-		Nutrienten, zuurgraad en ionensamenstelling
	Fractie gebiedsvreemd water		0.74	0.76	[-]	
	Terrestrische natuur		Verandering LG3 tov huidige situatie	-0.6	-1.4	[cm]
People	Beleving		Verandering van het landschap	0		Indicatoren
	Recreatie		Effect van aanpassingen infrastructuur	-		Aantal infrastructurele aanpassingen
Institutioneel	Inpassing in waterbeheer		Aansluiting bij andere beleid (KRW, Natura2000, WB21)	-		Kenmerken oplossingsrichting
			Gevolgen voor zoetwatervoorziening van overige delen in NL	+		Beschikbaarheid zoet water
Omgang met onzekerheden	Flexibiliteit	Aanvoer	Aanpassing door de tijd 2050 naar 2100	+19		Toename aanvoerdebiet [Mm3]
		Infrastructuur	Aanpassing van infrastructuur en kunstwerken	+		Aantal infrastructureel aanpassingen

8.4 Tweede Brielse Meerleiding

De eerste Brielse Meerleiding was gericht op het voorzien van de watervraag in Delfland. Een tweede leiding zal de toenemende watervraag vanuit Delfland moeten voorzien. Hierbij wordt er geen water doorgevoerd naar Rijnland via het gemaal Dolk. De capaciteit van de huidige leiding wordt door de aanleg van de tweede leiding verdubbeld naar $8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Watertoevoer

In figuur 8.7 is de toevoer van de Brielse Meerleiding voor de referentiesituatie en oplossing zichtbaar. Uit de referentie case blijkt dat de capaciteit van de Briels Meerleiding bereikt wordt in zowel 2050 als 2100. Bij capaciteit vergroting van de leiding zal het maximale debiet in 2050 $5.9 \text{ m}^3/\text{s}$ zijn en in 2100 $6.4 \text{ m}^3/\text{s}$. De capaciteit van $8 \text{ m}^3/\text{s}$ zal in alle omstandigheden niet worden bereikt. Door de capaciteitvergroting van de leiding stijgt het debiet tussen de referentiesituatie en deze oplossing sterk.



Figuur 8.7: Debiet in de aanvoerroute Brielse Meerleiding bij de huidige en extra capaciteit tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [m^3/s].

In tabel 8.7 zijn de tekorten voor deze oplossing en de referentiesituatie zichtbaar. Doordat alleen Delfland wordt voorzien van extra water ten opzichte van de referentiesituatie nemen hier de tekorten af. De afname van het tekort in 2050 is 1.1 Mm^3 in het zomerhalfjaar ten opzichte van de referentiesituatie in 2050, dit is een afname van 93% van het tekort in Delfland. In 2100 is de afname 1.4 Mm^3 ten opzichte van de referentiesituatie in 2100, wat overeen komt met een afname van het tekort met 47%. Voor het totale onderzoeksgebied is dit een afname van het watertekort met 3% ten opzichte van het tekort in de referentiesituatie in 2100. Voornamelijk de watertekorten voor doorspoeling nemen af in Delfland. Het tekort dat zich alsnog voordoet in 2100 wordt veroorzaakt doordat het peil in het Brielse Meer te ver was gezakt. Er zit namelijk in het model een randvoorwaarde op de maximale uitzakking van het peil in het Brielse Meer vanwege de recreatieve functie van het meer. Hierdoor kan de vraag in Delfland niet worden voorzien vanuit het Brielse Meer bij overschrijding van de maximale uitzakking.

Tabel 8.7: Watertekort met de referentiesituatie en met de tweede Brielse Meerleiding voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [Mm³/zomerhalfjaar].

	Referentiesituatie		Tweede Brielse Meerleiding	
	Delfland	Totaal	Delfland	Totaal
2050	1.15	29.14	0.07	28.07
2100	3.04	45.06	1.61	43.65

Profit

De schade aan de landbouw neemt maar minimaal af, zelfs in Delfland. De afname van de landbouwschade in 2100 is namelijk € 8000. De kosten van een tweede Briels Meerleiding worden geschat op M€ 48. Dit is gebaseerd op de aanlegkosten van de eerste Brielse Meerleiding in 1988 en een inflatie van 3%. De kosten voor beheer en onderhoud zullen ongeveer gelijk blijven aan de referentiesituatie, alleen de extra kosten voor de tweede Brielse Meerleiding zullen er bij komen. Echter, vergeleken met de overige kosten is dit minimaal.

Planet

De samenstelling van het gebiedsvreemde water is goed. Het water uit de Brielse Meer voldoet namelijk aan de KWR-normen (Delfland, 2010). Alleen het kopergehalte is boven de norm (Delfland, 2008). Ondanks de toename van de fractie systeemvreemd water, heeft dit geen negatieve gevolgen voor het aquatische milieu. Wat betreft de terrestrische natuur zijn er geen verschillen te merken met de referentiesituatie, want de LG3 blijft constant bij deze oplossing in vergelijking met de referentiesituatie.

People

Doordat alleen een tweede leiding aangelegd wordt naast de bestaande Brielse Meerleiding, is geen verandering van het landschap zichtbaar en is de aanpassing van de infrastructuur minimaal. De aanleg heeft geen effecten voor de beleving. Negatieve effecten voor de recreatie in het Brielse Meer worden voorkomen door een maximale peiluitzakking. Maar het gebruik van de KWA als toevoer route levert wel hinder op voor de recreatie.

Institutioneel

Doordat de Haringvlietsluizen op een kier komen te staan en het Volkerak-Zoommeer zout wordt gemaakt, staat de toevoer van water uit het Brielse Meer onder druk (Stuurgroep Zuidwestelijke Delta, 2009). Maar het meer is van groot belang voor de industrie in de Rotterdamse haven en Delfland. Vanwege deze belangen is het onwaarschijnlijk dat het meer haar rol als zoetwatervoorraad niet kan vervullen in de toekomst. Echter, het zou wel tegenstrijdig zijn om de vraag van water uit de Brielse Meer te vergroten als het aanbod onder druk staat. De oplossing sluit dus niet aan bij het beleid in de Zuidwestelijke Delta. Daarnaast zou extra zoet water nodig zijn om het meer en het inlaatpunt hiervan niet te laten verzilten. Dit zou conflicteren met de zoetwatervoorziening van andere delen van het land.

Omgang met onzekerheden

De flexibiliteit van de oplossing is goed, omdat een capaciteit verdubbeling al voldoen is om de vraag in 2050 en 2100 vanuit Delfland te voorzien. De infrastructuur moet dus eenmalig worden aangepast.

Conclusie

In tabel 8.2 is voor deze oplossing het complete beoordelingskader zichtbaar. Geconcludeerd kan worden dat de maatregel alleen effectief is voor het Hoogheemraadschap Delfland, want de tekorten zullen hier af nemen. Echter, daalt de economische schade minimaal en zijn de kosten redelijk groot. Ook komt de strategische rol van het Brielse Meer als zoetwatervoorraad onder druk te staan vanwege het kierbesluit en het zout maken van het Volkerak-Zoommeer. Vanwege het grote belang van het Brielse Meer als zoetwatervoorraad is het ondenkbaar dat het meer deze rol niet kan vervullen in de toekomst. Toch is het tegenstrijdig om de vraag van water uit het Brielse Meer te vergroten wetende dat de druk op het meer toeneemt.

Tabel 8.8: Beoordelingskader voor de tweede Brielse Meerleiding.

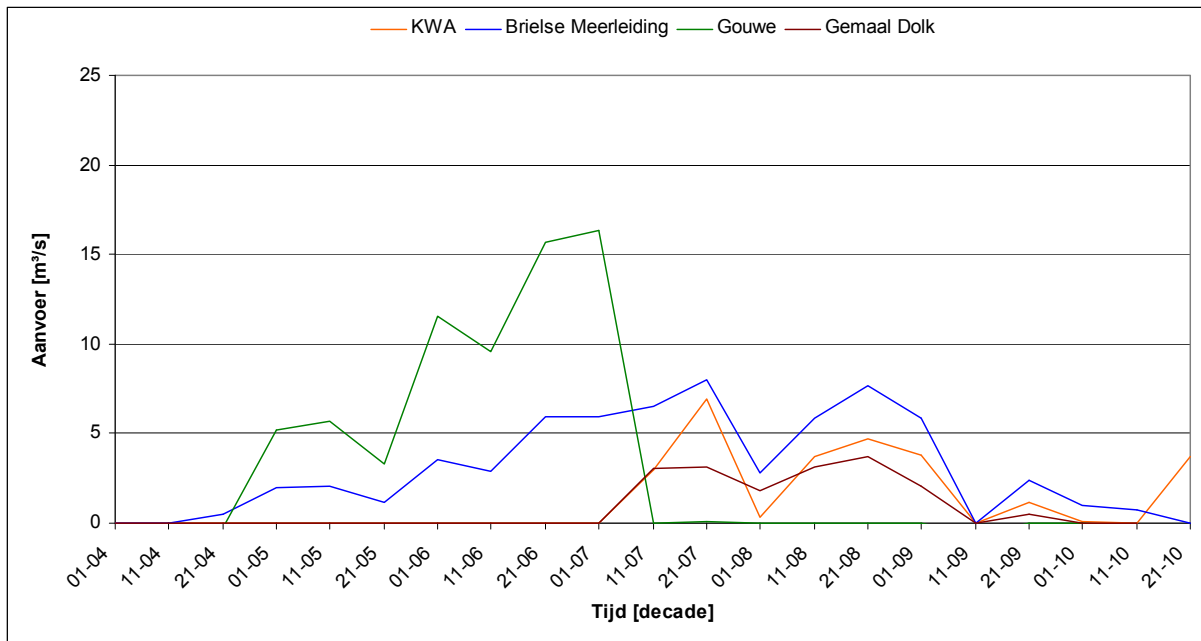
Hoofdgroep	Criteria		Indicator	Score		Eenheid
	Thema	Subthema		2050	2100	
Profit	Landbouw		Financiële schade tov referentie situatie	+0.00	-0.01	[M€/jaar]
	Overheid	Investering	Investeringskosten voor de aanleg van de maatregel	48		[M€]
		Beheer/onderhoud	Beheer en onderhoudskosten tov referentie situatie	+0		[M€/jaar]
Planet	Aquatische natuur	Verziltiging Water aanvoer	Zoutconcentratie in boezem	+0	+0	Cl concentratie [mg/l]
			Samenstelling gebiedsvreemd water	+		Nutrienten, zuurgraad en ionensamenstelling
			Fractie gebiedsvreemd water	0.74	0.76	[-]
	Terrestrische natuur		Verandering LG3 tov huidige situatie	-0.89	-3.2	[cm]
People	Beleving		Verandering van het landschap	0		Indicatoren
	Recreatie		Effect van aanpassingen infrastructuur	-		Aantal infrastructurele aanpassingen
Institutioneel	Inpassing in waterbeheer		Aansluiting bij andere beleid (KRW, Natura2000, WB21)	-		Kenmerken oplossingsrichting
			Gevolgen voor zoetwatervoorziening van overige delen in NL	-		Beschikbaarheid zoet water
			Aanpassing van infrastructuur en kunstwerken	+		Toename aanvoerdebiet [Mm3]
Omgang met onzekerheden	Flexibiliteit	Aanvoer	Aanpassing door de tijd 2050 naar 2100	+15		
		Infrastructuur		+		Aantal infrastructurele aanpassingen

