

DROOGTE PREVENTIE- MAATREGELEN VERGELIJKEN

Een vergelijkende casestudie van Zoetwatervoorziening Oost-Nederland maatregelen voor de Soestwetering bovenloop

R.D. White (Ruben)
Bachelor Eindopdracht

Definitieve versie

6 juli 2019

Civiele techniek

Begeleiders

UT – J.F. Schyns (Joep), MSc., PhD.

WDOD – A.S. Both (Annet), MSc.



Colofon

Titel	Droogte preventiemaatregelen vergelijken
Ondertitel	Een vergelijkende casestudie van Zoetwatervoorziening Oost-Nederland maatregelen voor de Soestwetering bovenloop
Versie	Definitieve versie
Datum	6 juli 2019
Periode	8 april 2019 – 6 juli 2019
In opdracht van	Waterschap Drents Overijsselse Delta – Afdeling Onderzoek en Advies
Ten behoeve van	Bachelor eindopdracht Civiele Techniek aan de Universiteit Twente
Auteur	R.D. White (Ruben)
Studentnummer	S1850148
Begeleider UT	J.F. Schyns (Joep), MSc., PhD.
Begeleider WDOD	A.S. Both (Annet), MSc.

Voorwoord

Voor u ligt het onderzoeksrapport over een vergelijkende casestudie van Zoetwater Oost-Nederland maatregelen voor de Soestwetering bovenloop. Ik heb dit onderzoek van april tot en met juli uitgevoerd bij de afdeling Onderzoek en Advies van Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD). Deze opdracht is uitgevoerd ter afronding van de bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente.

Zonder de hulp van een aantal medewerkers bij WDOD had ik dit onderzoek niet uit kunnen voeren. Hiervoor wil ik hun bedanken. Ten eerste wil ik Annet Both bedanken voor de dagelijkse begeleiding binnen WDOD. Ik wil haar bedanken voor de hulp en feedback die ik van haar gedurende mijn onderzoek gekregen heb. Zij was voor mij een centraal aanspreekpunt waar ik te allen tijde terecht kon met vragen en opmerkingen. Verder heeft zij mij ook een impressie gegeven van de functie van een hydroloog binnen het waterschap door mij mee te nemen naar meerdere overleggen. Daarnaast wil ik Hans ter Horst bedanken voor de momenten waarop hij kritisch meegedacht heeft over diverse thema's binnen mijn onderzoek. Ook wil ik hem en Gert Horstra bedanken voor het delen van hun kennis tijdens expertoverleg sessies en het aanleveren van data ten behoeve van mijn onderzoek. Verder wil ik Joachim Hunink van Deltares bedanken voor het beantwoorden van mijn vragen op het gebied van MIPWA. Tot slot wil ik mijn collega's bij de afdeling Onderzoek en Advies bedanken voor alle hulp tijdens mijn onderzoek en het bieden van een prettige werkomgeving.

Ook wil ik Joep Schyns bedanken voor de dagelijkse begeleiding vanuit de Universiteit Twente. Ik wil hem bedanken voor zijn hulp en feedback tijdens mijn onderzoek. Daarnaast wil ik hem bedanken voor het wekelijkse contact dat wij gehouden hebben gedurende deze periode. Dit heeft ervoor gezorgd dat hij altijd op de hoogte was van mijn vooruitgang en hier advies over kon geven

Ruben White

Zwolle, 6 juli 2019

Samenvatting

Nederlandse Samenvatting

Klimaatverandering zorgt voor een toenemende droogteproblematiek in de regio Oost-Nederland. Als reactie hierop is het project Zoetwatervoorziening Oost-Nederland (ZON) gestart. In dit project zijn ZON-maatregelen ontworpen om de nadelige effecten van droogte te voorkomen of te reduceren. Binnen uitvoeringsprojecten worden de mogelijkheden voor de implementatie van deze maatregelen geanalyseerd. Een van deze projecten is het project Soestwetering bovenloop en Breebroeksleiding door Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD). WDOD ondervindt echter een probleem bij het vergelijken van ZON-maatregelen. Voor dit proces is er op dit moment namelijk nog geen standaardprocedure ontwikkeld. Hierdoor is het niet mogelijk om vast te stellen wat de meest effectieve maatregelen zijn voor het onderzoeksgebied binnen de Soestwetering bovenloop.

Dit rapport presenteert een methode om verschillende Zoetwatervoorziening Oost-Nederland maatregelen met elkaar te vergelijken gebaseerd op de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek en past deze methode toe in een casestudie voor de Soestwetering bovenloop. De casestudie vergelijkt drie verschillende ZON-maatregelen. De eerste ZON-maatregel (ZM1) betreft het opdelen van peilvakken door de aanleg van stuwen gecombineerd met het verhogen van de streefpeilen in de peilvakken. De andere twee maatregelen bouwen voort op ZM1 door daarnaast compensatiemaatregelen toe te passen in de laaggelegen gebieden, namelijk de aanleg van grondwaterdrainage (ZM2) of ophoging van het maaiveld (ZM3).

De methode die in dit rapport gepresenteerd wordt bestaat uit twee delen. In het eerste deel worden de indicatoren voor de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek bepaald. Dit wordt gedaan op basis van de verwachtingen en eisen van de belangrijkste actoren in de Soestwetering bovenloop. Deze actoren zijn Waterschap Drents Overijsselse Delta, IJssellandschap en Land en Tuinbouw Organisatie (LTO). Hieruit volgen indicatoren die zijn onderverdeeld in de volgende indicatorcategorieën: kosten, baten, effecten en neveneffecten. In deze casestudie worden binnen deze groepen de volgende indicatoren meegenomen: vaste en lopende kosten (kosten), gewasopbrengst (baten), droogtestress en zuurstofstress (effecten), en reductie van de piekafvoeren, reductie van de wateraanvoer, reductie van de stikstof- en fosfaatuitspoeling, verbetering van de waterkwaliteit en verbetering van de natuurscore (neveneffecten).

Vervolgens wordt de effectiviteit voor de drie ZON-maatregelen bepaald. In dit onderdeel worden eerst de dimensies van de maatregelen vastgesteld in een expertoverleg. Uit deze dimensies volgen de kosten en directe effecten van de maatregelen. De kosten zijn bepaald met behulp van kengetallen die voortkomen uit bestaande kostenramingen. De directe effecten van de maatregelen hebben betrekking tot de grondwatercondities, specifiek de GHG (gemiddelde hoogste grondwaterstand) en GLG (gemiddelde laagste grondwaterstand). Deze zijn bepaald met het grondwatermodel MIPWA. De resultaten voor de directe effecten worden gebruikt om de indirecte effecten en baten te bepalen met behulp van de recent ontwikkelde Waterwijzer Landbouw (WWL). Tenslotte worden de neveneffecten van de maatregelen kwalitatief uitgedrukt en elk voorzien van een toelichting. De scores voor de neveneffecten zijn bepaald in een expertoverleg.

Uit de analyse blijkt dat de kosten voor alle ZON-maatregelen relatief hoog zijn ten opzichte van de baten en effecten. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop voor de drie de ZON-maatregelen relatief laag is. Wanneer er echter gekeken wordt naar de directe effecten van de maatregelen is er te zien dat de maatregelen wel een significant effect hebben op de grondwateromstandigheden. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de ZON-maatregelen wellicht wel effectief zijn voor de preventie van de droogteproblematiek, maar dat deze effectiviteit niet blijkt uit de resultaten van de WWL.

Daarnaast is op te merken dat de baten, effecten en neveneffecten redelijk constant zijn voor alle maatregelen (met name voor ZM2 en ZM3). Dit maakt het niet mogelijk om een definitieve rangorde vast te stellen voor de drie ZON-maatregelen gebaseerd op de effectiviteit van deze maatregelen.

Op basis van de resultaten voor de casestudie kan geconcludeerd worden dat de methode die gebruikt wordt in dit onderzoek ongeschikt is om de onderzochte ZON-maatregelen met elkaar te vergelijken binnen de Soestwetering bovenloop. Dit komt met name door het gebruik van de Waterwijzer Landbouw. Uit de discussie volgt namelijk dat de WWL niet geschikt is om gebruikt te worden voor gebieden, waaronder het onderzoeksgebied voor de casestudie, waar gestuurd peilbeheer wordt toegepast. Daarnaast is de WWL niet accuraat genoeg om de verschillen tussen de onderzochte maatregelen adequaat te analyseren.

Gekeken naar de significante directe effecten van de maatregelen op de grondwateromstandigheden wordt het wel aanbevolen om de peilen in de peilvakken in het onderzoeksgebied te verhogen (ZM1). Op basis van dit onderzoek kan niet bepaald worden of het hierbij ook nodig is om compenserende maatregelen toe te passen in de laaggelegen gebieden van de peilvakken (ZM2 en ZM3). Daarnaast wordt er aanbevolen om de huidige versie van de WWL niet te gebruiken binnen het beheergebied van WDOD, omdat binnen dit gebied in vrijwel alle peilenvakken gestuurd peilbeheer wordt toegepast en de WWL op dit moment niet geschikt is om gebruikt te worden onder deze omstandigheden.

Engelse Samenvatting (English Abstract)

Climate change is causing an increase in drought issues in the region Oost-Nederland. As a response, the project Zoetwatervoorziening Oost-Nederland (ZON) has been developed. In this project ZON-measures have been determined to prevent or reduce the adverse effects of drought. Within implementation projects opportunities for implementation of these measures is assessed. One of these projects is the project Soestwetering bovenloop en Breebroeksleiding by Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD). However, WDOD encounters the problem of comparing ZON-measures. No standard procedure has yet been developed for this process. As a result, it is currently not possible to determine what the most effective measures are for the research area within the Soestwetering bovenloop.

This report presents a method to compare different Zoetwatervoorziening Oost-Nederland measures with each other based on the effectiveness for the prevention of drought issues and apply this method in a case study for the Soestwetering bovenloop. The case study compares three different ZON-measures. The first ZON-measure (ZM1) consists of dividing water-level areas by constructing weirs combined with raising the target water levels in the water-level areas. The other two measures expand ZM1 by additionally applying compensation measures in the low-lying areas, namely the construction of groundwater drainage systems (ZM2) and raising of the surface level (ZM3).

The method that is presented in this report consists of two sections. In the first section, the indicators for the effectiveness for the prevention of drought issues are determined. This is done based on the expectations and requirements of the most important actors in the Soestwetering bovenloop. These actors are Waterboard Drents Overijsselse Delta, IJsselandschap and Land en Tuinbouw Organisatie (LTO; in English: Agriculture and Horticulture Organisation). This results in indicators that are divided into the following categories: costs, benefits, effects and side effects. In this case study the following indicators are included in these categories: fixed and running costs (costs), crop yield (benefits), drought stress and oxygen stress (effects), and reduction of peak discharges, reduction of water supplement, reduction of nitrogen and phosphate leaching, improvement of the water quality and improvement of the nature score (side effects).

In the second section the effectiveness of the three ZON-measures is determined. The dimensions of the measures are first determined in an expert consultation. The costs and direct effects of the measures follow from the dimensions. The costs are determined using key figures that result from existing cost estimates. The direct effects of the measures relate to the groundwater conditions (GHG and GLG). These are determined with the groundwater model MIPWA. The results for the direct effects are used to determine the indirect effects and benefits with the help of the Waterwijzer Landbouw (WWL) tool. Lastly, the side effects of the measures are expressed qualitatively, and each is provided with an explanation. The scores for the side effects are determined in an expert consultation.

The analysis for the case study shows that the costs for all ZON-measures are relatively high in relation to the benefits and effects. From this, it can be concluded that the effectiveness for the prevention of drought issues in the Soestwetering bovenloop is relatively low for the three ZON-measures. However, the direct effects of the measures show that the measures do have a significant effect on the groundwater conditions. Based on this, it can be concluded that the ZON-measures may be effective for the prevention of the drought issues, but the results that follow from the WWL do not show this effectiveness.

Moreover, it should be noted that the benefits, effects and side effects are fairly consistent for all measures (especially for ZM2 and ZM3). Because of this, it is not possible to establish a definitive ranking for the three ZON-measures based on the effectiveness of these measures.

Based on the results for the case study, it can be concluded that the method used in this study is unsuitable for comparing the analysed ZON-measures within the Soestwetering bovenloop. This is mainly due to the use of the Waterwijzer Landbouw in this method. The discussion shows that the WWL is not suitable to be used in areas, including the research area for the case study, where controlled water level management is applied. Additionally, the WWL is not accurate enough to properly analyse the differences between the ZON-measures in the case study.

Considering the significant direct effect of the measures on the groundwater conditions, it is recommended to increase the water levels in the water-level areas in the research area (ZM1). Based on this research, it cannot be determined whether it is also necessary to apply compensation measures in the low-lying areas of the water-level areas (ZM2 and ZM3). It is also recommended that the current version of the WWL is not used within the management area of WDOD, because within this area controlled water level management is applied in the majority of the water-level areas and the WWL is currently not suitable to be used under these circumstances.

Inhoudsopgave

Colofon	2
Voorwoord.....	3
Samenvatting	4
1. Introductie	9
1.1 Probleemstelling.....	9
1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen	10
1.3 Scope	11
1.4 Leeswijzer	11
2. Context	12
2.1 Onderzoeksgebied.....	12
2.2 ZON-maatregelen	13
3. Methode	15
3.1 Deelvraag 1: Indicatoren voor de effectiviteit	16
3.2 Deelvraag 2: Effectiviteit van de ZON-maatregelen.....	17
4. Resultaten.....	23
4.1 Deelvraag 1: Indicatoren voor de effectiviteit	23
4.2 Deelvraag 2: Effectiviteit van de ZON-maatregelen.....	25
5. Discussie	42
5.1 Methode discussie.....	42
5.2 Casestudie discussie	43
5.3 Waterwijzer Landbouw discussie	45
6. Conclusie en aanbevelingen.....	48
6.1 Conclusie	48
6.2 Aanbevelingen	49
Literatuur	51
Bijlagen	53
A. Achtergrondprojecten	53
B. Software omgeving.....	54
C. Waterwijzer Landbouw resultatentabellen.....	56
D. Waterwijzer Landbouw gevoeligheidsanalyse	61
E. Waterwijzer Landbouw resultaten beheergebied WDOD	65

1. Introductie

In dit hoofdstuk wordt in paragraaf 1.1 de probleemstelling van dit onderzoek omschreven. Hierna volgen de bijbehorende doelstelling en onderzoeksvragen in paragraaf 1.2. In paragraaf 1.3 wordt de scope van dit onderzoeken beschreven. Tenslotte bevat paragraaf 1.4 een leeswijzer voor dit rapport.

1.1 Probleemstelling

Het klimaat verandert, zomers worden warmer en droger. Daarnaast neemt de kans op hevige neerslag in de zomer toe (Rijksoverheid, n.d.). Deze regenbuien leiden tot wateroverlast. De regio Oost-Nederland ondervindt problemen door deze klimaatveranderingen. Langere en heftigere periodes van droogte veroorzaken economische, landschap- en natuurschade (Rijksoverheid, n.d.).

Als reactie op de droogteproblematiek is het project Zoetwatervoorziening Oost-Nederland (ZON) ontwikkeld. Het ZON-project werkt aan oplossingen en maatregelen om de huidige watertekorten aan te pakken en tijdig te reageren op de effecten veroorzaakt door klimaatverandering. Het projectgebied voor het ZON-project bestaat uit de beheergebieden van de waterschappen Vallei en Veluwe, Vechtstromen, Rijn en IJssel en Drents Overijsselse Delta (Rijksoverheid, n.d.). Meer informatie over het ZON-project is opgenomen in Bijlage A.

Momenteel is het ZON-project in de implementatie fase (2016-2021). Er zijn geen specifieke normen of kwantitatieve opgaven vastgesteld door het ZON-project. Binnen gebiedsprocessen wordt er gekeken naar de mogelijkheid om ZON-maatregelen toe te passen (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2018). Omdat het ZON-project geen specifieke normen heeft, is er geen standaardmethode om verschillende ZON-maatregelen met elkaar te vergelijken. Hierdoor is het lastig om de meest effectieve maatregel te selecteren uit een reeks van voorgestelde ZON-maatregelen voor een bepaald projectgebied. Enkele onderzoeken zijn uitgevoerd waarin de effectiviteit van ZON-maatregelen bepaald is op basis van diverse indicatoren op verschillende niveaus (Delsman, et al., 2018; ter Maat, et al., 2014; ECORYS, 2013). De meest recente hiervan is de Regioscan Zoetwatermaatregelen uitgevoerd door STOWA en opgenomen in de kennisagenda van het Deltaprogramma 2019 (Deltacommissaris, 2018). In deze Regioscan wordt een instrument gepresenteerd om ZON-maatregelen met elkaar te kunnen vergelijken die betrekking hebben op irrigatie-, drainage- en beregeningssystemen.

Voordat ZON-maatregelen vergeleken kunnen worden op basis van hun effectiviteit, is het belangrijk om eerst vast te stellen welke indicatoren meewegen bij het bepalen van de effectiviteit. Deze indicatoren verschillen per project en locatie en zijn afhankelijk van de verwachtingen en eisen van de actoren in het gebied.

Een van de projecten waarin waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD) ZON-maatregelen wil implementeren is het project Soestwetering bovenloop en Breebroeksleiding. Dit project vindt plaats in een gebied ten westen van de Sallandse Heuvelrug. Meer informatie over dit project is opgenomen in Bijlage A. Binnen dit project is er een deelgebied van de Soestwetering bovenloop toegewezen voor de implementatie van ZON-maatregelen. In paragraaf 2.1 wordt het onderzoeksgebied voor deze studie uitgebreid beschreven. Een reeks van potentiële ZON-maatregelen is al opgesteld voor dit gebied, waaronder peilvakken opdelen door de aanleg van stuwen, wellicht gecombineerd met grondwaterdrainage of maaiveld verhoging in laaggelegen gebieden. Deze maatregelen worden toegepast in combinatie met peilverhogingen binnen het onderzoeksgebied. Echter, zoals het geval is bij veel andere projecten waarin implementatie van ZON-maatregelen overwogen wordt, ondervindt WDOD problemen bij het vergelijken van ZON-maatregelen en het selecteren van de meest effectieve maatregel om de nadelige effecten van droogte in het gebied te voorkomen of te verminderen.

1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen

De doelstelling van dit onderzoek is het ontwikkelen van een methode om verschillende Zoetwatervoorziening Oost-Nederland maatregelen met elkaar te vergelijken op basis van de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek en deze methode toe te passen op de casestudie van de Soestwetering bovenloop.

Hoofdvraag

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt als volgt:

- *Hoe kunnen verschillende Zoetwatervoorziening Oost-Nederland maatregelen met elkaar vergeleken worden op basis van de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop?*

Deelvragen

De hoofdvraag is onderverdeeld in de onderstaande deelvragen, inclusief een aantal stappen die de leidraad vormen voor de rest van het onderzoek:

1. *Welke indicatoren bepalen de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop?*
 1. Bepaal de verwachtingen en eisen van actoren met betrekking tot de droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop
 2. Zet deze verwachtingen en eisen om naar meetbare indicatoren voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop
2. *Wat is de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek van verschillende Zoetwatervoorziening Oost-Nederlands maatregelen in de Soestwetering bovenloop?*
 1. Bepaal de dimensionering van de ZON-maatregelen
 2. Bepaal de kosten van de ZON-maatregelen
 3. Bepaal de directe effecten van de ZON-maatregelen
 4. Bepaal de indirecte effecten van de ZON-maatregelen
 5. Bepaal de baten van de ZON-maatregelen
 6. Bepaal de neveneffecten van de ZON-maatregelen
 7. Bepaal de effectiviteit van de ZON-maatregelen

Zoetwatervoorziening Oost-Nederland maatregelen

De stappen van deelvraag 2 worden uitgevoerd voor de volgende ZON-maatregelen (ZM) en een nulalternatief (NUL):

- NUL. Referentiesituatie (geen maatregelen toepassen)
- ZM1. Peilvakken opdelen door de aanleg van stuwen en peiloptimalisatie*
- ZM2. Grondwaterdrainage in laaggelegen gebieden**
- ZM3. Maaiveldverhoging in laaggelegen gebieden**

- * In deze maatregel duidt peiloptimalisatie op het verhogen van de streefpeilen voor de peilvakken binnen het onderzoeksgebied.
- ** Deze maatregelen worden toegepast in combinatie met ZM1 en voorkomen daarbij dat de peilverhogingen leiden tot waterschade in de laaggelegen gebieden.

Meer details over deze ZON-maatregelen worden gegeven in paragraaf 2.2.

1.3 Scope

Dit onderzoek beperkt zich tot één methode om verschillende Zoetwatervoorziening Oost-Nederland maatregelen met elkaar te vergelijken. Deze methode wordt toegepast binnen de Soestwetering bovenloop. Het gaat hier specifiek om de vijf peilvakken die beschreven worden in paragraaf 2.1. Deze studie focust op het vergelijken van de drie ZON-maatregelen die beschreven worden in paragraaf 2.2. Andere ZON-maatregelen worden dan ook niet meegenomen in dit onderzoek.

Bij het bepalen van de effectiviteitsindicatoren worden alleen de volgende actoren meegenomen: Waterschap Drents Overijsselse Delta, IJssellandschap en Land en Tuinbouw Organisatie (LTO). De belangen van LTO komen in deze studie overeen met de belangen van de lokale agrariërs in het onderzoeksgebied. Er is specifiek voor gekozen deze actoren mee te nemen in deze studie omdat ze eigenaar en beheerder zijn van delen van het onderzoeksgebied en daarom direct belang hebben bij de watercondities binnen het gebied. De effectiviteitsindicatoren zullen dan ook betrekking hebben op de verwachtingen en eisen van deze actoren met betrekking tot de droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop. Andere verwachtingen en eisen, en daardoor ook indicatoren, zullen niet meegenomen worden bij het bepalen van de effectiviteit van de ZON-maatregelen.

1.4 Leeswijzer

In **Hoofdstuk 2** wordt er eerst informatie over het onderzoeksgebied voor deze studie gegeven. Daarna volgen beschrijvingen van de kansrijke ZON-maatregelen voor dit gebied.

In **Hoofdstuk 3** wordt de methode voor dit onderzoek beschreven. De methode is opgedeeld in deelvraag 1 en deelvraag 2 en wordt per stap behandeld.

In **Hoofdstuk 4** worden de resultaten voor dit onderzoek beschreven. De resultaten zijn eveneens opgedeeld in deelvraag 1 en deelvraag 2 en worden per stap behandeld.

In de **Discussie** worden de punten die in dit onderzoek ter discussie staan beschreven. Deze punten zijn onderverdeeld in de methode die gepresenteerd wordt in dit onderzoek, de casestudy waarop deze methode is toegepast en het gebruik van de Waterwijzer Landbouw.

In de **Conclusie en aanbevelingen** worden de belangrijkste bevindingen kort genoemd gevolgd door een aantal aanbevelingen die eveneens onderverdeeld zijn in de methode die gepresenteerd wordt in dit onderzoek, de casestudy waarop deze methode is toegepast en het gebruik van de Waterwijzer Landbouw.

Tenslotte zijn in dit verslag een lijst met de geraadpleegde **Literatuur** en de volgende **Bijlagen** ter verduidelijking van het hoofdverslag opgenomen:

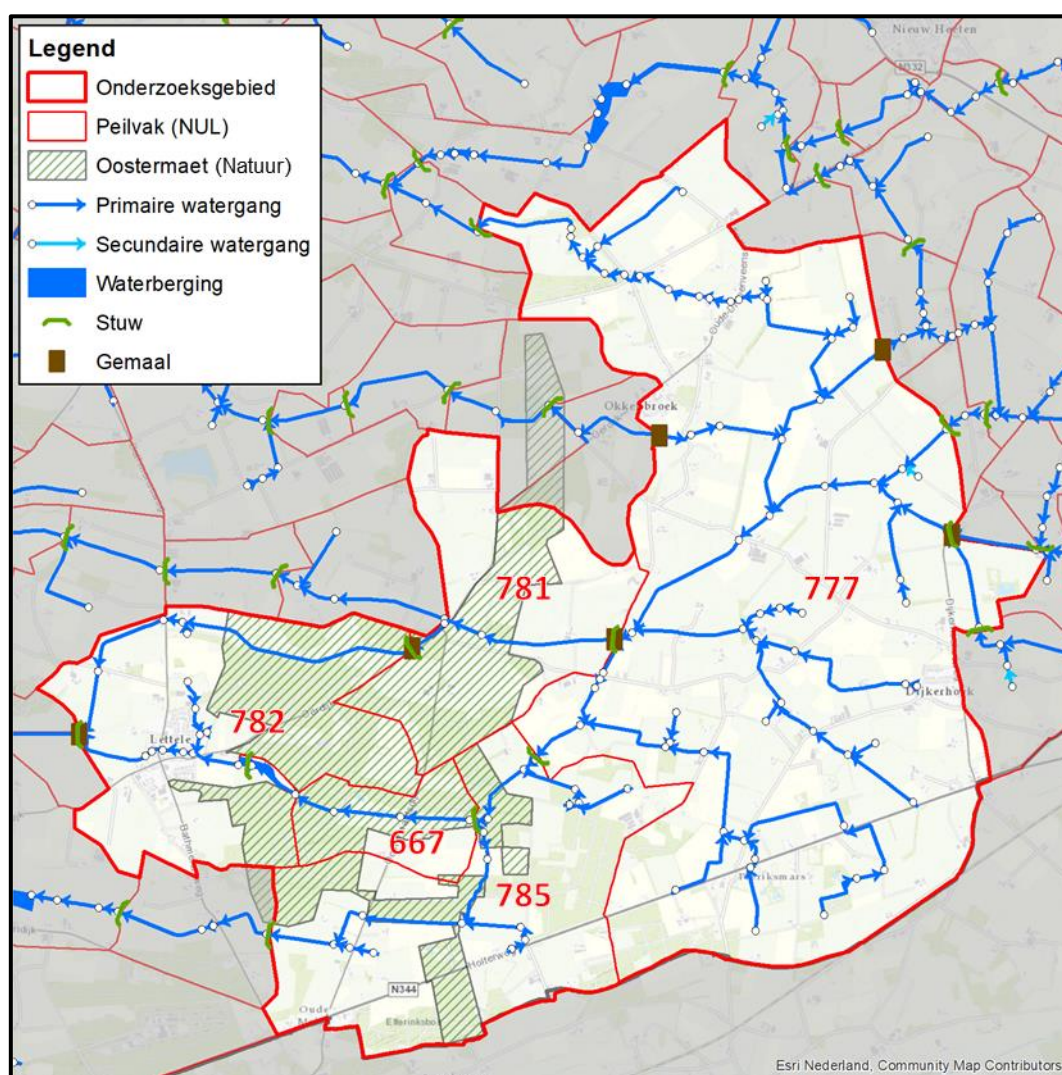
- **Bijlage A. Achtergrondprojecten**, waarin de projecten waar deze studie betrekking op heeft kort beschreven worden.
- **Bijlage B. Software omgevingen**, waarin de software omgeving van de programma's die gebruikt zijn in dit onderzoek kort beschreven worden.
- **Bijlage C. Waterwijzer Landbouw resultatentabellen**, waarin tabellen zijn opgenomen met daarin de resultaten per peilvak die volgen uit de Waterwijzer Landbouw.
- **Bijlage D. Waterwijzer Landbouw Gevoeligheidsanalyse**, waarin tabellen en figuren zijn opgenomen met daarin de resultaten voor de gevoeligheidsanalyse van de Waterwijzer Landbouw.
- **Bijlage E. Waterwijzer Landbouw resultaten beheergebied WDOD**, waarin figuren zijn opgenomen met daarin de resultaten van de Waterwijzer landbouw voor het hele onderzoeksgebied van WDOD.

2. Context

Dit hoofdstuk beschrijft het onderzoeksgebied en de ZON-maatregelen voor deze studie. Paragraaf 2.1 geeft informatie over het onderzoeksgebied. In paragraaf 2.2 worden de kansrijke ZON-maatregelen voor het onderzoeksgebied beschreven.

2.1 Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied voor deze studie is deel van de Soestwetering bovenloop en bestaat uit de landbouwzone rondom het landgoed Oostermaet en het beekdal van de Lettelerleide en Soestwetering. Figuur 1 bevat een kaart van het onderzoeksgebied waarin de peilvakken (inclusief peilvaknummers), watergangen, kunstwerken en het landgoed Oostermaet staan aangegeven.



Figuur 1: Onderzoeksgebied – Soestwetering bovenloop.

Tabel 1: Peilvakken zomer- en winterpeilen.

