

BTO 2016.092 | December 2016

## **BTO** rapport

Remote sensing en  
droogteschade  
veroorzaakt door  
drinkwateronttrekking



# BTO

## Remote sensing en droogteschade veroorzaakt door drinkwateronttrekking

BTO 2016.092 | December 2016

### Opdrachtnummer

400368 en 400394

### Projectmanager

Edu Dorland

### Opdrachtgever

BTO - Speerpuntonderzoek

### Kwaliteitsborgers

Jan-Philip Witte (KWR)

### Auteurs

WILCO KLUTMAN  
Specialist Water (Arcadis)

T +31 (0) 6 2706 0717  
E wilco.klutman@arcadis.com  
Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland

### Verzonden aan

Vitens, Brabant Water, Arcadis

## Samenvatting

Winning van grondwater door drinkwaterbedrijven kan leiden tot droogteschade aan landbouwgewassen. Indien deze schade aannemelijk is gemaakt, krijgen de benadeelde boeren van de waterbedrijven een schadevergoeding uitgekeerd. Het is echter niet altijd eenvoudig om droogteschade ten gevolge van grondwaterwinning vast te stellen. In dit project is daarom onderzocht of via satellietbeelden verkregen remote sensing producten kunnen worden gebruikt voor het detecteren van de invloed van grondwaterwinning op opbrengstdepressies.

Het onderzoek werd uitgevoerd in twee wingebieden, dat van Haarlo – Olde Eibergen (vergunde winning 2,8 miljoen m<sup>3</sup>/ jr) en dat van Vessem (6,5 miljoen m<sup>3</sup>/jr). Om zoveel mogelijk invloeden anders dan de winning uit te schakelen, werd het onderzoek verder toegespitst op graslandpercelen op een leemarme veldpodzol (Hn21), het meest voorkomende bodemtype in beide gebieden. Verder werden twee remote sensing producten gebruikt, ontleend aan het jaar 2013:

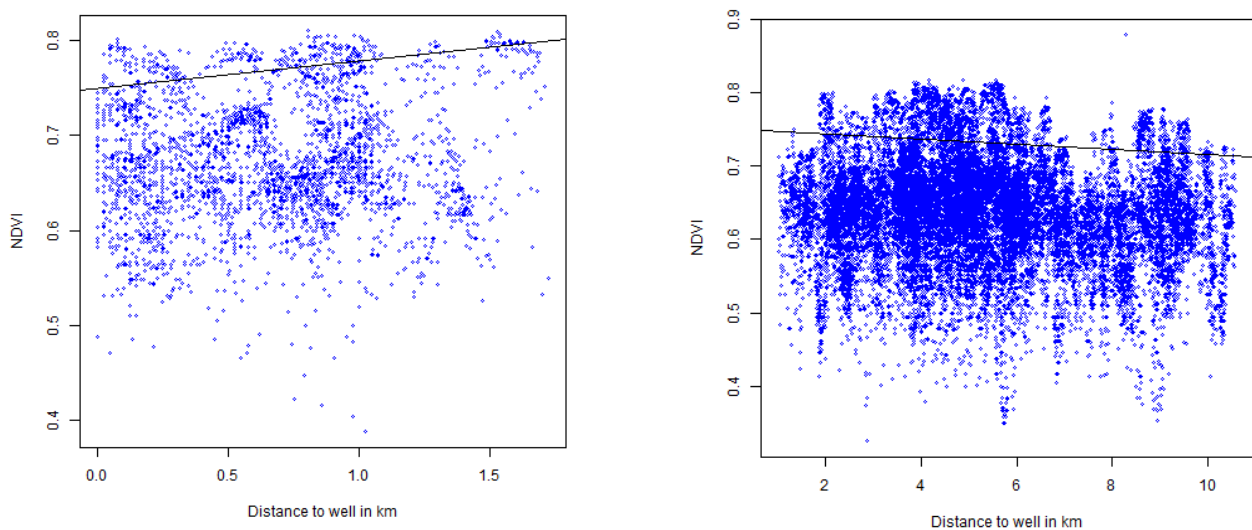
1. De via satellietbeelden berekende werkelijke (actuele) verdamping ETa (resolutie: 250 m). Omdat transpiratie (verdamping via de uitmondjes) de belangrijkste post is van ETa (in grasland ca. 80%) en er een recht-evenredig verband bestaat tussen gewasopbrengst en transpiratie, mag er ook een sterk verband worden verwacht tussen gewasopbrengst en ETa.
2. De zogenaamde Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), een maat voor de hoeveelheid groene biomassa van de vegetatie (resolutie: 25 m).

De hypothese van het onderzoek was dat droogteschade in de richting van de winlocatie toeneemt, wat betekent dat zowel ETa als NDVI in die richting afnemen. Om deze hypothese te toetsen werden beide locaties in twee zones verdeeld: de invloedszone van de winning, en het gebied dat buiten de invloed van de winning ligt, de buitenzone. De grens tussen beide zones werd gelegd bij een door grondwatermodellen berekende daling van 5 cm. In de invloedzone zou, volgens de hypothese, een negatief verband tussen beide parameters (ETa en NDVI) en afstand tot de winning mogen worden verwacht, terwijl in de buitenzone zo'n verband afwezig zou moeten zijn. De verbanden werden onderzocht door voor iedere maand in het groeiseizoen (maart–september 2013) duizenden rastercellen met bekende ETa en NDVI te selecteren en deze parameters uit te zetten tegen de afstand tot de winning.

Nu kan de gewasopbrengst door vele oorzaken lager zijn dan de optimale opbrengst. Niet alleen droogteschade, ook een gebrek aan nutriënten, een slechte bodemtextuur, ziekten en plagen, kunnen immers de opbrengst reduceren. Daarom levert ETa en NDVI uitgezet tegen afstand tot de winning een grote puntenwolk op waarin maar moeilijk een trend is te ontdekken (Figuur 1). Als er echter een relatie is tussen afstand en opbrengstdepressie, en er geen andere opbrengst-reducerende oorzaken zijn die gerelateerd zijn aan de afstand tot de winning, dan mogen we verwachten dat de maximale waarden in de puntenwolk in de richting van de winlocaties steeds lager worden. Voor het onderzoeken van dergelijke relaties is kwantielregressie de geëigende methode, en die hebben we dan ook toegepast door voor alle verbanden de 90%-kwantielregressielijn te berekenen (Figuur 1). Wanneer de hellingshoek van deze lijn in de invloedszone significant groter is (in de richting van de winning) dan die van de regressielijn in de buitenzone, beoordeelden we dat als een bevestiging van onze hypothese. Uit een gevoeligheidsanalyse volgde dat deze resultaten vrij ongevoelig zijn voor de hoogte van de kwantielwaarde.

Met de kwantielregressie is in 60% van de gevallen een (significante) trend gevonden die de hypothese bevestigen. Daarbij verschilt de trend per maand en zijn er tevens verschillen tussen de twee onderzochte winningen. De overeenkomst is dat de meeste bevestigende trends in het voorjaar worden gevonden. De trend in de zomermaanden is ofwel niet significant, of zelfs tegengesteld aan de verwachtingen.

Naast deze kwantielregressie werden nog twee temporele analyses verricht. Van een aantal percelen werd aan de hand van het verloop van de NDVI afgeleid hoe vaak het gras werd gemaaid in 201km<sup>2</sup> en hoe snel de grasmat na maaien weer opkwam. Uit deze analyse bleek dat in de invloedzone de hersteltijd gemiddeld 4 dagen langer is. Gezien de lage frequentie van beschikbare NDVI-beelden, is dit géén prominent verschil. Ook het gemiddelde aantal grassneden binnen en buiten de invloed van de drinkwaterwinningen verschillen nauwelijks. De trendanalyse toont wel aan dat binnen de invloed van de drinkwaterwinning er dicht bij de winning 1 snede minder wordt geoogst. Omdat géén gegevens van de geoogste biomassa bekend zijn, kan niet worden beoordeeld of er ook daadwerkelijk sprake is geweest van een verminderde opbrengst.



FIGUUR 1 NDVI IN JUNI TEGEN AFSTAND TOT DE WINNING IN DE INVLOEDSZONE (LINKS) EN DE BUITENZONE (RECHTS).

Al met al concluderen we dat onze analyse in beperkte mate onze hypothese bevestigt dat de gewasopbrengst in de richting van de winning afneemt. De vraag of deze afname het gevolg is van de winning, is echter op basis van onze correlatieve analyse niet te beantwoorden. Als het al mogelijk is droogteschade met remote sensing voldoende nauwkeurig vast te stellen, dan nog blijft het lastig om de oorzaak van droogteschade vast te stellen. Hiervoor blijft gedetailleerde informatie over het specifieke perceel onmisbaar. Significante verbanden met de afstand tot de winning kunnen wijzen op de directe invloed van de grondwaterwinning, maar het is evenzeer mogelijk dat ze het resultaat zijn van een schijnrelatie met de winning. De onderzochte winningen zijn geplaatst in wat hoger gelegen zandgronden, waar de grondwaterstand wat dieper is ten opzichte van maaiveld en waar de gewassen ook zonder de winning hoogstwaarschijnlijk al last hebben van droogteschade. Een gedetailleerde studie waarin veldmetingen worden gecombineerd met hydrologische modelsimulaties en remote sensing producten zal meer uitsluitsel kunnen geven.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>7</b>
1.1	Aanleiding	7
1.2	Doel	7
1.3	Leeswijzer en relatie tot andere rapporten	7
<b>2</b>	<b>GEFASEERDE AANPAK REMOTE SENSING EN DROOGTESCHADE</b>	<b>9</b>
2.1	Doel van het onderzoek	9
2.2	Fasering	9
<b>3</b>	<b>WERKWIJZE FASE 2</b>	<b>12</b>
3.1	Remote Sensing producten en overige data	12
3.2	Gebiedsbeschrijving	14
3.3	Werkwijze	19
3.4	Hypothesen	25
<b>4</b>	<b>RESULTATEN</b>	<b>27</b>
4.1	Haarlo en Olden Eibergen	27
4.2	Vessem	50
<b>5</b>	<b>CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN</b>	<b>69</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Arcadis heeft contact gezocht met Vitens, Brabant water en KWR om de mogelijkheden te bespreken om Remote Sensing technieken in te zetten ten behoeve van het bepalen van droogteschade. De huidige methode voor het bepalen van droogteschade is niet klimaatbestendig. Mede als gevolg van klimaatverandering neemt de vraag naar alternatieve methodieken toe. Vitens en Brabant Water hebben vervolgens Arcadis, in samenwerking met KWR, gevraagd om een plan van aanpak op te stellen voor een onderzoek naar de mogelijkheden van Remote Sensing. Tevens moet daarbij een inschatting van de kosten van het gebruik van Remote Sensing worden gemaakt.

## 1.2 Doel

Grondwateronttrekking leidt tot grondwaterstandsval, wat kan leiden tot minder voor plantengroei beschikbaar bodemvocht. Vervolgens kan dit in landbouwgebieden resulteren in afname van de gewasproductie en daardoor minder inkomsten voor boeren. Daarom worden boeren gecompenseerd voor de opgelopen droogteschade. Droogteschadebepaling gebeurt doorgaans aan de hand van methoden, zoals de TCGB-methode (CDG, 2010). Deze methoden hebben een aantal nadelen. Samen met de gebruikers (Vitens en Brabant Water) is de onderstaande opsomming opgesteld:

- De methoden zijn onder andere gebaseerd op inmiddels verouderde modellen en het is niet meer te achterhalen hoe de schadetabellen in die methoden tot stand zijn gekomen. De methoden zijn dus verouderd en niet transparant.
- De methoden houden geen rekening met nieuwe weerstatistieken en zijn niet klimaatbestendig.
- Er wordt geen rekening gehouden met nieuwe manieren van bedrijfsvoering.
- Eventuele voordelen voor de boer door verminderde wateroverlast worden niet goed berekend (en daarom vaak voor slechts een deel meegenomen bij de schadetoekenning).
- De door de grondwateronttrekkingen veroorzaakte schade kan niet inzichtelijk en of gevisualiseerd worden.
- De methoden zijn relatief arbeidsintensief en daardoor duur.
- Het is zeer lastig om te controleren hoe ernstig klachten over droogteschade zijn en het is lastig vast te stellen wat het aandeel van de waterwinning in de schade is. Daardoor is het moeilijk de hoogte van de compensatie (eenduidig) vast te stellen.

Door kritiek op de methoden kunnen droogteschaderegelingen op steeds minder draagvlak rekenen (Bartholomeus et al. 2013; Ruijtenberg et al. 2012). Vooral op het punt van inzichtelijkheid en visualisatie biedt Remote Sensing kansen.

## 1.3 Leeswijzer en relatie tot andere rapporten

In een eerste fase is een inventarisatie naar het gebruik van Remote Sensing producten uitgevoerd en is gewerkt aan een onderbouwing. Fase 1 is afgesloten met een rapportage (ARCADIS, 2014). Het voorliggende rapport beschrijft het vervolg; fase 2. De rapportage is zo opgesteld dat het een zelfstandig leesbaar rapport is. Voor de onderbouwing wordt wel verwezen naar het rapport van fase 1.