8.5 Tweede Brielse Meerleiding en doorvoer naar Rijnland

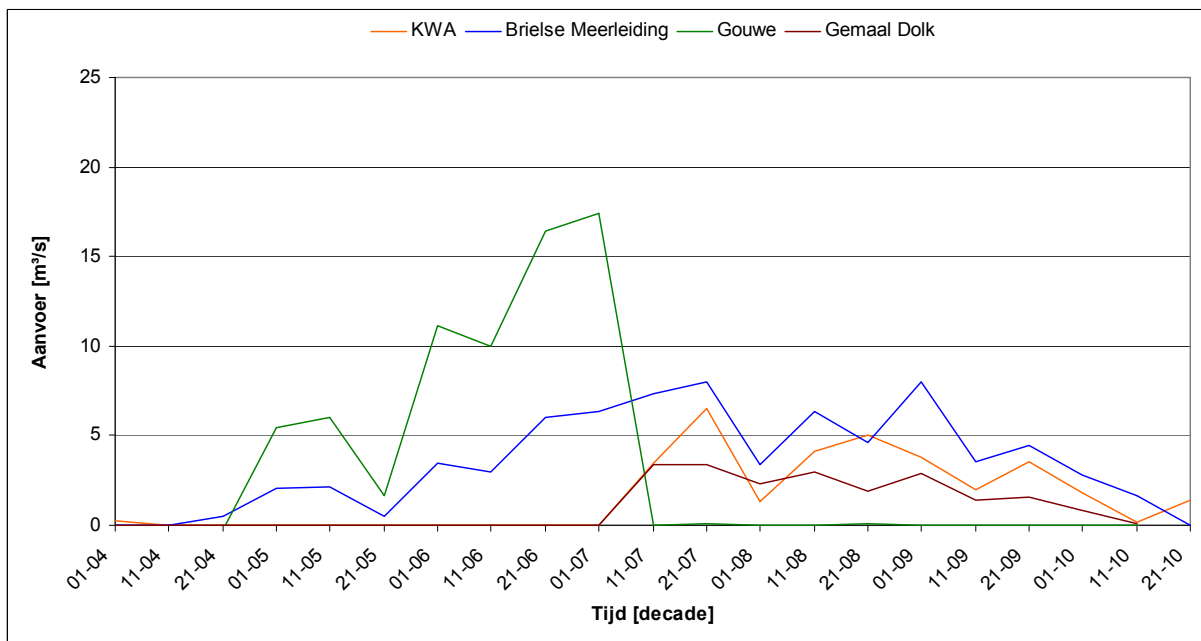
Met de tweede Brielse Meerleiding worden watertekorten in Delfland voorkomen. Daarnaast blijkt dat de leiding nog niet in aan haar capaciteit zit. Rijnland ondervindt tekorten vanwege een laag debiet op de KWA. De aanleg van een tweede leiding zou dus ook kunnen bijdragen aan de watervoorziening van Rijnland. In dat geval zou via het gemaal Dolk water worden getransporteerd van Delfland naar Rijnland.

Watertoevoer

Uit de voorgaande berekening met de tweede Brielse Meerleiding blijkt dat een capaciteit verdubbeling ruim voldoende was om de tekorten in Delfland tegen te gaan. De capaciteit van 8 m³/s wordt in een dergelijk geval niet bereikt. Daarom wordt bij deze berekeningen rekening gehouden met een capaciteit van 8 m³/s. Vanwege de grote recreatieve functie van het Brielse Meer, is er een grens aan peiluitzakking. Via het gemaal Dolk kan maximaal 5 m³/s van Delfland naar Rijnland worden getransporteerd. In figuren 8.8 en 8.9 zijn de debieten van de verschillende aanvoerroutes in de tijd zichtbaar. Doordat er in deze situatie water wordt vervoerd naar Rijnland, bereikt de tweede Brielse Meerleiding haar capaciteit twee decades in 2100. In 2050 wordt de capaciteit maar één decade bereikt. Via de KWA en het gemaal Dolk wordt Rijnland voorzien van 7 Mm³ meer water in 2050 en 2100 dan in de referentiesituatie .



Figuur 8.8: Debiet in de aanvoerroutes de Gouwe, KWA, Brielse Meerleiding en gemaal Dolk tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050.



Figuur 8.9: Debiet in de aanvoerroutes de Gouwe, KWA, Brielse Meerleiding en gemaal Dolk tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2100.

In tabel 8.9 staan de tekorten voor de verschillende situaties. Doordat Rijnland wordt voorzien van extra water via het gemaal Dolk vergeleken met de referentiesituatie, nemen de tekorten hier zowel in 2050 en 2100 af. In 2050 nemen de tekorten in Delfland ook af met 64% vergeleken met de referentiesituatie. Daarentegen blijven deze tekorten in 2100 voor Delfland constant bij deze oplossing. Terwijl de aanleg van een tweede leiding zonder doorvoer naar Rijnland de tekorten in Delfland minimaal worden, zijn de

tekorten in 2100 nu gelijk aan de referentiesituatie. Oorzaak hiervan is de extra vraag vanuit Rijnland en de verdeling van water vindt plaats aan de hand van watervragen en prioriteiten. Hierdoor wordt de vraag vanuit Delfland maar voor een gedeelte voorzien en dit gedeelte is gelijk aan de referentiesituatie. In 2100 zijn de tekorten tijdens twee decaden hoog. Dit wordt veroorzaakt doordat tijdens een decade de capaciteit van de Brielse Meerleiding wordt bereikt. De andere oorzaak is dat de maximale uitzakking van het Brielse Meer wordt overschreden, waardoor het studiegebied niet volledig kan worden voorzien van water.

Tabel 8.9: Watertekort met de referentiesituatie en met de tweede Brielse Meerleiding en doorvoer naar Rijnland voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [Mm³/zomerhalfjaar].

	Referentie situatie	2 ^e Brielse Meerleiding met doorvoer
2050	29	19
2100	45	32

Profit

Het watertekort voor berekening daalt in 2050 en 2100, hierdoor daalt de schade met M€ 0.4 voor 2050 en 2100 ten opzichte van de referentiesituatie in 2050 en 2100. De aanleg van een tweede Brielse Meerleiding zal M€ 48 gaan kosten. De kosten voor beheer en onderhoud zullen gelijk blijven aan de referentiesituatie.

Planet

De samenstelling van het water uit het Brielse Meer is goed, het voldoet namelijk aan de KWR-normen. Bij deze oplossing zal meer van dit water het studiegebied binnen komen, dus positieve effecten voor de aquatische natuur zijn te verwachten. De fractie systeemvreemd water en de zoutconcentratie in het oppervlakte water nemen niet of nauwelijks toe. In 2050 en 2100 daalt de LG3 met respectievelijk 1 cm en 2 cm ten opzichte van de huidige situatie. Dit verschil is minimaal en er zijn dus geen grote negatieve effecten te verwachten voor de terrestrische natuur.

People

De ingrepen in het landschap zijn minimaal, er wordt namelijk alleen een extra pijpleiding aangelegd naast de bestaand Brielse Meerleiding. Voor recreatie zijn de effecten wel negatief. Naast de negatieve gevolgen van het in gebruik nemen van de KWA, ondervindt de recreatie ook hinder in het Brielse Meer. Één decade is de uitzakking in het meer te groot, het waterpeil bevindt zich dan onder het streefpeil.

Institutioneel

Het Brielse Meer staat onder druk door ontwikkelingen aan de aanbodzijde en de blijvende watervraag van de industrie en Delfland. Extra onttrekking uit het Brielse Meer zou er toe leiden dat de druk verder toeneemt. Dit is dus tegenstrijdig met het overige beleid. Door deze toenemende druk aan de aanbodzijde zou extra zoet water nodig zijn om het meer en inlaatpunt niet te laten verzilten in tijden van waterschaarste. Dit is dus ook tegenstrijdig met de zoetwatervoorziening van overige delen in Nederland.

Omgang met onzekerheden

De aanvoerhoeveelheid neemt van 2050 naar 2100 toe met 16 Mm³. De KWA zorgt relatief voor de grootste bijdrage aan deze stijging vergeleken met de overige aanvoerroutes. De aanvoerhoeveelheid van de Brielse Meerleiding stijgt tussen 2050 en 2100 minder sterk. Dit komt doordat de capaciteit vaker wordt bereikt en uitzakking van het Brielse Meer. Bij een verdere toename van de vraag zouden deze problemen vaker optreden, vandaar dat de flexibiliteit gemiddeld is.

Conclusie

In 2050 zullen de tekorten voor zowel Delfland als Rijnland afnemen. In 2100 zullen de tekorten in Delfland constant blijven vergeleken met de referentiesituatie in 2100, omdat een deel van de toevoer uit het Brielse Meer naar Rijnland stroomt. Maar dit zorgt er wel voor dat de tekorten in Rijnland afnemen vergeleken met de referentiesituatie in 2100. De schade in de landbouw daalt ten opzichte van de referentiesituatie wel. Ook is de afname groter dan bij de oplossing tweede Brielse Meerleiding zonder doorvoer naar Rijnland. Een nadeel van een capaciteitvergroting van de Brielse Meerleiding is dat dit extra druk zet op de zoetwatervoorraad in het Brielse Meer.

Tabel 8.10: Beoordelingskader voor tweede Brielse Meerleiding en doorvoer naar Rijnland.

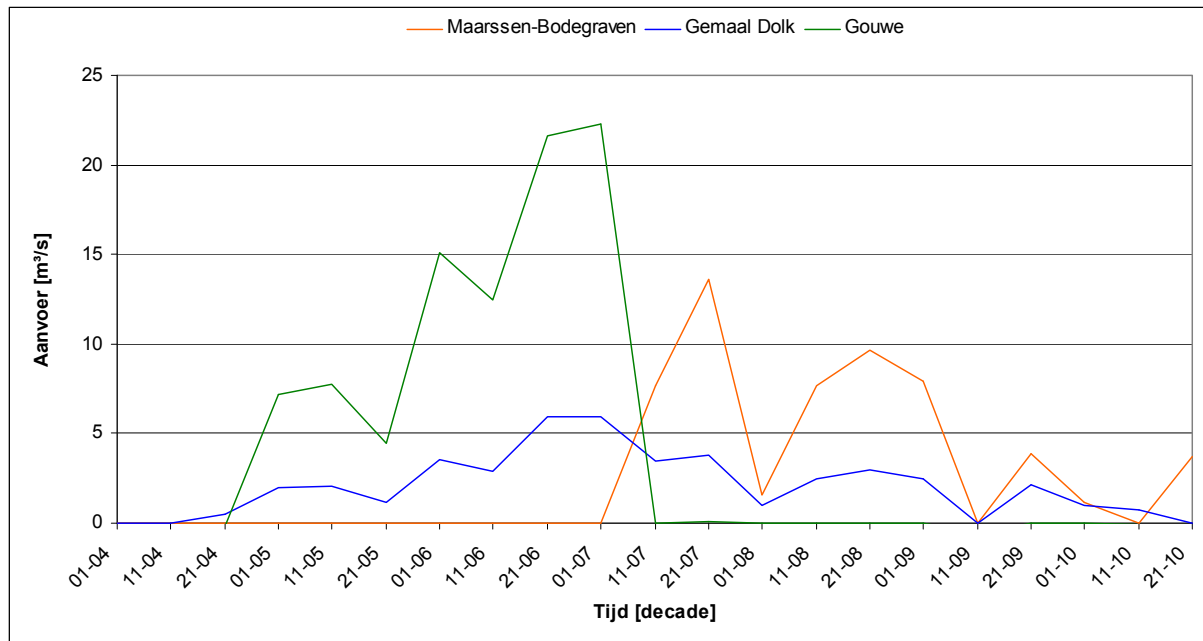
Hoofdgroep	Criteria		Indicator	Score		Eenheid
	Thema	Subthema		2050	2100	
Profit	Landbouw		Financiële schade tov referentie situatie	-0.38	-0.40	[M€/jaar]
	Overheid	Investering	Investeringskosten voor de aanleg van de maatregel	48		[M€]
		Beheer/onderhoud	Beheer en onderhoudskosten tov referentie situatie	+0.0		[M€/jaar]
Planet	Aquatische natuur	Verziltiging Water aanvoer	Zoutconcentratie in boezem	+3	+7	Cl concentratie [mg/l]
			Samenstelling gebiedsvreemd water	+		Nutrienten, zuurgraad en ionensamenstelling
			Fractie gebiedsvreemd water	0.74	0.75	[-]
	Terrestrische natuur		Verandering LG3 tov huidige situatie	-0.8	-2.1	[cm]
People	Beleving		Verandering van het landschap	0		Indicatoren
	Recreatie		Effect van aanpassingen infrastructuur	-		Aantal infrastructurele aanpassingen
Institutioneel	Inpassing in waterbeheer		Aansluiting bij andere beleid (KRW, Natura2000, WB21)	-		Kenmerken oplossingsrichting
			Gevolgen voor zoetwatervoorziening van overige delen in NL	-		Beschikbaarheid zoet water
			Aanpassing door de tijd 2050 naar 2100	+16		Toename aanvoerdebit [Mm ³]
Omgang met onzekerheden	Flexibiliteit	Aanvoer	Aanpassing van infrastructuur en kunstwerken	0		Aantal infrastructureel aanpassingen
		Infrastructuur				