Peilvak	667	777	781	782	785
Zomerpeil (Max. peil) [$m + NAP$]	7,00	8,15	7,80	6,80	7,65
Winterpeil (Min. peil) [$m + NAP$]	7,00	7,90	7,60	6,60	7,45

Het onderzoeksgebied bestaat uit vijf peilvakken. De zomer en winter streefpeilen voor deze peilvakken zijn gegeven in Tabel 1. In deze tabel is te zien dat voor elk peilvak het zomerpeil hoger dan of gelijk aan het winterpeil is. Dit wordt gestuurd peilbeheer genoemd. Binnen het onderzoeksgebied zijn twaalf stuwen aanwezig. De streefpeilen voor een peilvak worden gehanteerd door middel van de stuwen die aan de benedenstroomse grens liggen. De regionale stroomrichting in het gebied is van oost naar west (zie Figuur 1). Binnen het gebied bevinden zich zes aanvoergemalen. De gemalen worden gebruikt om water tegen de natuurlijke stroomrichting in aan te voeren naar het onderzoeksgebied en andere bovenstroomse gebieden. Dit wordt gedaan om de streefpeilen in het onderzoeksgebied te handhaven en omwille van waterwinning in de bovenstroomse gebieden.

Het onderzoeksgebied ligt in de provincie Overijssel en maakt deel uit van de gemeente Deventer. Het watersysteem wordt beheerd door Waterschap Drents Overijsselse Delta. Binnen het gebied bevindt zich een groot deel van landgoed Oostermaet. IJssellandschap is eigenaar en beheerder van dit landgoed. Het landgoed is bijna 550 hectare groot en wordt gekenmerkt door een grote boskern van ongeveer 285 hectaren. In en om deze boskern liggen landbouwgronden die voornamelijk gebruikt worden ten behoeve van de melkveehouderij (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2018). De overige gronden binnen het onderzoeksgebied worden hoofdzakelijk gebruikt voor landbouwdoeleinden. De lokale agrariërs hebben dan ook belang bij de watercondities in het gebied. Deze belangen worden ondersteund door LTO (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2016).

De ZON-maatregelen voor dit gebied hebben tot doel om de grondwatervoorraad in het gebied te kunnen vergroten. De grondwatervoorraad wordt vergroot door de grondwaterstanden te verhogen. Dit wordt gedaan door hogere peilen in de watergangen te handhaven. Deze verhoogde peilen zijn een gevolg van de hogere streefpeilen voor de peilvakken binnen het onderzoeksgebied. De streefpeilen worden verhoogd door de bestaande stuwen, benedenstrooms van de peilvakken, op te hogen of te vervangen met hogere stuwen. Bij de peilverhogingen moeten er echter maatregelen genomen worden om te voorkomen dat de peilverhogingen leiden tot waterschade in de laaggelegen gebieden. De verhoging moet namelijk in overeenstemming zijn met de droogleggingsnormen van WDOD (zie paragraaf 2.2).

Uit een overleg met de hydrologen A.S. Both en H. ter Horst van WDOD (A.S. Both en H. ter Horst, persoonlijke communicatie, 13 maart 2019), bleken de volgende ZON-maatregelen kansrijk te zijn in dit onderzoeksgebied:

1. Peilvakken opdelen door de aanleg van stuwen gecombineerd met peiloptimalisatie
2. Grondwaterdrainage in laaggelegen gebieden
3. Maaiveldverhoging in laaggelegen gebieden

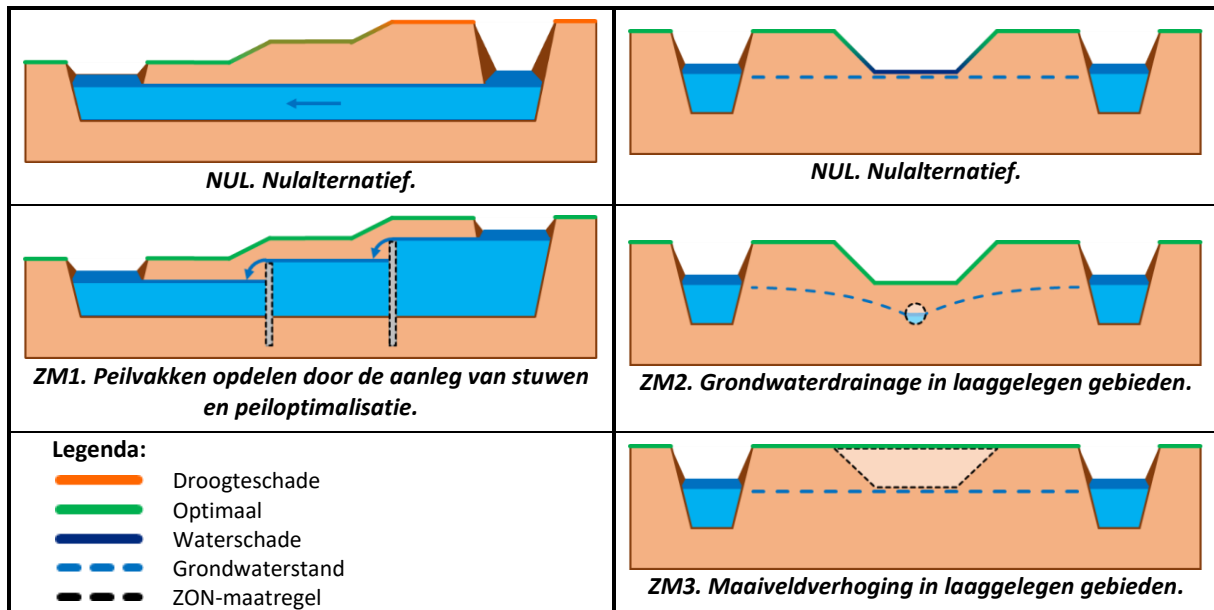
2.2 ZON-maatregelen

Drooglegging is het verschil tussen het streefpeil en de maaiveldhoogte. De Soestwetering bovenloop heeft een zandbodem waarin infiltratie plaatsvindt. Hierdoor gelden de volgende normen voor de drooglegging in het onderzoeksgebied (Waterschap Drents Overijsselse Delta, n.d.):

- Voor de laagste 5% van het maaiveld oppervlak van een peilvak geldt dat de drooglegging minimaal 55 cm en maximaal 90 cm mag zijn.
- Het hoogste punt van de laagste 5% van het maaiveld oppervlak van een peilvak moet voldoen aan de optimale drooglegging van 70 cm.

De droogleggingsnormen voorkomen dat er schade optreedt als gevolg van zuurstofstress in de laagste delen van een peilvak. Deze normen zorgen er echter ook voor dat hooggelegen gebieden binnen een peilvak te droog worden, waardoor deze gebieden schade ondervinden door droogtestress. Op dit moment zijn er nog geen normen voor het voorkomen van schade als gevolg van droogtestress.

De drie ZON-maatregelen zorgen ervoor dat de peilen in het onderzoeksgebied verhoogd kunnen worden, terwijl de laaggelegen gebieden in overeenstemming blijven met de droogleggingsnormen van WDOD. Figuur 2 geeft een schematische weergave van het nulalternatief en de ZON-maatregelen. Hieronder worden meer details over deze ZON-maatregelen gegeven.



Figuur 2: Schematische weergave van nulalternatief (NUL) en ZON-maatregelen (ZM).

ZM1: Peilvakken opdelen door de aanleg van stuwen en peiloptimalisatie

Bij peilverhoging voorkomt deze maatregel dat de laaggelegen gebieden te nat worden door bestaande peilvakken op te delen in kleinere peilvakken door de aanleg van stuwen. Hierdoor kan in elk peilvak de waterstand, en daardoor ook grondwaterstand, apart beheerd worden. Volgens A.S. Both (A.S. Both, persoonlijke communicatie, 17 april 2019), leiden de lokale hoogteverschillen in peilvakken tot een suboptimaal beheer van de waterstanden voor de peilvakken in het gebied. Met deze maatregel kunnen stuwen geplaatst worden binnen peilvakken waarin grootte hoogteverschillen optreden. De peilen in de hooggelegen delen kunnen dan verhoogd worden, terwijl de laag gelegen delen nog steeds aan de droogleggingsnorm voldoen. Op deze manier kunnen de streefpeilen in het gebied geoptimaliseerd worden.

ZM2: Grondwaterdrainage in laaggelegen gebieden

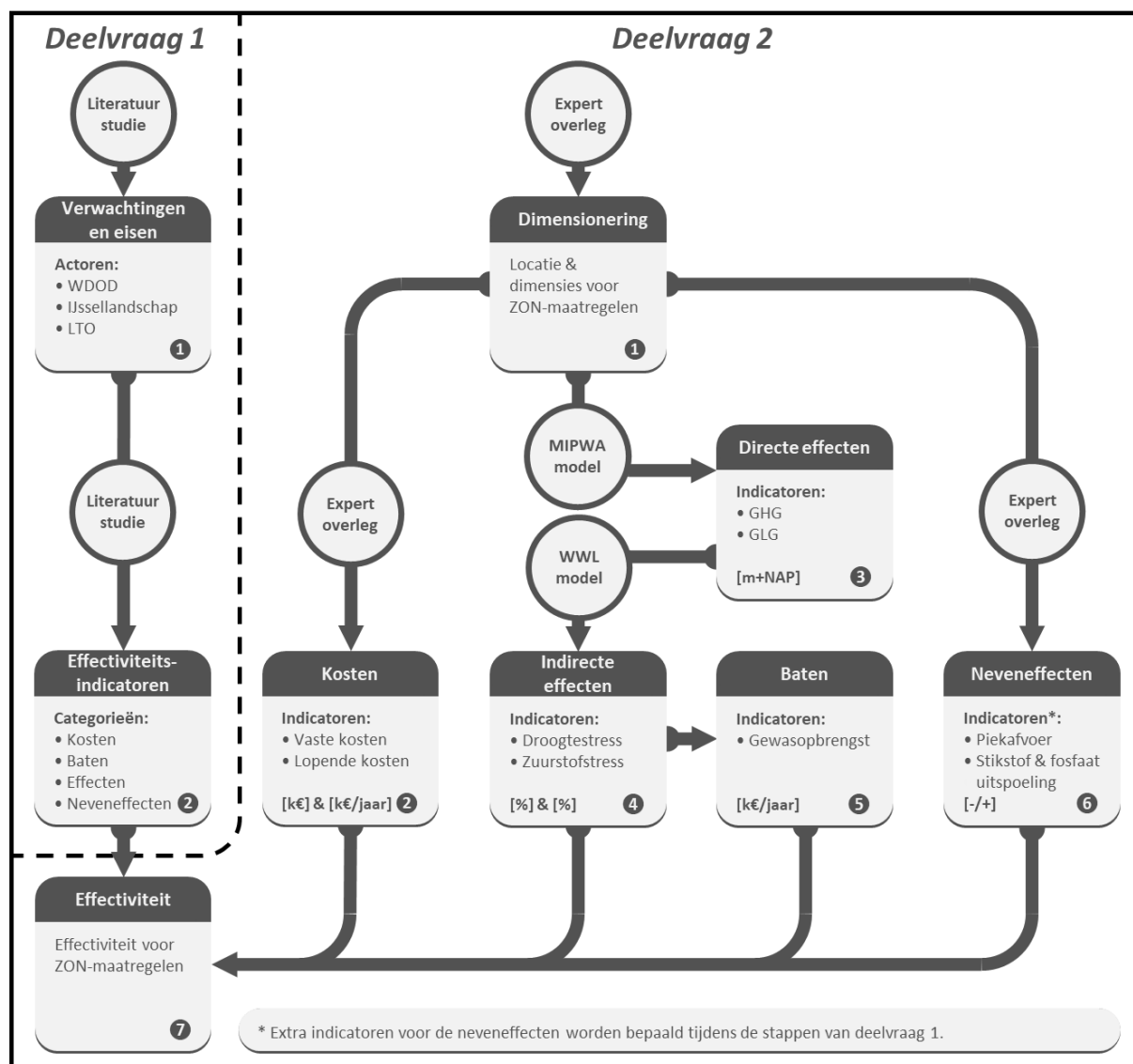
Bij peilverhoging voorkomt deze maatregel dat de laaggelegen gebieden te nat worden door het toepassen van drainage. Door grondwater te draineren wordt de werkelijke grondwaterstand verlaagd. De drooglegging is echter alleen afhankelijk van het streefpeil, deze is gelijk aan de waterstand in de watergangen. In theorie voldoet hierdoor de laagste 5% van het maaiveld oppervlak van een peilvak niet aan de droogleggingsnorm. In de praktijk ondervinden deze laaggelegen gebieden echter geen schade door zuurstofstress omdat de werkelijke grondwaterstanden lokaal lager liggen dan het streefpeil van het peilvak.

ZM3: Maaiveldverhoging in laaggelegen gebieden

Bij peilverhoging voorkomt deze maatregel dat de laaggelegen gebieden te nat worden door deze gebieden op te hogen. Door het maaiveld te verhogen neemt de drooglegging (het verschil tussen maaiveld en waterpeil) ook toe. Hierdoor kunnen de waterstanden in het gehele gebied verhoogd worden terwijl er nog steeds voldaan wordt aan de droogleggingsnormen in de laaggelegen gebieden. Het is bij deze maatregel wel van belang dat het duidelijk is welk maaiveldoppervlak deel uitmaakt van de laagste 5% van het maaiveld oppervlak van een peilvak (ook na ophoging).

3. Methode

Dit hoofdstuk beschrijft de methode voor dit onderzoek. Figuur 3 bevat een flowchart voor de methode. In deze flowchart zijn de stappen (blokken) per deelvraag, inclusie de verwachte resultaten, relaties tussen de stappen (peilen) en methoden (cirkels) voor deze relaties weergegeven. De methodiek wordt per stap voor deelvraag 1 en 2 beschreven in respectievelijk paragraaf 3.1 en paragraaf 3.2.



Figuur 3: Overzicht van de methode.

In dit onderzoek speelt de software die gebruikt is een belangrijke rol bij het verkrijgen van de resultaten. De software, inclusief versie, gebruikt tijdens dit onderzoek is gegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Gebruikte software en versie.

Software	Versie
ArcGIS (Basic)	10.6.1
AHN-Tools10	10.2.2
MIPWA	3.0
Waterwijzer Landbouw (WWL)	2.0.2 (tabel versie)

ArcGIS is een geografisch informatiesysteem (GIS) door Esri, waarin datalagen geanalyseerd en getransformeerd kunnen worden. Kaarten worden in ArcGIS gebruikt voor de geografische visualisatie van deze datalagen en geografische analyses (Esri, n.d.). AHN-Tools10 is een extensie-tool set van WDOD die binnen ArcGIS gebruikt wordt om data te verkrijgen over de maaiveldhoogte, streefpeilen, drooglegging, inundatie diepte en bouwhoogte. MIPWA (Methodiek Interactieve Planvorming Waterbeheer) is een grootschalig en gedetailleerd grondwatermodel van Noordoost-Nederland ontwikkeld door Deltares (Deltares, n.d.). De Waterwijzer Landbouw is een instrument recentelijk ontwikkeld door Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) dat gebruikt kan worden om het effect te bepalen van de veranderingen in hydrologische condities op de gewasopbrengst (Wageningen University & Research, 2019).

In meerdere stappen van het onderzoek wordt ArcGIS gebruikt om het onderzoeksgebied te analyseren, de maatregelen te implementeren en resultaten te visualiseren. Dit wordt gedaan met behulp van de bestaande kaarten voor het gehele beheergebied van WDOD. Beschrijvingen voor de software omgeving van MIPWA en de Waterwijzer Landbouw zijn opgenomen in Bijlage B.

3.1 Deelvraag 1: Indicatoren voor de effectiviteit

3.1.1 Verwachtingen en eisen

In deze stap worden de verwachtingen en eisen van de actoren met betrekking tot de droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop beschreven. Dit wordt gedaan met behulp van de actorenlijst en stakeholderanalyse die zijn opgesteld in het vooronderzoek van het project Soestwetering bovenloop en Breebroeksleiding. Bij het beschrijven van de verwachtingen en eisen wordt direct de koppeling gemaakt met de indicatoren met behulp van indicator-ID's.

Bij het bepalen van de verwachtingen en eisen worden de volgende actoren meegenomen: Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD), IJssellandschap (IJLS) en Land en Tuinbouw Organisatie (LTO). De belangen van LTO komen hierbij overeen met de belangen van de lokale agrariërs in het onderzoeksgebied. Zoals beschreven in de scope is er specifiek voor gekozen om deze actoren mee te nemen omdat ze eigenaar en beheerder zijn van delen van het onderzoeksgebied en daarom direct belang hebben bij de watercondities binnen het gebied.

3.1.2 Effectiviteitsindicatoren

In deze stap wordt een lijst van indicatoren opgesteld voor het bepalen van de effectiviteit voor de preventie van de droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop. Deze lijst komt voort uit de verwachtingen en eisen van de actoren. Zoals beschreven in de vorige stap, wordt deze koppeling direct gemaakt met behulp van indicator-ID's.

Bij het opstellen van de indicatorenlijst voor dit onderzoek zullen de indicatorcategorieën en indicatoren die gebruikt worden in de Regioscan Zoetwatermaatregelen, uitgevoerd door STOWA (Delsman, et al., 2018), als uitgangspunt genomen worden. Hierbij wordt er gekeken naar de indicatoren en categorieën in de Regioscan die relevant zijn voor het onderzoeksgebied en de onderzochte maatregelen in deze studie. Ook is er gekeken naar de mogelijke effecten die bepaald kunnen worden met MIPWA en de Waterwijzer Landbouw. Een uitgangspunt voor de indicatorlijst wordt gegeven in Tabel 3. Deze lijst, met name de neveneffecten, kan aangevuld worden aan de hand van de verwachtingen en eisen van de actoren.

Tabel 3: Uitgangspunt voor de indicatorenlijst.

Categorieën*	Indicatoren*	Eenheid
Kosten	Vaste kosten	[k€]
	Lopende kosten	[k€/jaar]
Baten	Gewasopbrengst	[k€/jaar]
Effecten	Droogtestress (gemiddelde & oppervlakte)	[%] & [ha]
	Zuurstofstress (gemiddelde & oppervlakte)	[%] & [ha]
Neveneffecten	Reductie van de piekafvoeren	[-/+]
	Reductie van de stikstofuitspoeling	[-/+]
	Reductie van de fosfaatuitspoeling	[-/+]
	Verbetering van de waterkwaliteit	[-/+]
* Categorieën en indicatoren zijn bepaald op basis van de Regioscan door STOWA (Delsman, et al., 2018).		

3.2 Deelvraag 2: Effectiviteit van de ZON-maatregelen

3.2.1 Dimensionering

In deze stap worden de dimensies van de ZON-maatregelen (en het nulalternatief) vastgesteld. De richtlijnen voor de maatregelen worden vastgesteld in een expertoverleg met A.S. Both en H. ter Horst, twee hydrologen van WDOD. Hierna worden de maatregelen geïmplementeerd in ArcGIS en verder uitgewerkt door de bestaande datalagen voor het onderzoeksgebied te analyseren en te transformeren. Dit wordt onder andere gedaan met de extensie-tool AHN-Tools10 van WDOD. De hoogtewebbrowser tool in AHN-Tools10 wordt gebruikt om informatie over de maaiveldhoogte per peilvak te verkrijgen. Hiermee kunnen maaiveldhoogte tabellen gegenereerd worden met daarin de maaiveldhoogtes waar zich bepaalde percentages van het maaiveldoppervlak onder bevinden. Het gaat hierbij specifiek om de maaiveldhoogte voor het hoogste punt van de laagste 5% van het maaiveld oppervlak van een peilvak.

Om de grens van het onderzoeksgebied constant te houden gedurende deze studie worden de bestaande peilvakgrenzen aangehouden. Het onderzoeksgebied betreft het gebied bestaande uit de peilvakken: 667, 777, 781, 782 en 785 (deze peilvakken kunnen wellicht opgedeeld worden). Paragraaf 2.1 bevat meer informatie over het onderzoeksgebied. Hieronder wordt beschreven hoe het nulalternatief en de ZON-maatregel alternatieven worden opgesteld.

NUL. Nulalternatief

Het nulalternatief komt overeen met de situatie indien er geen ZON-maatregelen worden toegepast. Dit alternatief functioneert als een referentie situatie voor de ZON-maatregelen.

ZM1. Peilvakken opdelen door de aanleg van stuwen en peiloptimalisatie

ZON-maatregel 1 deelt de peilvakken op door stuwen te plaatsen tussen deelgebieden met grote hoogteverschillen binnen een peilvak. Hierdoor wordt het bestaande peilvak opgedeeld in twee kleinere peilvakken. Deze opgedeelde peilvakken wordt genummerd met het originele peilvaknummer gevolgd door een deelnummer ('.1' en '.2').

Hierna worden de streefpeilen geoptimaliseerd voor alle peilvakken, behalve de streefpeilen voor (het deel van) peilvak 777 dat water afvoert op peilvakken die buiten het onderzoeksgebied vallen. Hiermee wordt voorkomen dat de peilverhogingen in (dit deel van) peilvak 777 nadelig effecten hebben voor de benedenstroomse peilvakken die buiten het onderzoeksgebied liggen. De streefpeilen worden geoptimaliseerd volgens Vergelijking 1. Deze vergelijking is gebaseerd op de droogleggingsnorm van WDOD (zie paragraaf 2.1). De peiloptimalisatie leidt echter wel tot een toename van de droogtestress in de laaggelegen gebieden binnen de peilvakken. Dit nadelige gevolg van de peiloptimalisatie wordt in ZM2 en ZM3 gecompenseerd.

$WP_v = MVH_{5\%} - D_{WP}$	(Vergelijking 1)
$ZP_v = \max(ZP_o; WP_v)$	(Vergelijking 2)

Waarin:

- WP_v : Verhoogde winterstreefpeil voor een peilvak [m + NAP]
- ZP_v : Verhoogde zomerstreefpeil voor een peilvak [m + NAP]
- $MVH_{5\%}$: Maaiveldhoogte voor het hoogste punt van de laagste 5% van het maaiveld oppervlak van een peilvak [m + NAP]
- D_{WP} : Drooglegging voor het winterstreefpeil [m]
- ZP_o : Originele zomerstreefpeil voor een peilvak [m + NAP]

In Vergelijking 1 is de drooglegging voor het winterstreefpeil gelijk aan de optimale drooglegging voor het gebied (70 cm). De winterstreefpeilen die volgen uit Vergelijking 1 worden omlaag afgerond op een veelvoud van 5 cm. Dit wordt gedaan omdat streefpeilen niet op de centimeter nauwkeurig kunnen worden gehandhaafd. Verhoging van het winterpeil heeft voornamelijk invloed op de GHG. Dit heeft als voordeel dat er in het voorjaar een grotere buffer is opgebouwd waardoor er minder water aangevoegd zal moeten worden tijdens de zomer.

Vervolgens wordt het zomerstreefpeil bepaald aan de hand van het verhoogde winterpeil. Dit wordt gedaan volgens Vergelijking 2. Deze vergelijking is gebaseerd op de norm van WDOD die stelt dat de zomerstreefpeilen niet lager mogen liggen dan de winterstreefpeilen voor de peilvakken in het onderzoeksgebied. Daarnaast kunnen de zomerstreefpeilen voor de meeste peilvakken niet verder verhoogd worden omdat ze dan niet meer zullen voldoen aan de droogleggingsnorm van WDOD (zie paragraaf 2.1). Om deze redenen wordt het verhoogde zomerstreefpeil gelijkgesteld aan het verhoogde winterstreefpeil of blijft gelijk aan het originele zomerstreefpeil afhankelijk van welk van deze twee peilen hoger is. De zomerpeilen worden daarom niet in elk peilvak verhoogd.

Bij het verhogen van de peilen moet er ook rekening gehouden worden met de natuurlijke stroomrichting in het gebied. De streefpeilen voor benedenstrooms gelegen peilvakken moeten altijd lager zijn dan de streefpeilen in bovenstroomse peilvakken.

ZM2. Grondwaterdrainage in laaggelegen gebieden

ZON-maatregel 2 is een uitbreiding op ZON-maatregel 1. Naast de peilvakopdeling en peilverhoging (gelijk aan ZM1), wordt er bij deze maatregel ook grondwaterdrainage aangelegd in de laaggelegen gebieden. Hierdoor worden de toename in zuurstofstress in de laaggelegen gebieden, die ontstaan als gevolg van de peilverhoging in het gebied, gecompenseerd.

Na de peilverhoging in ZM1, voldoen de streefpeilen nog steeds aan de droogleggingsnorm. Echter zal de peilverhoging wel leiden tot (meer) natschade in de laaggelegen gebieden. Het gaat hierbij met name om de laagste 5% van het maaiveld oppervlak, die als gevolg van de droogleggingsnorm en peilverhoging, onder de optimale drooglegging vallen. Als compensatie voor de peilverhoging, wordt er daarom grondwaterdrainage aangelegd voor de laagste 5% van het maaiveld oppervlak in elk peilvak.

In de praktijk zal drainage niet alleen aangelegd worden binnen de laagste 5% van het maaiveld oppervlak, maar zal de aanleg eerder bestaande gebiedsgrenzen volgen. Om de implementatie van deze maatregel te versimpelen wordt er hier echter geen rekening mee gehouden.

In een overleg met hydroloog Hans ter Horst (H. ter Horst, persoonlijke communicatie, 2 mei 2019), noemde hij dat drainage effectief toe te passen is in gebieden waar ophoging tot maximaal 20 cm moet plaatsvinden. Wanneer ophogingen van meer dan 20 cm moeten plaatsvinden dan is de aanleg van drainage niet praktisch.

Het is ingewikkeld om drainage correct te implementeren in MIPWA. Daarom is ervoor gekozen om de effecten van de grondwaterdrainage in dit onderzoek te implementeren als maaiveldophogingen. In de gebieden waar drainage wordt aangelegd (de laagste 5% van het maaiveld oppervlak in elk peilvak) worden ophogingen tot maximaal 20 cm geïmplementeerd. De ophogingen om de drainage te simuleren wordt geïmplementeerd volgens Vergelijking 3.

$\Delta MVH = \min(MVH_{5\%} - MVH; 0,20)$	<i>(Vergelijking 3)</i>
$\Delta MVH = MVH_{5\%} - MVH$	<i>(Vergelijking 4)</i>

Waarin:

- ΔMVH : Maaiveldophoging [m]
- $MVH_{5\%}$: Maaiveldhoogte voor het hoogste punt van de laagste 5% van het maaiveld oppervlak van een peilvak [m + NAP]
- MVH : Maaiveldhoogte [m + NAP]

ZM3. Maaiveldverhoging in laaggelegen gebieden

ZON-maatregel 3 is ook een uitbreiding op ZON-maatregel 1. Naast de peilvakopdeling en peilverhoging (gelijk aan ZM1), wordt het maaiveld in laaggelegen gebieden verhoogd. Net als bij ZM2 heeft dit ook als doel de toename in zuurstofstress in de laaggelegen gebieden te compenseren. Als compensatie voor de peilverhoging, wordt het maaiveld opgehoogd in de laagste 5% van het maaiveld oppervlak in elk peilvak. De maaiveld ophoging wordt geïmplementeerd volgens Vergelijking 4.

3.2.2 Kosten

In deze stap worden de kosten van de ZON-maatregelen bepaald. De kosten hebben betrekking op de aanleg (vast) [k€] en onderhoud (lopend) [k€/jaar]. De kosten worden geschat met behulp van kengetallen. Hierbij wordt de dimensionering van de maatregelen ook meegenomen in de schatting. De kengetallen worden vastgesteld in een expertoverleg met G. Horstra, kostenramer bij WDOOD. Tijdens dit overleg worden de kengetallen bepaald met behulp van bestaande kostenramingen voor projecten waarin soortgelijke maatregelen worden toegepast. Vanwege de grote onzekerheid in de kengetallen worden er ook risicofactoren van -10% en +10% meegenomen bij het bepalen van de kosten van de ZON-maatregelen. Deze risicofactoren zijn gebaseerd op het object overstijgend risico opgenomen in de kostenramingen. Voor de volgende maatregelen worden kengetallen voor de aanleg- en onderhoudskosten vastgesteld:

- Stuw aanleggen [stuw]
- Stuw verhogen [stuw]
- Grondwaterdrainage aanleggen [ha]
- Maaiveld verhogen [m³]

3.2.3 Directe effecten

In deze stap worden de directe effecten van de ZON-maatregelen bepaald. De maatregelen voor dit gebied hebben als doel om de grondwatervoorraad in het gebied te vergroten door hogere waterstanden te handhaven in de watergangen (zie paragraaf 2.2). De directe effecten van de maatregelen hebben daarom betrekking op de grondwatercondities. Het gaat hierbij specifiek om de GHG (gemiddelde hoogste grondwaterstand) en GLG (gemiddelde laagste grondwaterstand).