Hoe de gefaseerde aanpak eruit ziet, en welke onderzoeksdoelen hieraan ten grondslag liggen, wordt in hoofdstuk 2 toegelicht. Voordat de pilot kan beginnen is een keuze gemaakt in de te gebruiken Remote Sensing producten en de onderzoeksgebieden. In hoofdstuk 3 is een gebiedsbeschrijving van twee geselecteerde onderzoeksgebieden opgenomen. Hierbij is ook specifiek aandacht voor de onderbouwing waarom voor deze locaties is gekozen. In dit hoofdstuk wordt tevens de werkwijze en de daarbij gehanteerde uitgangspunten toegelicht. In hoofdstuk 4 worden



de resultaten van de verschillende ruimtelijke en temporele analyses gepresenteerd. Tot slot worden in hoofdstuk 5 de onderzoeksvragen uit hoofdstuk 2 beantwoord. Daarnaast wordt uitgebreid stilgestaan bij het vervolg: hoe kan Remote Sensing bijdragen aan de bepaling van droogteschade aan de landbouw als gevolg van de grondwaterstandsverlaging door grondwateronttrekking ten behoeve van drinkwaterproductie? Er worden concrete aanbevelingen gedaan met betrekking tot de concrete inzet en ontwikkelingen in de nabij toekomst en op de lange termijn.

## 2 Gefaseerde aanpak Remote Sensing en Droogteschade

In dit hoofdstuk wordt het doel van het gehele onderzoek beschreven en worden de hoofd- en deelvragen gepresenteerd. Vervolgens wordt uitgelegd hoe de aanpak en het beantwoorden van de deelvragen is opgesplitst in meerdere fasen. In dit rapport worden de resultaten van fase 2, het testen van de praktijktoepassing, gepresenteerd.

### 2.1 Doel van het onderzoek

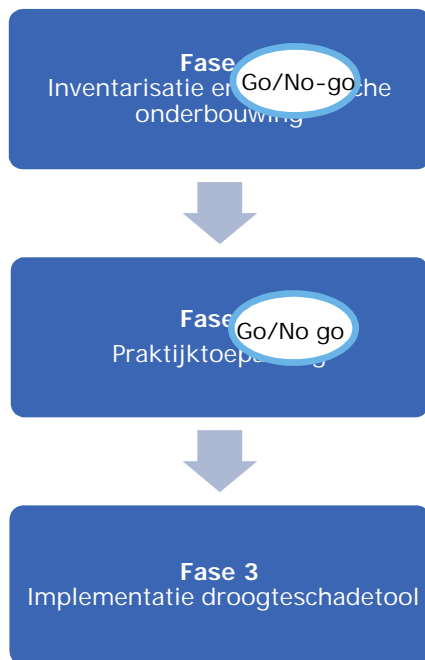
Het doel van het onderzoek is te bepalen of Remote Sensing ingezet kan worden bij de bepaling van droogteschade aan de landbouw als gevolg van grondwaterstandverlaging door grondwateronttrekking ten behoeve van drinkwaterproductie. En zo ja, op welke wijze Remote Sensing kan bijdragen. Deze brede hoofdvraag is opgesplitst in een aantal meer gedetailleerde specifieke deelvragen:

1. Wat zijn de fysische karakteristieken die bij droogteschade een rol spelen en die met Remote Sensing technieken bepaald kunnen worden?
2. Welke ruimtelijke en temporele nauwkeurigheid kan gehaald worden met Remote Sensing technieken voor de vaststelling van droogteschade? Is die nauwkeurigheid voldoende voor het vaststellen van verschillen in schade tussen percelen van circa 0,5 – 1 hectare?
3. Welke temporele discretisatie is nodig bij droogteschadebepaling met Remote Sensing technieken? Is er een totaalbedrag voor een groeiseizoen op te stellen?
4. Zijn op basis van historische beelden bepalingen te doen van voorgekomen droogteschade op percelen?
5. Zijn er in de loop der jaren trends (in de tijd) waarneembaar die samenhangen met droogteschade? (denk hierbij aan toegenomen biomassa-productie en de hiermee samenhangende toegenomen actuele verdamping).
6. Kunnen bekende systeemveranderingen (andere onttrekking, droog/nat jaar; waterhuishoudkundige werken) inzichtelijk worden gemaakt met behulp van Remote Sensing technieken?
7. Welke karakteristieken die bij droogteschade een rol spelen en die met Remote Sensing technieken bepaald kunnen worden, kunnen gebruikt worden als ondersteuning bij de droogteschadebepaling? Hoe vaak moeten deze karakteristieken bepaald worden?
8. Hoe kunnen de karakteristieken uit vraag 7 het best gebruikt worden voor een beter inzicht voor iedereen in de droogteschade?
9. Wat zijn de kosten die gemoeid zijn met het opvragen en verwerken van de karakteristieken uit vraag 7 bij verschillende analysefrequenties?
10. Is het mogelijk om de huidige dan wel de geactualiseerde metatabelen voor droogteschade zodanig aan te passen dat de karakteristieken uit vraag 7 daadwerkelijk toegepast kunnen worden? Zo ja, wat zijn de kosten die daaraan verbonden zijn?
11. Is het mogelijk om nu dan wel in de toekomst een systeem van droogteschade alleen gebaseerd op Remote Sensing te ontwikkelen?
12. Is het mogelijk om met behulp van Remote Sensing de schade te minimaliseren? Dit zou bijvoorbeeld kunnen door het uitvoeren van waterhuishoudkundige maatregelen gebaseerd op recente beelden, eventueel aangevuld met weervoorspellingen.

### 2.2 Fasering

Om de bovenstaande gedetailleerde vragen gestructureerd en stapsgewijs te kunnen beantwoorden, is dit onderzoek onderverdeeld in drie fasen. De fasen zijn schematisch weergegeven in figuur 2. Vervolgens worden de

fasen nader toegelicht en wordt de fasering gekoppeld aan de bovengenoemde deelvragen (paragraaf 2.1). Ieder fase wordt afgesloten met een overlegmoment waarin de verdere koers nader wordt afgestemd: go/no-go.



FIGUUR 2 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE FASERING VAN DIT ONDERZOEK

### Fase 1: Inventarisatie en theoretische onderbouwing.

Deze fase omvat de theoretische onderbouwing voor de mogelijkheden van Remote Sensing door middel van een literatuuronderzoek. Om te bepalen of Remote Sensing kan worden gebruikt voor droogteschadebepaling, is eerst uitgezocht wat er nodig is om droogteschade te berekenen. Tegelijk is gekeken wat er beschikbaar is aan Remote Sensing data en producten. Door de afweging van vraag en aanbod vormt Fase 1 de basis voor de onderzoeksmethodiek van fase 2.

Aan het eind van fase 1 heeft een go/no-go afweging plaats gevonden op basis van de bevonden bruikbaarheid en beschikbaarheid van de Remote Sensing producten. In fase 1 zijn de deelvraag 1 en 2 beantwoord. Vraag 9 is daarbij ook al deels meegenomen, omdat kosten een belangrijke factor zijn voor de mogelijkheden van het gebruik van Remote Sensing ten behoeve van de droogteschaderegeling. Een gedetailleerde onderbouwing is terug te vinden in de rapportage van fase 1 (ARCADIS, 2014).

### Fase 2: Praktijktoe passing

Fase 2 wordt uitgebreid beschreven in de voorliggende rapportage. Door middel van een pilotstudie wordt een praktijkanalyse uitgevoerd van de mogelijkheden en beperkingen van Remote Sensing producten. Een vergelijking in de ruimte (patronen) en een vergelijking in te tijd (trends) vormt hierbij de basis. Voordat de bijbehorende stappen kunnen worden doorlopen moet een definitieve keuze worden gemaakt in de onderzoeksgebieden en de op te

vragen Remote Sensing producten. De stappen, en deze voorafgaande keuzes worden nader toegelicht in hoofdstuk 3. Daarnaast hoort bij deze fase het beantwoorden van deelvragen 3 tot en met 6 en wordt het antwoord op vraag 9 verder aangevuld. De beantwoording hiervan is terug te vinden in hoofdstuk 5.

### **Fase 3: Implementatie van Remote Sensing in droogteschade**

Deze fase (fase 3) maakt nog geen deel uit van deze studie. Pas aan het einde van fase 2 kan een gefundeerde onderbouwing worden gegeven aan de invulling van deze fase. Aan het einde van de voorliggende rapportage wordt een eerste aanzet hiertoe gedaan, en worden aanbevelingen gedaan over de toekomstige inzet van Remote Sensing producten.

In fase 3 moet dan worden toegewerkt naar een bruikbare werkwijze of tool voor de berekening van droogteschade. Mogelijk moet een keuze worden gemaakt tussen een aanpassing of vervanging van de huidige droogteschadebepaling waarbij gebruik wordt gemaakt van Remote Sensing. Ook zou een uitkomst kunnen worden gezocht in de richting van beperking van de droogteschade in de vorm van mitigerende maatregelen. In deze laatste fase zouden de deelvragen 7 tot en met 12 moeten worden beantwoord. In de aanbevelingen van de voorliggende rapportage wordt hierop alvast ingegaan.

## 3 Werkwijze fase 2

Voorafgaand aan de werkwijze worden de gebruikte Remote Sensing producten en de gekozen onderzoeksgebieden gedetailleerd beschreven. Na de toelichting op de gehanteerde werkwijze, wordt specifiek stil gestaan bij de bijbehorende uitgangspunten en de hypothese achter de gekozen werkwijze.

### 3.1 Remote Sensing producten en overige data

Bij het bepalen van droogteschade aan landbouw als gevolg van grondwaterstandverlaging door grondwateronttrekking ten behoeve van drinkwaterproductie kunnen op twee verschijnselen Remote Sensing producten worden ingezet:

- Beschikbaarheid van vocht in de wortelzone;
- Toestand van het gewas.

Om een indicatie te krijgen in de beschikbaarheid van vocht in de wortelzone kan gebruik worden gemaakt van beelden met actuele verdamping ( $ET_A$ ) of het verdampingstekort ( $ET_D$ ). Om inzicht te krijgen in de toestand van het gewas kan gebruik gemaakt worden van de groenindex of NVDI (= Normalized Difference Vegetation Index). Het achterblijven van  $ET_A$ ,  $ET_D$  en NDVI bij een optimaal ingericht perceel kan te maken hebben met een vochttekort, maar ook met een teveel aan water, een gebrek aan nutriënten, en gewasschade ten gevolge van vorst, hagel, ziekten en plagen. De drie Grootheden zijn daarom indicaties voor eventuele droogteschade; ze kunnen hierover nooit honderd procent uitsluitel geven (andersom kan wel: als de verdamping potentieel is en de groenindex maximaal volgens verwachting, kan men er zeker van zijn dat er van droogteschade geen sprake is).

Op de lange termijn kan mogelijk ook Actueel bodemvocht (zoals het product DryMON) en de cumulatieve biomassa-productie worden ingezet. Op dit moment is de ruimtelijke resolutie en de kwaliteit nog onvoldoende om op perceelsniveau ingezet te kunnen worden.

De gewenste Remote Sensing producten hebben een ruimtelijke resolutie van minimaal 250 x 250 meter. Dit komt overeen met circa 6 ha. Percelen kleiner dan 6 ha kunnen hierdoor niet goed worden onderscheiden. Bij percelen groter dan 6 ha is minimaal 1 pixel representatief voor het desbetreffende perceel. Ruimtelijke differentiatie binnen het perceel zullen niet zichtbaar worden. De kleinste resolutie waarop Remote Sensing producten, op dit moment, beschikbaar kunnen worden gesteld zijn circa 20 x 20 m. Dit betekent dat een perceel van 1 ha uit 25 pixels bestaat. Deze resolutie is hoog genoeg om ook ruimtelijke differentiatie binnen het perceel zichtbaar te maken.

De kosten voor beelden met een resolutie van 250 x 250 m bedragen ca. €1 per km<sup>2</sup>. Beelden met een hoge resolutie (20 x 20m) kosten € 1 per ha. Dit komt overeen met ca. € 100 per km<sup>2</sup>.

#### Beschikbaar gestelde gegevens: verdampingsdata

Door het consortium SAT-water zijn de actuele verdamping ( $ET_A$ ) en het verdampingstekort ( $ET_D$ ) om niet beschikbaar gesteld voor het 'groeiseizoen' van 2013 (1-3-2013 t/m 30-11-2013). Voor aanvang van de analyse waren de data van 2014 ook toegezegd. Echter, door problemen met de datalevering en fouten in de geleverde bestanden, beschikte SAT-water uiteindelijk niet (tijdig) over deze gegevens.

De verdampingsgegevens zijn op dagbasis beschikbaar en heeft een ruimtelijke resolutie van 250 x 250 m in het netCDF-bestandsformaat. De data zijn geprojecteerd in UTM31 en is geschikt gemaakt voor verdere analyse.

Hiervoor zijn de data omgezet in een bruikbaar raster (ASCII) en geprojecteerd in het Rijksdriehoekstelsel. Bij de beoordeling van de geleverde gegevens is geconstateerd dat de gehanteerde definitie van het verdampingstekort ( $ET_p$ ) afwijkt van de gangbare methode. Om het tekort te bepalen heeft de leverancier (eLEAF) namelijk een vergelijking gemaakt een aangepaste potentiële verdamping. Bij de gebruikte potentiële verdamping is reeds gecorrigeerd voor het gewas en de biomassa. Omdat een slecht gedijend gewas, met minder biomassa, op deze wijze ook een lagere potentiële verdamping krijgt 'toegewezen', zal een tekort niet zichtbaar worden. Het geleverde Remote Sensing product 'Verdampingstekort' is daarom niet bruikbaar voor dit onderzoek.