8.6 Kanaal Maarssen-Bodegraven

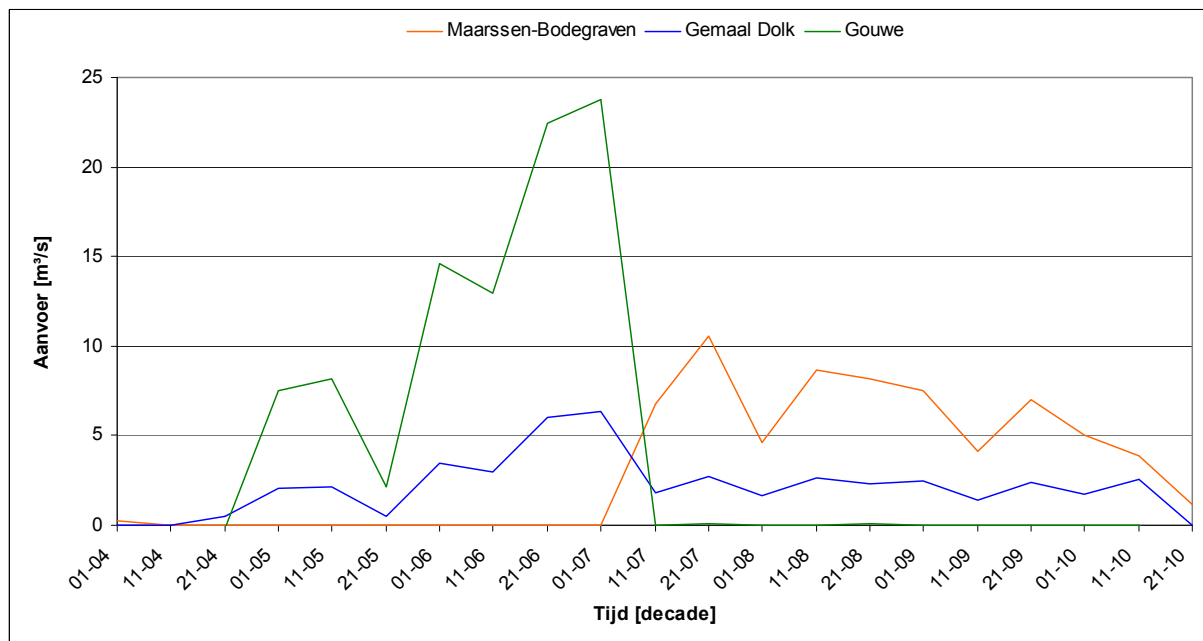
Naast de bestaande kanalen en rivieren is ook gekeken of een nieuw kanaal voor voldoende water kan zorgen in het studiegebied. Bij dit alternatief wordt een nieuw kanaal aangelegd van Maarssen naar Bodegraven. Hierdoor wordt water uit het Amsterdam-Rijnkanaal getransporteerd naar Rijnland. De capaciteit van het kanaal is 40 m³/s.

Watertoevoer

Als de inlaat bij Gouda verzilt is wordt alleen water via het kanaal aangevoerd naar het studiegebied. Via het gemaal Dolk wordt Delfland voorzien van water vanuit Rijnland. De debieten van de aanvoerroutes voor 2050 en 2100 staan weergegeven in figuren 8.4 en 8.5. Een maximaal aanvoerdebit van 13 m³/s wordt in het kanaal bereikt en dit gebeurt in 2050. Evenals bij de Tolhuissluisroute is het maximale debiet in 2050 hoger dan in 2100. Dit komt doordat in 2100 minder water beschikbaar is in het Amsterdam-Rijnkanaal vergeleken met 2050, vanwege de lagere afvoeren, hoger onttrekkingen en grotere verdamping in 2100.



Figuur 8.10: Debiet in de aanvoerroutes de Gouwe, gemaal Dolk en Maarssen-Bodegraven tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 [m³/s].



Figuur 8.11: Debiet in de aanvoerroutes de Gouwe, gemaal Dolk en Maarssen-Bodegraven tijdens het zomerhalfjaar voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2100 [m³/s].

In tabel 8.5 staan de tekorten voor de referentiesituatie en Maarssen-Bodegraven in 2050 en 2100. De toename van het tekort in 2050 is minimaal vergeleken met de referentiesituatie. Voor 2100 is deze toename veel groter, doordat het studiegebied met minder water wordt voorzien dan in 2050. Vooral de functies peilbeheer en berekening dragen bij aan de toename van het tekort in 2100. Daarnaast vindt het

tekort vooral plaats in Delfland, in Rijnland stijgt het tekort minimaal vergeleken met de referentiesituatie. De toename in Delfland wordt veroorzaakt door het ontbreken van toevoer vanuit het Brielse Meer.

Tabel 8.11: Watertekort met de referentiesituatie en met het kanaal Maarssen-Bodegraven voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ en extra beregeningsareaal in 2050 en 2100 [Mm³/zomerhalfjaar].

	Referentiesituatie	Maarssen-Bodegraven
2050	29	32
2100	45	61

Profit

De landbouwschade in 2050 neemt licht af met M€ 0.05 per jaar ten opzichte van de referentiesituatie in 2050. Voor 2100 neemt de schade juist licht toe met M€ 0.05. De kosten van de aanleg van dit kanaal worden geschat op M€ 750 en onderhoudskosten van M€ 0.3 per jaar (Rijnland, 2007). Gezien de grote investeringskosten en de minimale dervingsafname in 2050, is een nieuw aan te leggen kanaal niet rendabel.

Planet

Er zijn geen grote gevolgen voor de aquatische natuur bij dit alternatief, omdat de zoutconcentratie daalt in 2050 en 2100. Daarnaast daalt ook de fractie systeemvreemd water vanwege de afnemende toevoer. Ten slotte is de samenstelling van het gebiedsvreemde water gemiddeld. De LG3 daalt niet ten opzichte van de referentiesituatie in 2050 en 2100, maar er is wel een lichte daling in de LG3 te zien ten opzichte van de huidige situatie.

People

Voor deze oplossing zal een nieuw kanaal worden aangelegd voornamelijk door veenweidegebied. Dit karakteristieke landschap wordt dan doorkruist met een kanaal. Daarom scoort het alternatief slecht op beleving. Het alternatief biedt wel kansen voor nieuwe recreatie, pleziervaart kan bijvoorbeeld gebruik maken van dit kanaal.

Institutioneel

De oplossing wordt primair aangelegd voor de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland, daarom biedt het geen aansluiting bij ander beleid. Doordat het kanaal alleen gevoed wordt uit het Amsterdam-Rijnkanaal is de toevoer onzeker. Daarnaast is het Amsterdam-Rijnkanaal ook van belang voor de zoetwatervoorziening van andere regio's. De beschikbaarheid van zoet water staat dus onder druk bij deze oplossing.

Omgang met onzekerheden

De flexibiliteit van de maatregel is klein, want een nieuw kanaal moet worden aangelegd. Dit is natuurlijk een dure en permanente oplossing. Hoewel er een toename in aanvoerhoeveelheid is tussen 2050 en 2100, is er onvoldoende water beschikbaar in het Amsterdam-Rijnkanaal in 2100 om de volledige watervraag te voorzien. Zo is het maximale debiet in 2050 hoger dan in 2100, dit is een bevestiging van de kleine flexibiliteit van deze maatregel.

Conclusie

Het aanleggen van het Maarssen-Bodegraven kanaal is erg kostbaar. Daarnaast is de toevoer van water niet betrouwbaar en daalt de financiële schade in de landbouw niet. Dus de baten wegen niet op tegen de kosten. Daarnaast heeft het kanaal negatieve effecten voor het landschap, sluit het niet aan bij ander beleid en heeft het gevolgen voor de zoetwatervoorziening van andere regio's. Door het beheer van de stuw bij Driel aan te passen kan ervoor gezorgd worden dat het kanaal wel wordt voorzien van voldoende water en de tekorten minimaal worden. Dit zal ook merkbaar zijn in de schadevermindering voor de landbouwsector. Maar de investering in een nieuw kanaal is enorm en het zou daardoor niet rendabel zijn. Gesteld kan worden dat het kanaal Maarssen-Bodegraven niet haalbaar is om de zoetwatervoorziening in Midden-West Nederland te garanderen.

Tabel 8.12: Beoordelingskader voor het kanaal Maarssen-Bodegraven.

Hoofdgroep	Criteria		Indicator	Score		Eenheid
	Thema	Subthema		2050	2100	
Profit	Landbouw		Financiële schade tov referentie situatie	-0.05	+0.05	[M€/jaar]
	Overheid	Investering	Investeringskosten voor de aanleg van de maatregel	750		[M€]
		Beheer/onderhoud	Beheer en onderhoudskosten tov referentie situatie	-0.2		[M€/jaar]
Planet	Aquatische natuur	Verziltting Water aanvoer	Zoutconcentratie in boezem	+2	-23	Cl concentratie [mg/l]
			Samenstelling gebiedsvreemd water	0		Nutrienten, zuurgraad en ionensamenstelling
	Terrestrische natuur		Fractie gebiedsvreemd water	0.71	0.73	[-]
			Verandering LG3 tov huidige situatie	-0.9	-3.3	[cm]
People	Beleving		Verandering van het landschap	-		Indicatoren
	Recreatie		Effect van aanpassingen infrastructuur	+		Aantal infrastructurele aanpassingen
Institutioneel	Inpassing in waterbeheer		Aansluiting bij andere beleid (KRW, Natura2000, WB21)	-		Kenmerken oplossingsrichting
			Gevolgen voor zoetwatervoorziening van overige delen in NL	-		Beschikbaarheid zoet water
			Aanpassing door de tijd 2050 naar 2100	+9		Toename aanvoerdebiet [Mm3]
Omgang met onzekerheden	Flexibiliteit	Aanvoer	Aanpassing van infrastructuur en kunstwerken	-		Aantal infrastructureel aanpassingen
		Infrastructuur				

9 Discussie

Uit de analyse per oplossing komen enkele verbanden naar voren. Deze verbanden zullen besproken worden bij de verkenning van de oplossingsrichting aan wateraanvoer gerelateerd. Van grote invloed op de resultaten zijn de gevolgde methode en de gemaakte aannames tijdens het onderzoek. Dit zal na de verkenning van de oplossingsrichtingen worden besproken. Een specifiek onderdeel hiervan is de keuze voor het scenario van een toenemend beregeningsareaal in de toekomst, hetgeen is daarna beschreven.