De GHG en GLG worden bepaald volgens Vergelijking 5. In deze vergelijking is te zien dat de GHG (en GLG) wordt bepaald op basis van de 3 hoogste (of laagste) grondwaterstanden over de periode van een hydrologisch jaar (1 april tot 31 maart). De GHG (en GLG) is het gemiddelde van deze jaarlijkse waarden over een periode van minimaal 8 hydrologische jaren. (Wageningen University & Research, n.d.).

$$GxG = \frac{\sum_{j=1}^n (gxg_{j1} + gxg_{j2} + gxg_{j3})}{3 * n} \quad (\text{Vergelijking 5})$$

Waarin:

- GxG : Gemiddelde hoogste/laagste grondwaterstand [m + NAP]
- gxg_j : Hoogste/laagste grondwaterstand voor een hydrologisch jaar [m + NAP]
- n : Aantal hydrologische jaren (minimaal 8 hydrologische jaren)
- j : hydrologisch jaar

De effecten van de ZON-maatregelen op de grondwatercondities kunnen bepaald worden met behulp van een grondwatermodel. In deze studie wordt MIPWA 3.0 gebruikt om voor het onderzoeksgebied een niet-stationaire simulatie uit te voeren voor de periode 1989-2010. Het model wordt geïnitieerd met een evenwichtsvochtprofiel en standaard grondwaterstanden. Volgens J. Hunink, geohydroloog bij Deltares en ervaringsdeskundige op het gebied van grondwater modellering (J. Hunink, persoonlijke communicatie, 16 mei 2019), heeft MIPWA een opwarm periode van 1 tot 5 jaar, afhankelijk van de locatie en maatregelen. In deze studie wordt er gewerkt met een opwarm periode van 5 jaar. De periode 1994-2010 (16 hydrologische jaren) wordt gebruikt om resultaten voor de grondwaterstand (in de bovenste modellaag) te verzamelen. Deze resultaten worden gebruikt om met behulp van de iMOD de GHG en GLG te bepalen.

In MIPWA worden twee simulaties uitgevoerd, één voor het nulalternatief en één voor de ZON-maatregelen. Hiervoor is gekozen omdat het ophogen van het maaiveld (in ZM2 en ZM3) geen direct effect heeft op de GHG en GLG. Omdat de peilverhogingen gelijk zijn voor de drie ZON-maatregelen is het mogelijk om de grondwatercondities voor de drie maatregelen te bepalen met één MIPWA-simulatie. Uit deze simulatie volgen de GHG en GLG ten opzichte van NAP. De GHG en GLG worden hier omgezet naar GHG en GLG ten opzichte van het maaiveld (MV). Aangezien de maaiveldhoogtes niet gelijk zijn voor de maatregelen zullende de GHG en GLG ten opzichte van MV ook verschillen.

Om de peilverhoging in MIPWA te implementeren worden de inputdata voor het oppervlaktewater in het gebied aangepast. De inputdata is onderverdeeld in de volgende datagroepen:

- Leggers: primaire/secundaire watergangen in het beheer van WDOD (zie Figuur 1).
- Top10-vlak: bredere wateren (dit kunnen primaire/secundaire watergangen zijn).
- Top10-lijn: kleine watergangen tussen de leggers (niet weergegeven in Figuur 1).

De grondwatermodel referentiedatabase bevat de basisinformatie van het MIPWA-grondwatermodel. In deze database komen de peilen voor de Leggers en Top10-vlak overeen met de streefpeilen voor het nulalternatief. De peilen voor de Top10-lijn verschillen in hoge maten en wijken daardoor sterk af van de streefpeilen. Aangezien het rechte trekken van deze peilen een vertekend beeld zal opleveren worden alleen de peilen voor de Leggers en Top10-vlak aangepast. De peilen voor de Top10-lijn blijven dan ook constant voor de nulalternatief en de ZON-maatregel simulaties.

De exacte aanpassingen aan de referentie database voor de peilen voor de Leggers en Top10-vlak worden bepaald aan de hand van de peilverhoging. De peilverhoging volgt uit de resultaten van de dimensionering stap (zie sub-paragraaf 3.2.1)

3.2.4 Indirecte effecten

In deze stap worden de indirecte effecten van de ZON-maatregelen bepaald. De indirecte effecten komen voort uit de veranderingen door de directe effecten op de grondwateromstandigheden (GHG en GLG). In deze studie wordt de WWL gebruikt om deze effecten te bepalen. Hierbij wordt specifiek gekeken naar de droogtestress [%] en zuurstofstress [%]. Daarnaast wordt de WWL ook gebruikt om de potentiële gewasopbrengst [k€/ha/jaar] en totale opbrengstderving [%] te bepalen. Deze worden gebruikt om de werkelijke gewasopbrengst te bepalen (zie sub-paragraaf 3.2.5).

De droogte- en zuurstofstress dragen bij aan de totale opbrengstderving. De opbrengstderving wordt gezien als het verlies op de potentiële gewasopbrengst. De potentiële gewasopbrengst is de opbrengst die theoretisch gehaald kan worden voor een gewassoort op een grondtype onder bepaalde weersomstandigheden indien er geen sprake is van opbrengstderving.

In deze studie wordt als input format voor de WWL een raster van 25x25m gebruikt (equivalent aan het MIPWA-raster). De inputgegevens voor de grondwaterkarakteristieken (GHG en GLG) zijn afkomstig uit de MIPWA-simulaties. De GHG en GLG worden ten opzichte van de maaiveldhoogte ingevoerd. Voor de bodemtypen wordt de BODemFysische Eenheden Kaart uit 2012 (BOFEK2012) gebruikt. Voor de weersomstandigheden wordt KNMI-weerstation De Bilt gebruikt, aangezien dit de meest dichtstbijzijnde optie is. Gegevens voor de klimaatomstandigheden zijn afkomstig uit de periode 1981-2010. Het gewas voor de landbouwgronden in het gehele gebied wordt gelijkgesteld aan gras (beweiden en maaien). Hiervoor is gekozen omdat boeren in werkelijkheid hun gewassen roteren, waardoor de gewassen voor de landbouwgebieden per jaar verschillen. Dit is niet mogelijk in de WWL. Om resultaten beter met elkaar te kunnen vergelijken is er daarom voor gekozen één gewas voor de langbouwgebieden in het hele gebied toe te passen. De zoutconcentratie wordt uitgeschakeld omdat zoutstress niet van toepassing is in het onderzoeksgebied.

3.2.5 Baten

In deze stap worden de baten van de ZON-maatregelen bepaald. De baten hebben betrekking op de positieve invloeden van de ZON-maatregelen die kunnen worden gemonetariseerd. Het onderzoeksgebied wordt hoofdzakelijk gebruikt voor landbouwdoeleinden. Om deze reden is de belangrijkste baat de gewasopbrengst voor de agrariërs in het gebied. In deze studie zullen er geen andere baten meegenomen worden bij het bepalen van de effectiviteit van de ZON-maatregelen

De gewasopbrengst wordt bepaald op basis van de resultaten van de Waterwijzer Landbouw. Met de potentiële gewasopbrengst [$k\text{€}/ha/jaar$] en de opbrengstderving [%], die voortkomen uit de WWL, kan de werkelijke gewasopbrengst bepaald worden volgens Vergelijking 6.

$$HRV_{EUR} = HRV_{EUR,POT} * \frac{(100\% - DMG_{TOT})}{100\%} \quad (\text{Vergelijking 6})$$

Waarin:

- HRV_{EUR} : Werkelijke gewasopbrengst [k€/ha/jaar]
- $HRV_{EUR,POT}$: Potentiële gewasopbrengst [k€/ha/jaar]
- DMG_{TOT} : Totale opbrengstderving [%]

3.2.6 Neveneffecten

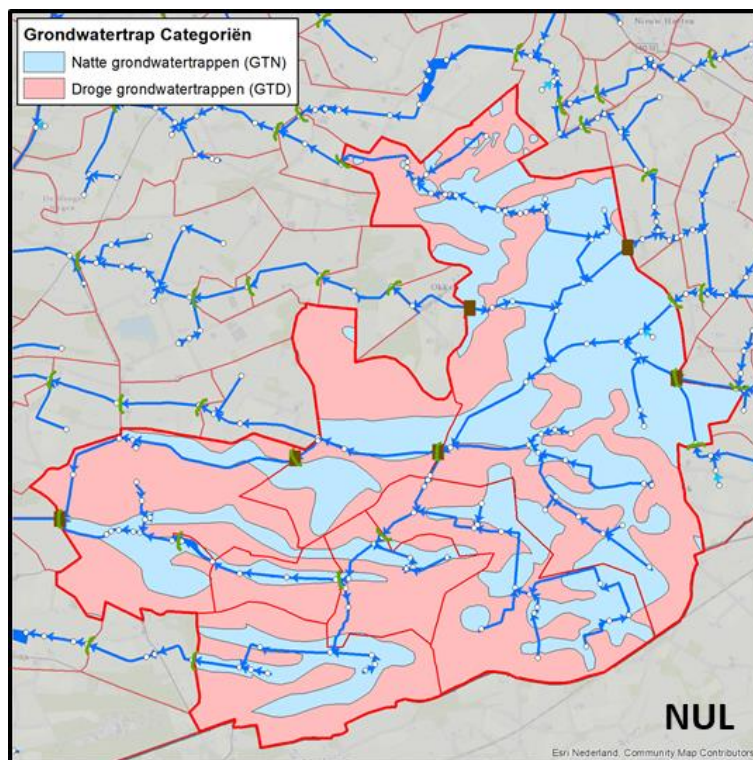
In deze stap worden de neveneffecten van de ZON-maatregelen bepaald. De neveneffecten hebben betrekking op de effecten van de maatregelen die niet tot uitdrukking komen in de kosten, baten of effecten (direct of indirect), maar wel van belang zijn bij het bepalen van de effectiviteit. De lijst van relevante neveneffecten wordt vastgesteld in deelvraag 1 (zie sub-paragraaf 3.1.1 en 3.1.2).

De neveneffecten worden kwalitatief uitgedrukt met behulp van een 3-puntsschaal [-/+] voor het effect van de maatregelen ten opzichte van het nulalternatief. Op deze schaal kan aangegeven worden of de maatregelen een negatief [-], positief [+] of geen effect [0] hebben.

De meeste neveneffecten hebben geen uniform effect voor het hele onderzoeksgebied omdat het effect afhankelijk is van de grondwaterstand en fluctuatie hiervan. De grondwatertrap (GT), gedefinieerd op basis van de GHG en GLG, geeft hiervoor een indicatie. In overleg met H. ter Horst, een hydroloog bij WDOD, is besloten om het gebied op te delen in twee grondwatertrap categorieën:

- Natte grondwatertrappen (GTN): GT-klassen I – V
- Droge grondwatertrappen (GTD): GT-klassen VI – VIII

In Figuur 4 zijn de GTN en GTD voor het onderzoeksgebied weergegeven voor het nulalternatief. In dit figuur is te zien dat de natte grondwatertrappen zich voornamelijk bevinden rondom de watergangen. De droge grondwatertrappen bevinden zich hoofdzakelijk op grotere afstanden van de watergangen. Het verhogen van de streefpeilen in de watergangen zal daarom waarschijnlijk meer invloed hebben op de natte grondwatertrappen dan op de droge grondwatertrappen.



Figuur 4: Natte en droge grondwatertrappen voor NUL.

De scores voor de neveneffecten worden vastgesteld in een expertoverleg met H. ter Horst, een hydroloog van WDOD. De scores worden toegelicht en indien mogelijk onderbouwd met een geografische analyse in ArcGIS en de resultaten voor de dimensionering, directe en indirecte effecten en baten.

3.2.7 Effectiviteit

In deze stap wordt de effectiviteit voor de preventie van de droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop van de ZON-maatregelen bepaald. Dit wordt gedaan op basis van de lijst van effectiviteitsindicatoren die is opgesteld in de stappen van deelvraag 1 (zie sub-paragraaf 3.1.1 en 3.1.2). Deze lijst wordt ingevuld met de resultaten die bepaald zijn tijdens de stappen van deelvraag 2 (zie sub-paragraaf 3.2.2, 3.2.4, 3.2.5 en 3.2.6).

Vervolgens wordt er uit de ingevulde lijst van effectiviteitsindicatoren een conclusie getrokken over de effectiviteit van de ZON-maatregelen voor de preventie van de droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop.

4. Resultaten

Dit hoofdstuk bevat alle resultaten voor de onderzoekstappen. In paragraaf 4.1 worden de effectiviteitsindicatoren voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop bepaald. In paragraaf 4.2 wordt met behulp van de effectiviteitsindicatoren de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek van verschillende Zoetwatervoorziening Oost-Nederland maatregelen in de Soestwetering bovenloop bepaald.

4.1 Deelvraag 1: Indicatoren voor de effectiviteit

In sub-paragraaf 4.1.1 worden de verwachtingen en eisen van de actoren met betrekking tot de droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop beschreven. Hierbij is de koppeling met de effectiviteitsindicatoren aangegeven met behulp van een indicator-ID's [*ID*]. In sub-paragraaf 4.1.2 wordt de lijst van indicatoren voortkomend uit de verwachtingen en eisen van de actoren gegeven. In deze lijst wordt ook de koppeling tussen de indicatoren en de actoren weergegeven.

4.1.1 Verwachtingen en eisen

Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD)

Voor de implementatie van ZON-maatregelen heeft WDOD €3,6 mln. ZON-subsidie van het Rijk gekregen. Gekoppeld aan deze subsidie zit de verplichting om in aanvulling hierop €12 mln. eigen middelen aan ZON-maatregelen te besteden. De verkregen subsidiemiddelen moeten volledig besteed worden aan investeringen (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2018). Om de beschikbare subsidie en aanvullende middelen optimaal te benutten, is het van belang om de kosten voor de implementatie van ZON-maatregelen te minimaliseren [*K1* & *K2*].

Het ZON-project is ontwikkeld als reactie op de schade die voortkomt uit langere en heftigere periodes van droogte (Rijksoverheid, n.d.). Het doel van de ZON-maatregelen is dan ook om de droogtestress zo veel mogelijk te beperken [*E1*]. Hierbij moet zowel de economische schade [*B1*] als landschaps- en natuurschade [*N6*] in acht genomen worden. Bij het implementatie van ZON-maatregelen moet WDOD ook blijven voldoen aan de droogleggingsnormen die gelden voor het onderzoeksgebied (zie paragraaf 2.2). De droogleggingsnormen voorkomen dat de bodem te nat wordt waardoor er schade optreedt als gevolg van zuurstofstress [*E2*].

Binnen het ZON-project wordt ook de drietrapsstrategie vasthouden-bergen-afvoeren toegepast. Heftige regenbuien kunnen leiden tot wateroverlast. Door water vast te houden in de bodem worden piekafvoeren gereduceerd en worden de omstandigheden binnen het gebied natter (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2018). In de huidige situatie gebruikt WDOD gemalen om het gebied van water te voorzien tijdens droge perioden. Dit is echter erg inefficiënt en slecht voor de waterkwaliteit omdat er gebiedsvreemd water wordt aangevoerd. WDOD heeft er daarom baat bij de piekafvoeren te reduceren [*N1*] zodat het water langer vastgehouden kan worden in het gebied. Hierdoor kan het gebied wellicht meer zelfvoorzienend zijn met betrekking tot de waterkwantiteit, waardoor de wateraanvoer naar het gebied ook gereduceerd kan worden [*N2*].

Naast de eisen die betrekking hebben op de water kwantiteit in het gebied, heeft WDOD ook belang bij de waterkwaliteit. Het gebied wordt hoofdzakelijk gebruikt voor landbouwdoeleinden. Daarom zijn met name uitspoeling van stikstof, fosfaat en pesticiden, maar ook de uitspoeling van zware metalen, mogelijke dreigingen voor de waterkwaliteit. Bij de implementatie van ZON-maatregelen is het daarom van belang dat er rekening gehouden wordt met de uitspoeling hiervan [*N3*, *N4* & *N5*].

IJssellandschap (IJS)

IJssellandschap is bezig met de ontwikkeling van de natuurwaarde in landgoed Oostermaet. Voor verdere ontwikkeling is vernatting van het natuurdeel essentieel. Er is echter geconstateerd dat de verdroging een probleem is dat het beheergebied van IJssellandschap overstijgt. WDOD ziet mogelijkheden binnen het gebied en wil daarom het Oostermaet toe te voegen aan het ZON-project. Op dit moment is deze samenwerking nog in een beginstadium.

Het uitgangspunt van IJssellandschap is dat de ZON-maatregelen ecologische winst moeten opleveren voor de natuurbossen en natuurterreinen binnen het natuurdeel van het Oostermaet [N6]. Dit valt te realiseren door de vernatting van dit natuurdeel. IJssellandschap stelt hierbij de eis dat er geen negatieve effecten mogen zijn voor de volgende elementen: erven en woningen, landbouwgronden, bossen buiten de natuurboszone, oude lanen en hoofdontsluitingen, wegen en paden. Deze eis is in overeenstemming met de droogleggingseis van WDOD [E2]. Als aandachtspunt voorafgaande aan de samenwerking stelt IJssellandschap de kosten voor de implementatie van de ZON-maatregelen binnen het gebied [K1 & K2] (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2018).

Uit de stakeholderanalyse van het project Soestwetering bovenloop en Breebroeksleiding volgt dat IJssellandschap ook op zoek is naar een partner om de bodemvruchtbaarheid van de schrale landbouwgronden te verbeteren. Het probleem van de zandgronden in het gebied is de uitspoeling van stikstof en fosfaat. Een vruchtbare bodem heeft een actief bodemleven. Hierdoor worden nutriënten beter vastgehouden, waardoor minder uitspoeling van stikstof en fosfaat plaatsvindt [N3 & N4]. Ook zorgt een vruchtbare bodem voor diepere doorworteling. Dit leidt tot gezondere en sterkere gewassen waardoor minder pesticiden nodig zijn. Wanneer deze middelen worden gebruikt kunnen ze in het oppervlaktewater terechtkomen. Dit is nadelig voor de waterkwaliteit [N5] (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2016).

Land en Tuinbouw Organisatie (LTO) & Lokale agrariërs

Uit een stakeholderanalyse van het project Soestwetering bovenloop en Breebroeksleiding de volgt dat LTO en de lokale agrariërs de volgende belangen hebben: voldoende waterkwaliteit en geen wateroverlast ondervinden. De waterkwaliteit is met name afhankelijk van de uitspoeling van stikstof en fosfaat [N3 & N4]. Daarnaast kan overmatig gebruik van pesticiden ook nadelige gevolgen hebben voor de waterkwaliteit [N5]. Het belang voor het voorkomen van wateroverlast stemt overeen met de droogleggingsnormen van WDOD [E2]. Hierbij is het voor de agrariërs echter ook van belang dat niet alleen de droogleggingsnormen gehaald worden, maar dat de implementatie van de ZON-maatregelen geen negatieve effecten heeft op de gewasopbrengst [B1].

Voorafgaande aan de implementatie van de ZON-maatregelen is het van belang dat er duidelijke afspraken gemaakt worden tussen WDOD en de lokale agrariërs. Dit is met name belangrijk wanneer deze maatregelen plaatsvinden buiten de beheergebieden van WDOD. Wanneer WDOD kan garanderen dat de ZON-maatregelen positieve effecten voor de gewasopbrengst hebben, dan zijn de lokale agrariërs wellicht bereid hieraan mee te betalen [K1 & K2].

4.1.2 Effectiviteitsindicatoren

De effectiviteitsindicatoren voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop zijn weergegeven in Tabel 4. Deze tabel bevat ook een overzicht van de koppeling van de indicatoren met de actoren zoals beschreven in sub-paragraaf 4.1.1.

Tabel 4: Effectiviteitsindicatoren (inclusief koppeling met actoren).

CAT	ID	Indicatoren	Eenheid	WDOD	IJLS	LTO
Kosten	K1	Vaste kosten	[k€]	X*	X	X
	K2	Lopende kosten	[k€/jaar]	X*	X	X
Baten	B1	Gewasopbrengst	[k€/jaar]			X
Effecten	E1	Droogtestress (gem & opp)	[%] & [ha]	X		
	E2	Zuurstofstress (gem & opp)	[%] & [ha]	X	X	X
Neven-effecten	N1	Reductie van piekafvoeren	[-/+]	X		
	N2	Reductie van wateraanvoer	[-/+]	X		
	N3	Reductie van stikstofuitspoeling	[-/+]	X	X	X
	N4	Reductie van fosfaatuitspoeling	[-/+]	X	X	X
	N5	Verbetering van de waterkwaliteit	[-/+]	X	X	X
	N6	Verbetering van de natuurscore	[-/+]		X	

* **Kosten** zullen voornamelijk door WDOD betaald worden.

4.2 Deelvraag 2: Effectiviteit van de ZON-maatregelen

In sub-paragraaf 4.2.1 wordt de dimensionering van de ZON-maatregelen beschreven. Hierna worden de kengetallen voor de maatregelen en kosten voor de alternatieven gegeven in sub-paragraaf 4.2.2. Hierna volgen in sub-paragraaf 4.2.3, 4.2.4 en 4.2.5 de resultaten voor de directe effecten, indirecte effecten en baten. In sub-paragraaf 4.2.6 worden de scores voor de neveneffecten van de alternatieven gegeven. Tenslotte wordt in sub-paragraaf 4.2.7 op basis van alle voorgaande resultaten een conclusie getrokken over de effectiviteit van de ZON-maatregelen.

4.2.1 Dimensionering

De dimensionering voor het nulalternatief en de ZON-maatregelen wordt hieronder per alternatief beschreven.

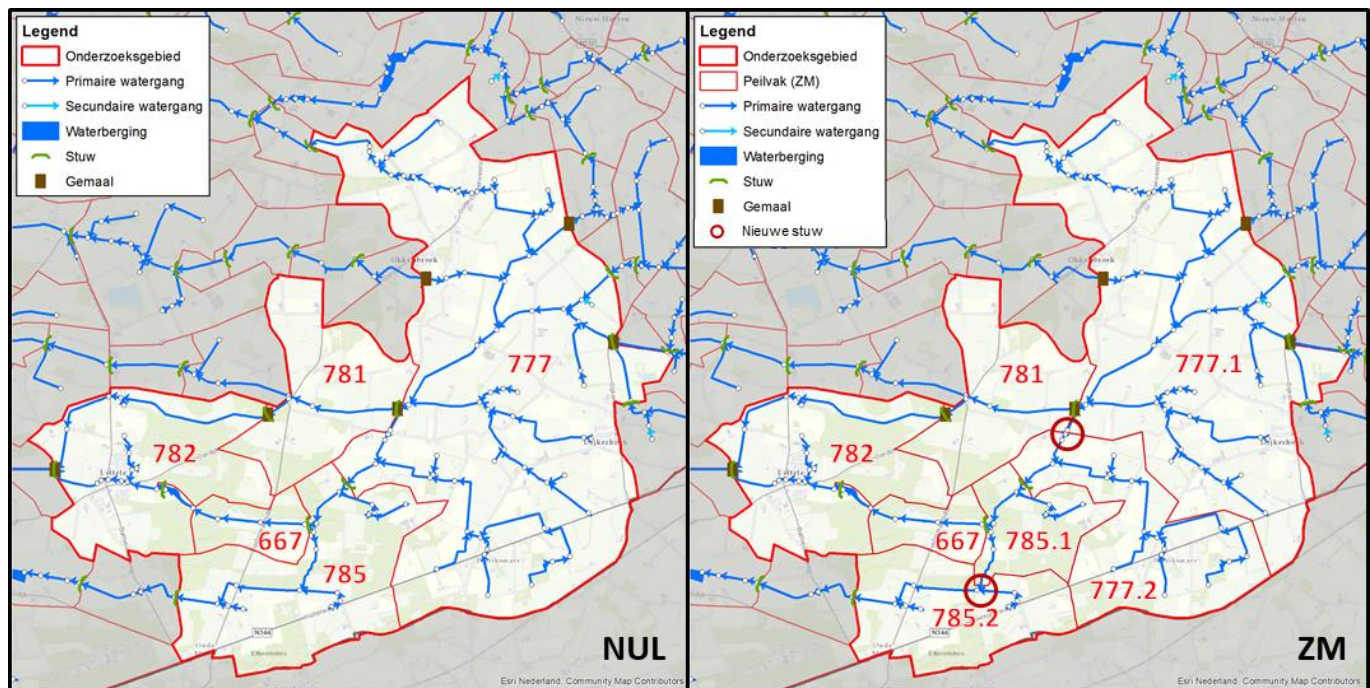
NUL. Nulalternatief

Uit de geografische analyse met de AHN-Tools10 volgt voor elk peilvak de maaiveldhoogte voor het hoogste punt van de laagste 5% van het maaiveld oppervlak ($MVH_{5\%}$). Met deze maaiveldhoogte en de huidige zomer- en winterstreefpeilen kan met behulp van Vergelijking 1 de huidige drooglegging voor de peilvakken bepaald worden. Tabel 5 bevat de streefpeilen, $MVH_{5\%}$ en drooglegging voor de peilvakken voor het nulalternatief. De peilvakken voor het nulalternatief zijn weergegeven in Figuur 5.

Tabel 5: Streefpeilen, $MVH_{5\%}$ en drooglegging voor NUL.

Peilvak	667	777	781	782	785
Zomerstreefpeil [$m + NAP$]	7,00	8,15	7,80	6,80	7,65
Winterstreefpeil [$m + NAP$]	7,00	7,90	7,60	6,60	7,45
$MVH_{5\%}^*$ [$m + NAP$]	7,97	8,76	8,31	7,46	8,35
Drooglegging zomerpeil [m]	0,97	0,61	0,51	0,66	0,70
Drooglegging winterpeil [m]	0,97	0,86	0,71	0,86	0,90

* $MVH_{5\%}$ = het hoogste punt van de laagste 5% van het maaiveld oppervlak.



Figuur 5: Peilvakken voor NUL en ZM.

ZM1. Peilvakken opdelen door de aanleg van stuwen en peiloptimalisatie

Uit het expertoverleg met A.S. Both en H. ter Horst, twee hydrologen van WDOD, volgen twee peilvakopdelingen: peilvak 777 en 785. De peilvakken voor ZM1 (en ZM2 en ZM3) zijn weergegeven in Figuur 5. De nieuwe peilvakgrenzen kruisen twee waterwegen. Er zullen daarom twee stuwen aangelegd moeten worden (zie cirkels in Figuur 5).

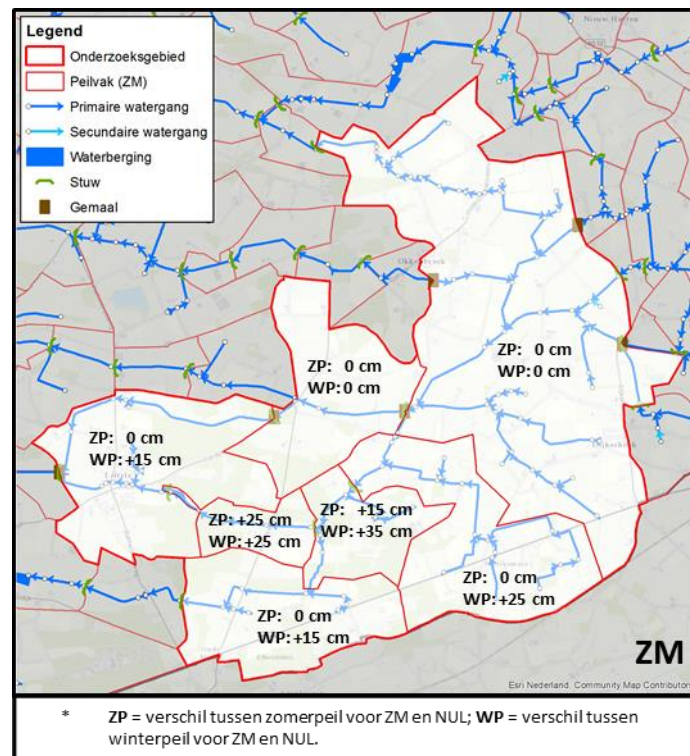
Uit de geografische analyse met de AHN-Tools10 volgt voor elk peilvak de maaiveldhoogte voor het hoogste punt van de laagste 5% van het maaiveld oppervlak ($MVH_{5\%}$). De peilen worden geoptimaliseerd volgens Vergelijking 1 en Vergelijking 2. Tabel 6 bevat de streefpeilen, $MVH_{5\%}$ en drooglegging voor de peilvakken voor ZM1 (deze gelden ook voor ZM2 en ZM3). In peilvakken 667 en 785.1 worden de zomerpeilen ook verhoogt. Om deze streefpeilen te kunnen handhaven zullen de twee bestaande stuwen benedenstrooms van deze peilvakken verhoogd moeten worden. In Figuur 6 zijn de zomer- en winterstreefpeil verhogingen weergegeven voor de peiloptimalisatie.

Tabel 6: Streefpeilen, $MVH_{5\%}$ en drooglegging voor ZM*.