#### DISCLAIMER $ET_A$ en $ET_D$

De verdampingsdata zijn beschikbaar gesteld onder de voorwaarde dat niet de data zelf worden door geleverd aan de eindgebruikers. Alleen bewerkte data en/of geaggregeerde data mogen beschikbaar worden gesteld. Daarnaast mogen de geleverde producten uitsluitend in het kader van deze PILOT-studie worden gebruikt. Het eigendomsrecht ligt bij de firma eLEAF. De (commerciële) inzet van de verdampingsdata, dient in overeenstemming met eLEAF te gebeuren.

#### Beschikbaar gestelde gegevens: groenindex

In samenwerking met de Wageningen Universiteit is door Alterra een deel van de brondata achter de groenmonitor om niet beschikbaar gesteld. De groenmonitor is een gefilterde en gecorrigeerde NDVI. De NDVI is de Normalized Difference Vegetation Index, gebaseerd op de theorie dat chlorofyl zichtbaar licht sterk absorbeert en nabij-infrarood sterk reflecteert. Dezewordt berekend met:

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

VIS is de spectrale reflectie gemeten in het zichtbare (visuele) gedeelte van de lichtspectrum (0,4 tot 0,7  $\mu\text{m}$ ). NIR is de spectrale reflectie gemeten in het nabij-infrarood gedeelte van het lichtspectrum (0,7 tot 1,1  $\mu\text{m}$ ). Meestal wordt het 'rode' deel uit het zichtbare licht deel genomen omdat groene vegetatie specifiek deze kleur niet of nauwelijks reflecteert. Een NDVI waarde tussen de 0,8 en 1,0 indiceert veel, gezond en volgroeid gewas. Een waarde van 0,3 past bij kale grond.

Door bewolking is de beschikbaarheid van de de NDVI-data in het gehele kalenderjaar 2013 beperkt tot één of een enkele keren per maand. De ruimtelijke resolutie is 25 x 25 meter. De geleverde NDVI-beelden zijn reeds gefilterd en gecorrigeerd door Alterra (Groenmonitor), onder andere voor lichtintensiteit en bewolking. Echter, delen kunnen nog steeds worden beïnvloed door bewolking. In het kader van dit onderzoek zijn de data daarom geaggregeerd tot maximale maandwaarden en tot een maximum per pixel voor het groeiseizoen.

#### DISCLAIMER NDVI

De NDVI-data zijn door Alterra beschikbaar gesteld aan de Wageningen Universiteit voor het afstudeeronderzoek van Karin Kuipers in he kader van het behalen van de MSc-grad in "Geo-information Science and Remote Sensing". Dit afstudeeronderzoek is geïntegreerd in het voorliggende onderzoek naar het gebruik van Remote Sensing en droogteschade veroorzaakt door drinkwaterwinning. De geleverde data mogen uitsluitend in het kader van deze PILOT-studie worden gebruikt. Het eigendomsrecht ligt bij Alterra. De (commerciële) inzet van de NDVI dient in overeenstemming met Alterra te gebeuren.

## Overige gegevens

Naast de Remote Sensing producten zijn ook andere gegevens gebruikt, bijvoorbeeld om gebieden te identificeren. De belangrijkste ruimtelijke gegevens zijn samen met de gebruikte Remote Sensing producten in tabel 1 weergegeven.

TABEL 1. OVERZICHT VAN DE GEBRUIKTE GEGEVENS

Gegevens	Bron	Jaar	Type
NDVI	Groenmonitor	2013	Raster (25 x 250)
$ET_A / ET_D$	SAT-water	2013	Raster (250 x 250m)
Verlaging Haarlo-Eibergen	AMIGO-model	2013	Raster
Bodemtype	Geo-desk	2006	Polygoon
Landgebruik (Basis Registratie Percelen)	Geo-desk	2013	Polygoon

### 3.2 Gebiedsbeschrijving

In fase 1 zijn voorwaarden gesteld aan de geschiktheid van een gebied voor deze pilot. Gekozen is voor één gebied van Brabant Water, en één gebied van Vitens. De winningen Haarlo – Olden Eibergen (Vitens) en Vessem (Brabant Water) zijn geselecteerd. De locaties zijn op de onderstaande kaart (figuur 3) gepresenteerd.

Er zijn veel mogelijke oorzaken voor opbrengstdepressies en de invloed van andere oorzaken dan drinkwaterwinning zal zoveel mogelijk moeten kunnen worden uitgesloten om uitspraken te kunnen doen over de mogelijke gevolgen van grondwaterwinning. De gebiedskeuze bepaalt voor een groot deel de invloed van deze oorzaken en is daarom dus erg belangrijk. Naast het selecteren van het gebied is ook aan de drinkwatermaatschappijen gevraagd om de informatie over beïnvloedingfactoren in het gebied te leveren. De beschikbaarheid van informatie over deze beïnvloedingfactoren heeft daarbij een belangrijke rol gespeeld in de gebiedskeuze. Het gaat hierbij onder andere om beschikbaarheid van droogteschadeberekeningen, onttrekkingen en berekeningstotalen voor de gewenste studieperioden. Eventueel kunnen deze inzichten (bijvoorbeeld potentiële berekening) ook in een later stadium op basis van modelberekeningen inzichtelijk worden gemaakt.



FIGUUR 3. LIGGING VAN DE 2 ONDERZOEKSGBIEDEN.

### 3.2.1 Haarlo – Olden Eibergen

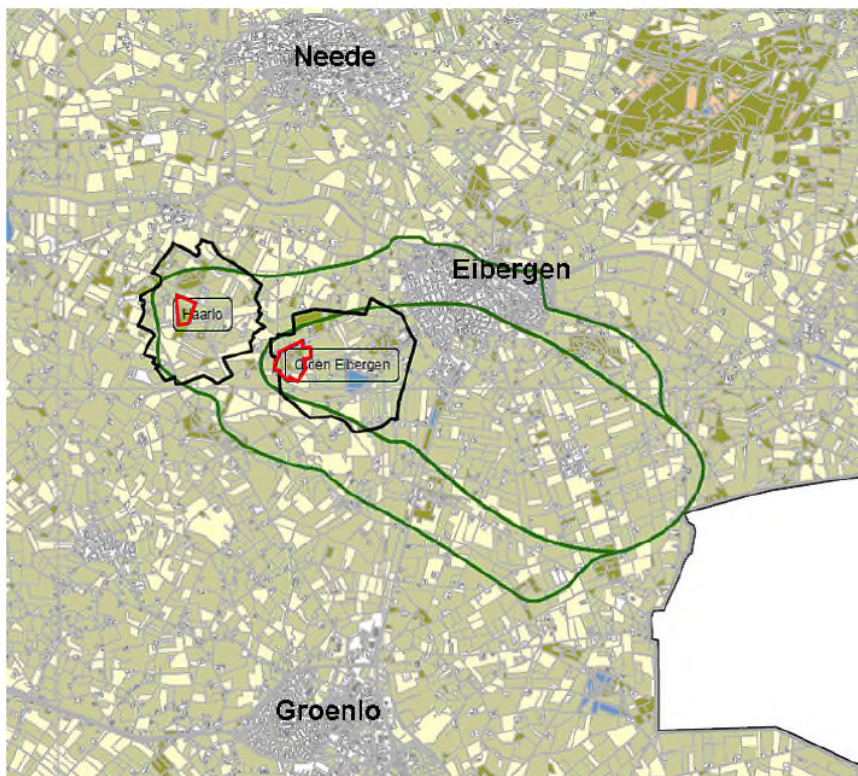
De winning Olden Eibergen ligt ten westen van Eibergen en ten zuiden van Haarlo. De winning Haarlo ligt ten westen van de winning Olden Eibergen (figuur 4). Deze drinkwaterwinning is gelegen in een vrij afwaterend gebied. Haarlo ligt op een maaiveldhoogte van ongeveer 17 m NAP. Het maaiveld bij Olden -Eibergen ligt op circa 19 á 20 m NAP. De putfilters liggen globaal op een diepte van 0 tot -10 m NAP. De vergunde capaciteit van beide pompstations gezamenlijk bedraagt 2,8 miljoen m<sup>3</sup>/ jaar. De winning wordt deels gecompenseerd door oppervlaktewaterinfiltratie bij de winning Olden Eibergen, waarbij oppervlaktewater wordt ingelaten (indien beschikbaar).

De ondergrond bestaat uit een ongeveer 35 m dik zandpakket welke vanaf maaiveld bestaat uit de formatie van Boxtel, Kreftenheye, Drenthe en Urk (figuur 5). Daaronder bevindt zich op ongeveer -15 m NAP een dikke kleilaag van de Formatie van Breda. Dit pakket wordt beschouwd als de geohydrologische basis.

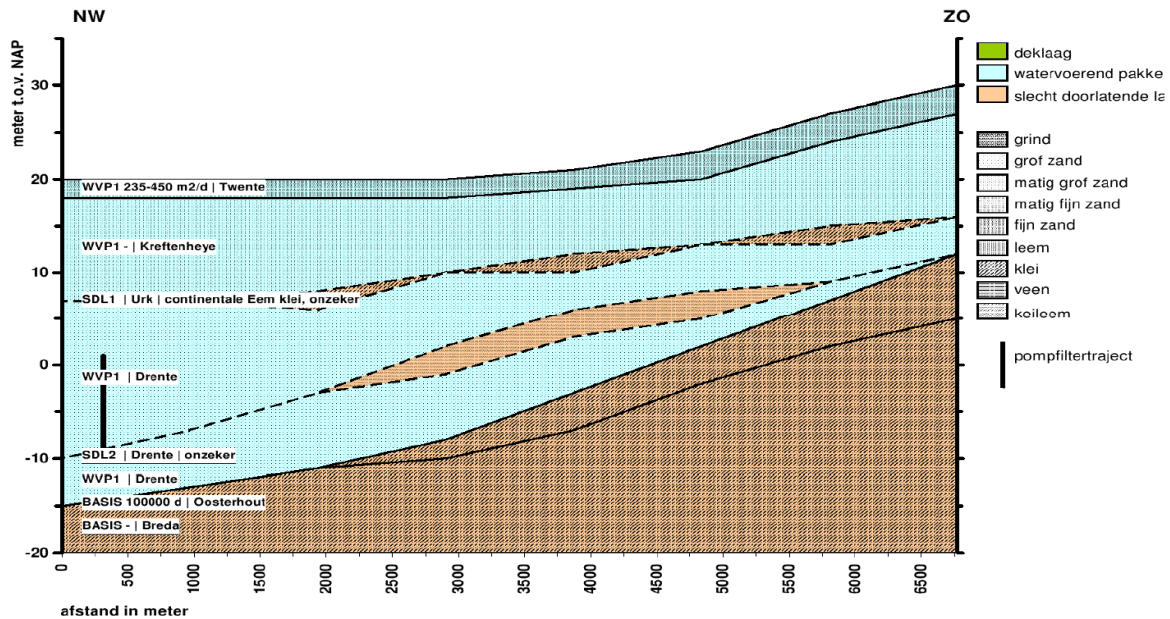
Het water wordt onttrokken uit het grofzandige pakket van de Formatie van Drenthe. Dit grofzandige pakket reikt van 15 tot 30 m – mv en bevindt zich direct boven de geohydrologische basis.

Boven het bebompte pakket kan een kleilaag uit de Eem-Formatie voorkomen, met een dikte van maximaal 10 meter. De verspreiding van deze laag is onzeker. Ter plaatse van het winveld zelf komen wel slecht-doorlatende lagen voor, waardoor sprake is van een semi-gespannen winning. Boven de kleilaag ligt een fijnzandig pakket van de Formaties van Boxtel (Twenthe) en Kreftenheye.





FIGUUR 4. HET WATERWINGEBIED (ROOD), GRONDWATERBESCHERMINGSGBIED (ZWART) EN INTREKGEBIED (GROEN) VAN DE DRINKWATERWINNINGEN HAARLO (LINKS) EN OLDEN EIBERGEN (RECHTS). DE GRENZEN ZIJN ILLUSTRATIEF.



FIGUUR 5. GEOHYDROLOGISCH PROFIEL HAARLO.

Het onderzoeksgebied heeft als meest voorkomende bodemtype Hn21 (35%); een leemarme Veldpodzol. Daarna is met 20% pZg23 het meest voorkomende bodemtype; leemhoudende Beekeerd. Circa 52% Van het onderzoeksgebied bestaat uit blijvend grasland. Hiernaast zijn snijmais en tijdelijk grasland de meest voorkomende gewassen met 24% en 16% bedekking respectievelijk. Tijdelijk grasland kan overigens wel meerdere jaren achter elkaar als grasland in gebruik zijn.

De analyses worden alleen uitgevoerd op leemarme Veldpodzol (Hn21), omdat die door zijn bodemtextuur droogtegevoelig is (minder waterbuffering via hangwater en capillaire nalevering). Ook wordt uitsluitend gekeken naar blijvend grasland om te voorkomen dat oude weides worden vergeleken met pas ingezaaide percelen.