9.1 Verkenning van de oplossingsrichting

Tabel 9.1 geeft een samenvatting van de resultaten voor de onderzochte oplossingen voor het karakteristieke jaar 1949. Een aantal oplossingen is in staat om grotendeels in de toekomstige watervraag van het studiegebied te voorzien. Het gaat hierbij om de oplossingen Tolhuissluisroute in combinatie met peilopzet op het IJsselmeer en Stuwbeheer Driel. Bij deze oplossingen zijn de watertekorten voor peilbeheer bijna verdwenen. Karakteristiek bij deze oplossingen is de beschikbaarheid van voldoende water om aan te voeren. Dit is een gevolg van het gekozen jaar 1949 waarin de rivierafvoer zeer laag is en extra maatregelen zijn nodig om de tekorten bij de aanvoer (vanuit bv het IJsselmeer of het Amsterdam-Rijnkanaal) op te heffen.

Profit

Tekorten leiden tot een toename van de landbouwschade. Door marktwerking en prijselasticiteit wordt de derving over het algemeen verhaald op de consument. Dit was ook het geval na de droogte in 2003 (Peters, 2004). Oplossingen die tekorten tegen gaan, zorgen voor een afname van de derving. Echter, de afnames in de derving tussen de oplossingen en de referentiesituatie zijn vaak niet groot. De investeringskosten tussen de oplossingen verschillen sterk. Zo zijn de kosten voor de aanleg van het kanaal Maarssen-Bodegraven erg hoog. Gezien de beperkte afname van de landbouwschade en de hoge investeringskosten, lijkt de oplossingsrichting die gerelateerd is aan infrastructuur van wateraanvoer niet rendabel.

Planet

De zoutconcentraties in het oppervlaktewater blijven over het algemeen onder de norm van 200 mg Cl/l, alleen bij de aanpassing van het beheer van de stuw bij Driel is dit niet het geval in 2100. Daarbij moet opgemerkt worden dat de berekende chlorideconcentraties en schade fracties ten gevolge van zout in het NHI niet heel betrouwbaar lijken. De effecten op de aquatische natuur zullen vooral bepaald worden door de aanwezigheid van gebiedsvreemd water. Omdat bij alle oplossingen extern water aangevoerd wordt is de fractie gebiedsvreemd water hoog bij alle oplossingen. De samenstelling van het aangevoerde water varieert sterk. Kwalitatief gezien is water uit het Brielse Meer goed en water afkomstig uit het IJsselmeer is van een slechtere kwaliteit. Als indicator voor de effecten op de terrestrische natuur is de LG3 genomen. Bij oplossingen waarbij de tekorten succesvol worden bestreden daalt de LG3 ten opzichte van de huidige situatie minimaal. Dit is dan ook een verbetering ten opzichte van de referentiesituatie in 2050 en 2100. Door maatregelen te nemen die voldoende water richting het studiegebied transporteren, kunnen de negatieve effecten voor de terrestrische natuur ten gevolge van uitzakking van het grondwater succesvol worden bestreden.

People

Het landschap verandert over het algemeen niet bij de oplossingen aangezien er gebruik wordt gemaakt van bestaande infrastructuur. Alleen bij het nieuw aan te leggen kanaal Maarssen-Bodegraven zijn er negatieve effecten voor landschap en beleving. Recreatie ondervindt over het algemeen hinder van de oplossingen gerelateerd aan wateraanvoeren. Dit komt onder meer doordat sluizen open staan en stroomrichtingen veranderen.

Institutioneel

Over het algemeen is er bij de oplossingen minimale aansluiting bij ander beleid. In sommige gevallen conflicteert de oplossing zelfs met ander beleid zoals bij de Tolhuisroute waarbij de veiligheid niet volledig gegarandeerd is. De gevolgen voor de zoetwatervoorziening van overige delen in Nederland verschilt per oplossing. Bij een ander beheer van de stuw bij Driel is de verwachting dat deze gevolgen negatief zullen zijn, want de afvoer van de IJssel zal verminderen en dit heeft gevolgen voor de zoetwatervoorziening die afhankelijk is van de IJssel. Peilopzet op het IJsselmeer daarentegen zorgt voor een groter zoetwatervoorraad in Nederland, waardoor de competitie over water tijdens droogte afneemt.

Omgang met onzekerheden

De flexibiliteit van de oplossingen verschilt onderling sterk. Bij sommige oplossingen daalt de aanvoerhoeveelheid in de tijd, omdat minder water beschikbaar is in het systeem. De oplossingen met een betrouwbare toevoer laten een toename van de aanvoerhoeveelheid zien tussen 2050 en 2100. De capaciteit op een aanvoerroute is vaak niet bepalend voor de watertekorten, in veel gevallen wordt de capaciteit niet bereikt. Alleen bij de oplossing tweede Brielse Meerleiding blijkt capaciteitvergroting effectief te zijn tegen de tekorten.

Geconcludeerd kan worden dat zoet water een schaars goed is tijdens droogte en zonder extra beleid zal dat in de toekomst dit in toenemende mate het geval zijn. Oplossingen die kunnen putten uit een grote en betrouwbare voorraad zoet water kunnen de tekorten effectief bestrijden, terwijl oplossingen die alleen de regionale aanvoercapaciteit aanpassen tekortschieten. Het huidige niveau ten aanzien van waterkwaliteit en voorziening van de watervraag, kan in de toekomst gegarandeerd blijven onder het G+ klimaatscenario met uitbreiding van het beregeningsareaal. Voor alle oplossingen zijn grote investeringen nodig, met uitzondering van beheerstrategie stuw Driel,; de schadevermindering in de landbouwsector, die daar tegenover staat, is relatief laag is. Ook moet rekening gehouden worden met neveneffecten als veiligheid langs de aanvoerroute en nadelen voor de recreatie.

Tabel 9.1: Beoordelingskader, watertekorten en kosten per oplossing voor het jaar 1949 onder klimaatverandering G+ en extra beregeningsareaal in 2100.

Thema	Criteria Subthema	Indicator	Oplossing						
			Referentie situatie	Beheer stuw Driel	Tolhuissluis route	Tolhuissluisroute + pellopzet	2 Brielse Meerleiding	2 Brielse Meerleiding met doorvoer	Maarsse- Bodegraven
Landbouw	Overheid	Financiële schade tov referentie situatie	43.79	-1.29	+0.00	-1.55	-0.01	-0.40	+0.05
		Investeringskosten voor de aanleg van de maatregel	0	0	52	52	48	48	750
Aquatische natuur	Verzilting	Beheer en onderhoudskosten tov referentie situatie	0.5	+0.0	-0.2	-0.2	+0.0	+0.0	-0.2
		Zoutconcentratie in boezem	164	+86	-26	-7	+0	+7	-23
Terrestrische natuur	Water aanvoer	Samenstelling gebiedsvreemd water	0	0	-	-	+	+	0
		Fractie gebiedsvreemd water	0.75	0.76	0.68	0.76	0.76	0.75	0.73
Beleving Recreatie		Verandering LG3 tov huidige situatie	-3.2	-1.4	-12.0	-1.4	-3.2	-2.1	-3.3
		Verandering van het landschap infrastructuur	0	0	0	0	0	0	-
Inpassing in waterbeheer		Effect van aanpassingen	-	-	-	-	-	-	+
		Aansluiting bij andere beleid (KRW, Natura2000, WB21)	0	0	-	-	-	-	-
Flexibiliteit	Aanvoer	Gevolgen voor zoetwatervoorziening van overige delen in NL	0	-	-	+	-	-	-
		Aanpassing door de tijd 2050 naar 2100	+16	+18	-5	+19	+15	+16	+9
Infrastructuur		Aanpassing van infrastructuur en kunstwerken	+	+	+	+	+	0	-

Oplossing								
	Referentie situatie	Beheer stuw Driel	Tolhuissluis route	Tolhuissluisroute + pellopzet	2 Brielse Meerleiding	2 Brielse Meerleiding met doorvoer	Maarsse- Bodegraven	
Watertekort [Mm³]	Peilbeheer	12.44	0.51	42.37	0.01	12.40	6.01	18.17
	Doorspoeling	12.67	2.10	17.38	0.77	12.00	9.17	20.16
	Beregening	19.95	9.72	19.93	7.02	19.25	16.90	22.27
	Totaal	45.06	12.33	79.68	7.80	43.65	32.08	60.60
Kosten [M€]	Financiële schade tov referentie situatie	43.79	-1.29	+0.00	-1.55	-0.01	-0.40	+0.05
	Investeringskosten voor de aanleg van de maatregel	0	0	52	52	48	48	750
	Beheer en onderhoudskosten tov referentie situatie	0.5	+0.0	-0.2	-0.2	+0.0	+0.0	-0.2

9.2 Methode en aannames

In deze verkenning is voor een bepaalde onderzoeksmethode gekozen en worden specifieke aannames gedaan. Deze keuzes beïnvloeden het resultaat en dit heeft gevolgen voor de analyse. De belangrijkste kenmerken van deze verkenning zullen hieronder worden besproken. Tevens zal aangegeven worden wat de invloed van een betreffende keuze is op het resultaat van het onderzoek.

In het onderzoek wordt alleen gefocust op nieuwe infrastructuur gerelateerd aan externe wateraanvoer. Er zijn echter andere soorten oplossingsrichtingen mogelijk om de zoetwatervoorziening in de toekomst te garanderen, zoals vraagvermindering of lokale opslag. Het doel van elke oplossingsrichting is natuurlijk de problemen rondom droogtes te verminderen, maar de uitwerking zal alleen per oplossingsrichting verschillen. Zo kunnen oplossingen die de watervraag verminderen ingrijpen op het landgebruik. In de onderzochte wateraanvoermaatregelen wordt getracht de watervraag in de toekomst te voorzien van water met een gewenste kwaliteit.