Peilvak	667	777.1	777.2	781	782	785.1	785.2
Zomerstreefpeil [$m + NAP$]	7,25	8,15	8,15	7,80	6,75	7,80	7,65
Winterstreefpeil [$m + NAP$]	7,25	7,90	8,15	7,60	6,75	7,80	7,60
$MVH_{5\%}^{**}$ [$m + NAP$]	7,97	8,74	8,88	8,31	7,46	8,53	8,31
Drooglegging zomerpeil [m]	0,72	0,59	0,73	0,51	0,71	0,73	0,66
Drooglegging winterpeil [m]	0,72	0,84	0,73	0,71	0,71	0,73	0,71

* **Grijze arcering** = peil/drooglegging die is aangepast voor ZM ten opzichte van het NUL (zie Tabel 5).

** $MVH_{5\%}$ = het hoogste punt van de laagste 5% van het maaiveld oppervlak.



Figuur 6: Peilverhogingen voor ZM.

ZM2. Grondwaterdrainage in laaggelegen gebieden

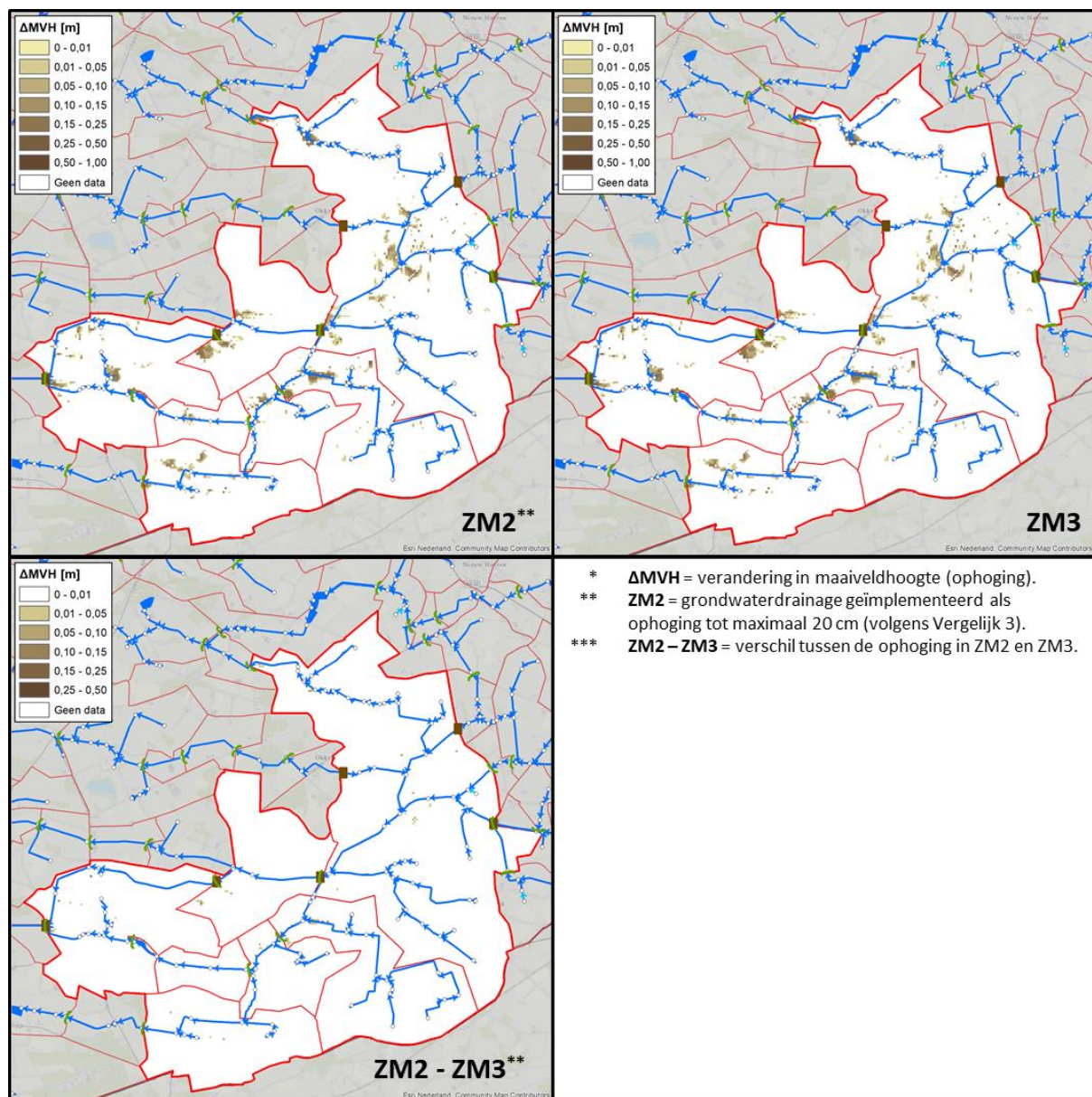
Uit de geografische analyse met de AHN-Tools10 volgt dat de som van de laagste 5% van het maaiveld oppervlak voor elk peilvak resulteert in een gebied met een totaal oppervlakte van 87,7 ha. Over dit gebied zal grondwaterdrainage aangelegd worden.

Om de effecten van de grondwaterdrainage in de software omgevingen van MIPWA en de WWL te simuleren wordt het gebied verhoogd volgens Vergelijking 3. Dit resulteert in de ophogingskaart voor ZM2 weergegeven in Figuur 7. In dit figuur vindt in het witte gebied geen ophoging plaats.

ZM3: Maaiveldverhoging in laaggelegen gebieden

De maaiveldverhoging wordt voor hetzelfde gebied (met een oppervlakte van 87,7 ha) toegepast als de grondwaterdrainage in ZM2. Het maaiveld wordt verhoogd volgens Vergelijking 4. In totaal wordt de grond met ongeveer 80 duizend m³ opgehoogd. Dit resulteert in de ophogingskaart voor ZM3 weergegeven in Figuur 7. In dit figuur vindt in het witte gebied geen ophoging plaats.

In Figuur 7 (ZM3 - ZM2) is ook het verschil tussen de ophoging in ZM2 en ZM3 weergegeven. Uit dit figuur blijkt dat de ophogingen sterk overeenkomen. De grootste verschillen bevinden zich met name rond de watergangen in peilvak 777.2 en 785.2. De overige verschillen zijn erg klein.



Figuur 7: Maaiveldophoging voor ZM2 en ZM3*.

4.2.2 Kosten

Uit het expertoverleg met G. Horstra, kostenramer bij WDO, volgen de kengetallen in Tabel 7.

Tabel 7: Kengetallen voor kosten.

Maatregel	Vaste kosten	Lopende kosten
Stuw aanleggen	66.300 €/stuw	0 €/stuw/jaar
Stuw verhogen	15.700 €/stuw	0 €/stuw/jaar
Grondwaterdrainage aanleggen	4.000 €/ha*	270 €/ha/jaar**
Maaiveld verhogen	20 €/m ³	0 €/m ³ /jaar

* **Vaste kosten** voor drainage zijn bepaald op basis van de installatiekosten (€1500 per ha) en systeemkosten (€2500 per ha) volgens STOWA (STOWA, 2013).
 ** **Lopende kosten** voor drainage zijn bepaald op basis van de aanlegkosten en de gemiddelde levensduur (15 jaar) voor drainage volgens STOWA (STOWA, 2013).

Op basis van de dimensionering van de ZON-maatregelen en de kengetallen in Tabel 7 worden de kosten voor de maatregelen bepaald. De dimensionering, vaste kosten en lopende kosten zijn weergegeven in Tabel 8. De kosten voor de maatregelen inclusies risicofactoren van -10% en +10% zijn ook weergegeven in deze tabel.

Tabel 8: Kosten voor ZM1-3*.

Dimensionering	Risico**	ZM1	ZM2	ZM3
Stuw aanleggen [stuw]	-	2	2	2
Stuw verhogen [stuw]	-	2	2	2
Grondwaterdrainage aanleggen [ha]	-	0	88	0
Maaiveld verhogen [m ³]	-	0	0	81,4·10 ³
Vaste kosten [k€]	-10%	148	463	1613
	-	164	515	1792
	+10%	180	566	1972
Lopende kosten [k€/jaar]	-10%	0	21	0
	-	0	24	0
	+10%	0	26	0

* **Blauwe arcering** = waarden die meegenomen worden bij het bepalen van de effectiviteit (zie sub-paragraaf 4.2.7).
 ** **Risico** = risicofactoren gebaseerd op het object overstijgende risico opgenomen in kostenramingen.

4.2.3 Directe effecten

In de dimensionering stap zijn de peilverhogingen voor de peilvakken vastgesteld (zie sub-paragraaf 4.2.1). Deze peilverhogingen worden in MIPWA geïmplementeerd door de peilen voor de datagroepen Leggers en Top10-vlak aan te passen. De inputdata voor de peilen zijn per peilvak weergegeven in Tabel 9.

Bij het invoeren van de peilverhoging voor de Leggers is het met de IMOD in MIWPA alleen mogelijk de zomerpeilen (ZP) en winterpeilen (WP) tegelijk aan te passen. Hierdoor zullen de zomer- en winterpeilen voor de Leggers altijd gelijk zijn nadat ze zijn aanpast. De IMOD zorgt hierdoor voor afwijkingen van de daadwerkelijke streefpeilen. Echter vallen deze afwijkingen mee, aangezien het grootste verschil tussen de verhoogde zomer- en winterstreefpeilen gelijk is aan 5 cm (voor peilvakken 882 en 785.2). Hierdoor is de grootste afwijking tussen de ingevoerde peilen voor de Leggers en werkelijke streefpeilen gelijk aan 2,5 cm, omdat het gemiddelde voor het zomer- en winterstreefpeil wordt ingevoerd. Bij het invoeren van de peilverhoging voor de Top10-vlak is het wel mogelijk de zomerpeilen (ZP) en winterpeilen (WP) apart aan te passen.

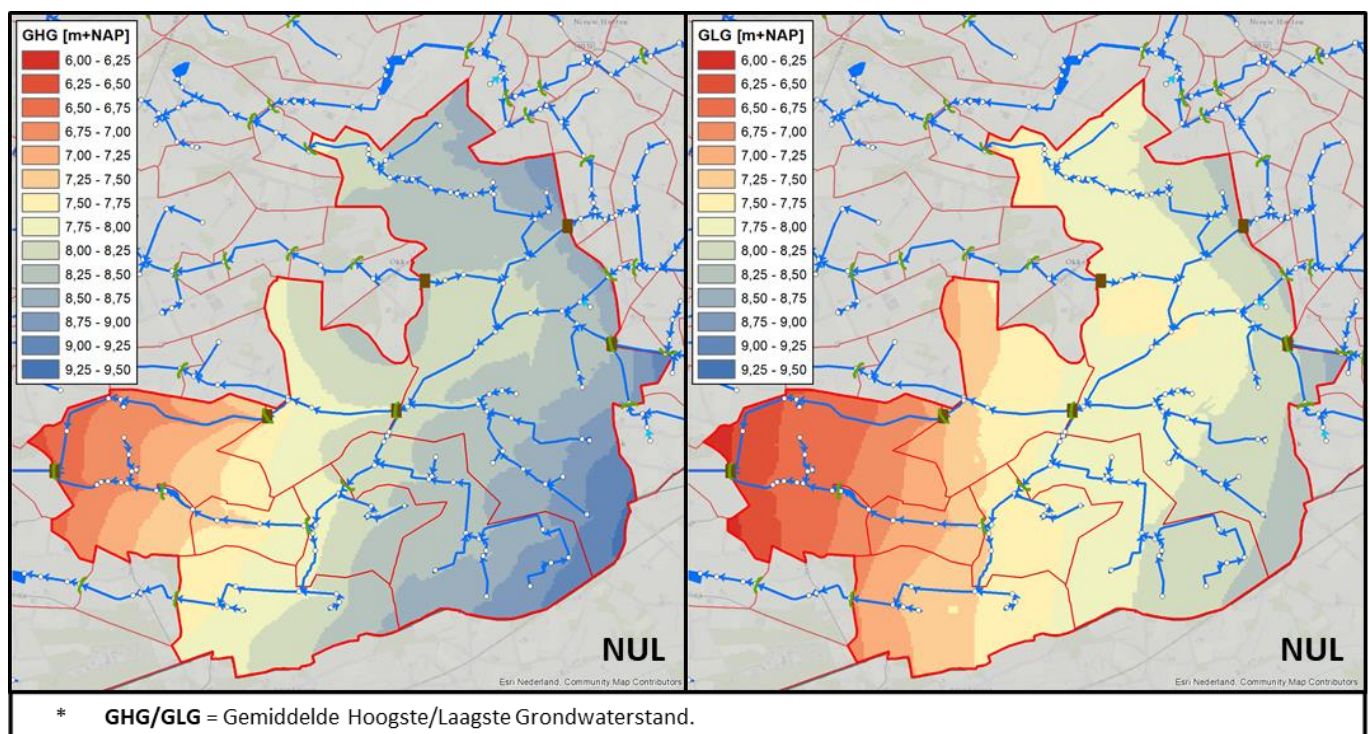
Tabel 9: MIPWA-inputgegevens voor oppervlaktewater*.

Peilvak	Leggers**				Top10-vlak***			
	NUL		ZM		NUL		ZM	
	ZP [m+NAP]	WP [m+NAP]	ZP [m+NAP]	WP [m+NAP]	ZP [m+NAP]	WP [m+NAP]	ZP [m+NAP]	WP [m+NAP]
667	7,00	7,00	7,25	7,25	7,00	7,00	7,25	7,25
777.1	8,15	7,90	8,15	7,90	8,15	7,90	8,15	7,90
777.2	8,15	7,90	8,15	8,15	8,15	7,90	8,15	8,15
781	7,80	7,60	7,80	7,60	7,80	7,60	7,80	7,60
782	6,80	6,60	6,775	6,775	6,80	6,60	6,80	6,75
785.1	7,65	7,45	7,80	7,80	7,65	7,45	7,80	7,80
785.2	7,65	7,45	7,625	7,625	7,65	7,45	7,65	7,60

* **Grijze arcering** = waarden die zijn aangepast voor de ZON-maatregelen ten opzichte van het nulalternatief.
 ** **Leggers** = (smalle) primaire/secundaire watergangen in het beheer van WDOD (weergegeven in figuren).
 *** **Top10-vlak** = brede watergangen (dit kunnen primaire/secundaire watergangen zijn).

Uit MIPWA volgen de directe effecten van de ZON-maatregelen. De GHG en GLG ten opzichte van NAP voor het nulalternatief zijn weergegeven in Figuur 6. In dit figuur is te zien dat de GHG en GLG van west naar oost toenemen met respectievelijk 3 en 2,5 meter. Deze toename volgt het verloop van de streefpeilen voor de peilvakken in het gebied. Het verloop van de GHG en GLG is wel extremer dan dat van de streefpeilen. Dit is te verklaren omdat de GHG en GLG worden bepaald aan de hand van jaarlijkse extreme waarden voor de grondwaterstand.

Het verschil tussen de GHG en GLG neemt toe naarmate de afstand tot de watergang ook toeneemt. Hieruit blijkt dat er meer fluctuaties zijn tussen de grondwaterstanden op grotere afstanden van de watergangen. Rondom de watergangen is het verschil tussen de GHG en GLG voornamelijk kleiner dan 25 cm. Op grotere afstanden komen verschillen tussen de 25 en 50 cm voor, waarbij op sommige plekken het verschil zelfs toeneemt tot 75 cm.

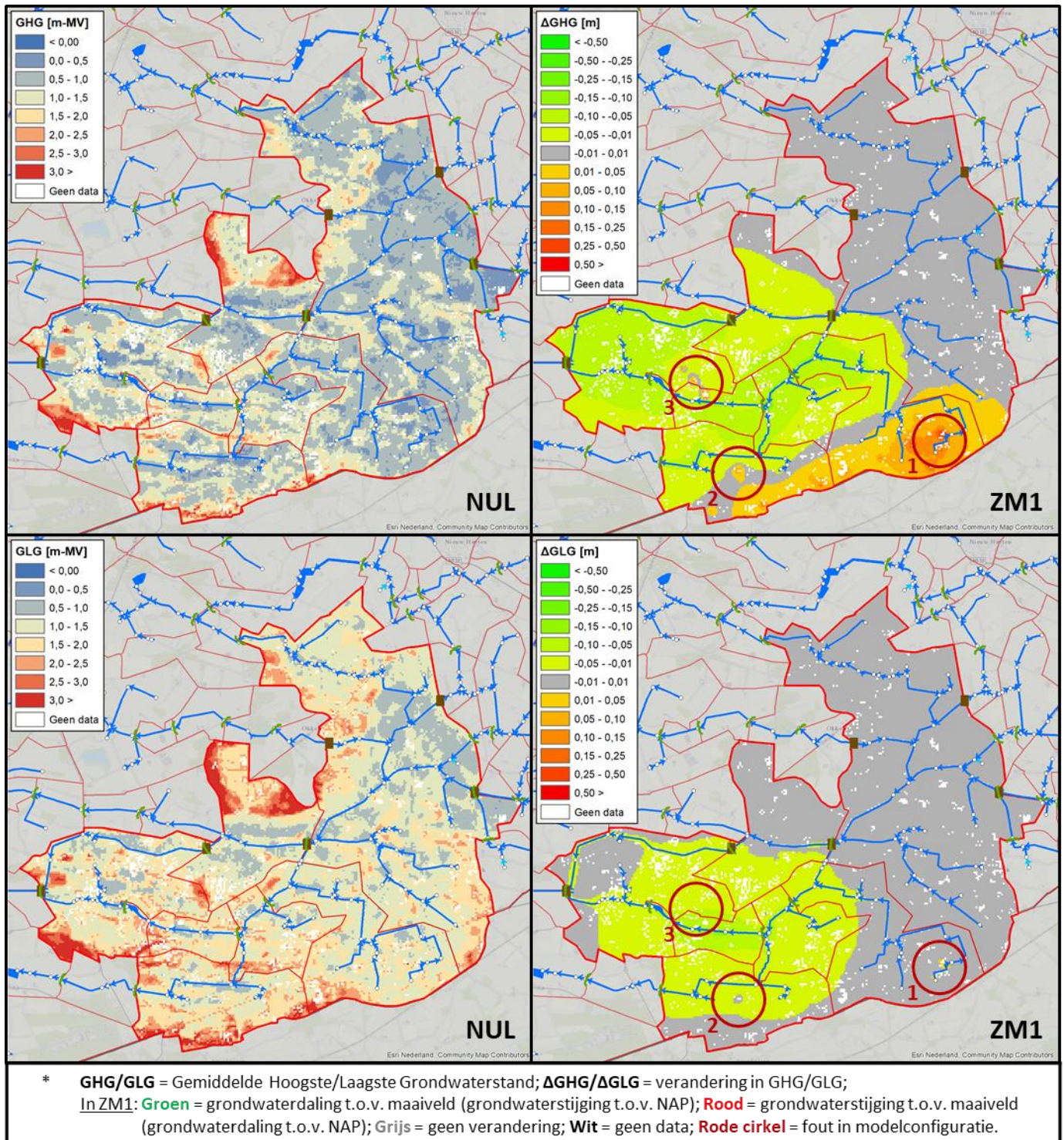


Figuur 8: GHG en GLG voor NUL*.

De resultaten voor de GHG en GLG ten opzichte van NAP worden omgezet naar de GHG en GLG ten opzichte van het maaiveld (MV), uitgedrukt in meter onder maaiveld [m-MV]. De resultaten voor de ZON-maatregelen worden omgezet naar de verandering in de GHG (Δ GHG) en GLG (Δ GLG) ten opzichte van het nulalternatief. De verandering in grondwaterstand wordt uitgedrukt in meter [m].

De GHG en GLG ten opzichte van het maaiveld voor het nulalternatief zijn weergegeven in Figuur 9. In dit figuur zijn ook de Δ GHG en Δ GLG voor ZM1 weergegeven. De Δ GHG en Δ GLG voor ZM2 en ZM3 zijn vrijwel gelijk aan die voor ZM1. Dit is te verklaren omdat het verschil tussen de maatregelen alleen veroorzaakt wordt door de maaiveldophogingen in de laaggelegen gebieden (zie Figuur 7). Hierdoor zullen de grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld in deze gebieden toenemen maar in de rest van het onderzoeksgebied gelijk blijven. In Tabel 17 en Tabel 18 in Bijlage C wordt de resultaten voor de (Δ)GHG en (Δ)GLG of per peilvak gegeven.

In Figuur 9 is de grondwaterstijging weergegeven in groen en de grondwaterdaling weergegeven in rood. De grondwaterstijging heeft een negatieve waarde omdat deze bepaald is op basis van de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld. Dit komt doordat de grondwaterstand zich onder het maaiveld bevindt. Hierdoor correspondeert een negatieve verandering met een grondwaterstijging, omdat de afstand tussen het maaiveld en de grondwaterstand afneemt. Voor dezelfde reden wordt een grondwaterdaling gekenmerkt door een positieve verandering. Gebieden waarvoor geen data (wit) beschikbaar is zijn het gevolg van plekken waar de maaiveldhoogte onbekend is. Dit komt doordat er oppervlaktewater of bebouwing aanwezig is op deze locaties.



Figuur 9: GHG en GLG voor NUL en ΔGHG en ΔGLG voor ZM1-3*.

Zoals verwacht stijgen de grondwaterstanden in de peilvakken waar de streefpeilen worden verhoogd. De GHG stijgt meer en over een groter oppervlak dan de GLG. Dit kan verklaard worden omdat met name de winterstreefpeilen in het onderzoeksgebied zijn verhoogd. De GHG wordt bepaald op basis van de hoogste grondwaterstanden gedurende een hydrologisch jaar. Deze komen meestal voor tijdens de winter. Verhoging van het winterpeil heeft daardoor vooral invloed op de GHG. Stijging van de GHG heeft als voordeel dat er in het voorjaar een grotere buffer is opgebouwd waardoor er minder water aangevoerd zal moeten worden tijdens de zomer.

Opvallend zijn de dalingen van de grondwaterstanden aan de zuidzijde van het onderzoeksgebied (zie cirkel 1 en 2 in Figuur 9) en de drie lokale dalingen rond de grens tussen peilvak 667 en 782 (zie cirkel 3 in Figuur 9). Deze grondwaterdalingen zijn onverwacht, aangezien de streefpeilen in het gebied niet verlaagd worden. De dalingen zijn het gevolg van fouten in de modelconfiguraties. Deze fouten kunnen verklaard worden aan de hand van de referentiedatabase in MIPWA. De Top10-vlak bevat inputgegevens voor een aantal losliggende wateren die geen onderdeel uitmaken van de primaire- en secundaire watergangen (zie cirkel 2 en 3 in Figuur 9). Hierdoor komen de peilen voor deze wateren, afkomstig uit de referentiedatabase, niet overeen met de streefpeilen voor de peilvakken in het nulalternatief. Ook de peilen in Leggers voor een aantal primaire watergangen (zie cirkel 1 Figuur 9) komen niet overeen met de streefpeilen voor het nulalternatief. De peilen in deze wateren en waterwegen liggen tussen de 20 en 50 centimeter hoger dan de streefpeilen voor corresponderende peilvakken. Bij het aanpassen van de peilen voor het ZON-maatregel alternatief, zijn deze peilen daardoor niet verhoogd maar in tegenstelling juist verlaagd. Dit resulteert in een daling van de GHG en GLG rondom deze wateren.

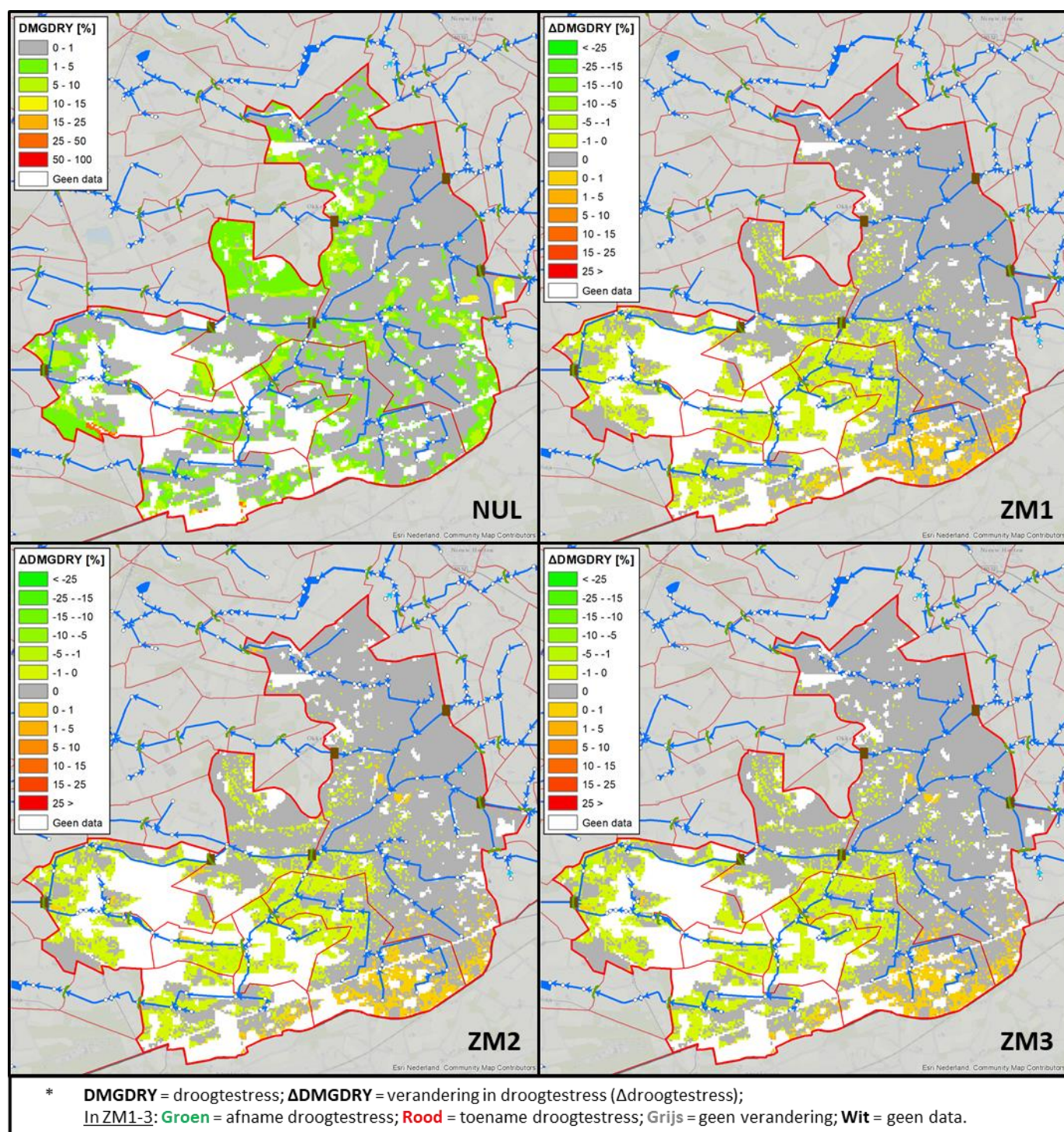
Met name aan de zuidzijde van het onderzoeksgebied, in peilvak 777.2 en 785.2, hebben de bovengenoemde fouten in de modelconfiguraties een sterke invloed op de verandering in GHG en GLG. Om de invloed van deze fouten te minimaliseren is er daarom gekozen om bij het bepalen van de indirecte effecten en baten de resultaten binnen deze peilvakken (deels) weg te laten. In sub-paragraaf 4.2.4 en 4.2.5 wordt hier verder op ingegaan.

4.2.4 Indirecte effecten

Uit de Waterwijzer Landbouw volgen de indirecte effecten van de ZON-maatregelen. De resultaten voor de droogtestress (DMGDRY) en zuurstofstress (DMGWET) voor het nulalternatief, worden uitgedrukt als percentage [%]. De resultaten voor de ZON-maatregelen worden omgezet naar de verandering in de droogtestress (Δ DMGDRY) en zuurstofstress (Δ DMGWET) ten opzichte van het nulalternatief. De verandering in droogte- en zuurstofstress wordt ook uitgedrukt als percentage [%].

De droogtestress en zuurstofstress voor het nulalternatief zijn weergegeven in respectievelijk Figuur 10 en Figuur 11. In deze figuren zijn ook de Δ droogtestress en Δ zuurstofstress weergegeven voor de ZON-maatregelen (ZM1, ZM2 en ZM3). De daling in stress is weergegeven in groen en de stijging in stress is weergegeven in rood. Met de WWL kunnen alleen effecten voor landbouwgebieden bepaald worden. Voor gebieden met een andere gebruiksfunctie is er daarom geen data beschikbaar (wit).