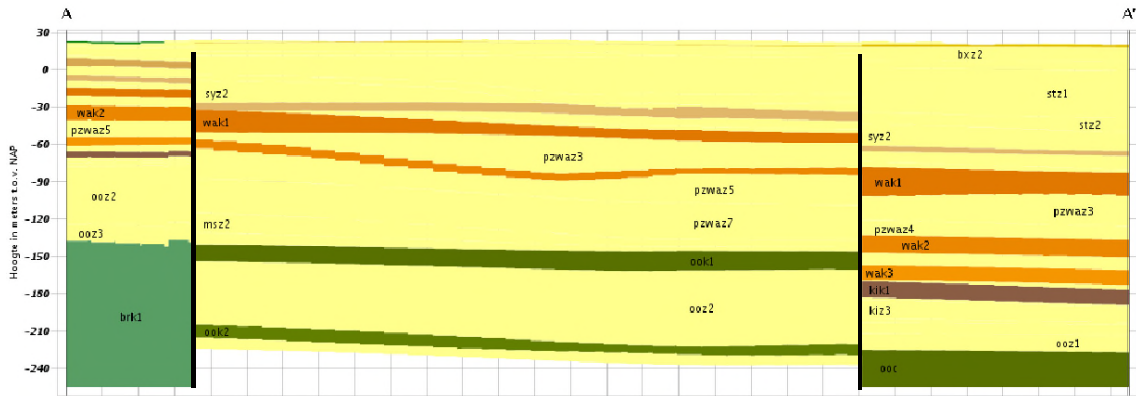
### 3.2.2 Vessem

De drinkwaterwinning Vessem ligt ten zuidwesten van Eindhoven. Het waterwingebied beslaat een oppervlakte van ongeveer 59,3 ha in een bosrijke omgeving (zie figuur 6). Het maaiveld ligt op circa 25 m NAP. De filters van de winputten liggen tussen de 25 en 50 meter beneden maaiveld. De maximale capaciteit van deze putten is 120 m<sup>3</sup> per uur. De vergunde onttrekkingshoeveelheid bedroeg in 2013 6,5 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. De huidige vergunning bedraagt 8,5 Mm<sup>3</sup> per jaar.

De ondergrond bestaat uit meerdere watervoerende pakketten die worden gescheiden door slecht doorlatende kleilagen. Ten oosten en zuidwesten van de drinkwaterwinning bevinden zich breuken met een noordwest-zuidoost oriëntatie (figuur 7). De breuken kunnen van invloed zijn op de grondwaterstroming. Versmering van de kleilagen zorgen voor een lagere doorlatendheid rond de breuk.

In figuur 8 is de bodemopbouw volgens REGIS II.1 in de omgeving van de winning Vessem weergegeven. De ondergrond bestaat uit een circa 50m dik freatisch zandpakket, bestaande uit de formatie van Boxtel, de Formatie van Sterksel en de Formatie van Stamproy. In dit pakket bevinden zich ook de onttrekkingsfilters. Vessem is een kwetsbare freatische winning. Dieper in de ondergrond bevinden zich afwisselend diverse scheidende (klei)lagen en watervoerende pakket. De geohydrologische basis ligt op circa 250 m -mv.





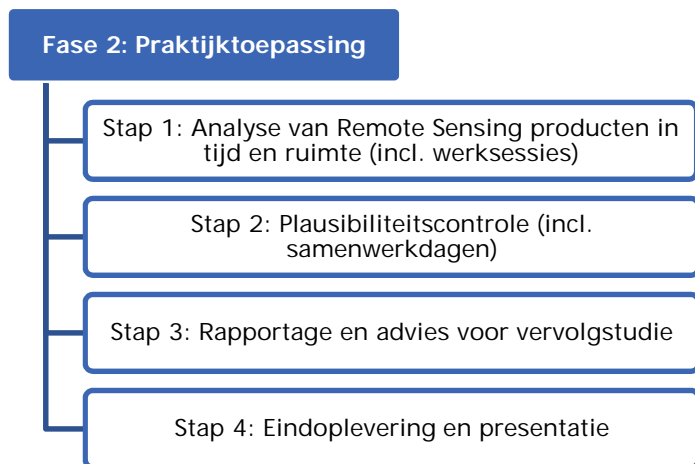
FIGUUR 8. HYDROGEOLOGIE OP BASIS VAN REGIS II.1.

Het onderzoeksgebied heeft als meest voorkomende bodemtype Hn21 (25%); een leemarme Veldpodzol. Daarna is met 23% zEZ23 het meest voorkomende bodemtype; leemhoudende Enkeerd met een humeuze bovengrond. Het voornaamste landgebruik in de directe omgeving van de drinkwaterwinning is bos. Het onderzoeksgebied bestaat voor 33% uit snijmaïs, 30% is tijdelijk grasland en slechts 8% is blijvend grasland.

De analyses worden alleen uitgevoerd op leemarme Veldpodzol (Hn21), om dezelfde reden als bij studiegebied Haarlo – Olden Eibergen. Bij Vessem zijn naast blijvende graslanden ook tijdelijke graslanden die het voorgaande jaar ook al gras waren, geselecteerd. Hiermee wordt grotendeels voorkomen dat oude weides worden vergeleken met pas ingezaaide percelen.

### 3.3 Werkwijze

In fase 2 worden de mogelijkheden van Remote Sensing in de praktijk getest. Een vergelijking in de ruimte (patronen) en een vergelijking in te tijd (trends) vormen hierbij de basis. Hieronder is schematisch weergegeven welke stappen worden doorlopen (Figuur 9). De werkwijze van stappen 1 en 2 zijn hieronder verder uitgewerkt. Deze twee stappen zijn gecombineerd uitgevoerd. Hiervoor zijn ruimtelijke analyses en tijdserie-analyses uitgevoerd.



FIGUUR 9 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE STAPPEN IN FASE 2 VAN DE PILOT.

### 3.3.1 Ruimtelijke analyses

#### Relaties

De gebruikte gegevens zijn per onderzoeksgebied naar exact dezelfde uitsnede en dezelfde celgrootte gezet. Daarvan is er een grote puntendataset gemaakt, waarmee de ruimtelijke analyses kunnen worden uitgevoerd. Bij deze ruimtelijke analyses is gezocht naar:

- Een relatie tussen de variabelen (NDVI,  $ET_A$ ) en afstand tot winning;
- Een relatie tussen de variabelen (NDVI,  $ET_A$ ) en de verlaging veroorzaakt door de drinkwaterwinning;
- Ook is er gekeken wat de spreiding van de NDVI en  $ET_A$  waarden zijn per halve kilometer.

Opbrengsten kunnen door tal van oorzaken anders dan een te lage grondwaterstand, minder zijn dan maximaal. Dientengevolge zullen relaties tussen afstand tot de winning en de remote sensing grootheden  $ET_A$  en NDVI een grote variatie aan waarnemingspunten te zien geven. Een geëigende methode om uit die puntenwolk de invloed van de winputafstand te halen, is kwantielregressie (ref.). In deze studie is gekeken naar het 90% kwantiel. Er wordt een trendlijn "gefit" door de data die zich in het 90% kwantiel van de verdeling bevindt. De trendlijn beschrijft de onderstaande functie:

$$Y = aX + b$$

Hierbij is Y de gekozen parameter (NDVI,  $ET_A$ ) en X de afstand tot de drinkwaterwinning. De waarde voor a, de hellingshoek, geeft de sterkte van de relatie aan. Per kilometer stijgt de Y met a. De waarde voor b is de intercept. Dit is waar de trendlijn de y-as snijdt, de verwachte waarde van Y ter plaatse van de winning.

Lang niet al de "waarnemingen" liggen op de trendlijn. Er is altijd een afwijking tussen de waarnemingen en de trendlijn. Deze afwijking is soms wat lastig te interpreteren en is afhankelijk van de orde grootte van de relatie en waarden van de waarnemingen. De  $R^2$  kan niet gebruikt worden omdat je bij een kwantielregressie kiest voor het

bepalen van de relatie. Wel kan de p-waarde gebruikt worden. Wanneer de p-waarde kleiner is dan 0,05 kan er met 95% zekerheid worden gezegd dat de gevonden regressie significant is en dus niet op toeval berust. Opgemerkt moet worden dat bij dit onderzoek géén rondom selectie is gemaakt van de punten. Omdat álle punten zijn geanalyseerd is er ook géén sprake van een steekproef.

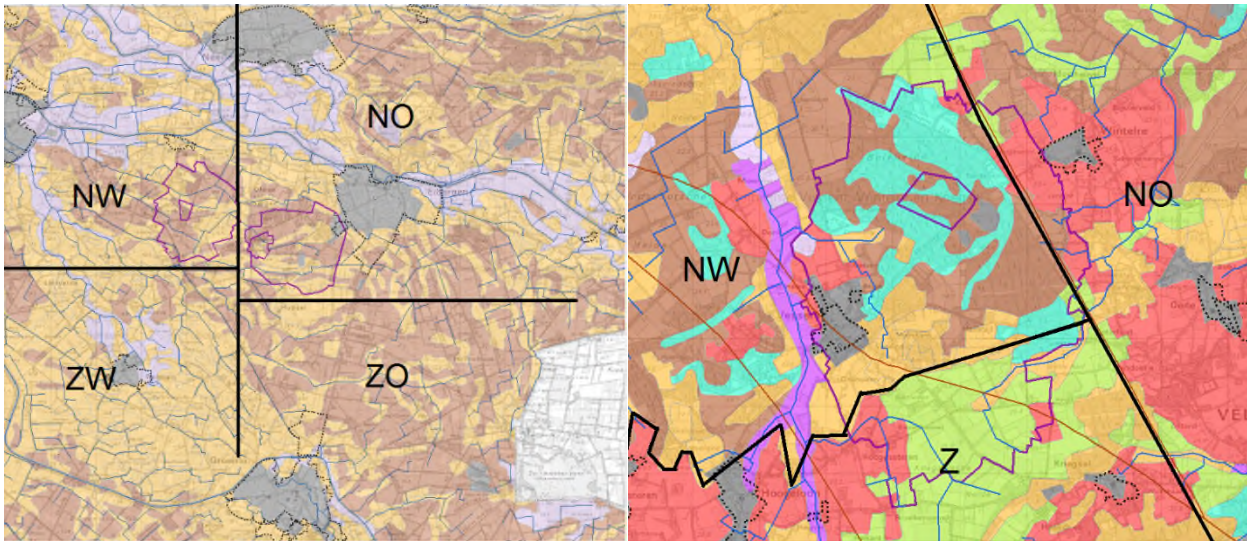
### Zonering

Wanneer alle omstandigheden hetzelfde zijn, wordt buiten de invloed van de drinkwaterwinning geen relatie verwacht met de afstand tot de winning. Mocht er wel een relatie worden gevonden, dan wordt dit als ruis geïnterpreteerd. De relatie binnen de invloed van de drinkwaterwinning moet minimaal groter zijn dan de standaardfout van deze ruis. Als vuistregels is aangehouden dat hellingshoek a binnen de invloed van de drinkwaterwinning minimaal 3 keer de waarde van die buiten de invloed van de drinkwaterwinning moet zijn, om van een echt verschil te spreken.

Er worden dus twee zones onderscheiden: Het gebied waarop de drinkwaterwinning zeker een invloed heeft op de grondwaterstand en het gebied daarbuiten. Voor het gebied waarop de drinkwaterwinning zeker een invloed heeft op de grondwaterstand is het criterium gebruikt dat de verlaging groter is dan 5 cm. Om te bepalen waar de drinkwaterwinning geen invloed meer heeft is een strenger criterium gebruikt; een verlaging lager dan 2 cm. De keuze voor 2 cm is gekozen als compromis tussen voldoende pixels selecteren voor een analyses en ruis in de data te voorkomen. Hierdoor is ook een zone (tussen een verlaging van 2 en 5 cm) die niet is meegenomen in de analyses.

Voor Haarlo en Olden Eibergen is de verlaging op een schaal van 25 bij 25 meter door Vitens doorgerekend met het AMIGO grondwatermodel. Voor Vessem is gebruik gemaakt van de vergelijking van Dupuit om de verlaging op een zekere afstand af te leiden. De afstand is bepaald aan de hand van het puttenveld. Binnen het puttenveld is de afstand nul kilometer.

Naast een relatie met de afstand voor het gehele beïnvloedingsgebied, is ook gekeken naar verschillende deelgebieden. De deelgebieden van Haarlo en Olden Eibergen zijn gebaseerd op de windstreken en ligging van de bodemsoorten. De deelgebieden van Vessem zijn gebaseerd op de ligging van de breuken en de bodemsoorten (Figuur 10). Ook is er gekeken naar de spreiding van de waarden per halve kilometer. De afstanden zijn gegroepeerd per halve kilometer waarbij vervolgens per groep het verschil tussen het eerste en laatste kwartiel is uitgerekend.



FIGUUR 10. LIGGING VAN DE DEELGEBIEDEN VAN HAARLO - OLDEN EIBERGEN (LINKS) EN VESSEM (RECHTS)

### Gevoeligheidsanalyse

Door het 90% kwantiel te kiezen, is getracht de invloed van de winning te scheiden van andere factoren die de opbrengst kunnen onderdrukken. Bij percelen die significant lager scoren, zal dit niet uitsluitend te wijten zijn aan droogteschade. Voor dergelijke opbrengstdervingen zal ook bijvoorbeeld structuurbederf, nutriëntenbeschikbaarheid, management en ziekten een belangrijke rol spelen. Daarnaast kan door een proactief beleid, met bodemverbetering en beregening, opbrengstderving door grondwaterwinning worden voorkomen. Bij een kleine spreiding zal de keuze voor het kwantiel minder gevoelig zijn; toch is de gekozen waarde enigszins arbitrair. Daarom is met een gevoeligheidsanalyse gekeken of de uitkomst van het 70%, 80% en 85% kwantiel grote verschillen in resultaten vertonen in vergelijking met de uitkomst voor het 90% kwantiel.