De simulaties zijn alleen uitgevoerd voor het karakteristieke droogtejaar 1949. Dit droogtejaar wordt gekenmerkt door een hoog afvoerdeficit. Het gesommeerde afvoerdeficit over het zomerhalfjaar is bijna gelijk aan het extreem droge jaar 1976. In vergelijking met 1976 zijn de afvoeren van de Maas en Rijn in het voorjaar van 1949 hoog. Vanaf eind juli zijn de afvoeren echter lager dan in 1976. De laagste afvoeren op de Rijn zijn in 1949 lager dan in 1976 met als gevolg dat de Hollandse IJssel in 1949 voor een langere periode verzilt dan in 1976. Daarom is de inlaat bij Gouda ook voor een langere periode gesloten in 1949. Daarentegen is het neerslagtekort in 1949 niet zo hoog als in 1976. De kenmerken van het afvoerdeficit en neerslagtekort hebben effect op de simulaties en uitkomsten. Bij andere karakteristieke droogtejaren kunnen de uitkomsten van de simulatie anders uitvallen. Een hoger neerslagtekort leidt tot een grotere vraag van water voor de functies peilbeheer en beregening van gewassen. Een lager afvoerdeficit zal ervoor zorgen dat de inlaat bij Gouda korter gesloten is en er meer water voorhanden is in het hoofdwatersysteem om te transporteren via de verschillende aanvoerroutes. De kenmerken van afvoerdeficit en neerslagtekort hebben een sterke invloed op de watervraag en -tekorten en leidt tot andere gewasopbrengsten, -schades en zoutconcentraties op de boezems. De uitspraken in dit rapport zijn gebaseerd op het droogtejaar 1949 en indicatief van aard voor dit jaar.

In deze verkenning rond de zoetwatervoorziening wordt gebruik gemaakt van het NHI. Dit model heeft sterke punten ten aanzien van het soort verkennende droogteberekeningen uitgevoerd in deze studie. Ten eerste bestaat het model uit gekoppelde grond- en oppervlaktewatermodellen. Er vindt interactie plaats tussen deze lagen waardoor een goed beeld verkregen wordt van het gehele watersysteem. Daarnaast is het model landsdekkend, waardoor er rekening gehouden wordt met ontwikkelingen op het gebied van wateraanbod en vraag buiten het studiegebied. Hiermee wordt een realistischer beeld gekregen van de situatie in het studiegebied en Nederland. Ook houdt het model rekening met bestaande capaciteiten, beheersstrategieën en waterverdelingen in Nederland. Ten slotte zijn de waterbalansen in het model tijdsafhankelijk. Hierdoor worden per tijdsstap de watervraag, -aanbod en -tekort bepaald. Deze facetten zijn afhankelijk van vele parameters, zoals meteorologie, gewassenmerken en zoutconcentraties. Doordat per tijdsstap de genoemde facetten worden bepaald, wordt een realistisch beeld verkregen tijdens droogte. Een groot nadeel van dit instrumentarium is de lange rekentijd. Daardoor is de flexibiliteit van het programma om langjarige tijdreeksen door te rekenen beperkt. Om deze reden is voor deze studie alleen naar 1949 gekeken. Ondanks dat het model rekening houdt met bestaande beheersstrategieën en waterverdelingen in Nederland, wordt dit niet altijd correct meegenomen in het model. Zo is hedging op het IJsselmeer niet opgenomen in het model en zouden er in werkelijkheid nooit tekorten in peilbeheer optreden, desnoods wordt er chloriderijk water ingelaten om het peilbeheertekort tegen te gaan. Daarnaast zijn de verschillen tussen de schadefracties bij geen en veel watertekorten voor beregening erg laag. Het is de vraag of de berekende verschillen realistisch zijn. Tenslotte zijn er bij NHI nog vraagtekens over de calibratie van het model. Zo is de kwaliteit van de berekeningen van de zoutconcentraties nog niet helemaal duidelijk en blijft de grondwaterdynamiek achter bij de metingen (NHI, 2010).

In de berekeningen wordt rekening gehouden met het huidige landgebruik. Aangenomen is dat dit constant blijft in de toekomst. In de socio-economische scenario's van het CPB et al. (2006) is een daling van het landbouwareaal te zien in Midden-West Nederland. Alleen de glastuinbouw neemt in sommige scenario's toe. Dit zal effect hebben op de watervraag voor beregening en op de totale derving in de sector.

9.3 Beregeningsareaal

In de scenario's is aangenomen dat het beregeningsareaal zal toenemen in de toekomst. Mocht deze aanname niet correct zijn, dan kan dit gevolgen hebben voor de watervraag en schade in de landbouwsector. Om dit te testen zijn er simulaties uitgevoerd met het huidige beregeningsareaal bij klimaatscenario G+ in 2050 en 2100. Dankzij deze simulaties kan tevens onderzocht worden wat de invloeden van klimaatverandering zijn ten opzichte van verandering van het beregeningsareaal. In tabel 9.2 is de watervraag en het tekort zichtbaar voor de verschillende situaties.

Tabel 9.2: Watervraag en tekort voor beregening met extra beregeningsareaal en met het huidige beregeningsareaal voor het jaar 1949 onder de huidige omstandigheden en onder klimaatscenario G+ in 2050 en 2100 [Mm³/zomerhalfjaar].

	Huidig beregeningsareaal		Referentiesituatie	
	Beregeningsvraag	Tekort	Beregeningsvraag	Tekort
2050	24.76	6.12	27.80	6.98
2100	30.29	10.83	35.90	12.67

Door het extra beregeningsareaal neemt in 2050 de watervraag toe met 12% ten opzichte van de situatie in 2050 als het huidige beregeningsareaal gehandhaafd zou blijven. In 2100 neemt de watervraag verder toe met 19% vergeleken met de situatie in 2100 met het huidige beregeningsareaal. De toegenomen vraag zorgt ook voor een toename van het tekort met een bijna gelijk percentage. In de huidige situatie zonder klimaatverandering is de beregeningsvraag 16.51 Mm³/zomerhalfjaar. Door klimaatverandering stijgt de watervraag van arealen met beregeningsinstallaties in 2050 met 50%. In 2100 neemt de watervraag voor beregening toe met 84% op de arealen waar in de huidige situatie al beregenend wordt. Door het extra beregeningsareaal neemt de vraag verder toe, de stijging ten opzichte van de huidige situatie is dan 68% in 2050 en in 2100 is dit 105%. Relatief draagt klimaatverandering dus veel meer bij aan de veranderende watervraag in de tijd dan de toename in de beregeningsarealen.

In tabel 9.3 is de derving in landbouwopbrengst voor beide situaties zichtbaar. Door de extra beregening daalt de derving in 2050 onder klimaatverandering G+ met ruim M€ 2 ten opzichte van de derving in 2050 met het huidige beregeningsareaal. In 2100 is deze daling bijna M€ 3 ten opzichte van de situatie in 2100 met het huidige beregeningsareaal. De beregeningskosten nemen door het extra beregeningsareaal wel toe. In 2100 is deze toename M€ 0.75 ten opzichte van een situatie met het huidige beregeningsareaal. De stijging van de beregeningskosten is vele malen minder dan de daling in de derving. De extra beregening zorgt dus voor een grotere watervraag en voor minder droogteschade.

Tabel 9.3: Derving in de landbouwsector met extra beregeningsareaal en met het huidige beregeningsareaal voor het jaar 1949 onder klimaatscenario G+ in 2050 en 2100 [M€].

	Huidig beregeningsareaal	Met extra beregeningsareaal
2050	40.47	38.15
2100	46.43	43.79

10 Conclusies en aanbevelingen

In deze verkennende studie is gefocust op de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland. De analyse is gebaseerd op berekeningen met het droogtejaar 1949 en het klimaatscenario G+. De conclusies zijn enkel indicatief voor dit droogtejaar en klimaatscenario. Deze conclusies zullen hieronder worden besproken. Vervolgens wordt er een aantal aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek.

10.1 Conclusies

De droogteproblematiek in Midden-West Nederland is te kenmerken als een waterkwaliteitsvraagstuk. Doordat het inlaatpunt bij Gouda verzilt raakt bij lage afvoeren op de Rijn, kan daar geen water met de gewenste kwaliteit meer worden ingelaten voor Rijnland. Door klimaatverandering zal de verzilting van het inlaatpunt vaker voorkomen. In de huidige situatie is de inlaat bij Gouda tijdens het jaar 1949 11 decaden gesloten. Dit neemt door klimaatverandering toe naar 14 decaden onder klimaatscenario G+ in 2050. Dit neemt niet verder toe voor het jaar 2100. Daarnaast neemt door klimaatverandering ook het neerslagtekort toe, waardoor er een grotere watervraag voor de functies peilbeheer, doorspoeling en beregening ontstaat. Naast klimaatverandering stijgt de watervraag voor beregening ook door een verwacht groter beregeningsareaal in de toekomst. De toenemende watervraag voor beregening wordt voornamelijk veroorzaakt door klimaatverandering; het aandeel van het toenemende beregeningsareaal in de toenemende vraag blijkt beperkt te zijn. Peilbeheer heeft de grootste watervraag in vergelijking met doorspoeling en beregening. Tevens is dit de belangrijkste functie vanwege veiligheid en onomkeerbare schade. In het huidige beleid wordt bij sluiting van de inlaat bij Gouda water aangevoerd via de Brielse Meerleiding en de KWA. In de toekomst zal de Brielse Meerleiding vaker aan zijn capaciteit zitten. Daarnaast blijkt er voor het karakteristieke jaar 1949 voor het klimaat van 2050 en 2100 te weinig water voorhanden in de Lek en het Amsterdam-Rijnkanaal om in de vraag te voorzien via de KWA. De capaciteit van de KWA wordt dan ook niet bereikt in deze situaties. Daardoor zullen de tekorten voor de verschillende functies toenemen. De toekomstige tekorten voor peilbeheer zijn onacceptabel. De tekorten zullen vooral plaats vinden in Rijnland; Delfland kan door middel van de Brielse Meerleiding zich grotendeels voorzien van haar behoefte en in Schieland zijn de tekorten minimaal.

Het huidige systeem is dus voor het karakteristieke jaar 1949 niet toerikend om de meest belangrijke functies in de toekomst te voorzien van voldoende water met de gewenste kwaliteit. Dit heeft effect op de gebruikers natuur en landbouw. De effecten op de aquatische en terrestrische natuur vallen mee in de referentiesituatie. Derving in de landbouwsector zal wel toenemen door het drogere klimaat en toename van tekorten voor beregening. De tekorten blijven door de relatief hoge capillaire nalevering van de bodem echter beperkt. Bij gewassen die vroeg in het seizoen worden geoogst is de stijging in derving minder dan gewassen die later worden geoogst. Dit komt doordat het neerslagtekort in de toekomst bij klimaatscenario G+ vooral later in het seizoen oploopt in vergelijking met de huidige situatie. De jaarlijkse verwachtingswaarde (JVV) van inkomstenderving door droogteschade in de landbouwsector loopt van M€ 8.8 in de huidige situatie op naar M€ 11.2 en M€ 12.8 in respectievelijk 2050 en 2100. Mocht het studiegebied niet worden voorzien van water bij sluiting van de inlaat bij Gouda, dan neemt de schade in de landbouwsector maar minimaal toe vergeleken met de referentiesituatie. Vanwege de onacceptabele tekorten in het peilbeheer zijn in het studiegebied maatregelen nodig om de zoetwatervoorziening te garanderen in de toekomst.

Tijdens periodes van droogte is water schaars in Nederland. In het karakteristieke jaar 1949 blijkt de waterschaarste in het hoofdsysteem beperkend te zijn voor de aanvoer van het studiegebied, voor het huidige klimaat en versterkt in de toekomst. Als eerste ingreep moet derhalve gezorgd worden voor voldoende aanvoer bij de bron. Mogelijkheden hiervoor zijn het beheer van de sluis bij Driel om te zorgen dat er voldoende water is in het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek voor de KWA of het verhogen van het IJsselmeerpeil voor de Tolhuisroute. Bij implementatie hiervan zullen er nauwelijks watertekorten voor peilbeheer optreden.