Tabel 10 en Tabel 11 bevatten de gemiddelde (gem) droogtestress en zuurstofstress voor het nulalternatief en de gemiddelde (gem) Δ droogtestress en Δ zuurstofstress voor de ZON-maatregelen. Het gemiddelde is bepaald over de oppervlakte (opp) waarvoor veranderingen in droogte- en zuurstofstress optreden door de ZON-maatregelen. De invloed van de fouten in de modelconfiguratie bij het bepalen van de GHG en GLG (zie sub-paragraaf 4.2.3) is te zien in peilvak 777.2 en 785.2 in Figuur 10 (stijging van de droogtestress) en Figuur 11 (daling van de zuurstofstress). Om de invloed van de modelfouten te minimaliseren wordt de stijging van de droogtestress en daling voor de zuurstofstress in peilvak 777.2 en 785.2 niet meegenomen bij het bepalen van de gemiddelden. In Tabel 19 en Tabel 20 in Bijlage C worden de (Δ)droogtestress en (Δ)zuurstofstress per peilvak gegeven. In deze tabellen is ook aangegeven welke resultaten zijn meegenomen per peilvak.

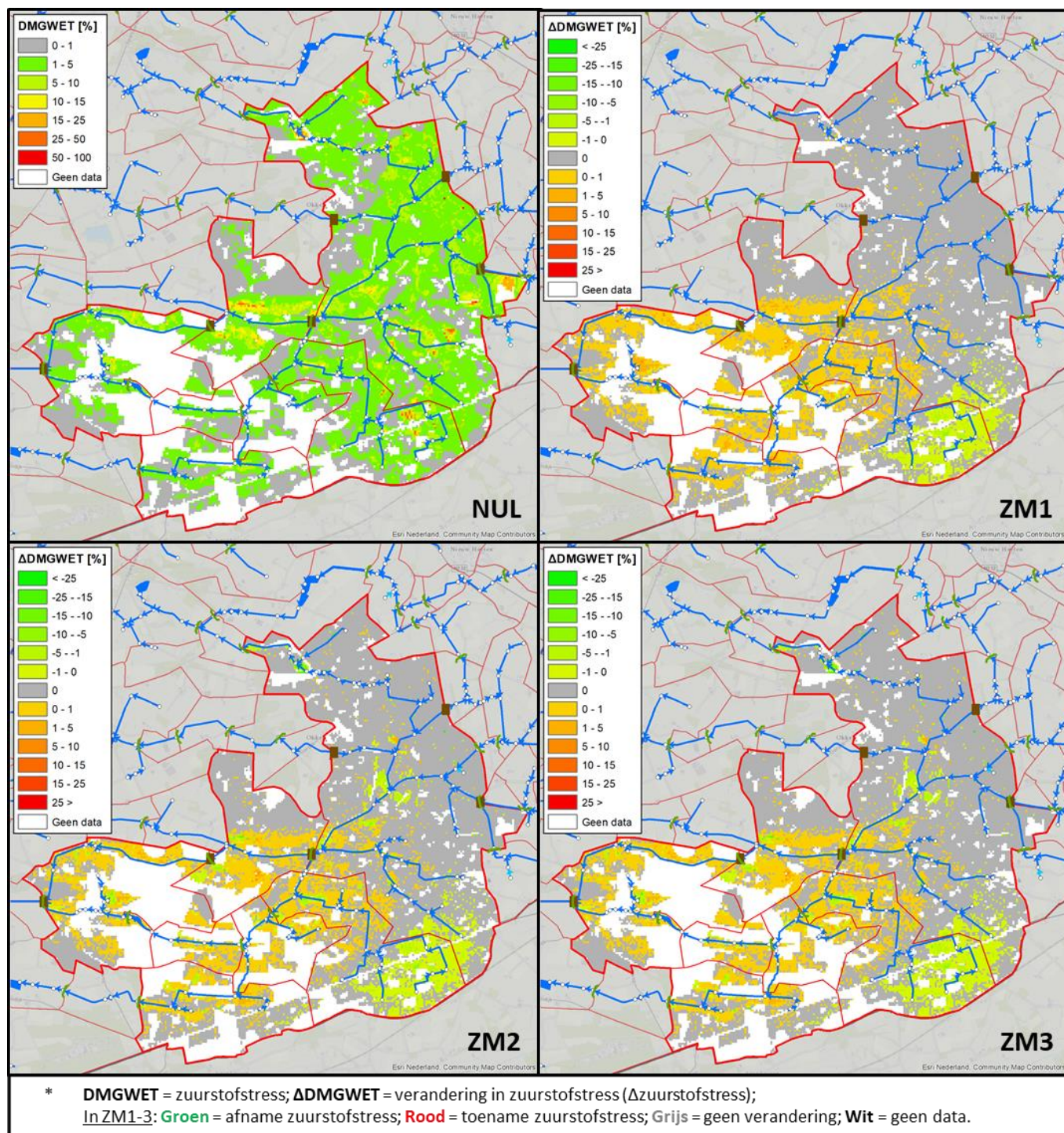


Figuur 10: Droogtestress voor NUL en ΔDroogtestress voor ZM1-3*.

Tabel 10: Droogtestress voor NUL en ΔDroogtestress voor ZM1-3*.

		NUL	ZM1	ZM2	ZM3
(Δ)Droogtestress	Gem [%]	1,48	-0,25 (-16,8%)**	-0,24 (-16,3%)**	-0,24 (-16,2%)**
	Opp [ha]	1574	368 (23,4%)**	372 (23,6%)**	372 (23,7%)**

* **Blauwe arcering** = waarden die meegenomen worden bij het bepalen van de effectiviteit (zie sub-paragraaf 4.2.7).
 ** **(Getal tussen haakjes)** = verandering ten opzichte van NUL.



Figuur 11: Zuurstofstress voor NUL en ΔZuurstofstress voor ZM1-3*.

Tabel 11: Zuurstofstress voor NUL en ΔZuurstofstress voor ZM1-3*.

		NUL	ZM1	ZM2	ZM3
(Δ)Zuurstofstress	Gem [%]	2,86	0,27 (9,4%)**	-0,15 (-5,1%)**	-0,18 (-6,4%)**
	Opp [ha]	1574	414 (26,3%)**	422 (26,8%)**	422 (26,8%)**

* **Blauwe arcering** = waarden die meegenomen worden bij het bepalen van de effectiviteit (zie sub-paragraaf 4.2.7).
 ** **(Getal tussen haakjes)** = verandering ten opzichte van NUL.

Uit Tabel 10 en Figuur 10 valt af te leiden dat de gemiddelde verandering in droogtestress (ongeveer 0,12%) en de oppervlakte voor deze afname (ongeveer 350 ha) voor alle ZON-maatregelen vrijwel gelijk is. Dit is te verklaren doordat de droogtestress voornamelijk voorkomt in de hooggelegen gebieden. Bij alle drie de ZON-maatregel alternatieven wordt dezelfde peilverhoging uitgevoerd. Dit zorgt voor een afname van de droogtestress. Daarnaast worden er bij ZM2 en ZM3 nog maatregelen getroffen om de zuurstofstress in de laaggelegen gebieden te compenseren (zie sub-paragraaf 4.2.1). Omdat de omstandigheden in de hooggelegen gebieden wel constant blijven, leidt dit tot een afname in de droogtestress die gelijk is voor de ZON-maatregel alternatieven.

In Tabel 11 en Figuur 11 is te zien dat de verandering in zuurstofstress wel verschilt voor de drie ZON-maatregelen. Zoals verwacht neemt de zuurstofstress toe bij ZM1. Dit komt omdat de peilen worden verhoogd zonder dat er maatregelen genomen worden tegen de toename van zuurstofstress in de laaggelegen gebieden. Bij ZM2 en ZM3 worden deze maatregelen wel genomen. Voor deze maatregelen neemt de gemiddelde zuurstofstress dan ook af. Deze afname is, zoals verwacht, bij ZM3 groter dan bij ZM2. Bij alle ZON-maatregelen is het landbouwoppervlak waarvoor de zuurstofstress toeneemt (ongeveer 380 ha voor ZM1 en 340 ha voor ZM2 en ZM3) groter dan de oppervlakte waarvoor de zuurstofstress afneemt (ongeveer 40 ha voor ZM1 en 80 ha voor ZM2 en ZM3). Bij ZM2 en ZM3 is deze afname voor dit oppervlakte echter zo sterk dat dit resulteert in een gemiddelde afname van de zuurstofstress voor het hele onderzoeksgebied (zie Tabel 11).

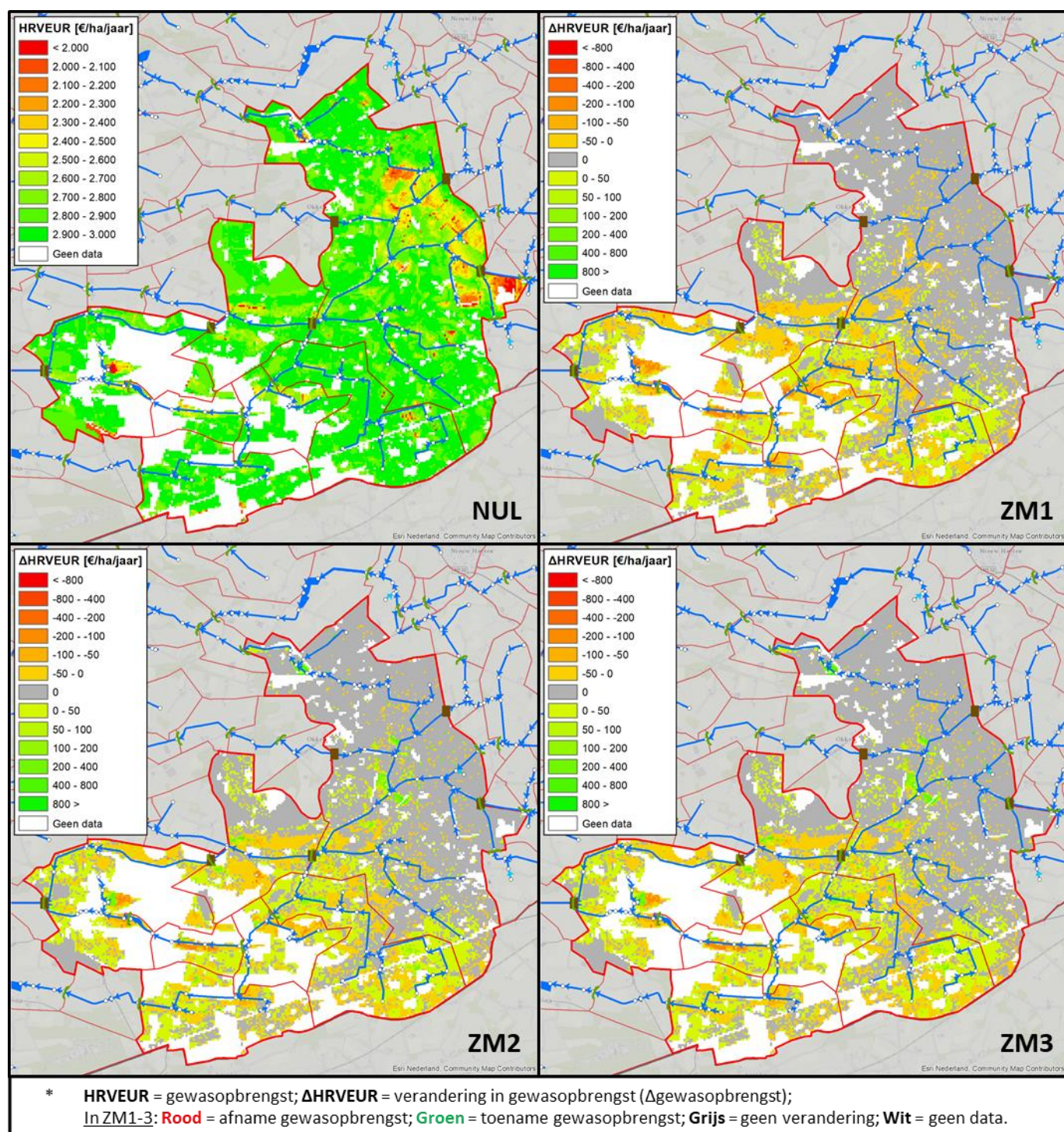
Opvallend is dat voor NUL de gemiddelde zuurstofstress groter is dan de gemiddelde droogtestress. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het gebied meer schade ondervindt door wateroverlast dan door droogte. In de discussie wordt hier verder op ingegaan.

4.2.5 Baten

Uit de Waterwijzer Landbouw volgen de potentiële gewasopbrengst en de opbrengstderving. Met deze resultaten wordt de werkelijke gewasopbrengst bepaald volgens Vergelijking 6. De gewasopbrengst (HRVEUR) wordt uitgedrukt in duizend euro per hectare per jaar [$k\text{€}/\text{ha}/\text{jaar}$]. De resultaten voor de ZON-maatregelen worden omgezet naar de verandering in gewasopbrengst (ΔHRVEUR) ten opzichte van het nulalternatief. De verandering in gewasopbrengst wordt ook uitgedrukt in duizend euro per hectare per jaar [$k\text{€}/\text{ha}/\text{jaar}$].

De gewasopbrengst voor het nulalternatief is weergegeven in Figuur 12. In dit figuur is ook de Δ gewasopbrengst weergegeven voor de ZON-maatregelen (ZM1, ZM2 en ZM3). De stijging in gewasopbrengst is weergegeven in groen en de daling in gewasopbrengst is weergegeven in rood. De gewasopbrengst is alleen van toepassing op de landbouwgebieden. Voor gebieden met een andere gebruiksfunctie is er daarom geen data beschikbaar (wit).

Tabel 12 bevat de gemiddelde (gem) gewasopbrengst voor het nulalternatief en de gemiddelde (gem) verandering in gewasopbrengst voor de ZON-maatregelen. Het gemiddelde is bepaald over de oppervlakte (opp) waarvoor veranderingen in de gewasopbrengst optreden door de ZON-maatregelen (voor het nulalternatief is dit oppervlakte gelijk aan het totale landbouwoppervlak). Met de gemiddelde (Δ)gewasopbrengst en de oppervlakte kan de totale (Δ)gewasopbrengst voor het hele onderzoeksgebied bepaald worden (zie Tabel 12). De invloed van de fouten in de modelconfiguratie bij het bepalen van de GHG en GLG (zie sub-paragraaf 4.2.3) zijn minder duidelijk zichtbaar voor de gewasopbrengst in Figuur 12. De gewasopbrengst wordt bepaald op basis van de opbrengstderving. Deze is afhankelijk van de droogte- en zuurstofstress. Als gevolg van de modelfouten stijgt de droogtestress en daalt de zuurstofstress in peilvak 777.2 en 785.2. Hierdoor wordt de gewasopbrengst zowel positief als negatief beïnvloed door de modelfouten. Om de invloed van de modelfout te minimaliseren worden daarom de resultaten voor peilvak 777.2 en 785.2 niet meegenomen bij het bepalen van de gemiddelde gewasopbrengst. In Tabel 21 in Bijlage C wordt de (Δ) gewasopbrengst per peilvak gegeven. In deze tabel is ook aangegeven welke resultaten zijn meegenomen per peilvak.



Figuur 12: Gewasopbrengst voor NUL en ΔGewasopbrengst voor ZM1-3*.

Tabel 12: Gewasopbrengst voor NUL en ΔGewasopbrengst t.o.v. NUL voor ZM1-3*.

	NUL	ZM1	ZM2	ZM3
(Δ)Gewasopbrengst (Gem) [€/ha/jaar]	2819,7	-9,0	14,2	15,9
Oppervlakte (Opp) [ha]	1220	414	427	427
(Δ)Gewasopbrengst [k€/jaar]	3.439	-3,7 (-0,11%)**	6,1 (0,18%)**	6,8 (0,20%)**

* **Blauwe arcering** = waarden die meegenomen worden bij het bepalen van de effectiviteit (zie sub-paragraaf 4.2.7).
** (Getal tussen haakjes) = verandering ten opzichte van NUL.

Uit Tabel 12 en Figuur 12 valt af te leiden dat de gemiddelde veranderingen in opbrengst voor alle ZON-maatregelen relatief klein zijn ten opzichte van de totale gewasopbrengst. De oppervlaktes voor deze veranderingen zijn vrijwel gelijk (ongeveer 420 ha). De kleine veranderingen in de gewasopbrengst per hectare leiden tot kleine veranderingen in de totale gewasopbrengst. Opvallend is dat de gewasopbrengst voor ZM1 afneemt. Dit is te verklaren omdat de zuurstofstress sterker en over een groter gebied toeneemt dan dat de droogtestress afneemt (zie Tabel 10 en Tabel 11). Dit komt omdat er bij ZM1 geen compenserende maatregelen worden genomen in de laaggelegen gebieden. In ZM2 en ZM3 worden deze maatregelen wel genomen, dit leidt dan ook tot toename van de gewasopbrengst. Deze toename is, zoals verwacht, bij ZM3 groter dan bij ZM2.

In Figuur 12 is ook duidelijk te zien dat de grootste toenames in de gewasopbrengst optreden op de plekken waar de compenserende maatregelen worden uitgevoerd. Dit is met name te zien wanneer de kaarten voor ZM1 en ZM3 met elkaar vergeleken worden. Uit Tabel 21 in Bijlage C, waarin de (Δ)gewasopbrengst per peilvak worden gegeven, is af te leiden dat de grootste toenames en kleinste afnames in de gewasopbrengst tussen ZM1 en ZM3 plaatsvinden in peilvak 777.1 en 781. Dit is opvallend omdat juist in deze peilvakken de streefpeilen niet zijn verhoogd. Deze opmerkelijke toename en afname in de gewasopbrengst zijn te verklaren omdat de zuurstofstress tussen ZM1 en ZM3 voor deze peilvakken het meeste afneemt en het minste toeneemt (zie Tabel 20 in Bijlage C).

Op basis van de bovenstaande observaties, kan geconcludeerd worden dat de gewasopbrengst niet toeneemt vanwege de peilverhogingen, maar vanwege de compensatiemaatregelen in de laaggelegen gebieden. De compensatiemaatregelen zorgen namelijk dat de zuurstofstress afneemt. Dit hangt samen met de conclusie die getrokken is aan het einde van sub-paragraaf 4.2.4 dat het gebied meer schade ondervindt door wateroverlast dan door droogte. Hier wordt in de discussie verder op ingegaan.

4.2.6 Neveneffecten

Uit het expertoverleg met H. ter Horst, Hydroloog bij WDO, volgen de resultaten voor de neveneffecten in Tabel 13. Zoals uitgelegd in sub-paragraaf 3.2.6 zijn de scores voor de meeste neven effecten afhankelijk van de grondwaterstand en fluctuatie hiervan. Daarom worden er aparte scores gegeven voor de gebieden met natte grondwatertrappen (GTN) en gebieden met droge grondwatertrappen (GTD). De natte en droge grondwatertrappen voor het onderzoeksgebied zijn weergegeven in Figuur 4.

Zoals te zien is in Tabel 13 zijn de scores gelijk voor de drie ZON-maatregelen. Dit komt doordat de peilverhogingen voor alle maatregelen constant zijn. Omdat de compenserende maatregelen alleen genomen worden in een relatief klein deel van het onderzoeksgebied komt de invloed van deze compenserende maatregelen niet naar voren in deze kwalitatieve analyse. Hieronder worden de scores in Tabel 13 per neveneffect toegelicht.

Tabel 13: Neveneffecten voor ZM1-3*.

ID	Neveneffecten	ZM1		ZM2		ZM3	
		GTN**	GTD**	GTN**	GTD**	GTN**	GTD**
N1	Reductie van de piekafvoeren	-	0	-	0	-	0
N2	Reductie van de wateraanvoer	+	+	+	+	+	+
N3	Reductie van de stikstofuitspoeling	+	0	+	0	+	0
N4	Reductie van de fosfaatuitspoeling	-	0	-	0	-	0
N5	Verbetering van de waterkwaliteit	0	0	0	0	0	0
N6	Verbetering van de natuurscore	+	0	+	0	+	0
* Blauwe arcering = waarden die meegenomen worden bij het bepalen van de effectiviteit (zie sub-paragraaf 4.2.7).							
** (Getal tussen haakjes) = verandering ten opzichte van NUL.							

N1: Reductie van de piekafvoeren

Piekafvoeren worden veroorzaakt door de afvoer van regenwater over het maaiveld oppervlak. De bodem kan deze pieken uitvlakken door de regenwater tijdelijk in de bodem te bergen. Met de verhoging van de grondwaterstanden wordt de bergingsruimte, tussen het maaiveld en de grondwaterstand, in de bodem verkleind. Hierdoor kan de bodem minder regenwater opnemen. Dit resulteert in toename van de piekafvoer.

In de gebieden met natte grondwatertrappen zijn de grondwaterstanden relatief hoog. Hierdoor zullen peilverhogingen met name in deze gebieden een negatief effect hebben op de reductie van piekafvoeren [-]. In de gebieden met droge grondwatertrappen is de bergingsruimte van de bodem relatief groot. Hierdoor zullen de peilverhogingen in deze gebieden weinig tot geen effect hebben op de piekafvoeren [0].

N2: Reductie van de wateraanvoer

In de huidige situatie gebruikt WDOD gemalen om water naar het gebied aan te voeren tijdens droge periodes. Verhoging van de grondwaterstand zorgt ervoor dat er meer water in het gebied vastgehouden kan worden. Hierdoor zal er tijdens langere periodes van droogte minder snel water aangevoerd moeten worden naar het gebied. Dit leidt tot een reductie van de wateraanvoer [+].

Op basis van de resultaten voor de GHG en GLG uit MIPWA kan een inschatting gemaakt worden voor het volume waarmee het grondwatervolume is toegenomen. Uit de resultaten voor de ZON-maatregelen volgt dat binnen het onderzoeksgebied (met een oppervlakte van 1994,7 ha) de GHG en GLG gemiddeld toenemen met respectievelijk 0,02 meter en 0,01 meter. Uitgaande van de gemiddelde stijging voor de GHG en GLG komt dit overeen met een volumetoename van 249 duizend m³. Dit is gelijk aan het volume dat het aanvoergemaal benedenstrooms van het onderzoeksgebied in 52 uur aanvoert wanneer deze draait op maximale capaciteit (80 m³/min).

N3: Reductie van de stikstofuitspoeling

De mate waarin stikstof uitspoelt naar grond- en oppervlaktewater verschilt per grondsoort. Stikstof komt in het grondwater in verschillende vormen voor, de belangrijkste zijn ammonium en nitraat. Ammonium komt voort uit de afbraak van organisch materiaal onder zuurstofloze (anaerobe) omstandigheden. Onder zuurstofrijke (aerobe) omstandigheden wordt ammonium omgezet naar nitraat. In anaerobe gronden treedt daarnaast nog denitrificatie op, waarbij nitraat door bacteriën omgezet wordt in stikstofgas (Hooijboer & de Nijs, 2011).

Het onderzoeksgebied maakt deel uit van de droge zandregio. De bodem in dit gebied is voornamelijk zuurstofrijk (aerobe). In deze regio komen daardoor hoge nitraatconcentraties voor. Nitraat is erg mobiel, bindt zich niet aan de bodem en is goed oplosbaar. Hierdoor treedt uitspoeling van nitraat naar het grondwater erg makkelijk op (Hooijboer & de Nijs, 2011).

Bij verhoging van de grondwaterstand wordt (een deel van) de bodem anaeroob. Hierdoor zal er ammonium in plaats van nitraat geproduceerd worden en nitraat omgezet worden naar stikstofgas. Ammonium heeft een geringere mobiliteit dan nitraat (Hooijboer & de Nijs, 2011). Hierdoor neemt de uitspoeling van af. De peilverhoging heeft dan ook een positief effect op de reductie van de stikstofuitspoeling. Dit effect is sterker in natte grondwatertrappen [+] omdat het stikstofgehalte meestal bovenin de bodem het hoogst is. In droge grondwatertrappen zal de peilverhoging deze bovenste lagen waarschijnlijk niet bereiken [0].

N4: Reductie van de fosfaatuitspoeling

Fosfaat spoelt over het algemeen niet uit naar het grondwater. De mobiliteit van fosfaat hangt af van de aanwezigheid van zuurstof en ijzer in de bodem. Zoals beschreven bij N3 is de bodem in het onderzoeksgebied zuurstofrijk (aerobe). In aerobe bodems wordt het fosfaat aan ijzeroxide en andere mineralen gebonden. Hierdoor vindt er zeer weinig tot geen fosfaatuitspoeling plaats (Hooijboer & de Nijs, 2011).

Bij verhoging van de grondwaterstand wordt (een deel van) de bodem zuurstofloos (anaeroob). Hierdoor kan fosfaat in oplossing gaan. De fosfaatuitspoeling neemt toe naarmate de grondwaterstand hoger is. Dit komt doordat het grondwater vaker in contact komt met de bodemlagen waarin het fosfaat is opgehoopt (Hooijboer & de Nijs, 2011). De peilverhogingen in het onderzoeksgebied hebben daardoor een negatief effect op de reductie van de fosfaatuitspoeling. Dit effect geldt met name voor natte grondwatertrappen [-] omdat de grondwaterstanden in deze gebieden eerder in contact komen met de fosfaatrijke lagen. Bij grondwaterstandverhogingen in droge grondwatertrappen zal dit minder snel het geval zijn [0].

N5: verbetering van de waterkwaliteit

Voor dit neveneffect wordt er gekeken naar de invloed van pesticiden en zware metalen op de grondwaterkwaliteit. De peilverhoging verkleint de verspreidingsweg voor de uitspoeling van pesticiden naar het grondwater. Echter, spoelen pesticiden meestal eerder af naar het oppervlaktewater als gevolg van regenbuien (Hooijboer & de Nijs, 2011). Hierdoor zal de invloed van de peilverhoging op de uitspoeling van pesticiden beperkt zijn. Zware metalen (cadmium en zink) bevinden zich vooral in de bovenste laag van de bodem (Hooijboer & de Nijs, 2011). De stijging in de grondwaterstand als gevolg van de peilverhoging zal deze laag waarschijnlijk niet bereiken. Hierdoor zal de uitspoeling van zware metalen niet toenemen. De peilverhoging zal, gekeken naar de invloed van pesticiden en zware metalen, geen effect hebben op de grondwaterkwaliteit [0].

N6: Verbetering van de natuurscore

Voor dit neveneffect wordt er een onderscheid gemaakt tussen natte natuur (in gebieden met natte grondwatertrappen) en droge natuur (in gebieden met droge grondwatertrappen). Het natuurdeel van landgoed Oostermaet bestaat uit natte natuur. Natte natuur wordt gevoed door grondwater en heeft baat bij de mineralen die aanwezig zijn in het grondwater. Droge natuur is niet afhankelijk van deze mineralen en wordt gevoed door regenwater.

De peilverhogingen zorgen voor hogere grondwaterstanden. Alleen de natte natuur profiteert van deze verandering. De peilverhoging heeft daarom alleen een positief effect op de natuurscore in de natte grondwatertrappen [+] en geen effect op de natuurscore in de droge grondwatertrappen [0].

4.2.7 Effectiviteit

Een overzicht van de resultaten voor de effectiviteit van de ZON-maatregelen voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop is weergegeven in Tabel 14. In deze tabel zijn voor de baten en effecten ook de veranderingen in procent ten opzichte van het nulalternatief weergegeven tussen haakjes. Voor de neveneffecten worden aparte scores gegeven voor de gebieden met natte grondwatertrappen (GTN) en gebieden met droge grondwatertrappen (GTD).

Tabel 14: Effectiviteit voor ZM1-3.

CAT	ID	Indicatoren	Eenheid	ZM1		ZM2		ZM3	
Kosten	K1	Vaste kosten	[k€]	164		515		1792	
	K2	Lopende kosten	[k€/jaar]	0		24		0	
Baten	B1	Gewasopbrengst	[k€/jaar]	-3,7 (-0,11%)*		6,1 (0,18%)*		6,8 (0,20%)*	
Effecten	E1	Droogtestress (Gem & Opp)	[%]	-0,25 (-16,8%)*		-0,24 (-16,3%)*		-0,24 (-16,2%)*	
			[ha]	368 (23,4%)*		372 (23,6%)*		372 (23,7%)*	
	E2	Zuurstofstress (Gem & Opp)	[%]	0,27 (9,4%)*		-0,15 (-5,1%)*		-0,18 (-6,4%)*	
			[ha]	414 (26,3%)*		422 (26,8%)*		422 (26,8%)*	
				GTN**	GTD**	GTN**	GTD**	GTN**	GTD**
Neven-effecten	N1	Reductie van de piekafvoeren	[-/+]	-	0	-	0	-	0
	N2	Reductie van de wateraanvoer	[-/+]	+	+	+	+	+	+
	N3	Reductie van de stikstofuitspoeling	[-/+]	+	0	+	0	+	0
	N4	Reductie van de fosfaatuitspoeling	[-/+]	-	0	-	0	-	0
	N5	Verbetering van de waterkwaliteit	[-/+]	0	0	0	0	0	0
	N6	Verbetering van de natuurscore	[-/+]	+	0	+	0	+	0
* (Getal tussen haakjes) = verandering ten opzichte van NUL. ** GTN = natte grondwatertrappen; GTD = droge grondwatertrappen.									