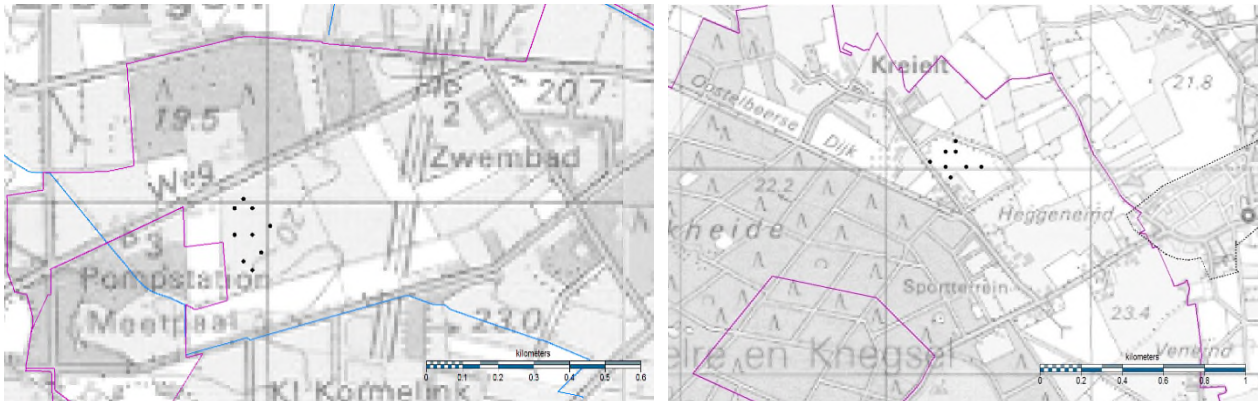
#### 3.3.2 Temporele analyse

De temporele analyse bestaat uit de volgende onderdelen:

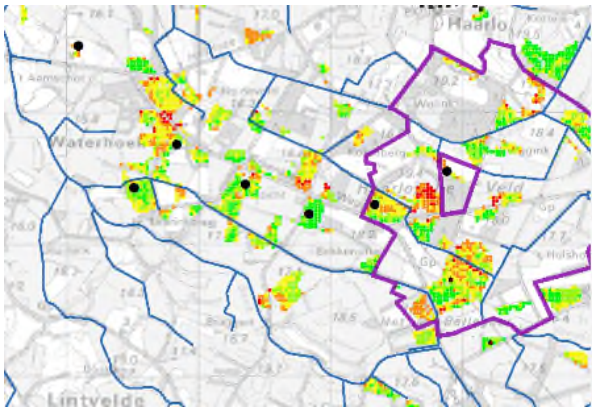
- Variatie in tijdsreeksen binnen een veld;
- Variatie in tijdsreeksen met toenemende afstand van de drinkwaterwinning;
- Het aantal grassneden;
- De hersteltijd na een grassnede.

#### Variatie in tijdreeksen

Om de variatie in NDVI en  $ET_A$  binnen een perceel te vergelijken is per gebied een random perceel gekozen dat voldoet aan de selectiecriteria (blijvend grasland op leemarme Veldpodzol). Binnen dit perceel zijn 4 punten langs rand en een aantal punten middenin geplaatst om de variatie binnen het perceel inzichtelijk te maken (Figuur 11). Voor deze uitgebreide analyse van de tijdreeksen zijn raaien met punten met een onderlinge afstand van circa 0,5 km gemaakt. Deze punten zijn juist midden in de percelen geplaatst (zie Figuur 12).



FIGUUR 11 LIGGING VAN DE PUNTEN T.B.V. VAN DE TIJDREEKSEN (HAARLO - OLDEN EIBERGEN: LINKS, VESSEM: RECHTS).

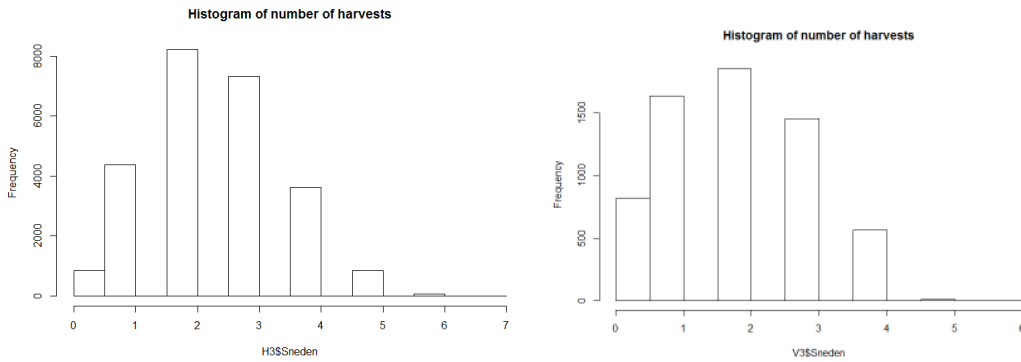


FIGUUR 12. RAAI VAN PUNTEN TEN WESTEN VAN DE DRINKWATERWINNING HAARLO - OLDEN EIBERGEN.

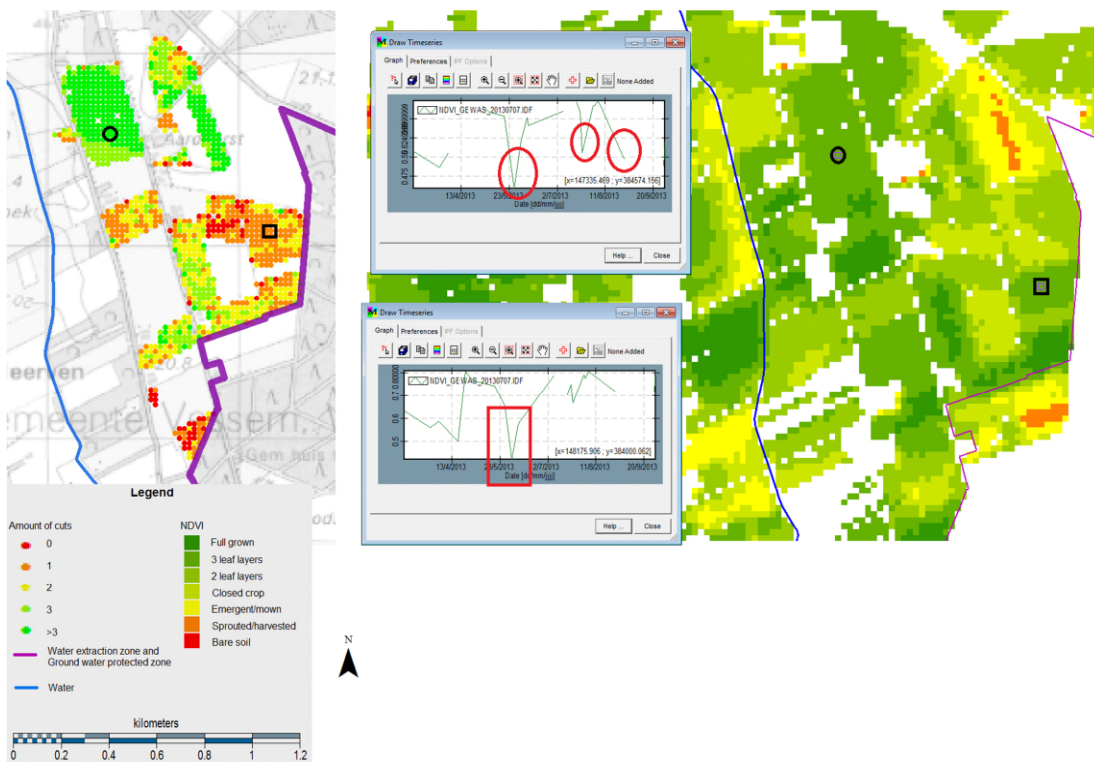
### Aantal grassneden

Om het aantal grassneden te bepalen is er van uitgegaan dat wanneer gras gemaaid wordt er een daling van de NDVI plaats vindt van minimaal 0,1. Een kleinere daling kan ook andere oorzaken hebben dan een oogst (ziekte of droogte bijvoorbeeld). Ook treedt er na een snede weer herstel op. De NDVI voor en na het moment van oogst is dus hoger. Figuur 14 illustreert het ruimtelijke resultaat met twee tijdseries ter controle. In Figuur 14 is ook te zien dat er aan de randen van het veld vaak minder sneden zijn. Dit komt omdat de NDVI dan niet met meer dan 0,1 is gedaald. Dit kan omdat de opbrengst van de pixel in dat veld al erg laag was of dat er een randeffect is, bijvoorbeeld door een ander aangrenzend landgebruik (bos, weg, ...) of door verdichting van de bodem ten gevolge van het keren van landbouwmachines. De histogrammen (figuur 13) laten overigens zien dat er weinig waarnemingen zijn in de extremen (0 of >4).





FIGUUR 13 HISTOGRAM VAN HET AANTAL GRASSNEDEN (HAARLO EN OLDEN EIBERGEN: LINKS, VESSEM: RECHTS)

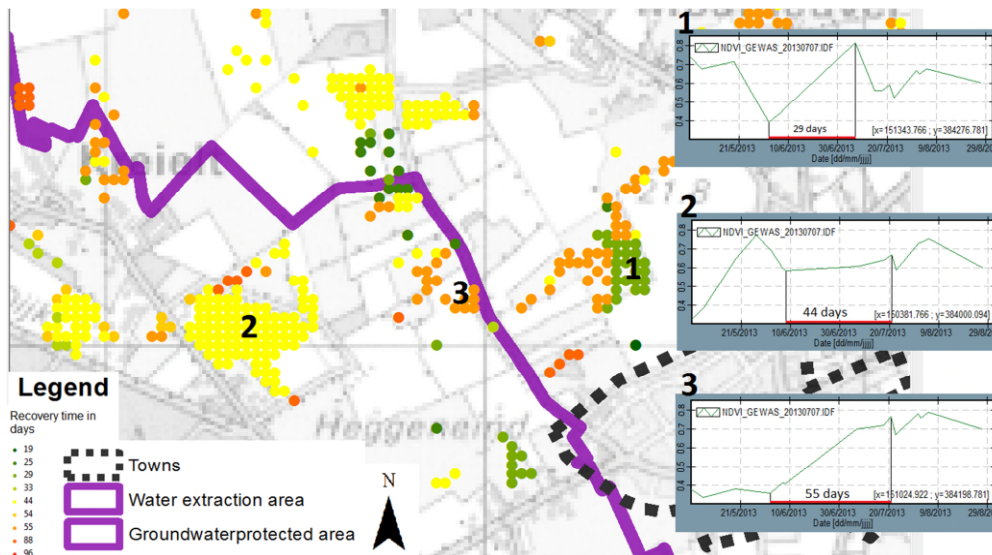


FIGUUR 14. AANTAL GRASSNEDEN CONTROLEREN MET TIJDSERIES.

### Hersteltijd

Het aantal dagen tussen een grassnede en de eerstvolgende piek met een NDVI-waarde boven de 0,65 is gedefinieerd als de hersteltijd. De grassneden moeten hebben plaatsgevonden tussen 23 mei en 11 augustus om te voorkomen dat een snede uit de lente wordt vergeleken met een snede in de zomer of het najaar. Vervolgens is er

met een lineaire regressie gekeken of binnen de invloed van de grondwateronttrekking het aantal sneden met de afstand tot de onttrekking toeneemt (figuur 15).



FIGUUR 15. RUIMTELIJKE WEERGAVE VAN DE HERSTELTIJD VAN VELDEN (VAN GROEN (19 DAGEN) NAAR ROOD (96 DAGEN) IN HET ONDERZOEKSGBIED VESSEM. MET GRAFIKEN IS DE WERKING VAN DE FUNCTIE WEERGEGEVEN.

### 3.4 Hypothesen

De huidige droogteschaderegeling is gebaseerd op grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld. Met behulp van de HELP- of TCGB-tabellen worden deze grondwaterstanden in combinatie met de bodemkaart en gewastype vertaald naar opbrengstdepressie. De door de gewassen ervaren droogte is echter niet direct afhankelijk van de grondwaterstand, maar wel van de hoeveelheid vocht die beschikbaar is in de wortelzone plus die capillair kan worden nageleverd. Met Remote Sensing technieken zou je veel directer iets kunnen zeggen over de hoeveelheid bodemvocht en opbrengstreductie.

#### Hypothesen bij de ruimtelijke analyses

1. Wanneer er droogteschade optreedt ten gevolg van de drinkwaterwinning, zal de NDVI afnemen in de richting van de de winning.
2. Wanneer er veel, gezond gewas op een veld staat en er is voldoende vocht beschikbaar is, is de actuele verdamping hoog. Nabij de winning is minder vocht beschikbaar en wordt dus een lagere  $ET_A$  verwacht dan verder van de winning af. Wanneer de drinkwaterwinning de enige (ruimtelijke) invloed is, dan wordt er buiten in de invloed van de drinkwaterwinning geen relatie verwacht.
3. Dicht bij onttrekking wordt een hoge spreiding in waarden van  $ET_A$  en NDVI verwacht. Als gevolg van maatregelen zullen de percelen verschillend reageren op een beperkte vochtbeschikbaarheid. Op grotere afstand wordt een lage spreiding verwacht. Omdat hier weinig invloed is van de drinkwaterwinning wordt minder verscheidenheid in maatregelen van boeren verwacht waardoor de  $ET_A$  en NDVI waarden niet veel zullen variëren.