Ondanks dat de watertekorten verschillen tussen de oplossingen zijn er geen grote verschillen in de landbouwderiving te zien. Gezien de beperkte afname van de landbouwschade en de hoge investeringskosten, lijkt de oplossingsrichting die gerelateerd is aan nieuwe infrastructuur voor wateraanvoer niet rendabel. Bepalend voor de gevolgen voor de aquatische natuur is grotendeels de samenstelling van het systeemvreemde water. Water afkomstig uit het IJsselmeer heeft een slechtere kwaliteit en dit heeft gevolgen voor de aquatische natuur. Als de watertekorten voor peilbeheer minimaal zijn, zijn de effecten voor de terrestrische natuur ook minimaal. De daarvoor bepalende laagste grondwaterstanden (LG3) blijven dan bijna gelijk aan de huidige situatie. Daarnaast hebben de oplossingen vaak ook neveneffecten op andere sectoren. Zo heeft een andere beheerstrategie van de stuw bij Driel effect op de functies van de IJssel tijdens lage afvoeren en is de veiligheid langs de Tolhuissluisroute niet volledig gegarandeerd.

Het huidige systeem is niet robuust genoeg om voor het karakteristieke jaar 1949 aan de toekomstige watervraag te kunnen voldoen. Althans, niet met water van de gewenste kwaliteit. Met enkele wateraanvoermaatregelen (hoger IJsselmeerpeil, sluis bij Driel) kunnen deze tekorten worden bestreden. Deze oplossingen resulteren in een grotere en meer betrouwbare zoetwatervoorraad. Gezien de minimale verschillen in deriving bij het voorzien van de vraag en de grote investeringskosten, lijken verdere oplossingen gerelateerd aan wateraanvoeren niet rendabel.

10.2 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten en gemaakte aannames worden enkele aanbevelingen voor vervolgonderzoek gedaan.

Bij dit onderzoek ligt de focus op maatregelen die gekenmerkt worden door wateraanvoeren. Om een complete vergelijking te maken tussen de mogelijke maatregelen, moet ook onderzoek worden gedaan naar maatregelen die focussen op andere facetten dan wateraanvoer. Er kan dan gedacht worden aan maatregelen gerelateerd aan watervraag verkleinen, lokale opslag en acceptatie.

De resultaten van het onderzoek betreffen enkel het karakteristieke jaar 1949. Hoewel dit jaar een goede indicatie geeft van te verwachte droogtesituaties is het om meer robuuste conclusies te kunnen trekken noodzakelijk dat naar andere karakteristieke droogtejaren gekeken wordt. Liefst zou met een langjarige tijdreeks gerekend moeten worden.

Het Brielse Meer blijkt van groot belang voor de zoetwatervoorziening van het Hoogheemraadschap van Delfland en industrie in de Rotterdamse haven. Door ontwikkelingen in het gebied komt de strategische rol van dit meer onder druk te staan. Het is onwaarschijnlijk dat het meer zijn rol gaat verliezen. Maar er is veel onduidelijk over de ontwikkelingen en de effecten hiervan op het Brielse Meer. Onderzoek kan uitwijzen hoe groot het probleem is rondom het wateraanbod en welke maatregelen genomen kunnen worden om de strategische rol van dit meer veilig te stellen.

In dit onderzoek zijn scenario's op het gebied van klimaat en berekening meegenomen. Er is geen rekening gehouden met socio-economische scenario's. Veranderend landgebruik zal invloed hebben op de watervraag, zowel kwantitatief als kwalitatief. Het is van belang om te weten welke gevolgen socio-economische scenario's gaan hebben op de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland.

Water blijkt een schaars goed te zijn in droge periodes. In de huidige verdeling is een groot gedeelte van het inkomende Rijnwater nodig om de zoutindringing in de Rotterdamse haven tegen te gaan. Dit water kan gebruikt worden voor de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland of andere delen in Nederland. Gekeken kan worden of de zouttong anders kan worden tegengegaan dan met zoet water. Daarnaast kan onderzoek worden gedaan naar optimalisatie van de waterverdeling in de toekomst onder klimaatverandering. Daarbij kan rekening worden gehouden met de kosten en baten van de verschillende functies en regio's in Nederland.

Referenties

- Van Bakel, P.J.T., Kroes, J.G., en de Vries, F.G. (2008). *Nationaal Hydrologisch Instrumentarium modelrapportage, deelrapport gewassenmerken*. Delft: Deltares.
- Van Beek, E., Haasnoot, M., Meijer, K.M., Delsman, J.R., Snepvangers, J.J.J.C., Baarse, G., et al. (2008). *Verkenning kosteneffectiviteit van grootschalige maatregelen tegen droogteschade als gevolg van de G+ en W+ klimaatscenario's*. Delft: Deltares.
- Beersma, J.J., Buishand, T.A., de Goederen, S., en Jacobs, P. (2005). *Zout, zouter, zoutst, statistiek van de externe verzilting in Midden-West Nederland*. KNMI-publicatie; 199-III. De Bilt: KNMI.
- Beersma, J.J., en Buishand, T.A. (2004). Joint probability of precipitations and discharge deficits in the Netherlands. *Water Resour. Res.*, 40, W12508.
- Beersma, J.J., Buishand, T.A., en Buiteveld, H. (2004). *Droog, droger, droogst*. KNMI/RIZA-bijdrage aan de tweede fase van de Droogtestudie Nederland, KNMI-publicatie;199-II. De Bilt: KNMI.
- De Bruijn, K., Klijn, F., McGahey, C., Mens, M., en Wolfert, H. (2008). *Long-term strategies for flood risk management: scenario definition and strategic alternative design*. Floodsite Consortium.
- Brundtland, G.H., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S.A., Chidzero, B., Fadika, M.L., et al. (1987). *Our Common Future*. World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press.
- CPB, MNP, en RPB (2006). *Welvaart en leefomgeving*. Den Haag: CPB, MNP en RPB.
- Delfland (2010). *Waterkwaliteitsrapportage Delfland 2009, resultaten van fysisch-chemisch en hydrobiologisch waterkwaliteitsonderzoek 2009*. Delft: Hoogheemraadschap van Delfland.
- Delfland (2008). *Factsheets watersysteemkwaliteit Delfland 2007, resultaten van het watersysteemonderzoek 2007*. Delft: Hoogheemraadschap van Delfland.
- Deltares (2009). *Samenvatting Plan van Aanpak Verkenning Zoetwater*. Delft: Deltares.
- Dijk, J., Ploeger, C., en Hoogeveen, M.W. (1994). *Grondwateronttrekking door de land- en tuinbouw*. LEI-rapport 3.157. Den Haag: LEI.
- Delsman, J., Mulder, M., en De Wit, A. (2008). *Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, deelrapport kenmerken regionaal oppervlaktewater*. Delft: Deltares.
- Deltacommissie (2008). *Samen werken met water*.
- Van Deursen, W. (2007). *Rapportage Rhineflow/Meuseflow KNMI scenario's 2010 G, Gplus, W, Wplus*. Rotterdam: Carthago Consultancy.
- Van Deursen, W. (2006). *Rapportage Rhineflow/Meuseflow KNMI scenario's 2050 G, Gplus, W, Wplus*. Rotterdam: Carthago Consultancy.
- DHV (2009). *Beleidsvorming droogte groene hart/zuidvleugel acuut, ruimtelijke consequenties van het droge klimaatscenario in 2050*. Amersfoort: DHV.
- Groot, S., Van Haaren, D., De Graaff, B., Van den Braak, E., Versteeg, R., en Klopstra, D. (2009). *Distributiemodel deel B, West Nederland*. Delft: Deltares.

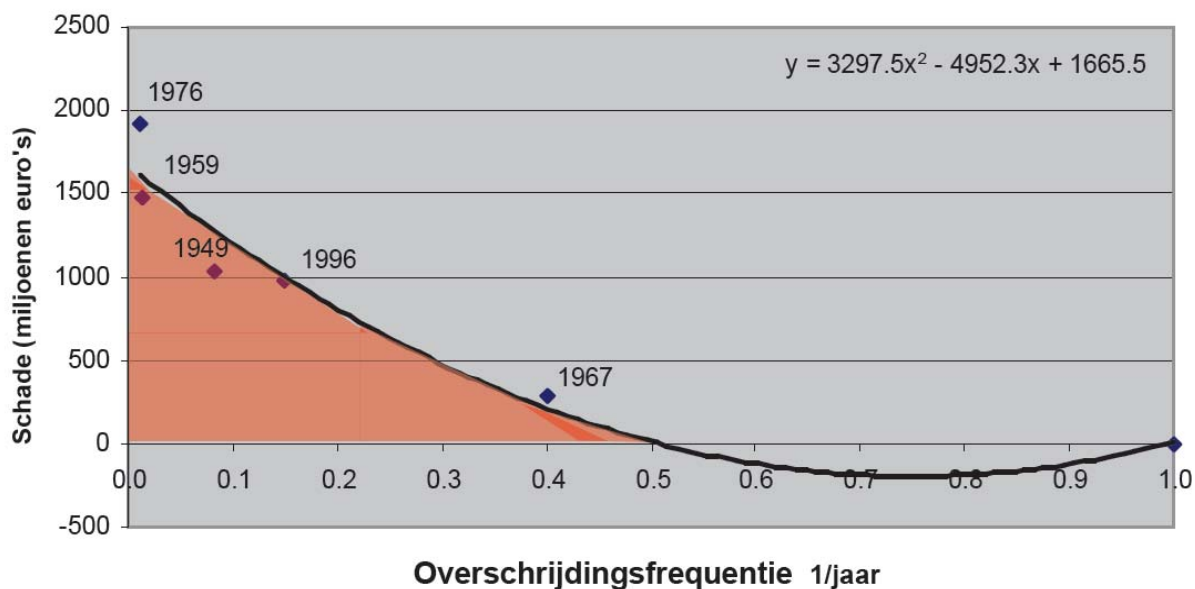
- Hazeu, G.W. (2005). *Landelijk grondgebruiksbestand Nederland (LGN5), vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik*. Alterra-rapport 2325. Wageningen: Alterra.
- Van Heeringen, K.J., en Icke, J. (2003). *Aanvoer IJmeerwater naar Rijnland*. Delft: Deltares.
- Higler, L.W.G., Elbersen, J.W.H., en Verdonschot, P.F.M. (2002). *Definitiestudie ecologische effecten van laagwater, een verkenning van de effecten van laagwater op de levensgemeenschap van regionale wateren*. Alterra-rapport ecologie laagwater. Wageningen: Alterra.
- HKV (2009). *Inceptiefase van de studie Klimaatbestendigheid Zoetwatervoorziening, Excel-sheet en Word-bestand*. Delft: Delteras.
- Hoogeveen, M.W., van Bommel, K.H.M., en Cotteleer, G. (2003). *Berekening in land- en tuinbouw, Rapport voor de Droogtestudie Nederland*. LEI-rapport 3.03.02. Den Haag: LEI.
- Huinink, J., Verstraten, F., Janssen, J., Mooij, M., Beijer, L., en Van der Wees, A. (1998). *Het economisch belang van water in de landbouw*. Rapport IKC 37. Ede: IKC.
- Huitema, D., Brouwer, S., en Velstra, J. (2007). Verzilting: beleidsprobleem in wording. *H2O* (40), 5-16.
- Van den Hurk, B., Klein Tank, A., Lenderink, G., Van Ulden, A., Van Oldenborgh, G.J., Katsman, C., et al. (2006). *KNMI climate change scenarios 2006 for the Netherlands*. KNMI Scientific Report WR 2006-01. De Bilt: KNMI.
- Kind, J., en Van Duinen, R. (2009). *Beoordelingskader klimaatbestendigheid van de zoetwatervoorziening voor Nederland*. Delft: Deltares.
- Kloosterman, F.H. (2007). *Kartering zoet/brak/zout verdeling Nederland, beschrijving van de ZZ-REGIS software suite*. Delft: TNO.
- Loucks, D.P., en Van Beek, E. (2005). *Water resources systems planning and management, an introduction to methods, models and applications*. studies and Reports of Hydrology. Parijs: UNESCO Publishing.
- Meeusen, M.J.G., Hoogeveen, M.H., en Visee, H.C. (2000). *Waterverbruik in de Nederlandse land- en tuinbouw in 1997*. LEI-Rapport 2.00.02. Den Haag: LEI.
- Middelkoop, H., Daamen, K., Gellens, D., Grabs, W., Kwadijk, J.C.J., en Lang, H. (2001). Impact of Climate Change on Hydrological Regimes and Water Resources Management in the Rhine Basin. *Climate Change*, 49(1), 105-128.
- Ministerie van Financiën (1992). *Evaluatiemethoden: een introductie*. Afdeling Beleidsevaluatie en instrumentatie van het Ministerie van Financiën, 4^e herziene druk. Den Haag: Sdu Uitgeverij.
- Ministerie van Justitie (2009). *Waterwet*. Staatsblad 2009 490m. Den Haag: Sdu Uitgeverij.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2009). *Waterhuishouding en waterverdeling in Nederland*.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2008). *Het Nationaal Bestuursakkoord Water*.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2005). *Waterakkoord Hollandse IJssel en Lek*. Zuid-Holland: Rijkswaterstaat.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2004). *Evaluatienota Waterbeheer Aanhoudende droogte 2003*. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Directoraat Generaal Water.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2003). *Het Nationaal Bestuursakkoord Water*.

- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1998). *Vierde Nota waterhuishouding*.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1984). *De waterhuishouding van Nederland*. Den Haag: Staatsuitgeverij.
- Mulder, H.M., Veldhuizen, A.A., en Hoogewoud, J. (2010). *Agricom 1.01, gebruikershandleiding*. Alterra-rapport. Wageningen: Alterra.
- NHI (2010). *Beschrijving en evaluatie NHI v2.0, achtergronddocument bij oplevering NHI v2.0*. concept versie. Delft: Deltares.
- NHI (2008). *NHI?NHI! Stromingen*, 14 (40), 76.
- Oude Essink, G.H.P. (2008). *Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, deelrapport zoet-zout*. Delft: Deltares.
- Peters, E. (2004). De droogte van 2003 in Nederland, *Stromingen*, 10, 4.
- RAND (1981). *Policy Analysis of Water Management for the Netherlands*. Santa Monica: RAND.
- Rijkswaterstaat (2010). *Verdringingreeks Droogte*. Verkregen van www.verkeerenwaterstaat.nl/onderwerpen/water/droogte/_verdringingsreeks/ op 18-03-2010.
- Rijkswaterstaat en Deltares (2008a). *De klimaatbestendigheid van Nederland Waterland, verkenning van knippunten in beheer en beleid voor het hoofdwatersysteem*. Delft: Deltares.
- Rijkswaterstaat en Deltares (2008b). *Drie perspectieven voor een klimaatbestendig Nederland, tussentijdse rapportage t.b.v. de Deltacommissie van het project 'De klimaatbestendigheid van Nederland Waterland'*. Delft: Deltares.
- Rijnland (2008). *Verzilting en waterbehoefte nu en in de toekomst, achtergronden, beleid en ontwikkeling*. Leiden : Hoogheemraadschap van Rijnland.
- Rijnland (2007). *Verzilting en waterbehoefte, kwantificering probleem en onderzoek beleidsopties*. Leiden: Hoogheemraadschap van Rijnland.
- Rijnland (2004). *Peilbesluit boezem Rijnland*. Hoogheemraadschap van Rijnland: Leiden.
- RIZA, HKV, Arcadis, KIWA, Korbee en Hovelynck, Durk Klopstra, Rudolf Versteeg, en Timo Kroon (2005). *Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland*. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Directoraat Generaal Water.
- RIZA (2005). *Water waar het wezen moet, effecten van beleidsstrategieën voor droogte in Midden-West Nederland*. Eindrapport Modelspoor 2, RIZA rapport 2005.018. Lelystad: RIZA.
- RIZA (2003). *Technisch Spoor: Eindrapport fase 1, verkenning*. 110605/Br3/34/000006/001. Lelystad: Rijkswaterstaat RIZA.
- Royal Haskoning (2008). *Herijking Zoetwaterverkenning*. Amsterdam: Royal Haskoning.
- Royal Haskoning (2007). *Investeringsruimte voor toekomstige droogte, verkenning van de hydrologische effecten en economische schade in de KNMI '06 klimaatscenario's*. Amsterdam: Royal Haskoning.
- Royal Haskoning (2004). *Van kreet naar concreet, aanzet voor een maatregelenboek droogte*. Lelystad: RIZA.
- Runhaar, J. (2006). *Natuur in de verdringingsreeks*. Alterra-rapport 1302. Wageningen: Alterra.

- Stuurgroep Zuidwestelijke Delta (2009). *Zoet Water Zuidwestelijke Delta, een voorstel voor een regionale zoetwatervoorziening*. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- UVW (2007). *Waterschapskaart van Nederland*. Den Haag: Unie van Waterschappen.
- Van Tilburg, M., en Brouwer, S. (2006). *Basisdocument wetgeving en beleid met betrekking tot verzilting*. Rapportnummer W-06/25. Amsterdam: Instituut voor Milieuvraagstukken.
- Verenigde Naties (1995). *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies*.
- Vis, M., Klijn, F., en Van Buuren, M. (2001). *Living with floods: resilience strategies for flood risk management and multiple land use in the lower Rhine*. Publication 10-2001. Delft: NCR.
- Van Waveren, H., Van Vliet, G., en Eulen, J. (2009a). *Fact-sheet landbouw, versie 2.1*. Utrecht: Rijkswaterstaat.
- Van Waveren, H., Van Vliet, G., en Eulen, J. (2009b). *Fact-sheet Tolhuissluis route, versie 2.1*. Utrecht: Rijkswaterstaat.
- Van Waveren, H., Van Vliet, G., en Eulen, J. (2009c). *Fact-sheet kleinschalige wateraanvoer voorzieningen, versie 2.1*. Utrecht: Rijkswaterstaat.
- WL | Delft Hydraulics, Technische Universiteit Delft en NS Consultants (2001). *Operationeel waterkwaliteitsbeheer, sturing op waterkwaliteit haalbaarheidsonderzoek*.
- Wösten, J.H.M., de Vries, F., Denneboom, J., en van Holst, A.F. (1988). *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1:250000, ten behoeve van de PAWN-studie*. Stiboka-rapport 2055. Wageningen: Stiboka.
- Young, M.D. (1992). *Sustainable investment and resource use: equity, environmental integrity and economic efficiency*. Man and Biosphere Series 9. Paris: UNESCO and Parthenon Publishing Group.

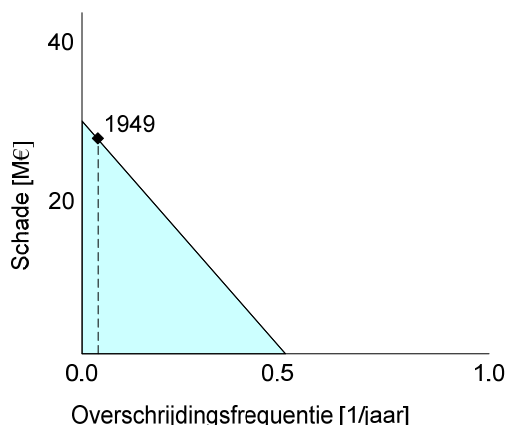
Bijlage A: Jaarlijkse Verwachtingswaarde

De jaarlijkse verwachtingswaarde (JVW), welke in dit rapport wordt gebruikt, is afgeleid van figuur A.1. Figuur A.1 komt uit de studie van Van Beek et al. (2006). In deze studie worden simulaties met meerdere droogtejaren uitgevoerd. Op basis van de schade en herhalingstijd per droogtejaar wordt de JVW berekend. De JVW is gelijk aan het (rode) oppervlak onder de lijn. De lijn snijdt de x-as op 0.52 [1/jaar].



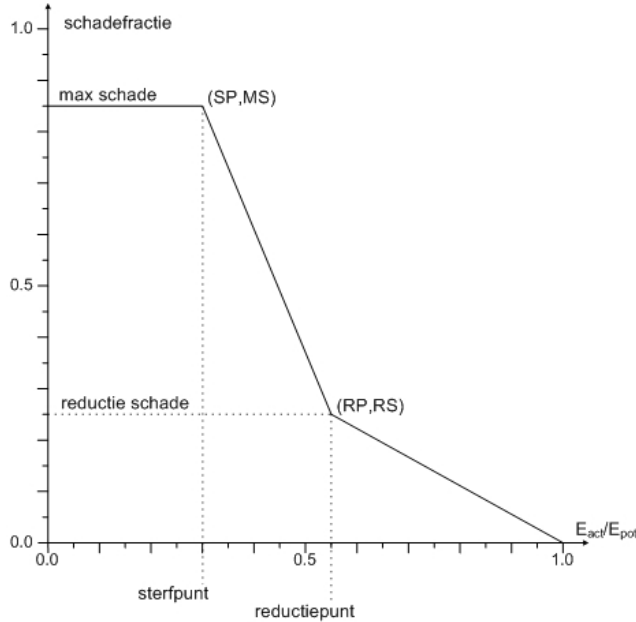
Figuur A.1: Bepaling van de jaarlijkse verwachtingswaarde met meerdere droogtejaren (bron: Van Beek et al. (2008)).

In deze studie wordt gebruik gemaakt van enkel het droogtejaar 1949. Door gebruik te maken van een snijpunt met de x-as, de herhalingstijd (1:17) en schade van het droogtejaar 1949 kan een oppervlak worden bepaald, welke gelijk is aan de JVW. Voor het snijpunt met de x-as wordt dezelfde waarde als uit de studie van Van Beek et al. (2008) gebruikt, namelijk 0.52 [1/jaar]. Er wordt aangenomen dat dit snijpunt en de herhalingstijd van het droogtejaar 1949 gelijk blijven onder klimaatverandering.