In Tabel 14 is te zien dat de kosten voor alle ZON-maatregelen relatief hoog zijn ten opzichte van de baten en effecten. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de effectiviteit voor alle drie de ZON-maatregelen voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop laag is. Wanneer er echter gekeken wordt naar de directe effecten van de ZON-maatregelen (zie sub-paragraaf 4.2.3), is te zien dat de maatregelen wel een significant effect hebben op de grondwateromstandigheden (GHG en GLG). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de ZON-maatregelen wellicht wel effectief zijn voor de preventie van de droogteproblematiek, maar dat deze effectiviteit niet terug te zien is in de baten en effecten die bepaald zijn met de Waterwijzer Landbouw. In de discussie wordt hier verder op ingegaan.

Daarnaast is op te merken dat de baten, effecten en neveneffecten redelijk constant zijn voor alle maatregelen (met name voor ZM2 en ZM3). Hierdoor is het niet mogelijk om een definitieve rangorde vast te stellen voor de drie ZON-maatregelen gebaseerd op de effectiviteit van deze maatregelen. De overeenkomsten voor deze resultaten voor de maatregelen kunnen een aantal oorzaken hebben. Hier wordt ook verder op ingegaan in de discussie.

Hieronder wordt er verder ingegaan op de resultaten voor de kosten, baten, effecten en neveneffecten voor de drie ZON-maatregelen.

De kosten voor de maatregelen zijn relatief hoog in vergelijking met de gewasopbrengst. Daarnaast is de verandering in gewasopbrengst ten opzichte van de gewasopbrengst voor het nulalternatief erg klein (zie de getallen tussen haakjes in Tabel 14). ZM1 heeft veruit de laagste kosten van de drie ZON-maatregelen. Deze maatregel zorgt echter wel voor een daling in de gewasopbrengst. ZM2 zorgt wel voor een stijging in de gewasopbrengst. De lopende kosten voor ZM2 zijn alleen wel hoger dan de toename in gewasopbrengst voor deze maatregel. Dit resulteert in een nettoverlies per jaar. Vanwege de lopende kosten zal ZM2 na een bepaalde periode duurder zijn dan ZM3. Dit is echter pas het geval na een periode van 54 jaar. Alleen ZM3 heeft een netto-opbrengst per jaar. Dit komt met name doordat deze maatregel extreem hoge vaste kosten heeft (in plaats van lopende kosten zoals bij ZM2). De terugverdientijd, in de vorm van toename in gewasopbrengst ten opzichte van NUL, is dan ook 188 jaar.

De afname in droogtestress (ongeveer -0,25%), en de oppervlakte van het maaiveld waarvoor deze afname geldt (ongeveer 370 ha), is vrijwel gelijk voor alle drie de ZON-maatregelen. Dit is te verklaren omdat de afname van de droogtestress veroorzaakt wordt door de peilverhoging. De peilverhoging is gelijk voor alle drie de maatregelen. De compensatiemaatregelen (in ZM2 en ZM3) die toegepast worden in de laaggelegen gebieden hebben met name effect op de zuurstofstress. De droogtestress, die vooral voorkomt in de hooggelegen gebieden, wordt hier niet door beïnvloed.

De verandering in zuurstofstress verschilt wel voor de drie ZON-maatregelen. De zuurstofstress neemt toe voor ZM1 (met ongeveer 0,27%) en af voor ZM2 en ZM3 (met ongeveer -0,17%). De afname voor ZM3 is groter dan voor ZM2. Dit is te verklaren vanwege de compensatiemaatregelen die in ZM2 en ZM3 genomen worden. De oppervlakte van het maaiveld waarvoor deze veranderingen gelden (ongeveer 420 ha) zijn vrijwel gelijk voor alle drie de maatregelen.

De droogte- en zuurstofstress voor ZM2 en ZM3 nemen ongeveer even veel af. Wanneer er echter gekeken wordt naar de veranderingen in procent ten opzichte van het nulalternatief (zie de getallen tussen haakjes in Tabel 14) is te zien dat percentueel de droogtestress sterker afneemt dan de zuurstofstress. Dit is te verklaren doordat de gemiddelde zuurstofstress voor NUL groter is dan de gemiddelde droogtestress. Zoals genoemd in sub-paragraaf 4.2.4 en 4.2.5 is dit opvallend omdat hieruit geconcludeerd kan worden dat het gebied meer schade ondervindt door wateroverlast dan door droogte. In de discussie wordt hier verder op ingegaan.

De scores voor de neveneffecten zijn gelijk voor de drie ZON-maatregelen. Dit komt doordat de peilverhogingen voor alle maatregelen constant zijn. De compenserende maatregelen komen niet naar voren in deze kwalitatieve analyse omdat ze alleen toegepast worden in een relatief klein deel van het onderzoeksgebied (de laaggelegen gebieden van elk peilvak). De peilverhogingen hebben voornamelijk effect binnen de gebieden met natte grondwatertrappen. In deze gebieden ligt de grondwaterstand namelijk dicht bij het maaiveld dan bij gebieden met droge grondwatertrappen. Hierdoor zullen er eerder effecten op treden wanneer de grondwaterstand verhoogd wordt als gevolg van de peilverhoging.

5. Discussie

Dit hoofdstuk beschrijft de punten die in dit onderzoek ter discussie staan. In paragraaf 5.1 wordt er gekeken naar de discussiepunten voor de methode die gepresenteerd is in dit onderzoek. Vervolgens wordt er in paragraaf 5.2 gekeken naar de punten die betrekking hebben op het toepassen van deze methode in de casestudie. In deze paragraaf worden ook de resultaten voor deze studie vergeleken met de resultaten die afkomstig zijn uit andere onderzoeken. Ten slotte wordt er in paragraaf 5.3 specifiek ingegaan op het gebruik van de Waterwijzer Landbouw (WWL).

5.1 Methode discussie

In deze paragraaf worden de discussiepunten per stap beschreven voor de methode die gepresenteerd is in dit onderzoek om ZON-maatregelen met elkaar te vergelijken. In paragraaf 6.2 worden een aantal aanbevelingen gedaan om de methode te verbeteren.

1.1 Verwachtingen en eisen

Het vaststellen van de verwachtingen en eisen van de actoren is gedaan op basis van een bestaande stakeholderanalyse voor het Project Soestwetering bovenloop en Breebroeksleiding. In deze analyse zijn de belangen van elke actor in het gebied echter maar kort (met enkele steekwoorden) opgenomen. Hierdoor konden de verwachtingen en eisen in dit onderzoek alleen op een abstract niveau beschreven worden, zonder harde onderbouwingen. Mogelijk zijn er door de geringe omvang van de stakeholderanalyse ook verwachtingen en eisen niet meegenomen in dit onderzoek. Dit discussiepunt zal echter maar weinig invloed hebben gehad op de conclusie van dit onderzoek.

1.2 Effectiviteitsindicatoren

De lijst van indicatoren voor de preventie van droogteproblematiek volgt niet direct uit de verwachtingen en eisen van de actoren. Bij het opstellen van deze lijst is er namelijk ook rekening gehouden met de mogelijkheden en beperkingen van dit onderzoek, bijvoorbeeld de onderzoeksperiode en beschikbare modellen. Hierdoor zijn de indicatoren voornamelijk gebaseerd op gegevens die met de vooraf vastgestelde modellen bepaald kunnen worden.

2.1 Dimensionering

Bij het vaststellen van de dimensies voor de maatregelen staan er een aantal punten ter discussie. Allereest wordt de grondwaterdrainage in dit onderzoek geïmplementeerd in de modellen als een maaiveldverhoging. Deze versimpelde implementatie zorgt ervoor dat de betrouwbaarheid van de resultaten voor deze maatregel afneemt.

Een ander discussiepunt is de dimensies voor de compensatiemaatregelen. Deze maatregelen worden namelijk ook toegepast in peilvakken waar de streefpeilen niet verhoogd worden. In deze peilvakken hoeft in principe geen compensatie plaats te vinden. Dit is het gevolg van een fout bij de implementatie van de compensatiemaatregelen in ArcGIS. Daarnaast is er in een expertoverleg bepaald om de compensatiemaatregelen toe te passen in de laagste 5% van het maaiveldoppervlak. Deze laaggelegen gebieden mogen echter natschade ondervinden volgens de droogleggingsnorm van WDOD. Theoretisch gezien is het daarom niet nodig om deze compensatiemaatregelen uit te voeren in deze gebieden. Dit leidt tot een beleidsmatige kwestie binnen WDOD. Dit wordt vaak opgelost met zogenoemde 'normopvulling' waarmee actoren die nadelige effecten ondervinden tegemoet worden gekomen door bijvoorbeeld compensatiemaatregelen.

2.2. Kosten

De kengetallen voor de kosten van de ZON-maatregelen zijn bepaald met behulp van bestaande kostenramingen voor projecten waarin soortgelijke maatregelen worden toegepast. Hierdoor zit er een onzekerheid in deze getallen. Bij het bepalen van de kosten worden de kengetallen vermenigvuldigd met de dimensies. Deze zijn voor de drainage en ophoging relatief groot en hebben ook een onzekerheid. Hierdoor kunnen de kosten voor deze maatregelen sterk afwijken van de werkelijke kosten. Om enigszins rekening te houden met deze onzekerheid is daarom gewerkt met risicofactoren bij het bepalen van de kosten.

2.3 Directe effecten (MIPWA)

Bij het bepalen van de directe effecten met MIPWA staan er een aantal punten ter discussie. Allereerst zijn er een aantal fouten gemaakt bij de implementatie van de peilverhoging. Dit komt door fouten in de modelconfiguratie als gevolg van de MIPWA-referentiedatabase. Hoewel de invloed van deze fouten geminimaliseerd is was het hierdoor niet mogelijk om de resultaten voor alle peilvakken binnen het onderzoeksgebied mee te nemen. De simulaties die uitgevoerd zijn in MIPWA staan ook ter discussie vanwege mijn beperkte kennis op het gebied van deze software. Hierdoor kan het zijn dat er nog andere fouten zijn gemaakt bij het uitvoeren van de simulaties.

Een ander discussiepunt heeft betrekking op de implementatie van de peilen in de peilvakken. Er is hierbij aangenomen dat de peilen constant zijn binnen een peilvak. In werkelijkheid nemen de peilen geleidelijk toe richting de bovenstroomse gebieden als gevolg van het verhang van de bodem en begroeiing in de watergangen. Het is echter acceptabel om constante peilen aan te nemen aangezien dit ook is gedaan bij het opstellen van de MIPWA-referentiedatabase.

2.4/2.5 Indirecte effecten en Baten (Waterwijzer Landbouw)

De indirecte effecten en baten zijn bepaald met de recent ontwikkelde Waterwijzer Landbouw. Uit de resultaten voor de indirecte effecten blijkt dat het onderzoeksgebied meer schade ondervindt door wateroverlast dan door droogte (de zuurstofstress is hoger dan de droogtestress). Daarnaast blijkt ook dat de gewasopbrengst niet toeneemt vanwege de peilverhogingen, maar vanwege de compensatiemaatregelen in de laaggelegen gebieden. Ook zijn de significante effecten van de ZON-maatregelen op de grondwateromstandigheden (sub-paragraaf 4.2.3) niet terug te zien in de resultaten voor de baten en indirecte effecten. Analyse van de resultaten toont aan dat het gebruik van de WWL ter discussie staat. Om deze reden is er een uitgebreidere discussie over de Waterwijzer Landbouw opgenomen in paragraaf 5.3.

2.6 Neveneffecten

De kwantitatieve analyse voor de neveneffecten is te abstract om onderscheid te kunnen maken tussen de maatregelen die vergeleken worden. Hierdoor is de toegevoegde waarde van deze indicatoren bij het bepalen van de effectiviteit dan ook minder groot dan verwacht.

2.7 Effectiviteit

Bij het bepalen van de effectiviteit zijn er geen nieuwe discussiepunten, omdat dit gedaan wordt op basis van de resultaten uit de voorgaande stappen.

5.2 Casestudie discussie

In deze paragraaf wordt er eerst ingegaan op de discussiepunten met betrekking tot het toepassen van de methode op de casestudie binnen dit onderzoek. Daarna volgt een algemene discussie waarin de resultaten voor deze studie vergeleken worden met resultaten die afkomstig zijn uit andere onderzoeken op het gebied van ZON-maatregelen.

Casestudie discussie

Gekeken naar de resultaten voor de effectiviteit van de ZON-maatregelen in de casestudie (zie subparagraaf 4.2.7) is op te merken dat de baten, effecten en neveneffecten redelijk constant zijn voor alle maatregelen (met name voor ZM2 en ZM3). De overeenkomsten voor deze resultaten voor de maatregelen kunnen een aantal oorzaken hebben.

Allereerst is het mogelijk dat de overeenkomsten in de resultaten veroorzaakt worden door de sterke gelijkheid van de onderzochte ZON-maatregelen. Voor alle drie de maatregelen wordt dezelfde peilverhogingen gehanteerd. De verschillen tussen de maatregelen worden alleen veroorzaakt door de compensatiemaatregelen: grondwaterdrainage voor ZM2 en maaiveldophoging voor ZM3. Deze maatregelen worden toegepast voor de laagste 5% van het maaiveld oppervlak van elk peilvak. Omdat dit een relatief klein deel van het onderzoeksgebied betreft zijn de effecten van de compensatiemaatregelen ook beperkt. Bovendien wordt de grondwaterdrainage voor ZM2 geïmplementeerd als een maaiveldophoging tot maximaal 20 cm. Hierdoor zal de gelijkheid tussen de effecten van deze twee maatregelen nog sterker overeenkomen.

Een andere oorzaak voor de overeenkomsten in de resultaten is dat de methode die gebruikt is in dit onderzoek niet accuraat genoeg is om de verschillen tussen de onderzochte maatregelen adequaat te analyseren. De onnauwkeurigheid van de methode wordt vooral veroorzaakt door de recent ontwikkelde Waterwijzer Landbouw. Zoals beschreven in paragraaf 5.1 blijkt dat het gebruik van de WWL ter discussie staat. Een uitgebreidere discussie over de WWL is daarom opgenomen in paragraaf 5.3. De resultaten voor de neveneffecten vertonen veel overeenkomsten. Dit komt omdat de neveneffecten kwalitatief zijn geanalyseerd. De invloed van de compensatiemaatregelen komt niet naar voren in deze kwalitatieve analyse omdat ze alleen toegepast worden in een relatief klein deel van het onderzoeksgebied.

In paragraaf 6.2 worden er aantal aanbevelingen gedaan om in het vervolg de methode beter te kunnen toepassen binnen een casestudie.

Casestudie in vergelijking met andere onderzoeken

Enkele onderzoeken zijn uitgevoerd waarin de effectiviteit van ZON-maatregelen bepaald is op basis van diverse indicatoren op verschillende niveaus (Delsman, et al., 2018; ter Maat, et al., 2014; ECORYS, 2013).

Het onderzoek door ECORYS in 2013 analyseert maatregelen op het niveau van het hoofdwatersysteem en het regionale watersysteem. De conclusies ten aanzien van de economische effecten voor het regionale watersysteem zijn interessant voor deze discussie. Dit onderzoek concludeert dat veel van de maatregelen op regionaal niveau relatief te kostbaar zijn in relatie tot de landbouwopbrengst. Daarbij wordt gesteld dat een belangrijke nuancering is dat de regionale maatregelen meer doelen kunnen dienen, bijvoorbeeld een positieve uitwerking op peilbeheer, doorspoeling of natuurwaarden in het gebied (ECORYS, 2013). Deze conclusie door ECORYS komt overeen met de resultaten die volgen uit deze bachelor studie. De kosten voor de ZON-maatregelen zijn relatief hoog ten opzichte van de baten. Daarnaast hebben de maatregelen voornamelijk positieve neveneffecten.

Het onderzoek door ter Maat, et al. in 2014 analyseert ZON-maatregelen op nationaal en regionaal niveau. De conclusies die betrekking hebben op de regionale maatregelen voor de hoge zandgrond gebieden zijn interessant voor deze discussie. Dit onderzoek concludeert dat regionale maatregelen, met name het verhogen van oppervlaktewaterpeilen door stuwen en beekbodems te verhogen, zijn zeer effectief om de daling van de grondwaterstanden te beperken. Ook wordt er aanbevolen om nader onderzoek te doen op lokaal niveau, waarbij het verhogen van peilen door stuwen en beekbodems te verhogen gezien wordt als een kansrijke maatregel (ter Maat, et al., 2014).

Deze conclusies door ter Maat, et al. komen niet compleet overeen met de resultaten die volgen uit deze bachelor studie. Uit de resultaten voor de indicatoren kan geconcludeerd worden dat de effectiviteit voor de ZON-maatregelen voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop laag is. Dit komt waarschijnlijk door het gebruik van de Waterwijzer Landbouw in deze studie. De maatregelen hebben namelijk wel een significant effect op de grondwateromstandigheden. De resultaten voor de directe effecten komen dan ook wel overeen met de conclusie door ter Maat, et al.

Het onderzoek door Delsman, et al. is de Regioscan Zoetwatermaatregelen uitgevoerd door STOWA in 2018. In dit onderzoek wordt een instrument, genaamd Regioscan Zoetwatermaatregelen, gepresenteerd dat inzicht geeft in het perspectief van lokale maatregelen. Met dit instrument is het mogelijk om voor 13 kleinschalige maatregelen een indicatie te geven voor de kosten, baten, waterbesparing en mogelijke neveneffecten. Om aan te tonen dat het de Regioscan ondersteuning kan bieden bij de verkenning van mogelijke maatregelen is het instrument toegepast op twee studiecasses (Delsman, et al., 2018). De maatregelen waarvoor een indicatie gegeven kan worden hebben betrekking op de aanleg van irrigatie-, drainage- en beregeningssystemen. Hierdoor zijn de conclusies voor deze twee studiecasses niet relevant voor deze studie. De conclusie over de potentie van dit instrument is echter wel interessant voor deze discussie. Dit onderzoek door STOWA concludeert dat de Regioscan Zoetwatermaatregelen potentieel toepasbaar is voor de verkenning van het perspectief van zoetwatermaatregelen binnen specifieke gebieden. Nader onderzoek moet aantonen of de resultaten van dit instrument voldoende waarheidsgetrouw zijn (Delsman, et al., 2018). Dit onderzoek door STOWA toont aan dat er baat bij is om meer inzicht te bieden bij het verkennen van mogelijke maatregelen. De methode die gepresenteerd is in deze bachelor studie ondersteunt dit belang. Op basis van de resultaten voor de casestudie, kan geconcludeerd worden dat de methode die gebruikt wordt in deze bachelor studie ongeschikt is om de onderzochte ZON-maatregelen met elkaar te vergelijken binnen de Soestwetering bovenloop. Dit komt met name door het gebruik van de recent ontwikkelde Waterwijzer Landbouw. Deze studie kan wellicht wel gebruikt worden bij het ontwikkelen of verbeteren van andere methode of instrumenten om inzicht te bieden bij het vergelijken van mogelijke ZON-maatregelen.

5.3 Waterwijzer Landbouw discussie

Uit de analyse van de resultaten blijkt dat het gebruik van de Waterwijzer Landbouw ter discussie staat (zie paragraaf 5.1). Daarom wordt er in deze paragraaf verder ingegaan op het gebruik van de WWL. Dit wordt gedaan door een eenvoudige gevoeligheidsanalyse uit te voeren voor het gebruik van de WWL in het onderzoeksgebied. Daarnaast wordt gekeken naar een concept waarin de WWL wordt gebruikt om specifiek voor de droge jaren de effectiviteit van de ZON-maatregelen te bepalen. Er wordt hierbij ook ingegaan wat dit effect zou zijn op de resultaten voor de casestudie. Tot slot wordt het gebruik van de WWL in de casestudie vergeleken met het gebruik van deze tool in andere studies. Uit deze discussie volgen een aantal aanbevelingen over het gebruik van de Waterwijzer Landbouw. Deze zijn opgenomen in paragraaf 6.2.

Gevoeligheidsanalyse

Uit de resultaten voor de indirecte effecten blijkt dat het onderzoeksgebied weinig schade ondervindt door zowel droogte (droogtestress) als door wateroverlast (zuurstofstress). Daarnaast is op te merken dat de gemiddelde zuurstofstress hoger is dan de gemiddelde droogtestress. Dit komt niet overeen met de droogte problematiek die in werkelijkheid aanwezig is in het onderzoeksgebied. Om te achterhalen waarom de WWL een onrealistisch beeld geeft van de problemen in het gebied wordt er een eenvoudige gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

In deze gevoeligheidsanalyse worden de inputgegevens voor het nulalternatief afzonderlijk aangepast. Dit resulteert in drie gevoeligheidsalternatieven (GA):

- GA1. Grondwaterstanden worden verlaagd (GHG/GLG t.o.v. maaiveld vermenigvuldigen met 1,5)*
- GA2. Bodemsoort wordt aangepast van zand naar klei*
- GA3. Gewassoort wordt aangepast van gras naar mais*

* De andere inputgegevens blijven gelijk aan het nulalternatief (NUL).

Voor de drie gevoeligheidsalternatieven worden de droogtestress, zuurstofstress en gewasopbrengst bepaald. Figuren en tabellen waarin de resultaten voor het nulalternatief en de gevoeligheidsalternatieven worden gegeven zijn opgenomen in Bijlage D. Tabel 15 bevat de gemiddelde droogtestress, gemiddelde zuurstofstress en totale gewasopbrengst voor het onderzoeksgebied voor het nulalternatief en de gevoeligheidsalternatieven.

Tabel 15: Resultaten van de gevoeligheidsanalyse voor NUL en GA1-3.

	NUL	GA1	GA2	GA3
Droogtestress (Gem) [%]	1,49	4,36	16,36	4,31
Zuurstofstress (Gem) [%]	2,86	1,17	7,54	3,79
Gewasopbrengst [k€/jaar]	2,79	2,85	2,11	3,53

De resultaten voor GA1 tonen aan dat verlaging van de grondwaterstanden leidt tot een toename van de droogtestress en een afname van de zuurstofstress. Het voornaamste deel van het onderzoeksgebied ondervindt droogtestress (tussen de 1% en 10%). Het maaiveld oppervlak waar zuurstofstress optreedt is verkleind en komt vooral voor rondom de watergangen. Verlaging van de grondwaterstanden geeft een realistischer beeld van de droogteproblematiek in het onderzoeksgebied. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de grondwaterstanden voor het nulalternatief te hoog zijn ingeschat.

De resultaten voor GA2 laten zien dat het aanpassen van de zandbodem naar een kleibodem leidt tot een sterke toename van zowel de droogtestress als de zuurstofstress. Voor beide komt de spreiding van de stress voor GA2 over het gebied overeen met een versterkte variant van de spreiding voor NUL. Uit deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de WWL te lage waarde voorspelt voor de droogte- en zuurstofstress in gebieden met een zandbodem.

De resultaten voor GA3 tonen aan dat het aanpassen van de gewassoort van gras naar mais leidt tot een toename van de droogtestress en de zuurstofstress. De toenames van de gemiddelde stressen wordt voornamelijk veroorzaakt door sterke stijgingen in kleine gebieden. Hieruit kan geconcludeerd worden dat mais gevoeliger is voor de grondwateromstandigheden dan gras.

Effectiviteit van ZON-maatregelen voor droge jaren

Een van de inputgegevens voor de Waterwijzer Landbouw zijn de grondwaterstanden, specifiek de GHG en GLG. De GHG en GLG worden bepaald op basis van jaarlijkse gemiddelde voor de hoogste en laagste grondwaterstanden over een periode van minimaal 8 hydrologische jaren. Hierdoor worden dat de lage grondwaterstanden, die met name voorkomen tijdens droge jaren, uitgemiddeld. Dit is nadelig omdat de effecten van de ZON-maatregelen tijdens deze droge jaren juist het interessantst is. Om deze reden wordt er hieronder een concept beschreven waarin de WWL wordt gebruikt om de effecten van de ZON-maatregelen te bepalen op jaarbasis (dus ook specifiek voor droge jaren).

De WWL vereist twee sets van inputgegevens: hoge grondwaterstanden en lage grondwaterstanden. Onder normaal gebruik van de WWL worden hiervoor de GHG en GLG gebruikt. Echter is het ook mogelijk om in plaats van de GHG en GLG de hoogste en laagste grondwaterstand op jaarbasis te gebruiken. Op deze manier kan de WWL gebruikt worden om resultaten op jaarbasis te bepalen. Met deze resultaten is het mogelijk om een indicatie te geven van de effecten voor droge jaren.

De correctheid van dit concept en de indicatie die hiermee gegeven kan worden valt echter wel te betwijfelen. Uit het onderzoek door Heinen, et al. in 2017 blijkt namelijk dat met de WWL gemiddelden over meerdere jaren goed te voorspellen zijn, maar deze tool niet geschikt lijkt om voldoende inzicht te bieden in specifieke jaren, omdat kortdurende gebeurtenissen zoals hevige neerslag niet worden meegenomen (Heinen, et al., 2017).

Het analyseren van de effecten van de ZON-maatregelen met het bovenstaande concept valt buiten de scope van deze bachelor studie. Echter kan er wel beschreven worden hoe de resultaten voor de ZON-maatregelen in de casestudie zullen verschillen voor een droog jaar ten opzichte van een gemiddeld jaar. Binnen het gebied bevinden zich zes aanvoergemalen. Deze gemalen worden gebruikt om water aan te voeren naar het onderzoeksgebied. Hierdoor kunnen de streefpeilen in de watergangen ook gehandhaafd worden tijdens droge jaren. De resultaten voor de ZON-maatregelen zullen daarom ook weinig verschillen voor droge jaren. Wanneer er echter geen rekening gehouden wordt met wateraanvoer, omdat de gemalen niet correct functioneren of vanwege extreme watertekorten in de benedenstroomse gebieden, zullen de peilen in de watergangen wel uitzakken. Dit leidt tot daling van de grondwaterstanden. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat het verlagen van de grondwaterstanden (GA2) resulteert in een toename van de droogtestress en een afname van de zuurstofstress in het onderzoeksgebied. De ZON-maatregelen proberen de droogtestress te verminderen door de streefpeilen in het gebied te verhogen. Verhoging van de streefpeilen zal echter weinig of geen effect hebben op de droogtestress omdat deze streefpeilen tijdens droge jaren (zonder wateraanvoer) niet gehandhaafd kunnen worden. Ook de compensatiemaatregelen, die de zuurstofstress verminderen, zullen minder effect hebben. Dit komt omdat de zuurstofstress voor het hele onderzoeksgebied is afgenomen. Omdat de maatregelen weinig invloed hebben op de droogte- en zuurstofstress zal de gewasopbrengst niet of nauwelijks veranderen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de ZON-maatregelen tijdens droge jaren (zonder wateraanvoer) minder effectief zullen zijn voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop.

Casestudie in vergelijking met andere onderzoeken

Op dit moment is de Waterwijzer Landbouw alleen nog toegepast in een praktijktoets voor twee pilotgebieden (Heinen, et al., 2017). Daarnaast heeft A.S. Both, hydroloog bij WDO, de Waterwijzer Landbouw gebruikt om het hele beheergebied van het waterschap door te rekenen. Bijlage E bevat figuren met daarin de resultaten voor de droogte- en zuurstofstress voor het hele beheergebied.

Uit het onderzoek door Heinen, et al. in 2017 blijkt dat de GHG en GLG combinaties in de WWL-database niet altijd overeenkomen met de praktijkgegevens. Hierdoor is de WWL niet bruikbaar bij een niet natuurlijk verloop van de grondwaterstand, zoals bij omgekeerd peilbeheer waarbij er in de winter en het vroege voorjaar een laag peil en in de zomer een hoog peil gehandhaafd wordt (Heinen, et al., 2017). Deze conclusie door Heinen, et al. kan een verklaring geven voor de resultaten die volgen uit de WWL voor de casestudie in dit bachelor onderzoek. Voor de peilvakken in het onderzoeksgebied wordt omgekeerd peilbeheer toegepast. De zomerstreefpeilen zijn namelijk hoger dan de winterstreefpeilen. Hierdoor is de WWL niet geschikt om inzichten te kunnen bieden voor dit onderzoeksgebied.

Deze conclusie door Heinen, et al. wordt ook ondersteund door de resultaten die volgen uit de WWL-simulatie door A.S. Both. Voor vrijwel alle peilenvakken in het beheergebied van WDO is het zomerpeil hoger dan of gelijk aan het winterpeil. De WWL geeft dan ook een vertekend beeld voor het hele beheergebied.

Tot slot wordt dit probleem ook erkent door STOWA. Op de website van de Waterwijzer Landbouw wordt gewaarschuwd dat de huidige versie van de WWL gestuurd peilbeheer niet aankan. Hierbij wordt ook vermeld dat met name voor polders in onder andere Noordoost-Nederland gestuurd peilbeheer steeds vaker voorkomt (Wageningen University & Research, 2019).