### Hypothesen bij de temporele analyses

1. Binnen een perceel wordt verwacht dat er geen variatie in NDVI of  $ET_A$  zit. Wel kunnen er randeffecten optreden door invloed van wegen, greppels/sloten (verlagend) overhangende bomen (hoger) en bodemverdichting. Ook wordt verwacht dat een heel veld in een keer gemaaid wordt en dat dus al de sneden precies op hetzelfde moment in tijd vallen.
2. Er wordt verwacht dat de NDVI en  $ET_A$  door tijd lager zijn voor de punten dicht bij de drinkwaterwinning en dat na een grassnede de NDVI langzamer toeneemt dicht bij de onttrekking.
3. Wanneer er droogteschade optreedt ten gevolg van de drinkwaterwinning, dan is de verwachting dat er minder sneden zijn nabij de winning dan verder van de winning af.
4. De verwachting is dat de hersteltijd langer is dicht bij de drinkwaterwinning.
5. Wanneer de drinkwaterwinning de enige (ruimtelijke) invloed is, dan wordt er buiten in de invloed van de drinkwaterwinning geen relatie verwacht tussen afstand en NDVI of  $ET_A$ .

## 4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten uit de ruimtelijke en temporele analyses besproken per onderzoeksgebied. Per gebied worden eerste de ruimtelijke analyses behandeld:

De relaties tussen de NDVI en afstand binnen en buiten de invloed van de drinkwaterwinning;

- De relatie tussen de NDVI en verlaging;
- NDVI tegen afstand en verlaging per deelgebied;
- De relaties tussen de  $ET_A$  en afstand binnen en buiten de invloed van de drinkwaterwinning;
- De relatie tussen de  $ET_A$  en verlaging;
- Spreiding van de  $ET_A$  waarden per 0,5 km afstand;

Vervolgens worden de temporele analyses behandeld:

- Variatie in tijdsreeksen van de NDVI en  $ET_A$  binnen een veld;
- Tijdsreeksen van NDVI en  $ET_A$  per 0,5 km afstand;
- Grassneden
- Hersteltijd

### 4.1 Haarlo en Olden Eibergen

#### 4.1.1 Relatie NDVI en afstand tot de drinkwaterwinning binnen en buiten de invloed van de drinkwaterwinning

Om de hypothesen te toetsen is Haarlo – Olden Eibergen (H) in twee zones verdeeld: de invloedszone van de winning (H1) en het gebied dat buiten de invloed van de winning ligt (H0).

Tabel 2 geeft een overzicht van de gemiddelde NDVI per maand binnen (H1) en buitende (H0) de invloed van de drinkwaterwinning. Er wordt verwacht dat de NDVI hoger is buiten de invloed en dat is voor alle maanden behalve juni het geval.

TABEL 2. GEMIDDELDE NDVI PER MAAND BINNEN (H1) EN BUITEN (H0) DE INVLOED VAN DE DRINKWATERWINNING.

	NDVI03 (maart)	NDVI04 (april)	NDVI05 (mei)	NDVI06 (juni)	NDVI07 (juli)	NDVI08 (augustus)	NDVI09 (september)	NDVIMAX
H1	0,572	0,697	0,725	0,675	0,776	0,725	0,755	0,799
H0	0,589	0,718	0,739	0,618	0,790	0,742	0,756	0,803
Vershil	0,017	0,021	0,014	-0,058	0,015	0,017	0,001	0,005

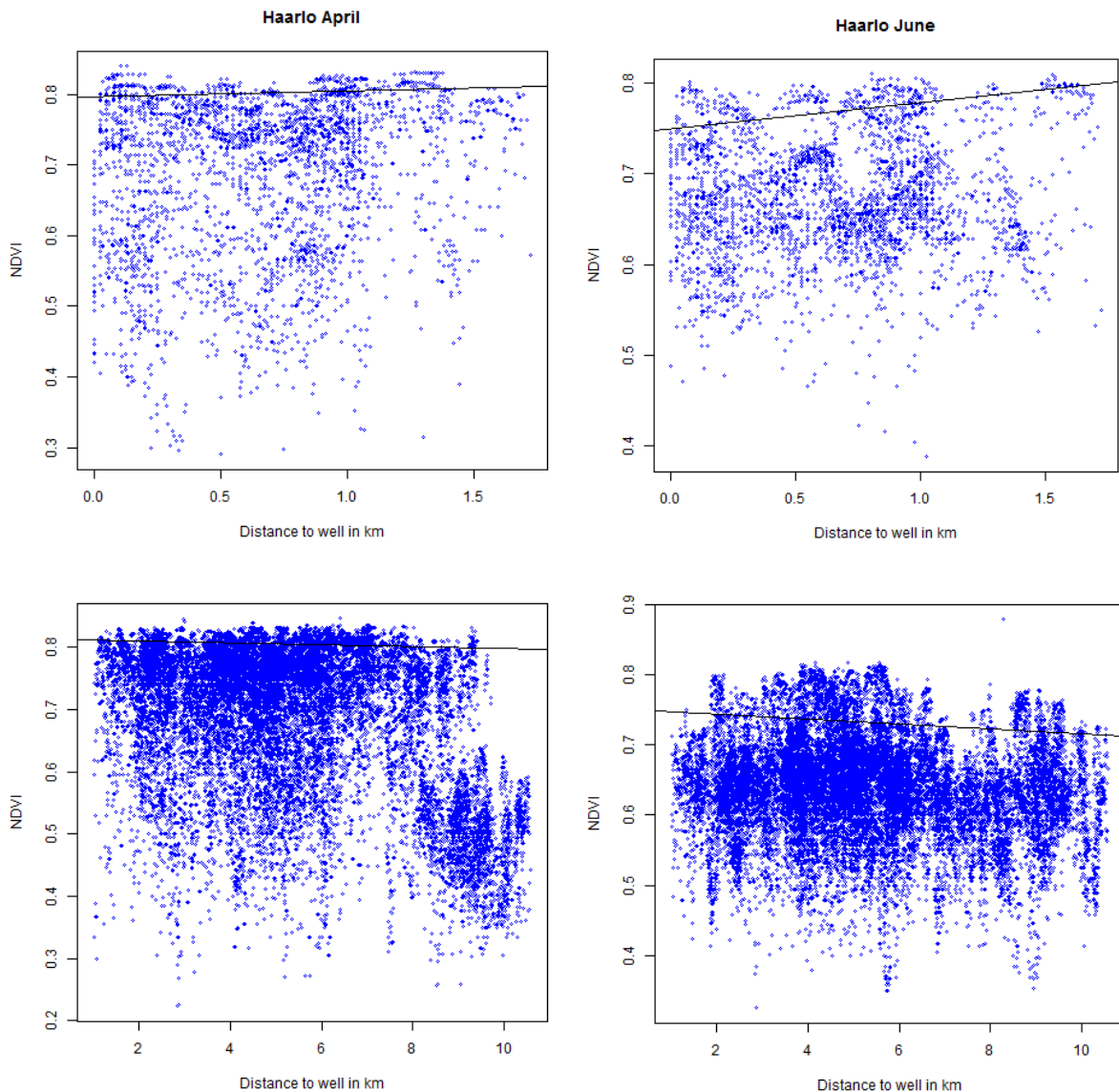
De verwachting is een positieve trend tussen NDVI en afstand tot de drinkwaterwinning daar waar deze invloed heeft. Maart, april, mei, juni, september en de maximum NDVI over bevestigen dit (Tabel 3). De trend die gevonden worden in juli en augustus zijn klein. De trend (hellingshoek) binnen de invloed van de drinkwaterwinning is minder sterk dan 3 keer de waarde die buiten de invloed van de drinkwaterwinning wordt geconstateerd.

April en mei laten een trend zien van 0,008: met iedere kilometer afstand neemt de NDVI met 0,008 toe. Aangezien de invloedsafstand van de drinkwaterwinning ongeveer 1,5 km is, neemt de NDVI over die afstand in de maanden maart, april en mei met ongeveer 0,012 toe. De NDVI van een goed grasland ligt rond de 0,80, Een NDVI van 0,79 verschilt daar niet of nauwelijks van. In juni daarentegen is de trend groter (Figuur 16). Een NDVI van 0,75 levert een merkbaar verschil in opbrengst met een gewas dat voor de oogst rond de 0,8 ligt. Buiten de invloedzone worden zeer zwakke negatieve trends gevonden (Tabel 3, H0). Een verlaging van de NDVI met 0,0015 per kilometer in april en 0,0036 per kilometer in juni (Figuur 16). Dit is relatief klein t.o.v. de trend binnen de invloed van de drinkwaterwinning.

Binnen de invloed van de drinkwaterwinning is dus sprake van een (significante) relatie tussen de NDVI en de afstand tot de drinkwaterwinning voor de maanden maart, april, mei, juni en september. In juli en augustus is dit verband er niet of is het verband niet significant. Daarbij is de relatie binnen het invloedsgebied kleiner dan de relatie buiten het invloedsgebied. Dit duidt op een andere invloed dan de drinkwaterwinning.

TABEL 3. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN AFSTAND PER MAAND BINNEN EN BUITEN DE INVLOED VAN DE WATER ONTTREKKING.

		Maart	April	Mei	Juni	Juli	Aug	Sept	MAX
H1	Hellingshoek	0,018	0,008	0,008	0,029	0,000	0,001	0,016	0,005
	P	0,003	0,002	0,001	0,004	0,002	0,002	0,002	0,001
H0	Hellingshoek	-0,001	-0,002	0,001	-0,003	0,001	-0,002	0,001	0,001
	P	-0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000



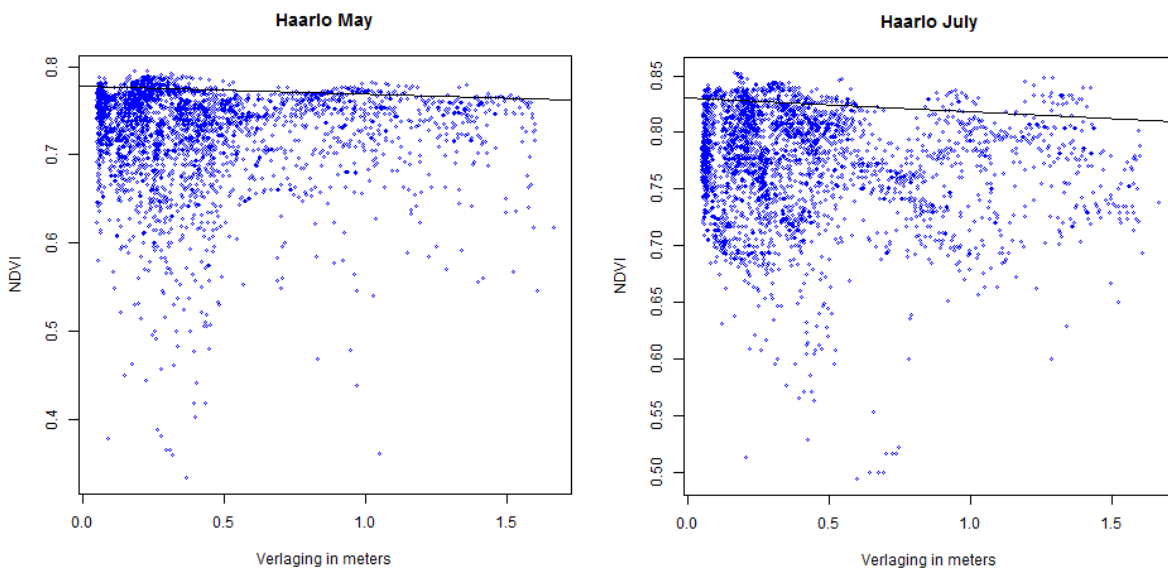
FIGUUR 16 NDVI IN APRIL (LINKS) EN JUNI (RECHTS) TEGEN AFSTAND BINNEN (BOVEN) EN BUITEN (ONDER) DE INVLOED VAN DE DRINKWATERWINNING.

#### 4.1.2 Relatie NDVI en verlaging van de grondwaterstand als gevolg van de drinkwaterwinning

De verwachting is dat bij een grotere verlaging de NDVI lager is. De trend van de NDVI ten opzichte van de verlaging van de grondwaterstand heeft dan een negatieve trend. Dit is het geval voor maart, mei, juli, augustus, september en de maximum NDVI over het groeiseizoen (figuur 17). In juli neemt met iedere meter verlaging de NDVI af met 0,012. De verlaging kan oplopen tot 1,5 meter wat voor mei resulteert in een NDVI van 0,72 in plaats van 0,80.

TABEL 4. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE VERLAGING (PER MAAND).