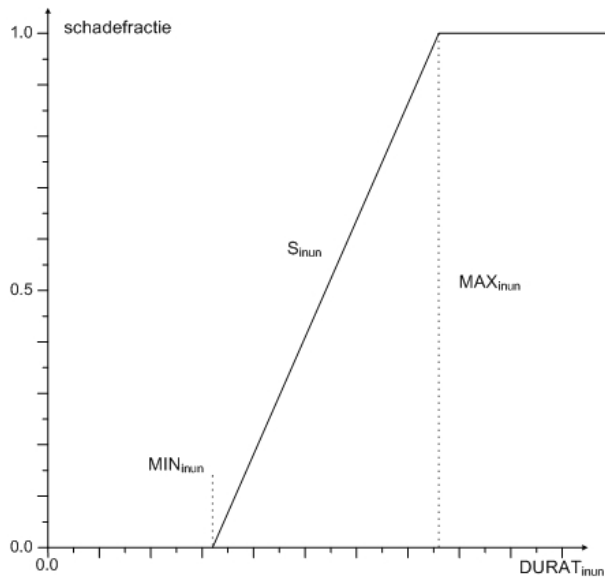


Figuur A.2: Bepaling van de jaarlijkse verwachtingswaarde met het droogtejaar 1949.

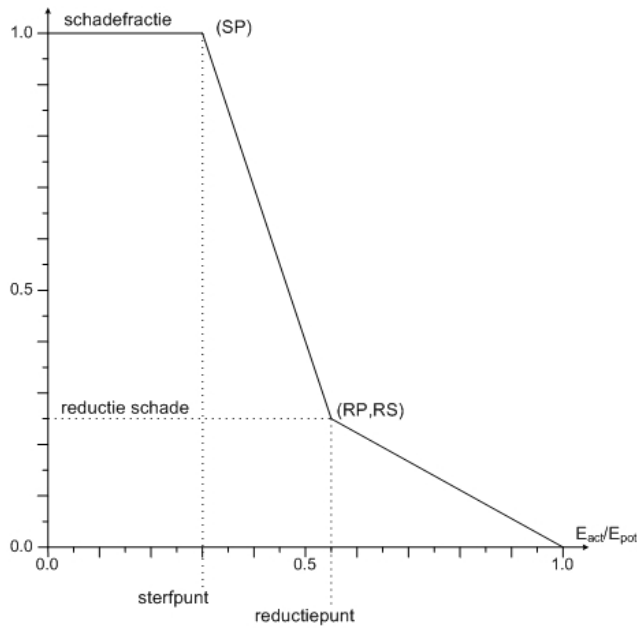
Bijlage B: Grafische weergave van de functies voor de verschillende schadecomponenten



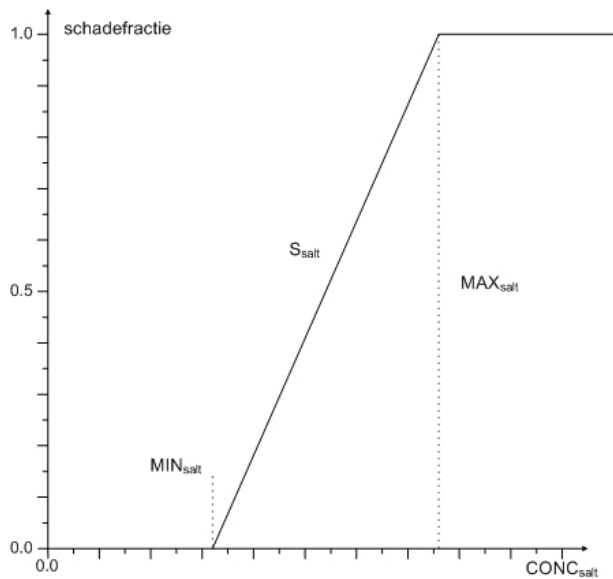
Figuur B.1: Grafisch weergave van de functie voor droogteschade (bron: Mulder et al. (2010)). Waarin: E_{act} = actuele verdamping [mm], E_{pot} = potentiële verdamping [mm], RP= reductiepunt [-], RS= reductieschade [-], SP= sterfpunt [-] en MS= maximale schade [-].



Figuur B.2: Grafisch weergave van de functie voor inundatieschade (bron: Mulder et al. (2010)). Waarin: $DURAT_{inun}$ = duur van inundatie [d], MIN_{inun} = minimum duur van inundatie voordat schade optreedt [d], S_{inun} = helling van inundatieschade functie [d] en $MAX_{inun} = MIN_{inun} + S_{inun} [1/d]$.



Figuur B.3: Grafisch weergave van de functie voor verdrassingsschade (bron: Mulder et al. (2010)). Waarin: E_{act} = actuele verdamping [mm], E_{pot} = potentiële verdamping [mm], RP= reductiepunt [-], RS= reductieschade [-] en SP= sterfpunt [-].



Figuur B.4: Grafisch weergave van de functie voor zoutschade (bron: Mulder et al. (2010)). Waarin: $CONC_{salt}$ = gemiddelde zoutconcentratie in wortelzone [g/m^3], MIN_{salt} = minimum zoutconcentratie voordat schade optreedt [g/m^3], S_{salt} = helling van zoutschade functie [g/m^3] en MAX_{salt} = $MIN_{salt} + S_{salt}$ [g/m^3].

Bijlage C: Formules Agricom voor berekening van potentiële en actuele gewasopbrengst en gewaswaarde

Berekening potentiële fysieke gewasopbrengst:

$$pot.gewasopbrengst_{rekenperiode} = pot.gewasopbrengst_{gemiddelde} \times verdampingsfactor$$

Met:

$$verdampingsfactor = \frac{pot.transpiratie_{rekenperiode}}{pot.transpiratie_{gemiddelde}}$$

Waarin:

pot.gewasopbrengst	: potentiële gewasopbrengst	[1/ha]
verdampingsfactor	: verdampingsfactor tussen rekenjaar en gemiddelde	[-]
pot. evapotranspiratie	: potentiële evapotranspiratie	[mm]

Berekening actuele fysieke gewasopbrengst:

$$act.gewasopbrengst_{rekenperiode} = pot.gewasopbrengst_{rekenperiode} \times dervingfractie_{rekenperiode}$$

Waarin:

act.gewasopbrengst	: actuele gewasopbrengst	[1/ha]
pot.gewasopbrengst	: potentiële gewasopbrengst	[1/ha]
dervingfractie	: totale dervingfractie	[-]

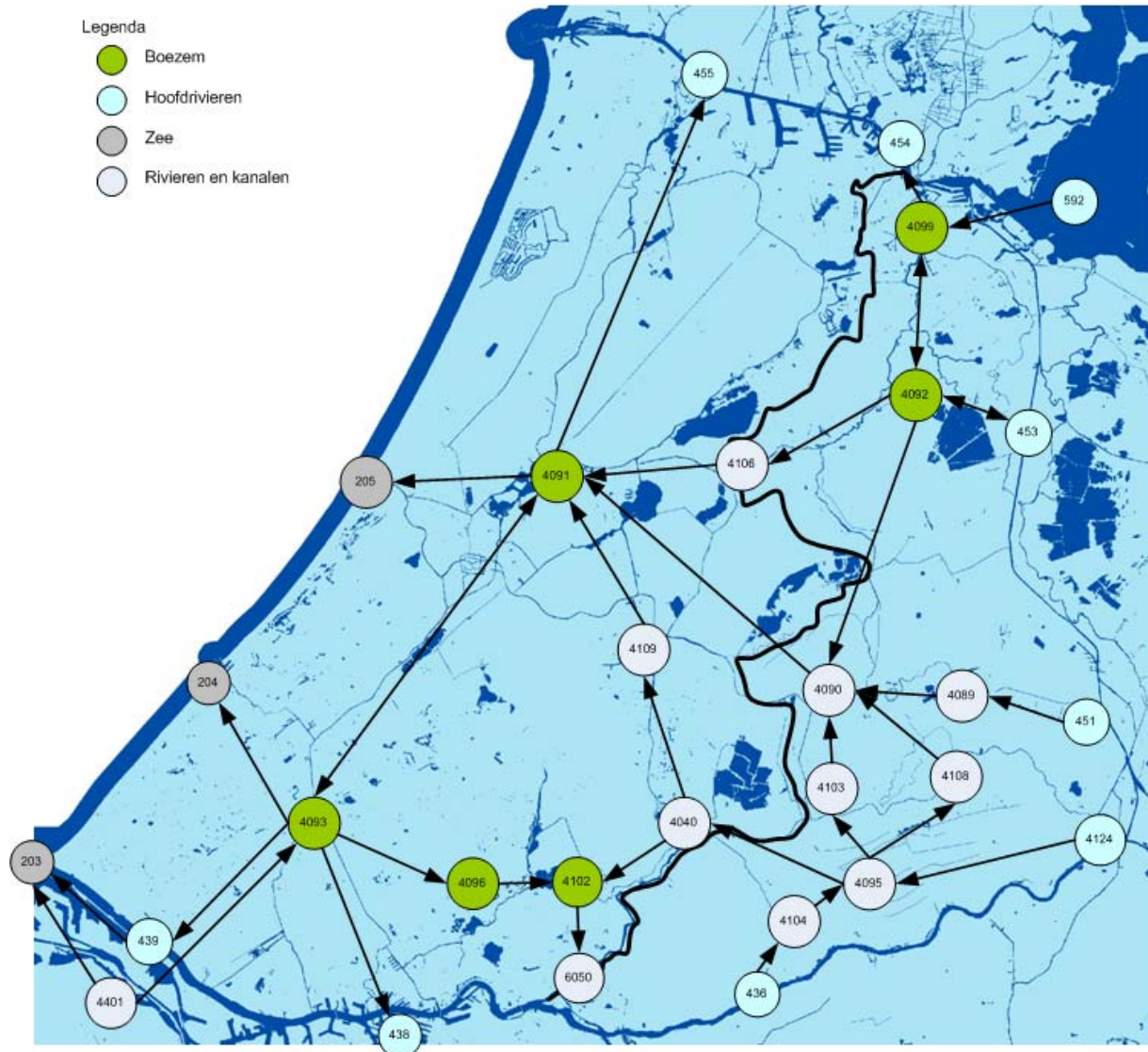
Berekening gewaswaarde voor de betreffende periode:

$$prijs_{rekenperiode} = prijs_{gemiddelde} \times \left(\frac{pot.gewasopbrengst_{rekenperiode}}{pot.gewasopbrengst_{gemiddelde}} \right)^{\frac{1}{elast}}$$

Waarin:

prijs	: prijs gewas	[€]
pot.gewasopbrengst	: potentiële gewasopbrengst	[1/ha]
elast	: prijselasticiteit	[-]

Bijlage D: Schematisering van het watersysteem in DM



Figuur D.1: Schematisering van het watersysteem in het Distributie Model. De pijlen geven aan hoe het water zal stromen tijdens droge periodes.

Nummer	Object	Nummer	Object
205	Noordzee Katwijk	454	Noordzeekanaal
204	Noordzee Scheveningen	4099	Gemaal Tolhuissluis
203	Noordzee Nieuwe Waterweg	4092	Boezem Amstel
455	Noordzeekanaal	4090	Oude Rijn
4091	Boezem Rijnland	4103	Enkele Wiericke
4093	Boezem Delfland	4104	Traject Lekgemaal de Koekoek - gemaal Keulervaart
439	Nieuwe Waterweg	436	Lek
4401	Brielse Meer	592	IJmeer
4106	Aarkanaal	453	Amsterdam Rijnkanaal
4109	De Gouwe	4089	Leidsche Rijn
4096	Rotteboezem	4108	Dubbele Wiericke
4102	Ringvaartboezem	4095	Gekanaliseerde Hollandse IJssel
438	Nieuwe Maas	451	Amsterdam Rijnkanaal
4040	Gouda	4124	Merwede kanaal
6050	Hollandse IJssel		