6. Conclusie en aanbevelingen

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt als volgt:

- *Hoe kunnen verschillende Zoetwatervoorziening Oost-Nederland maatregelen met elkaar vergeleken worden op basis van de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop?*

Om deze vraag te beantwoorden is er in dit onderzoek een methode ontwikkeld en toegepast op de casestudie van de Soestwetering bovenloop. In deze casestudie wordt de effectiviteit bepaald voor drie verschillende ZON-maatregelen. De eerste ZON-maatregel (ZM1) betreft het opdelen van peilvakken door de aanleg van stuwen gecombineerd met het verhogen van de streefpeilen in de peilvakken. De andere twee maatregelen bouwen voort op ZM1 door daarnaast compensatiemaatregelen toe te passen in de laaggelegen gebieden, namelijk de aanleg van grondwaterdrainage (ZM2) of ophoging van het maaiveld (ZM3).

6.1 Conclusie

Uit de casestudie volgt de onderstaande conclusie. In deze conclusie worden eerst de deelvragen beantwoord en tot slot de hoofdvraag.

Deelvraag 1: Welke indicatoren bepalen de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop?

De indicatoren voor de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek zijn onderverdeeld in de volgende indicatorcategorieën: kosten, baten, effecten en neveneffecten.

In de casestudie zijn de indicatoren voor de kosten de vaste kosten [$k\text{€}$] en lopende kosten [$k\text{€}/\text{jaar}$]. Voor de baten wordt alleen de indicator gewasopbrengst [$k\text{€}/\text{jaar}$] meegenomen. Hiervoor is gekozen omdat het onderzoeksgebied voornamelijk gebruikt wordt voor landbouwdoeleinden. De ZON-maatregelen in de casestudie hebben voornamelijk invloed op de grondwateromstandigheden. De grondwaterstand heeft effect op de schade aan het gewas. In de casestudie worden voor de effecten daarom de indicatoren droogtestress [%] en zuurstofstress [%] op de gewassen meegenomen. Uit de stakeholderanalyse in de casestudie volgen daarnaast de onderstaande indicatoren voor de neveneffecten [-/+]: reductie van de piekafvoeren, reductie van de wateraanvoer, reductie van de stikstof- en fosfaatuitspoeling, verbetering van de waterkwaliteit en verbetering van de natuurscore.

Deelvraag 2: Wat is de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek van verschillende Zoetwatervoorziening Oost-Nederland maatregelen in de Soestwetering bovenloop?

Uit de analyse blijkt dat de kosten voor alle ZON-maatregelen relatief hoog zijn ten opzichte van de baten en effecten. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop voor de drie ZON-maatregelen relatief laag is. Wanneer er echter gekeken wordt naar de directe effecten van de maatregelen (zie sub-paragraaf 4.2.3), is er te zien dat de maatregelen wel een significant effect hebben op de grondwateromstandigheden. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de ZON-maatregelen wellicht wel effectief zijn voor de preventie van de droogteproblematiek, maar dat deze effectiviteit niet blijkt uit de resultaten van de Waterwijzer Landbouw. Uit de discussie volgt dat dit waarschijnlijk komt doordat de WWL niet geschikt is om gebruikt te worden voor gebieden met gestuurd peilbeheer. Andere oorzaken voor deze resultaten kunnen zijn dat de grondwaterstanden te hoog zijn ingeschat of dat de WWL de resultaten onderschat voor gebieden met een zandbodem.

Daarnaast is op te merken dat de baten, effecten en neveneffecten redelijk constant zijn voor alle maatregelen (met name voor ZM2 en ZM3). Dit maakt het niet mogelijk om een definitieve rangorde vast te stellen voor de drie ZON-maatregelen gebaseerd op de effectiviteit van deze maatregelen. Uit de discussie volgt dat de overeenkomstigheid in deze resultaten veroorzaakt kan worden door de sterke gelijkenis van de onderzochte ZON-maatregelen of omdat de methode die gebruikt is in dit onderzoek niet accuraat genoeg is om de verschillen tussen de onderzochte maatregelen adequaat te analyseren. Deze onnauwkeurigheid van de methode wordt vooral veroorzaakt door het gebruik van de Waterwijzer Landbouw.

Hoofdvraag: Hoe kunnen verschillende Zoetwatervoorziening Oost-Nederland maatregelen met elkaar vergeleken worden op basis van de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop?

Op basis van de resultaten voor de casestudie kan geconcludeerd worden dat de methode die gebruikt wordt in dit onderzoek ongeschikt is om de onderzochte ZON-maatregelen met elkaar te vergelijken in de Soestwetering bovenloop. Dit komt met name door het gebruik van de Waterwijzer Landbouw (WWL). Uit de discussie volgt namelijk dat de WWL niet geschikt is om gebruikt te worden voor gebieden met gestuurd peilbeheer. Daarnaast is de WWL niet accuraat genoeg om de verschillen tussen de onderzochte maatregelen adequaat te analyseren.

6.2 Aanbevelingen

Op basis van de discussie en conclusie worden de onderstaande aanbevelingen gedaan. Deze zijn onderverdeeld in aanbevelingen over de gebruikte methode in deze studie, het toepassen van deze methode in een casestudie en het gebruik van de Waterwijzer Landbouw.

Methode aanbevelingen

Om in het vervolg verschillende ZON-maatregelen beter met elkaar te vergelijken en indien een vervolgonderzoek gestart wordt naar het vergelijken van ZON-maatregelen worden hieronder een aantal aanbevelingen gedaan die betrekking hebben op de methode die gebruikt is in deze studie.

Als eerste wordt het aanbevolen om in een vervolgonderzoek meer variatie te creëren tussen de ZON-maatregelen die geanalyseerd worden. Hierbij is het vooral interessant om maatregelen te analyseren die op verschillende manieren invloed hebben op het watersysteem, bijvoorbeeld het aanleggen van reservoirs of creëren van bufferzones rond natuur. Dit zal voorkomen dat de resultaten voor de maatregelen te veel met elkaar overeenkomen waardoor de methode niet accuraat genoeg is om de verschillen tussen de maatregelen adequaat te analyseren.

Als tweede wordt het aanbevolen om in een vervolgonderzoek ook de effecten van de ZON-maatregelen te analyseren specifiek voor droge jaren, omdat de effecten van de ZON-maatregelen tijdens deze jaren juist het interessantst is. Hierbij is het ook belangrijk dat er nog steeds gekeken wordt naar de effecten van de maatregelen voor een gemiddeld jaar omdat de effecten van de ZON-maatregelen anders wellicht worden overschat. Bij het analyseren van de resultaten voor specifieke jaren wordt het niet aangeraden gebruik te maken van de WWL, omdat deze tool op het moment niet geschikt lijkt te zijn om voldoende inzicht te bieden voor specifieke jaren.

Als derde wordt het aanbevolen om in een vervolgonderzoek zo weinig mogelijk indicatoren kwalitatief te analyseren. In plaats van te werken met puntschalen is het inzichtelijker om indicatoren te voorzien van een eenheid. In de eerste instantie wordt er geprobeerd de resultaten voor de indicatoren direct te kwantificeren. Als dit niet mogelijk is, dan kan de indicator wellicht uitgedrukt worden als functie van andere indicatoren (die wel gekwantificeerd kunnen worden). Wanneer dit ook niet mogelijk is dan zal er toch een puntschaal gebruikt moeten worden.

Casestudy aanbevelingen

Op basis van deze casestudie wordt hieronder een aanbeveling gedaan over de implementatie van ZON-maatregelen in de Soestwetering bovenloop.

Uit de analyse blijkt dat de effectiviteit voor de preventie van droogteproblematiek in de Soestwetering bovenloop voor de drie onderzochte ZON-maatregelen relatief laag is. De directe effecten tonen echter wel aan dat de maatregelen een significant effect hebben op de grondwateromstandigheden. Om deze reden wordt het wel aanbevolen om de peilen in de peilvakken in het onderzoeksgebied te verhogen (ZM1). Op basis van dit onderzoek kan niet bepaald worden of het bij deze peilverhoging ook nodig is om compenserende maatregelen toe te passen in de laaggelegen gebieden van de peilvakken (ZM2 en ZM3).

Waterwijzer Landbouw aanbevelingen

Hieronder wordt een aanbeveling gedaan over het gebruik van de Waterwijzer Landbouw.

Voordat de WWL gebruikt wordt in een studie wordt het aanbevolen om eerst te achterhalen of de WWL gebruikt kan worden in het onderzoeksgebied. Dit kan gedaan worden door een QuickScan uit te voeren voor het onderzoeksgebied in de referentie situatie. Hiermee kan achterhaald worden of de resultaten van WWL enigszins overeenkomen met de werkelijke situatie.

De huidige versie van de WWL (versie 2.0.2) is niet geschikt om gebruikt te worden voor gebieden met gestuurd peilbeheer. Gestuurd peilbeheer wordt in vrijwel alle peilenvakken binnen het beheergebied van WDOD toegepast. Daarom wordt er aanbevolen om de huidige versie van de Waterwijzer Landbouw niet te gebruiken binnen het beheergebied van WDOD.

Literatuur

- Delsman, J., van Boekel, S., te Winkel, T., van Loon, A., Bartholomeus, R., Mulder, M., . . . Schasfoort, F. (2018). *Regioscan Zoetwatermaatregelen*. Amersfoort: STOWA.
- Deltacommissaris. (2018). *Deltaprogramma Actualisatie Kennisagenda Deltaprogramma*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit & Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- Deltares. (n.d.). *MIPWA*. Opgehaald van Projects: <https://publicwiki.deltares.nl/display/MIPWA/MIPWA>
- ECORYS. (2013). *Voorverkenning kosten en baten Deltaprogramma Zoetwater*. Rotterdam: ECORYS.
- Esri. (n.d.). *Wat is GIS?* Opgehaald van Esri Nederland: <https://www.esri.nl/nl-nl/over-ons/wat-is-gis/home>
- Goijer, I., Heuven, A., Luijendijk, J., Overbeek, M., & Runhaar, H. (2012). *Zoetwatervoorziening Oost Nederland*. Deventer: Tauw.
- Heinen, M., Mulder, M., Walvoort, D., Bartholomeus, R., Stofberg, S., & Hack-ten Broeke, M. (2017). *Praktijktoest Waterwijzer Landbouw in pilotgebieden De Raam en Vecht*. Amersfoort: STOWA.
- Hooijboer, A. E., & de Nijs, A. C. (2011). *De invloed van klimaatverandering op de grondwaterkwaliteit*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Mulder, M., Hack-ten Broeke, M., Bartholomeus, R., van Dam, J., Heinen, M., van Bakel, J., . . . Hoving, I. (2018). *Waterwijzer Landbouw: Instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwpro*. Amersfoort: STOWA.
- Rijksoverheid. (n.d.). *Rijn-Oost: Organisatie*. Opgehaald van Helpdesk Water: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/kaderrichtlijn-water/uitvoering/rijn-oost/organisatiestructuur/>
- Rijksoverheid. (n.d.). *Zoetwatervoorziening Oost Nederland*. Opgehaald van Helpdesk Water: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/kaderrichtlijn-water/uitvoering/rijn-oost/zoetwatervoorziening/>
- Snepvangers, J., & Berendrecht, W. (2007). *MIPWA Methodiekontwikkeling voor Interactieve Planvorming ten behoeve van Waterbeheer*. Utrecht: TNO.
- STOWA. (2013). *Regelbare drainage*. STOWA. Opgehaald van Regelbare drainage.
- STOWA. (n.d.). *Beschrijving WWL-tool*. STOWA.
- ter Maat, J., van der Vat, M., Hunink, J., Haasnoot, M., Prinsen, G., Visser, M., . . . Wesselius, C. (2014). *Effecten van maatregelen voor de zoetwatervoorziening in Nederland in de 21e eeuw*. Deltares.
- Wageningen University & Research. (2019). *Waterwijzer Landbouw*. Opgehaald van Waterwijzer Landbouw: <http://waterwijzerlandbouw.wur.nl/>

- Wageningen University & Research. (n.d.). *Parameters Grondwaterdynamiek*. Opgehaald van Onderzoek & Resultaten: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/Faciliteiten-Producten/Software-en-modellen/Grondwaterdynamiek/Parameters.htm>
- Waterschap Drents Overijsselse Delta. (2016, June 29). Stakeholder analyse. Zwolle, Overijssel, Nederland: Waterschap Drents Overijsselse Delta.
- Waterschap Drents Overijsselse Delta. (2018, Augustus 31). Randvoorwaarden bij uitwerking ZON maatregelen landgoed Oostermaet. Zwolle, Overijssel, Nederland: Waterschap Drents Overijsselse Delta.
- Waterschap Drents Overijsselse Delta. (2018, March 9). *Soestwetering bovenloop en Breebroeksleiding Heeten/Okkenbroek*. Opgehaald van Waterschap Drents Overijsselse Delta: <https://www.wdodelta.nl/projecten/soestwetering/>
- Waterschap Drents Overijsselse Delta. (2018, August 6). *Zoetwatervoorziening Oost-Nederland (ZON)*. Opgehaald van Waterschap Drents Overijsselse Delta: <https://www.wdodelta.nl/projecten/zoetwatervoorziening/>
- Waterschap Drents Overijsselse Delta. (n.d.). *Hydrologisch handboek*. Zwolle: Waterschap Drents Overijsselse Delta.

Bijlagen

A. Achtergrondprojecten

Project Zoetwatervoorziening Oost-Nederland

De regio Oost-Nederland heeft al langer tijd last van problemen ten gevolge van droogte. De waterschappen zijn daarom bezig geweest met aanpassingen en maatregelen gericht op actief peilbeheer, vroegtijdig opzetten van stuwen in het voorjaar, vasthouden van water en herinrichting van het oppervlaktewaterstelsel. Deze maatregelen streven ernaar de regio meer zelfvoorzienend te maken op het gebied van watervoorziening en het voorkomen van droogteproblematiek. De droogte van de afgelopen jaren wijst er echter op dat deze individuele maatregelen niet voldoende zijn om het watertekort volledig op te heffen (Goijer, Heuven, Luijendijk, Overbeek, & Runhaar, 2012).

Naar aanleiding hiervan is het project Zoetwatervoorziening Oost-Nederland (ZON) in 2010 gestart door Regionaal Bestuurlijk overleg (RBO) Rijn-Oost. RBO Rijn-Oost bestaat uit, provincies, waterschappen, gemeentes, waterbedrijven, Rijkswaterstaat en andere organisaties die samen werk aan de uitvoering van de Kaderrichtlijn Water (KRW) en andere onderwerpen op de Wateragenda. (Rijksoverheid, n.d.).

Tijdens de eerste fase (2010-2011) van het Zoetwatervoorziening Oost-Nederland (ZON) project is er een landelijke knelpuntenanalyse voor de zoetwatervoorziening in Nederland in de 21^e eeuw uitgevoerd. Deze analyse is verder aangescherpt in fase 2 (2011-2012). Op basis van deze analyse is er gekeken naar effecten van mogelijke maatregelen en strategieën in het hoofdwatersysteem. In fase 3 (2012-2013) zijn de effecten van maatregelen op het hoofd- en regionale watersysteem geanalyseerd en doorgerekend. Hieruit zijn kansrijke strategieën gevormd. Vervolgens zijn in fase 4 (2013-2014) de effecten van deze kansrijke maatregelen uitgebreid berekend en geanalyseerd waarbij er gefocust werd op het formuleren van een voorkeursstrategie (ter Maat, et al., 2014).

In 2015 is een bestuursovereenkomst gemaakt over de zoetwatervoorziening tussen het Rijk en de medeoverheden in de regio Oost-Nederland. Hierin is afgesproken dat voor de periode 2016-2021 overheden een duurzame oplossing na streven voor het veiligstellen van de beschikbaarheid van zoetwater in het hogere zandgebied. Dit houdt in dat concepten als water vasthouden, aanvoeren en accepteren geïntegreerd worden in uitvoeringsprojecten (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2018).

Er zijn geen specifieke normen en kwantitatieve opgave vastgesteld wat betreft ZON. Er wordt binnen projecten gekeken naar aansluitmogelijkheden van ZON-maatregelen. Er zijn echter wel afspraken gemaakt om maatregelen uit te voeren binnen de periode 2016-2021. Hiervoor heeft het waterschap ZON-subsidie van het Rijk gekregen (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2018).

Project Soestwetering bovenloop en Breebroeksleiding

Waterschap Drents Overijsselse Delta, Vitens (drinkwaterbedrijf) en LTO (Land en Tuinbouw Organisatie) Noord, afdeling Zuidwest Twente en Salland, werken op dit moment aan het project Soestwetering bovenloop en Breebroeksleiding. In dit project werken ze samen met grondeigenaren in het gebied om de waterhuishouding te verbeteren in de bovenloop van de Soestwetering en de watergangen Soestwetering en Breebroeksleiding (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2018). Deze watergangen bevinden zich in een gebied ten westen van de Sallandse Heuvelrug.

Het project Soestwetering Bovenloop en Breebroeksleiding bestaat uit drie deelgebieden: watergang Soestwetering, watergang Breebroeksleiding en specifieke gebieden binnen de Soestwetering bovenloop die bestemd zijn voor de implementatie van ZON-maatregelen. Eén van deze ZON-gebieden is de landbouwzone rondom het landgoed Oostermaet gelegen naast Lettele. Dit ZON-gebied vormt het onderzoeksgebied voor deze bachelor studie.

B. Software omgeving

MIPWA

MIPWA (Methodiek Interactieve Planvorming Waterbeheer) is een grootschalig en gedetailleerd grondwatermodel van Noordoost-Nederland ontwikkeld door Deltares (Deltares, n.d.). MIPWA bestaat uit een grondwatermodel referentiedatabase, Impulse-Response (IR) database en de interactieve simulatie- en afwegingsinstrumentarium iMOD (interactive MODELing) (Snepvangers & Berendrecht, 2007).

De grondwatermodel referentiedatabase bevat alle basisinformatie van het MIPWA-grondwatermodel. Deze database bestaat uit een raster met een hoge resolutie (25x25m) voor het hele gebied van Noordoost-Nederland. De randvoorwaarden voor het model zijn vastgesteld op de Waddenzee (noord), de Duitse grens (oost), de buitenste rand van de provincie Overijssel (zuid) en het IJsselmeer (west). De ondergrond is in MIPWA onderverdeeld in deklagen (modelagen), bestaande uit een watervoerend laag met daaronder een slecht doorlatende laag. Door deze schematisering zijn horizontale stromingen door de deklaag mogelijk waardoor grondwaterstanden in de deklaag berekend worden (Snepvangers & Berendrecht, 2007). MIPWA 3.0 bestaat uit 9 modellagen, waarbij de bovenste deklaag overeenkomt met modellaag 1.

De referentiedatabase van MIPWA 3.0 is opgezet voor de periode 1989-2014. Op basis hiervan kunnen twee modelvarianten doorgerekend worden: stationair en niet-stationair. De stationaire variant modelleert het systeem alsof het in evenwicht is. Hierbij wordt het evenwicht benaderd door het gemiddelde van grondwaterstanden en stijghoogten. In werkelijkheid komt deze situatie nooit voor. De niet-stationaire variant rekent op dagbasis het grondwatersysteem door voor de periode 1998-2014 (Snepvangers & Berendrecht, 2007).

Bij de modelparametrisering van het grondwatersysteem worden een groot aantal eigenschappen meegenomen. Elk onderdeel van het systeem wordt gesimuleerd door een of meerdere parameters. Bij deze parametrisering wordt er ook onderscheid gemaakt tussen de verschillende modellagen. Voor een MIPWA 3.0 simulatie zijn input gegevens nodig voor parameters voor de volgende onderdelen van het grondwatersysteem: maaiveld, ondergrond, grondwateraanvulling, oppervlaktewater, oppervlakkige afvoer, drainage, onttrekkingen en beregening. Deze gegevens zijn opgenomen in de referentiedatabase. MIPWA 3.0 levert resultaten voor grondwaterstanden en verschillende grondwaterfluxen, waaronder de verticale grondwaterflux (kwel/wegzijding) door de deklagen en grondwaterflux van en naar de waterlopen (afvoer/infiltratie). Bij een niet-stationaire simulatie worden deze resultaten per dag en per modellaag bepaald.

De IR-database is ontwikkeld om de effecten van mogelijke maatregelen te analyseren. De effecten van miljoenen mogelijke maatregelen zijn opgeslagen in de database. Met deze database kunnen binnen enkele seconden quickscans worden uitgevoerd om zo een schatting van de werkelijke effecten te bepalen. Om de exacte effecten van maatregelen op het grondwatersysteem te bepalen dient het model doorgerekend te worden. De IR-database kan geraadpleegd worden door middel van de iMOD (Snepvangers & Berendrecht, 2007). Ook biedt de iMOD de mogelijkheid om de informatie in de referentiedatabase te analyseren en resultaten te transformeren. De iMOD bevat een tool waarmee de GHG, GLG en GVG (gezamenlijk GXG) bepaald kunnen worden. Dit wordt gedaan op basis van de resultaten voor de grondwaterstand voor de 14^e en 28^e van elke maand die voortkomen uit een niet-stationaire simulatie van minimaal 8 hydrologische jaren. Daarnaast kan de iMOD ook gebruikt worden om maatregelen te implementeren door de referentiedatabase aan te passen (Snepvangers & Berendrecht, 2007).

Waterwijzer Landbouw

De Waterwijzer Landbouw (WWL) is een instrument recentelijk ontwikkeld door Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) dat gebruikt kan worden om het effect te bepalen van de veranderingen in hydrologische condities op de gewasopbrengst (Wageningen University & Research, 2019). De WWL combineert het hydrologische model voor de onverzadigde zone SWAP (Soil-Water Atmosphere-Plant) met het dynamische gewasgroeimodel WOFOST (World Food Studies) (Mulder, et al., 2018). De koppeling van de gewasopbrengst in biomassa naar economische opbrengst is gemaakt met het BedrijfsBegrotingsProgramma Rundvee (BBRP) en de KWIN-database (voor Akkerbouw en vollegrondsgroenten) (Mulder, et al., 2018).

Om efficiënter gebruik te kunnen maken van de WWL worden de complexe SWAP-WOFOST-simulaties omzeild door gebruik te maken van zogenaamde metarelaties. Deze relaties tussen de grondwatercondities, bodemtypen en opbrengsten zijn gebaseerd op de uitkomsten van een groot aantal SWAP-WOFOST-simulaties. De WWL is hierdoor eenvoudig en snel te gebruiken (STOWA, n.d.).

Voor de WWL-simulatie zijn input gegevens nodig voor de grondwaterkarakteristieken (GHG en GLG), bodemtypen (BOFEK2012), weerstation (KNMI weerstation), gewassoort en zoutconcentratie in het beregeningswater. De input kan gegeven worden in de formats van tabellen, shape-bestanden en raster-bestanden. Het format van de output is gelijk aan het input format (STOWA, n.d.).

De WWL levert als resultaat de gewasrespons per opgegeven ruimtelijke eenheid op. Deze bestaat uit de potentiële gewasopbrengst, uitgedrukt in biomassa [$kg/ha/jaar$] of euro's [$€/ha/jaar$], en de relatieve opbrengstderving, uitgedrukt als percentage [%]. Voor het bepalen van de totale opbrengstderving houdt de WWL rekening met indirecte effecten en directe effecten. De indirecte effecten zijn het gevolg van een verschuiving in de uitgestelde zaai- of oogsttijdstippen als gevolg van verminderde draagkracht van de bodem of vertraagde gewasopkomst. De directe effecten worden veroorzaakt door de droogtestress, zuurstofstress en zoutstress (STOWA, n.d.).

Met de resultaten van de WWL kan de werkelijke gewasopbrengst (HRVEUR) bepaald worden volgens Vergelijking 7. Hierin worden de totale opbrengstderving en de directe effecten bepaald volgens respectievelijk Vergelijking 8 en 9.

$HRV_{EUR} = HRV_{EUR,POT} * \frac{(100\% - DMG_{TOT})}{100\%}$	(Vergelijking 7)
$DMG_{TOT} = DMG_{IND} + DMG_{DIR}$	(Vergelijking 8)
$DMG_{DIR} = DMG_{DRY} + DMG_{WET} + DMG_{SOL}$	(Vergelijking 9)

Waarin:

- HRV_{EUR} : Werkelijke gewasopbrengst [$€/ha/jaar$]
- $HRV_{EUR,POT}$: Potentiële gewasopbrengst [$€/ha/jaar$]
- DMG_{TOT} : Totale opbrengstderving [%]
- DMG_{IND} : Indirecte opbrengstderving [%]
- DMG_{DIR} : Directe opbrengstderving [%]
- DMG_{DRY} : Droogtestress [%]
- DMG_{WET} : Zuurstofstress [%]
- DMG_{SOL} : Zoutstress [%]

C. Waterwijzer Landbouw resultatentabellen

Deze bijlage bevat tabellen met daarin de resultaten voor het nulalternatief en de verandering ten opzichte van het nulalternatief voor de ZON-maatregelen. De resultaten en veranderingen worden per peilvak gegeven.

Tabel 16: MVH voor NUL en Δ MVH (ophoging) t.o.v. NUL voor ZM1-3 (per peilvak).

Peilvak	MVH [$m + NAP$]		Δ MVH (Ophoging) t.o.v. NUL [m]					
	NUL		ZM1		ZM2		ZM3	
	Gem*	Opp [ha]	Gem*	Opp [ha]	Gem*	Opp [ha]	Gem*	Opp [ha]
667	8,80	63	0,00	0	0,10	3	0,13	3
777.1	9,31	851	0,00	0	0,08	36	0,09	36
777.2	9,44	278	0,00	0	0,10	12	0,11	12
781	9,23	204	0,00	0	0,09	10	0,09	10
782	8,30	282	0,00	0	0,08	12	0,09	12
785.1	9,22	107	0,00	0	0,09	5	0,10	5
785.2	9,13	209	0,00	0	0,07	9	0,08	9
Totaal*	9,14	1995	0,00	0	0,086	88	0,093	88

* Gem = gemiddelde waarde voor het oppervlak (Opp); Totaal = som voor alle peilvakken.

Tabel 17: GHG voor NUL en Δ GHG t.o.v. NUL voor ZM1-3 (per peilvak) *.

Peilvak	GHG [$m - MV$]		Δ GHG t.o.v. NUL [m]					
	NUL		ZM1		ZM2		ZM3	
	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]
667	1,15	63	0,03 -0,06	2 61	0,08 -0,06	3 60	0,12 -0,06	3 60
777.1	0,85	851	0,01 0,00	133 718	0,02 0,00	168 683	0,02 0,00	168 683
777.2	0,91	278	0,05 -0,05	157 122	0,05 -0,04	163 115	0,06 -0,04	163 115
781	1,24	204	0,00 -0,02	0 204	0,07 -0,02	8 196	0,08 -0,02	8 196
782	1,23	282	0,03 -0,06	1 280	0,06 -0,06	8 274	0,07 -0,06	8 274
785.1	1,08	107	0,01 -0,05	1 107	0,05 -0,05	3 104	0,06 -0,05	3 104
785.2	1,15	209	0,02 -0,03	75 134	0,02 -0,03	79 129	0,02 -0,03	79 129
Toename**	-	-	0,03	368	0,04	433	0,04	433
Afname**	-	-	-0,03	1627	-0,03	1562	-0,03	1562
Totaal**	1,01	1995	-0,02	1995	-0,01	1995	-0,01	1995

* **Rood** = negatieve verandering; **Groen** = positieve verandering.
 ** **Gem** = gemiddelde waarde voor het oppervlak (Opp); **Toename (rood)** = som van de toename voor alle peilvakken; **Afname (groen)** = som van de afname voor alle peilvakken; **Totaal** = som van toe- en afname voor alle peilvakken.

Tabel 18: GLG voor NUL en Δ GLG t.o.v. NUL voor ZM1-3 (per peilvak) *.

Peilvak	GLG [$m - MV$]		Δ GLG t.o.v. NUL [m]					
	NUL		ZM1		ZM2		ZM3	
	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]
667	1,62	63	0,00 -0,06	0 63	0,09 -0,06	2 61	0,16 -0,06	2 61
777.1	1,32	851	0,00 0,00	185 666	0,01 0,00	221 630	0,02 0,00	221 630
777.2	1,45	278	0,00 -0,01	96 182	0,01 -0,01	106 172	0,01 -0,01	106 172
781	1,73	204	0,00 -0,01	0 204	0,09 -0,01	9 195	0,09 -0,01	9 195
782	1,64	282	0,00 -0,02	0 282	0,08 -0,02	11 271	0,09 -0,02	11 271
785.1	1,57	107	0,00 -0,03	0 107	0,07 -0,03	4 104	0,08 -0,03	4 104
785.2	1,76	209	0,00 -0,02	0 209	0,06 -0,02	8 201	0,07 -0,02	8 201
Toename**	-	-	0,00	282	0,02	360	0,02	360
Afname**	-	-	-0,01	1713	-0,01	1635	-0,01	1635
Totaal**	1,50	1995	-0,01	1994	-0,01	1994	-0,01	1994

* **Rood** = negatieve verandering; **Groen** = positieve verandering.
 ** **Gem** = gemiddelde waarde voor het oppervlak (Opp); **Toename (rood)** = som van de toename voor alle peilvakken;
Afname (groen) = som van de afname voor alle peilvakken; **Totaal** = som van toe- en afname voor alle peilvakken.