	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Aug	Sept	MAX
Hellingshoek	-0,013	0,002	-0,009	0,003	-0,012	-0,006	-0,019	-0,007
P	0,002	0,003	0,001	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001



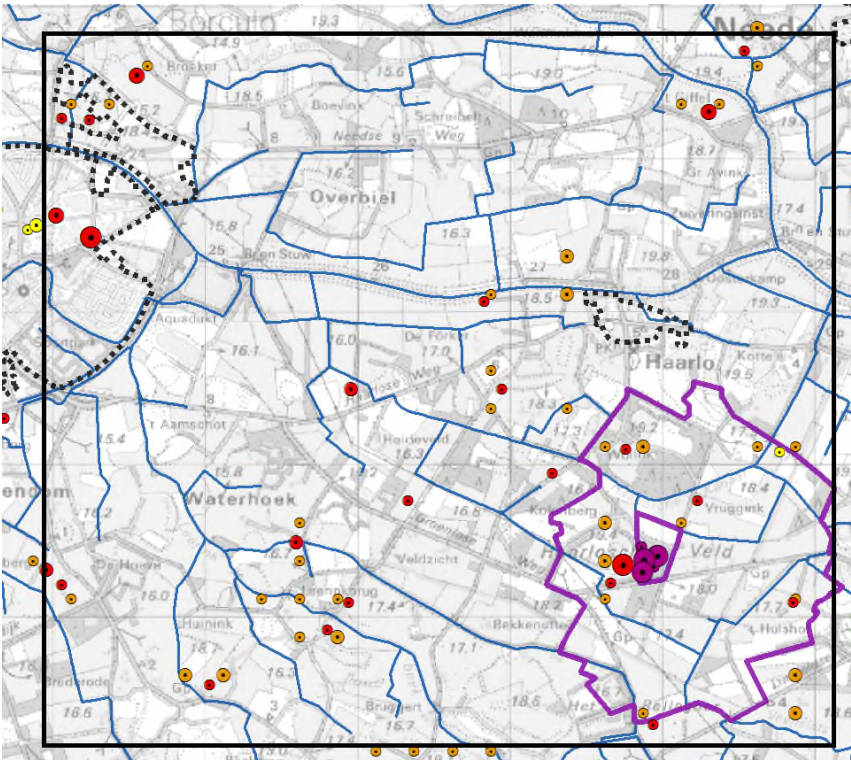
FIGUUR 17 NDVI IN MEI (LINKS) EN JULI (RECHTS) TEGEN VERLAGING ALS GEVOLG VAN DE DRINKWATERWINNING.

Binnen de invloed van de drinkwaterwinning is sprake van een relatie tussen de NDVI en de verlaging als gevolg van de drinkwaterwinning voor de maanden maart, mei, juli, augustus en september. In april en juni is trend tegengesteld aan de verwachting (positieve hellingshoek), al is de hellingshoek niet erg groot. Opgemerkt moet worden dat verlaging ook een relatie heeft met de afstand; de verlaging is immers het grootst nabij de drinkwaterwinning. Dit verband is echter niet lineair.

#### 4.1.3 Relatie NDVI en afstand tot de drinkwaterwinning of verlaging per deelgebied

##### Noordwestelijk deelgebied

Het noordwestelijk deelgebied (Figuur 2) laat zeer zwakke trends zien tussen zowel NDVI tegen afstand en verlaging (Tabel 5 en Tabel 6). Bij de relatie met de afstand tot de winning is de hellingshoek in juni en juli iets groter, maar tegengesteld aan de verwachting (negatieve hellingshoek). Bij de NDVI in relatie tot de verlaging laat juni een trend zien die tegengesteld is aan de verwachting (positieve hellingshoek).



FIGUUR 18. NOORDWESTELIJK DEELGEBIED VAN HAARLO EN OLDEN EIBERGEN MET ONTTREKKINGEN EN BEBOUWDE GEBIEDEN.

TABEL 5. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR HET NOORDWESTELIJK DEELGEBIED.

	NDVI03 (maart)	NDVI04 (april)	NDVI05 (mei)	NDVI06 (juni)	NDVI07 (juli)	NDVI08 (augustus)	NDVI09 (september)	NDVIMAX
Hellingshoek	-0,0008	0,0008	0,0028	-0,0102	-0,0028	0,0026	0,0011	0,0002
P	0,0011	0,0009	0,0004	0,0017	0,0006	0,0010	0,0009	0,0005

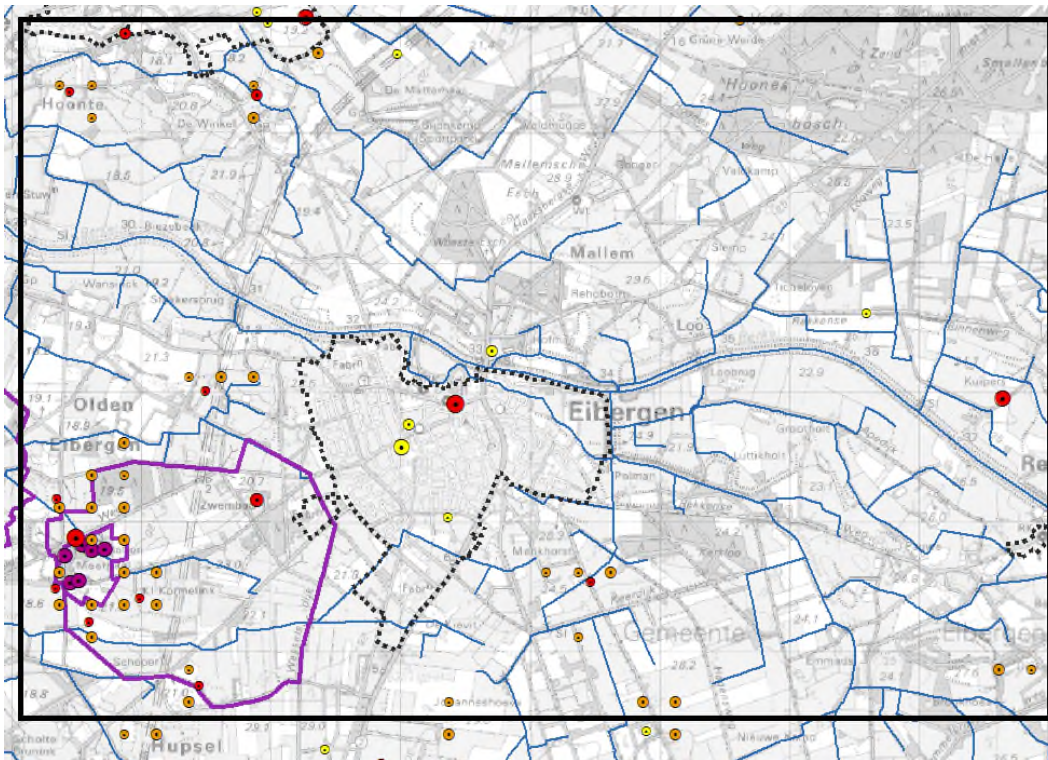
TABEL 6. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE VERLAGING VOOR HET NOORDWESTELIJK DEELGEBIED.

	NDVI03 (maart)	NDVI04 (april)	NDVI05 (mei)	NDVI06 (juni)	NDVI07 (juli)	NDVI08 (augustus)	NDVI09 (september)	NDVIMAX
Hellingshoek	-0,0218	-0,0236	-0,0247	0,0343	-0,0097	-0,0286	-0,0115	-0,0101
P	0,0077	0,0030	0,0050	0,0069	0,0037	0,0066	0,0057	0,0034



### Noordoostelijke deelgebied

Het noordoostelijke deelgebied (Figuur 19) laat zwakke trends zien zowel in relatie met de afstand tot de drinkwaterwinning, als ook de tot de verlaging als gevolg van de onttrekking. De trend in juni tegengesteld aan de verwachting (Tabel 7, Tabel 8).



FIGUUR 19. NOORDOOSTELIJK DEELGEBIED VAN HAARLO EN OLDEN EIBERGEN MET DE ONTTREKKINGEN EN BEBOUWDE GEBIEDEN.

TABEL 7. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR HET NOORDOOSTELIJKE DEELGEBIED.

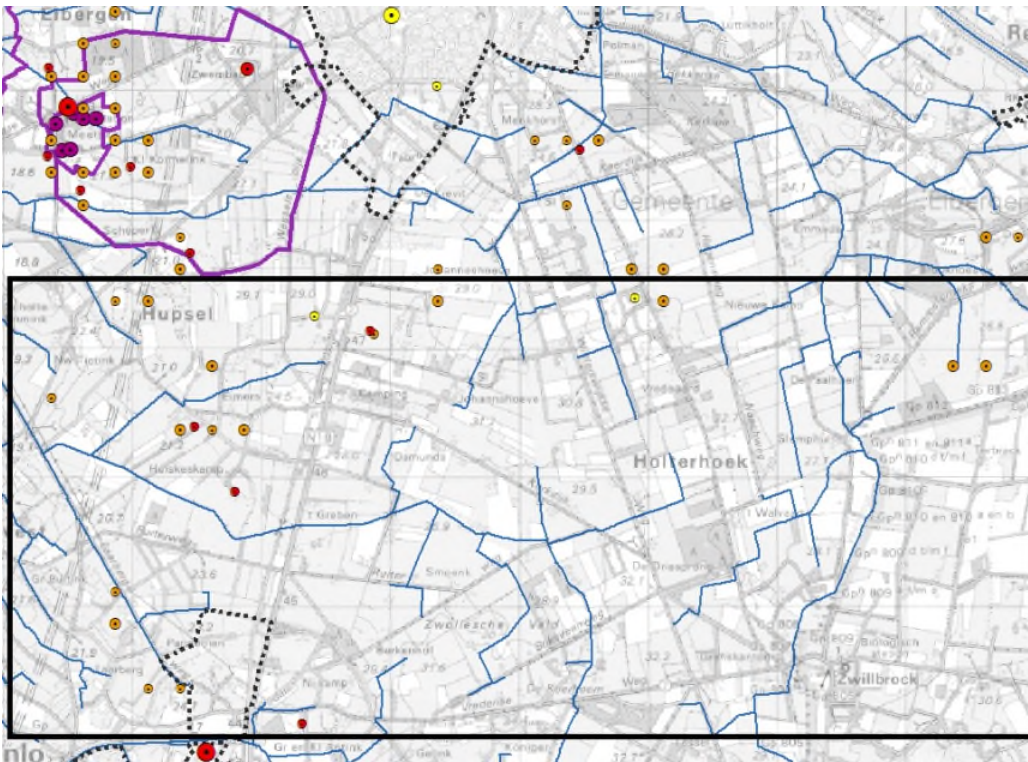
	NDVI03	NDVI04	NDVI05	NDVI06	NDVI07	NDVI08	NDVI09	NDVIMAX
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)	
Hellingshoek	0,0008	0,0029	0,0014	-0,0110	0,0010	0,0014	0,0014	0,0010
P	0,0003	0,0003	0,0001	0,0006	0,0002	0,0003	0,0003	0,0001

TABEL 8 HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE VERLAGING VOOR HET NOORDOOSTELIJKE DEELGEBIED.

	NDVI03	NDVI04	NDVI05	NDVI06	NDVI07	NDVI08	NDVI09	NDVIMAX
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)	
Hellingshoek	0,0000	-0,0087	-0,0100	0,0495	-0,0082	-0,0043	-0,0197	-0,0089
P	0,0018	0,0028	0,0007	0,0017	0,0025	0,0027	0,0015	0,0008

### Zuidoostelijke deelgebied

Het zuidoostelijke deelgebied (Figuur 20) laat alleen in april, juli en maximum over groeiseizoen de verwachte trend tussen NDVI en afstand zien (Tabel 9). Allen juni, juli en het maximum over het groeiseizoen laten de verwachte trend tussen NDVI en verlaging zien (Tabel 10).



FIGUUR 20. ZUIDOOSTELIJK DEELGEBIED VAN HAARLO EN OLDEN EIBERGEN MET ONTTREKKINGEN EN BEBOUWDE GEBIEDEN..

TABEL 9. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR HET ZUIDOOSTELIJK DEELGEBIED.

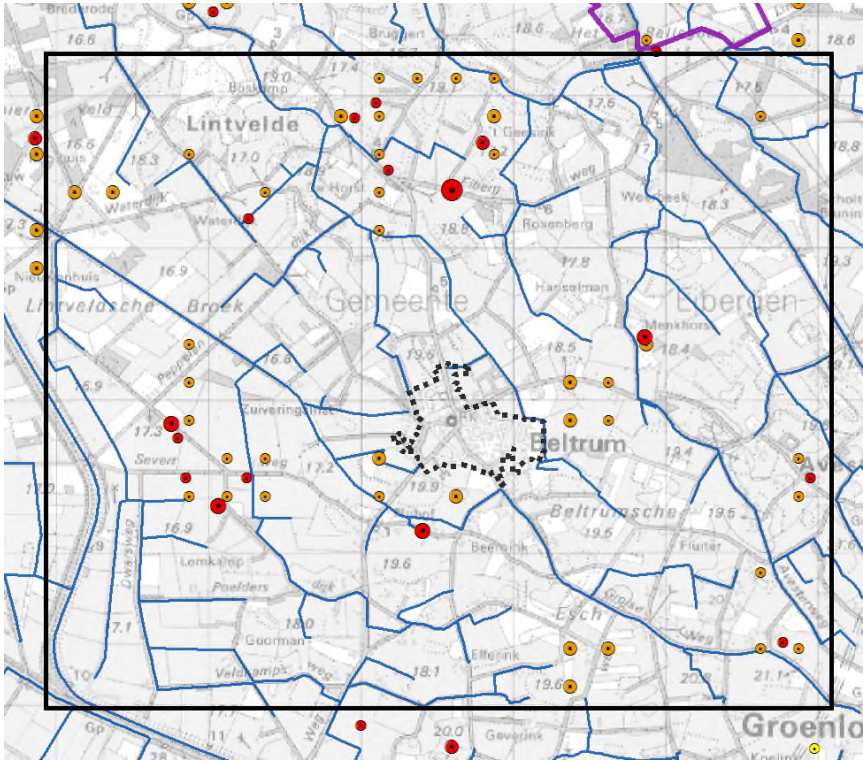
	NDVI03 (maart)	NDVI04 (april)	NDVI05 (mei)	NDVI06 (juni)	NDVI07 (juli)	NDVI08 (augustus)	NDVI09 (september)	NDVIMAX
Hellingshoek	-0,0055	0,0006	0,0000	-0,0028	0,0033	-0,0030	0,0000	0,0016
P	0,0004	0,0003	0,0002	0,0015	0,0002	0,0004	0,0003	0,0002

TABEL 10. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE VERLAGING VOOR HET ZUIDOOSTELIJK DEELGEBIED.