Tabel 19: Droogtestress voor NUL en Δ Droogtestress t.o.v. NUL voor ZM1-3 (per peilvak)*.

Peilvak	Droogtestress [%]		Δ Droogtestress t.o.v. NUL [%]					
	NUL		ZM1		ZM2		ZM3	
	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]
667	1,69	32	0,10 -0,47	0 28	0,16 -0,48	1 27	0,24 -0,48	1 27
777.1	1,22	798	0,12 -0,13	16 39	0,11 -0,13	22 39	0,11 -0,13	22 39
777.2	1,03	235	0,23 -0,26	50 61	0,24 -0,26	51 60	0,24 -0,26	51 60
781	1,92	170	0,00 -0,16	0 37	0,10 -0,16	1 37	0,10 -0,16	1 37
782	2,43	162	0,10 -0,29	1 89	0,15 -0,29	2 87	0,17 -0,29	3 87
785.1	1,41	57	0,10 -0,30	0 49	0,15 -0,31	0 47	0,19 -0,31	0 47
785.2	2,16	120	0,23 -0,26	7 48	0,23 -0,26	7 48	0,23 -0,26	7 48
Toename**	-	-	0,11	17	0,12	27	0,12	28
Afname**	-	-	-0,27	351	-0,27	345	-0,27	345
Totaal**	1,48	1574	-0,25	368	-0,24	372	-0,24	372

* **Rood** = negatieve verandering; **Groen** = positieve verandering; **Grijze arcering** = onjuiste waarden die niet zijn meegenomen als gevolg van fouten in de modelconfiguratie (zie sub-paragraaf 4.2.3).

** **Gem** = gemiddelde waarde voor het oppervlak (Opp); **Toename (rood)** = som van de toename voor alle peilvakken; **Afname (groen)** = som van de afname voor alle peilvakken; **Totaal** = som van toe- en afname voor alle peilvakken.

Tabel 20: Zuurstofstress voor NUL en Δ Zuurstofstress t.o.v. NUL voor ZM1-3 (per peilvak) *.

Peilvak	Zuurstofstress [%]		Δ Zuurstofstress t.o.v. NUL [%]					
	NUL		ZM1		ZM2		ZM3	
	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]
667	2,18	32,2	0,29 -0,21	22 3	0,24 -0,69	21 3	0,24 -0,85	21 3
777.1	3,32	798,0	0,14 -0,17	57 27	0,18 -1,96	51 56	0,17 -2,20	50 56
777.2	2,57	234,7	0,29 -0,50	66 67	0,16 -0,78	58 75	0,16 -0,83	58 75
781	3,04	169,9	0,39 -0,10	66 1	0,35 -2,28	58 8	0,35 -2,32	58 8
782	2,16	162,3	0,41 -0,11	84 2	0,30 -1,24	77 9	0,30 -1,30	77 9
785.1	2,00	57,2	0,23 -0,15	36 3	0,19 -0,53	34 5	0,19 -0,59	34 5
785.2	1,61	119,5	0,32 -0,37	47 2	0,23 -1,49	42 7	0,23 -1,53	42 7
Toename**	-	-	0,31	378	0,24	341	0,24	340
Afname**	-	-	-0,17	36	-1,77	81	-1,96	82
Totaal**	2,86	1573,7	0,27	414	-0,15	422	-0,18	422

* **Rood** = negatieve verandering; **Groen** = positieve verandering; **Grijze arcering** = onjuiste waarden die niet zijn meegenomen als gevolg van fouten in de modelconfiguratie (zie sub-paragraaf 4.2.3).

** **Gem** = gemiddelde waarde voor het oppervlak (Opp); **Toename (rood)** = som van de toename voor alle peilvakken; **Afname (groen)** = som van de afname voor alle peilvakken; **Totaal** = som van toe- en afname voor alle peilvakken.

Tabel 21: Gewasopbrengst voor NUL en ΔGewasopbrengst t.o.v. NUL voor ZM1-3 (per peilvak) *.

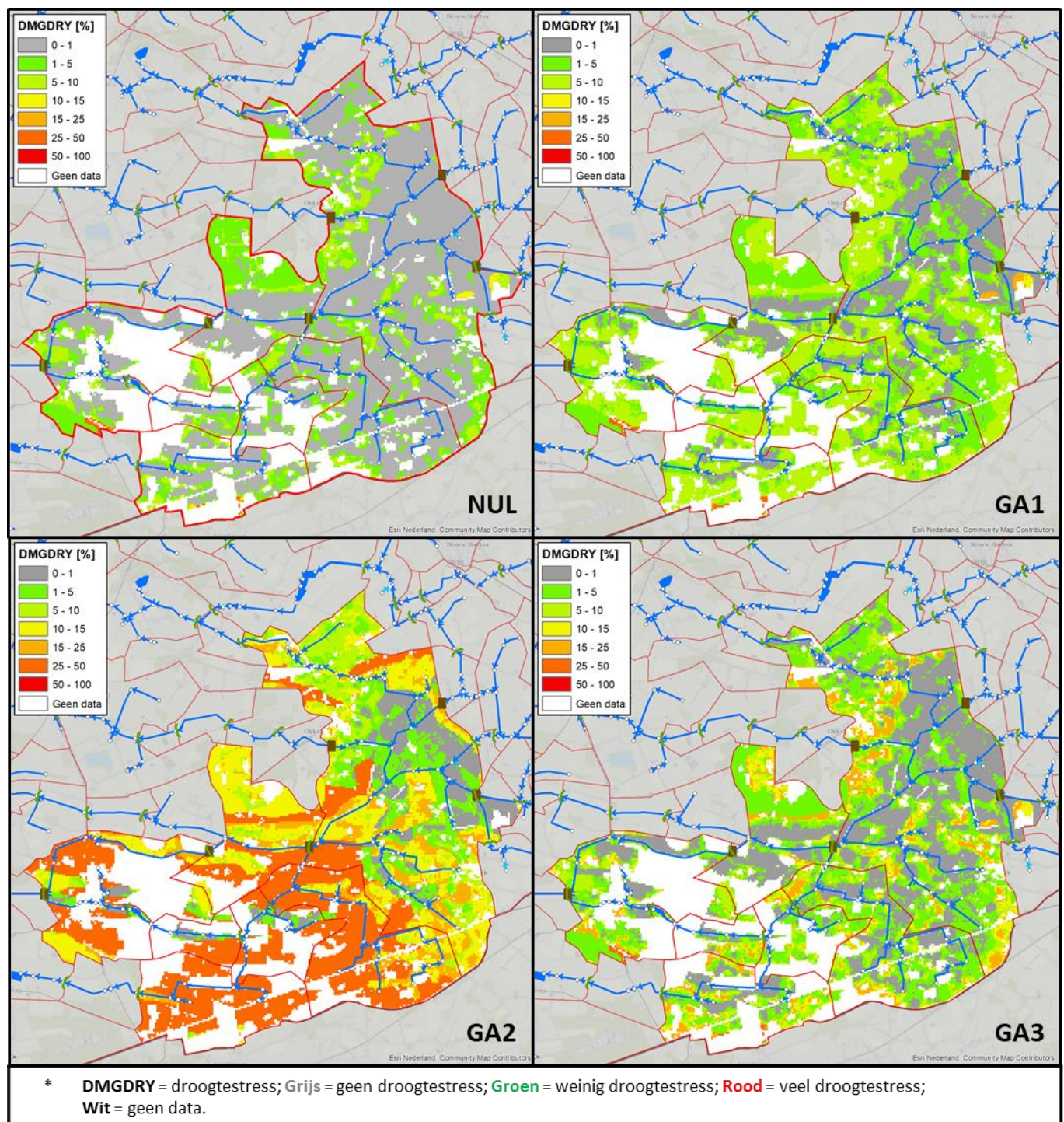
Peilvak	Gewasopbrengst [€/ha/jaar]		ΔGewasopbrengst t.o.v. NUL [€/ha/jaar]					
	NUL		ZM1		ZM2		ZM3	
	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]	Gem**	Opp [ha]
667	2814,6	32	21,3 -67,0	14 15	34,0 -56,5	15 14	41,3 -56,5	15 14
777.1	2801,9	798	5,3 -4,7	55 87	70,9 -4,2	88 69	76,6 -4,2	88 69
777.2	2906,5	235	16,8 -14,5	95 76	27,2 -8,1	104 68	28,6 -8,1	104 68
781	2865,9	170	5,2 -19,0	26 55	27,7 -17,2	34 48	28,2 -17,2	34 48
782	2848,6	162	10,3 -32,1	55 57	25,0 -26,2	64 48	26,0 -26,2	64 48
785.1	2851,5	57	11,3 -44,3	26 23	19,7 -31,1	28 21	21,0 -31,1	28 21
785.2	2904,7	120	8,9 -18,5	39 43	18,6 -13,2	44 38	19,0 -13,2	44 38
Toename**	-	-	9,0	177	43,0	229	46,2	229
Afname**	-	-	-22,4	237	-19,0	199	-19,0	199
Totaal**	2819,7	1220	-9,0	414	14,2	427	15,9	427

* **Groen** = positieve verandering; **Rood** = negatieve verandering; **Grijze arcering** = onjuiste waarden die niet zijn meegenomen als gevolg van fouten in de modelconfiguratie (zie sub-paragraaf 4.2.3).

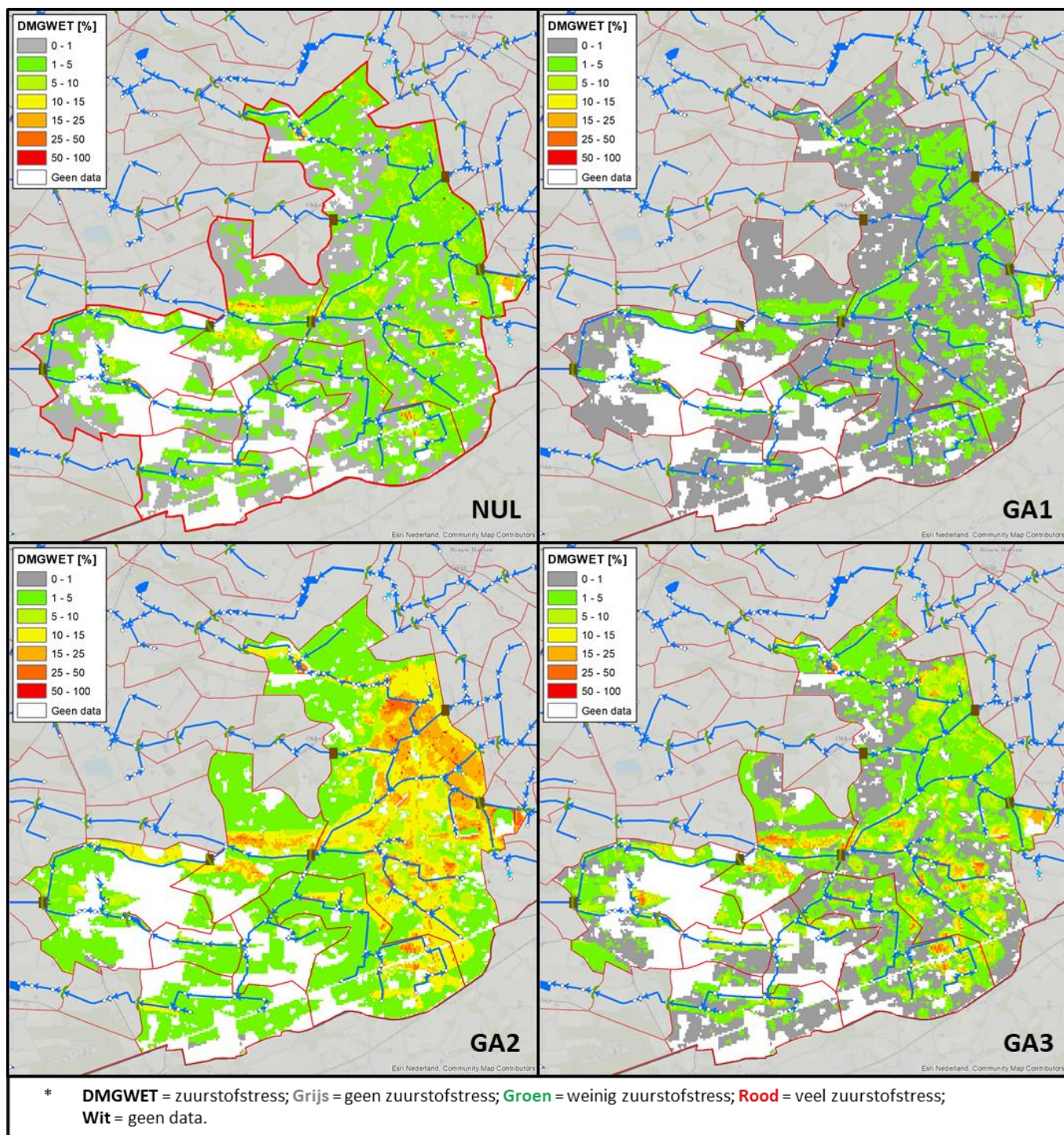
** **Gem** = gemiddelde waarde voor het oppervlak (Opp); **Toename (groen)** = som van de toename voor alle peilvakken; **Afname (rood)** = som van de afname voor alle peilvakken; **Totaal** = som van toe- en afname voor alle peilvakken.

D. Waterwijzer Landbouw gevoeligheidsanalyse

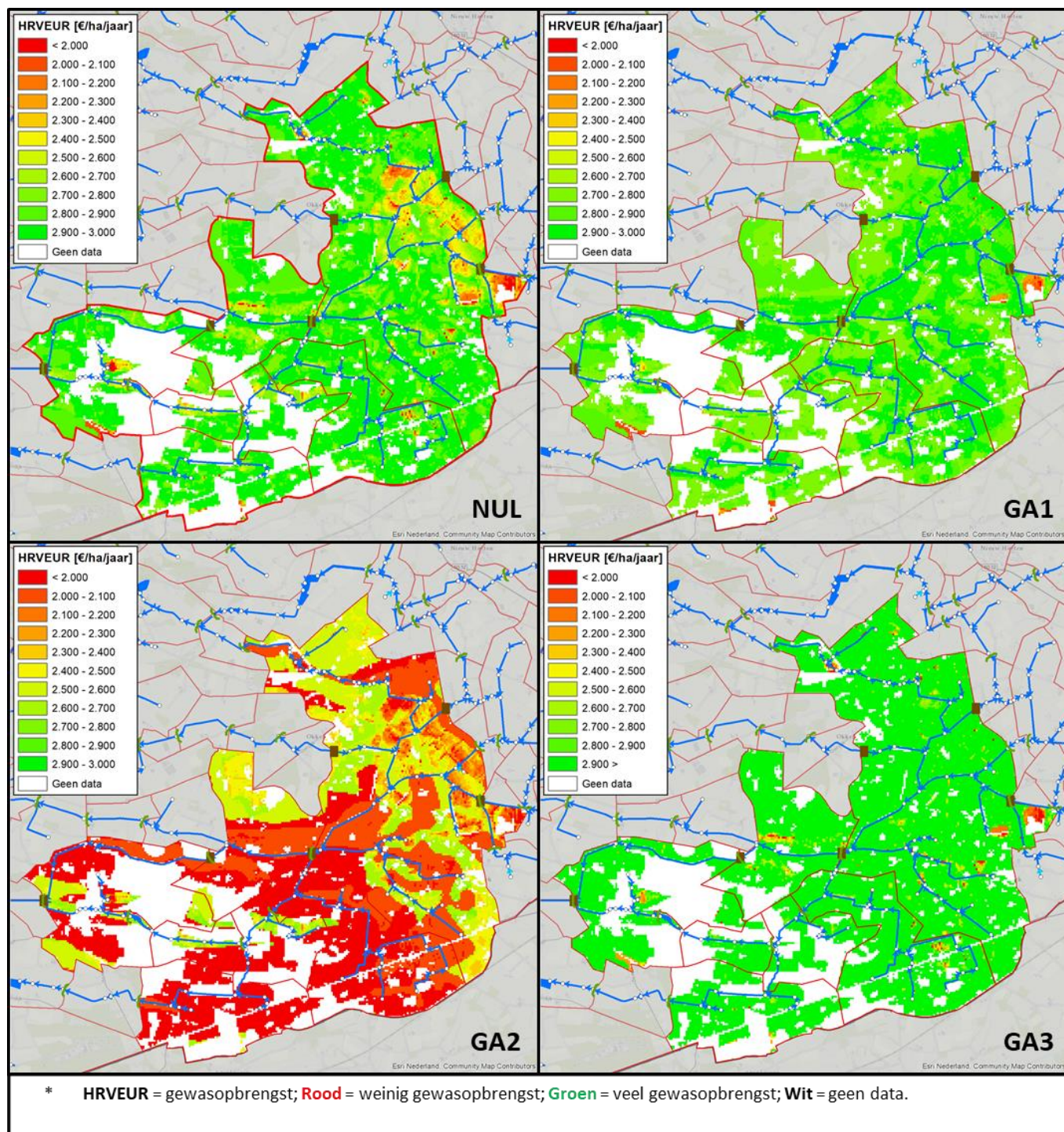
Deze bijlage bevat figuren en tabellen met daarin de resultaten voor het nulalternatief en de gevoeligheidsalternatieven (GA). De gevoeligheidsalternatieven zijn beschreven in paragraaf 5.3. De resultaten in de tabellen worden per peilvak gegeven.



Figuur 13: Droogtestress voor NUL en GA1-3*.



Figuur 14: Zuurstofstress voor NUL en GA1-3*.



Figuur 15: Gewasopbrengst voor NUL en GA1-3*.

Tabel 22: Droogtestress voor NUL en GA1-3 (per peilvak).

Peilvak	Droogtestress [%]							
	NUL		GA1		GA2		GA3	
	Gem*	Opp [ha]	Gem*	Opp [ha]	Gem*	Opp [ha]	Gem*	Opp [ha]
667	2,04	32	6,33	32	19,68	32	5,61	32
777.1	2,16	120	6,33	120	29,62	120	6,49	120
777.2	1,22	798	3,65	798	10,06	798	3,82	798
781	2,43	162	5,26	162	20,43	162	4,98	162
782	1,92	170	3,92	170	17,56	170	4,48	170
785.1	1,03	235	4,73	235	25,47	235	3,90	235
785.2	1,41	57	6,35	57	22,36	57	5,03	57
Totaal*	1,49	1574	4,36	1574	16,36	1574	4,31	1574

* Gem = gemiddelde waarde voor het oppervlak (Opp); Totaal = som voor alle peilvakken.

Tabel 23: Zuurstofstress voor NUL en GA1-3 (per peilvak).

Peilvak	Zuurstofstress [%]							
	NUL		GA1		GA2		GA3	
	Gem*	Opp [ha]	Gem*	Opp [ha]	Gem*	Opp [ha]	Gem*	Opp [ha]
667	2,18	32	1,20	32	3,41	32	3,00	32
777.1	1,61	120	0,75	120	3,21	120	1,56	120
777.2	3,32	798	1,28	798	10,18	798	4,28	798
781	2,16	162	1,04	162	4,34	162	3,27	162
782	3,04	170	1,30	170	5,84	170	4,85	170
785.1	2,57	235	1,00	235	5,83	235	3,25	235
785.2	2,00	57	1,06	57	3,32	57	2,53	57
Totaal*	2,86	1574	1,17	1574	7,54	1574	3,79	1574

* Gem = gemiddelde waarde voor het oppervlak (Opp); Totaal = som voor alle peilvakken.

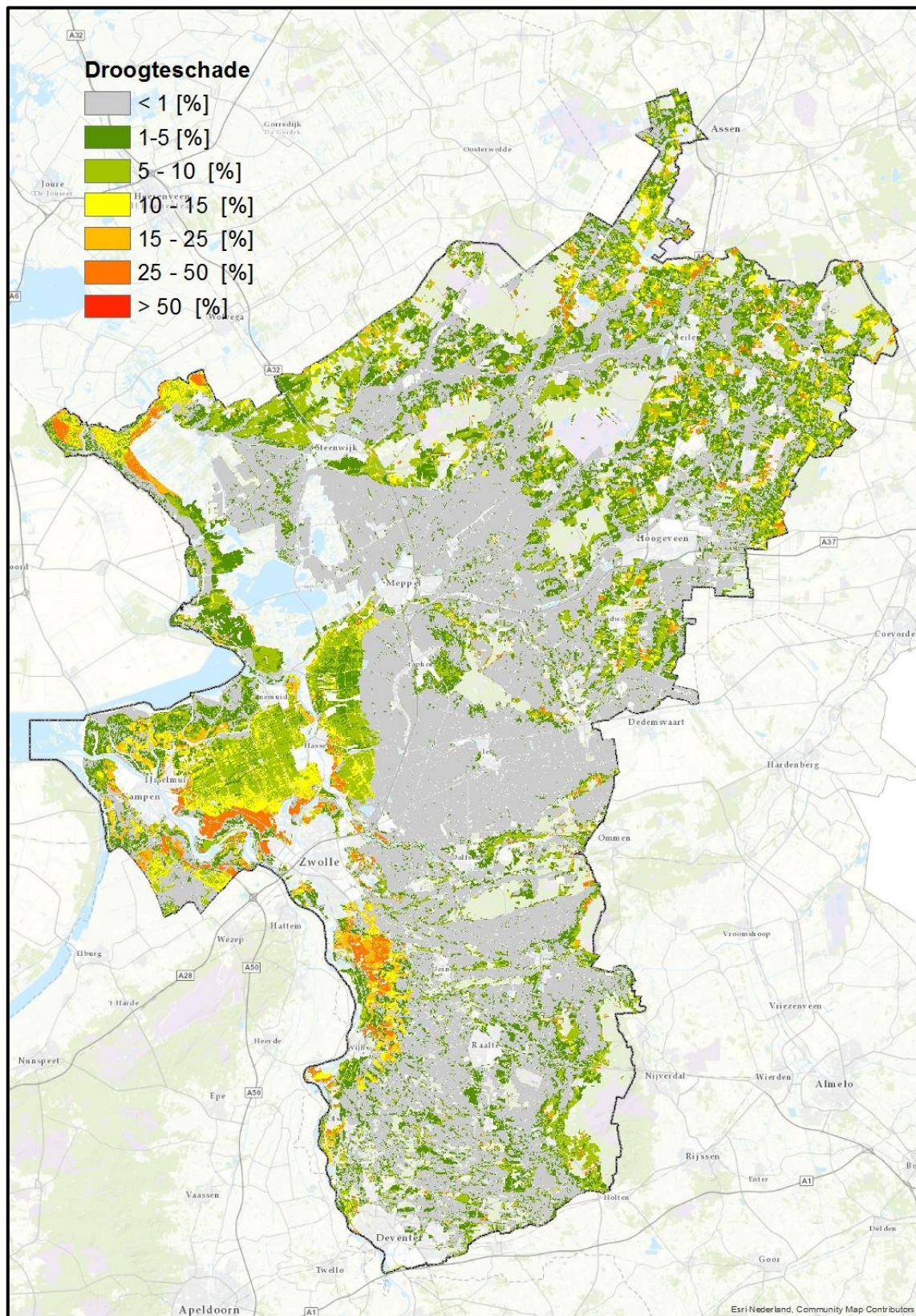
Tabel 24: Gewasopbrengst voor NUL en GA1-3 (per peilvak).

Peilvak	Gewasopbrengst [€/ha/jaar]							
	NUL		GA1		GA2		GA3	
	Gem*	Opp [ha]	Gem*	Opp [ha]	Gem*	Opp [ha]	Gem*	Opp [ha]
667	190,0	32	2766,4	32	2052,6	32	3421,9	32
777.1	2904,8	120	2815,4	120	1754,6	120	3569,0	120
777.2	2801,9	798	2858,1	798	2257,7	798	3514,2	798
781	2848,6	162	2825,5	162	2060,6	162	3538,2	162
782	2865,9	170	2871,0	170	2148,9	170	3497,4	170
785.1	2906,5	235	2855,0	235	1837,5	235	3582,4	235
785.2	2851,5	57	2778,5	57	1973,7	57	3500,6	57
Totaal*	2785,5	1574	2847,7	1574	2110,2	1574	3526,8	1574

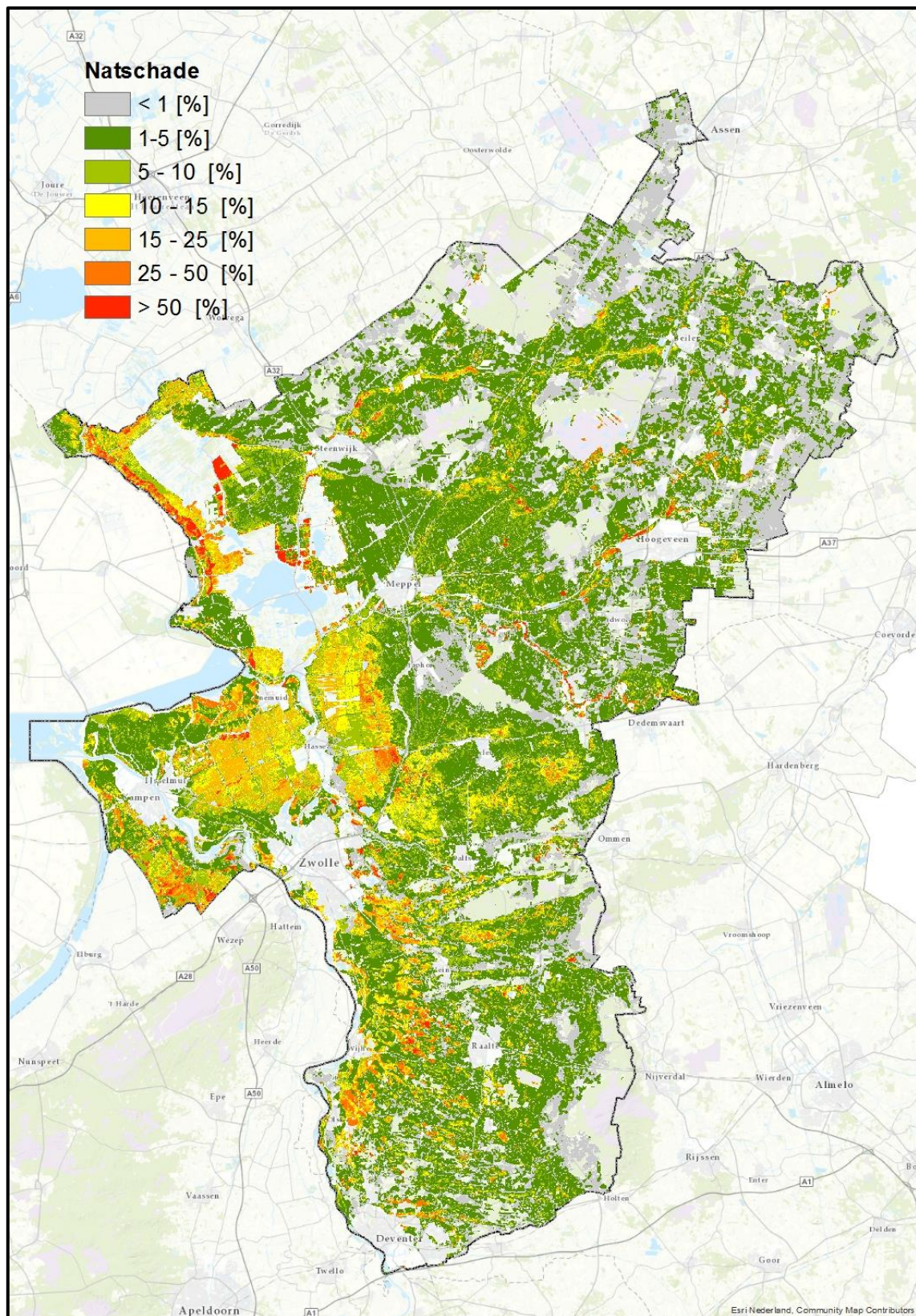
* Gem = gemiddelde waarde voor het oppervlak (Opp); Totaal = som voor alle peilvakken.

E. Waterwijzer Landbouw resultaten beheergebied WDOD

Deze bijlage bevat figuren met daarin de resultaten voor het nulalternatief voor het hele beheersgebied van WDOD.



Figuur 16: Droogtestress (droogteschade) voor het hele beheergebied van WDOD voor NUL.



Figuur 17: Zuurstofstress (natschade) voor het hele beheergebied van WDOD voor NUL.