	NDVI03 (maart)	NDVI04 (april)	NDVI05 (mei)	NDVI06 (juni)	NDVI07 (juli)	NDVI08 (augustus)	NDVI09 (september)	NDVIMAX
Hellingshoek	0,0229	0,0466	-0,0112	-0,1437	-0,1186	0,0814	0,0147	-0,0007
P	0,0020	0,0077	0,0128	0,0107	0,0093	0,0047	0,0028	0,0058

### Zuidwestelijk deelgebied

Het zuidwestelijk deelgebied (Figuur 21) laat in mei, juli, augustus en maximum over groeiseizoen de verwachte trend tussen NDVI en afstand zien (Tabel 11). Mei, juli, augustus en maximum over groeiseizoen laten de verwachte trend tussen NDVI en verlaging zien (Tabel 12)..



FIGUUR 21. ZUIDWESTELIJKE DEELGEBIED VAN HAARLO EN OLDEN EIBERGEN MET ONTTREKKINGEN EN BEBOUWDE GEBIEDEN.

TABEL 11. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR HET ZUIDWESTELIJKE DEELGEBIED.

	NDVI03 (maart)	NDVI04 (april)	NDVI05 (mei)	NDVI06 (juni)	NDVI07 (juli)	NDVI08 (augustus)	NDVI09 (september)	NDVIMAX
Hellingshoek	-0,0007	-0,0021	0,0009	-0,0105	0,0037	0,0010	0,0003	0,0026
P	0,0007	0,0005	0,0005	0,0013	0,0004	0,0006	0,0006	0,0004

TABEL 12. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE VERLAGING VOOR HET ZUIDWESTELIJKE DEELGEBIED.

	NDVI03	NDVI04	NDVI05	NDVI06	NDVI07	NDVI08	NDVI09	NDVIMAX
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)	
Hellingshoek	0,0531	0,0410	-0,0155	0,2847	-0,0583	-0,1182	0,0036	-0,0312
P	0,0042	0,0035	0,0081	0,0715	0,0060	0,0048	0,0029	0,0029

#### Constateringen voor alle deelgebieden

De relaties verschillen van deelgebied tot deelgebied. Vooral in de noordelijke deelgebieden zijn de trends sterker. Daarbij moet opgemerkt worden dat het waterwingebied zelf niet in de zuidelijke deelgebieden ligt. De afstand van het eerste perceel ligt bij een afstand van circa 1 km en de maximale verlaging is slechts 50 cm. De relatie wordt hierdoor mogelijk sterk beïnvloed. Waarin de deelgebieden in overeen komen, is dat er in mei altijd sprake is van een significante relatie die duidt op een beïnvloeding door de drinkwaterwinning. Ook het maximum ligt lager dicht bij de drinkwaterwinning of bij de maximale verlaging. Bij het noordwestelijke deelgebied is dit echter niet significant. Daarnaast is in juni de relatie altijd tegengesteld, waarbij de NDVI juist toeneemt dicht bij de winning of bij een toenemende verlaging.

#### 4.1.4 Relatie $ET_A$ en afstand tot de drinkwaterwinning binnen en buiten de invloed van de drinkwaterwinning

Om de hypothesen te toetsen is Haarlo – Olden Eibergen (H) in twee zones verdeeld: de invloedzone van de winning (H1) en het gebied dat buiten de invloed van de winning ligt (H0).

Volgens verwachting zijn de meeste  $ET_A$  waarden buiten de invloed van de drinkwaterwinning hoger dan binnen de invloed van de drinkwaterwinning (Tabel 13). Dit verschil is het grootste aan het einde van het voorjaar (mei). Vanaf juni is het verschil uiterst klein, of zijn zelfs de waarden binnen de invloed van de drinkwaterwinning hoger.

TABEL 13 GEMIDDELDE  $ET_A$  PER MAAND BINNEN (H1) EN BUITEN (H0) DE INVLOED VAN DE DRINKWATERWINNING.

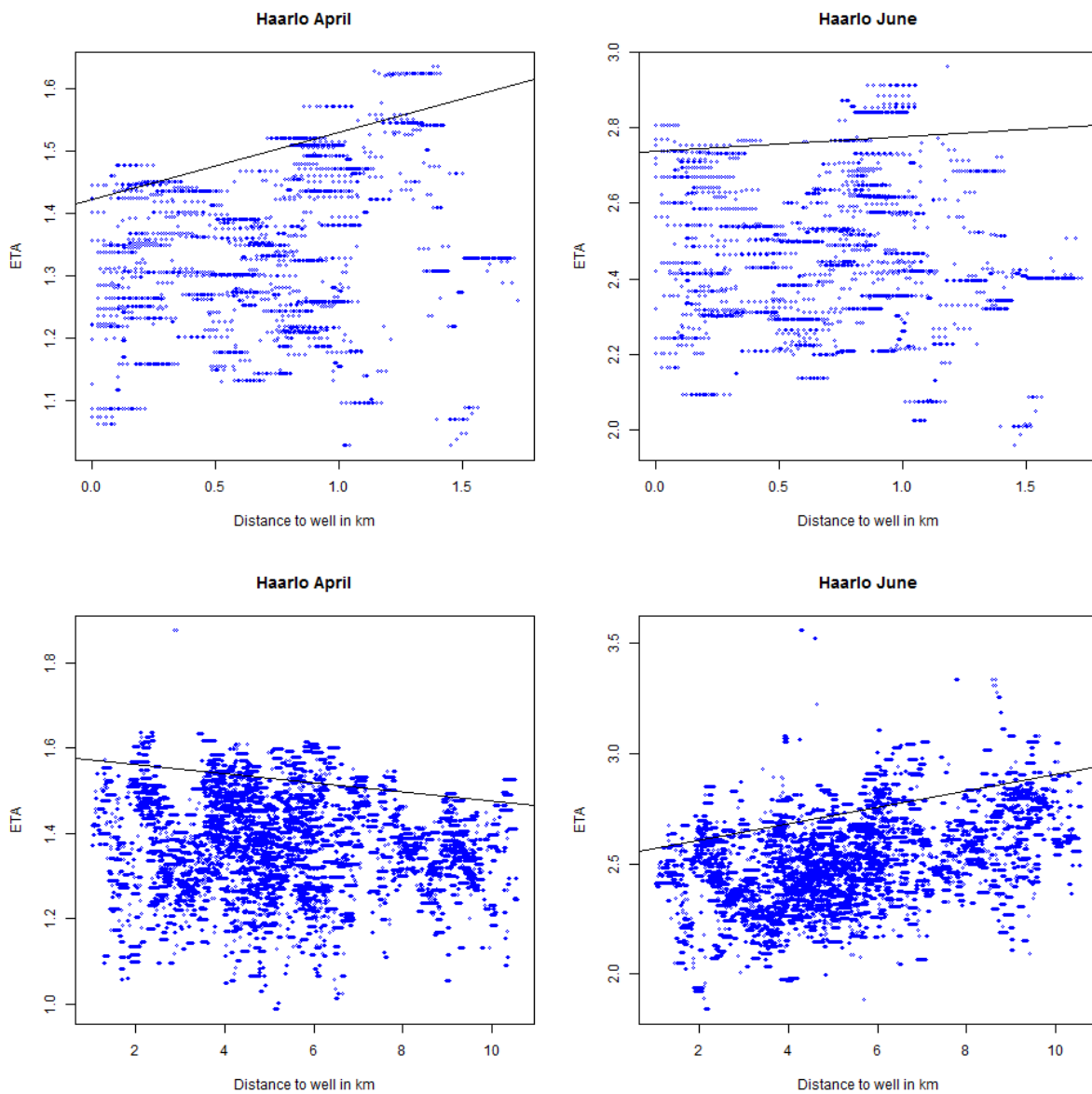
	ETA03	ETA04	ETA05	ETA06	ETA07	ETA08	ETA09
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)
H1	0,466	1,373	2,124	2,497	3,292	3,292	1,850
H0	0,484	1,453	2,262	2,497	3,295	3,295	1,850
Vershil	0,018	0,080	0,138	0,000	0,002	0,002	0,000

De relatie  $ET_A$  en afstand tot de drinkwaterwinning laat aan het begin van het groeiseizoen, vooral in april en mei, een sterk positieve trend zien. In het voorjaar is deze minimaal 3 keer groter dan de relatie die wordt gevonden buiten de invloed van de drinkwaterwinning (Tabel 14 en Figuur 22). De strepen die te zien zijn in de figuur zijn het gevolg van de aanpassing van het onderzoeksgebied naar exact dezelfde uitsnede en dezelfde celgrootte voor alle gebruikte kaartbeelden. Hierdoor is de waarde uit de oorspronkelijke cel van 250 x 250 meter toegekend aan 100 cellen van 25 x 25 meter. Hierdoor lijkt het dat er over deze afstand van maximaal 250 meter géén verandering optreedt en er dan opeens sprake is van een sprong. Dit zal de relatie slechts in geringe mate beïnvloeden, echter de berekende p-waarde is hierdoor niet bruikbaar.

Binnen de invloed van de drinkwaterwinning is dus sprake van een relatie tussen de  $ET_A$  en de afstand tot de drinkwaterwinning. Daarbij is de relatie binnen het invloedsgebied ook nog (fors) groter dan de relatie buiten het invloedsgebied. Alleen in juni is dit niet het geval; de dalende trend lijkt sterker buiten het invloedsgebied. Dit duidt mogelijk op een andere invloed, dan de drinkwaterwinning, welke toevallig in dezelfde richting is gelegen.

TABEL 14. HELLINGSHOEK VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING.

		Maart	April	Mei	Juni	Juli	Aug	Sept
H1	Hellingshoek	0,022	0,108	0,204	0,039	0,048	0,048	0,021
H0	Hellingshoek	-0,030	-0,010	-0,003	0,043	0,037	0,037	0,016



FIGUUR 22  $ET_A$  IN APRIL (LINKS) EN JUNI (RECHTS) TEGEN AFSTAND BINNEN (BOVEN) EN BUITEN (ONDER) DE INVLOED VAN DE DRINKWATERWINNING.

#### 4.1.5 Relatie $ET_A$ en verlaging van de grondwaterstand als gevolg van de drinkwaterwinning

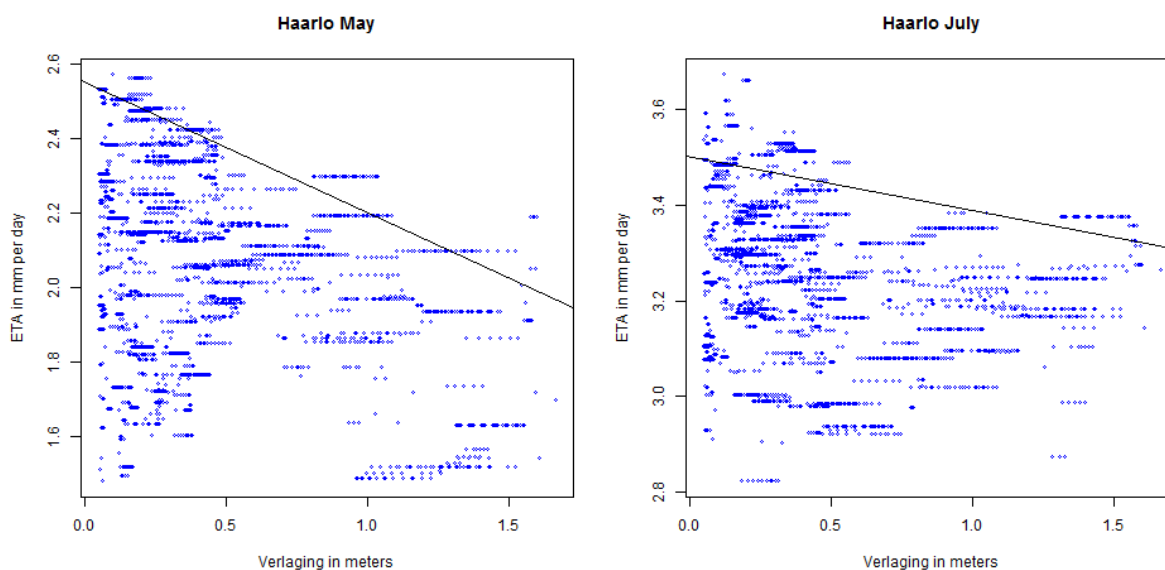
De verwachting is dat bij een grotere verlaging de  $ET_A$  lager is. De relatie  $ET_A$  en verlaging van de grondwaterstand heeft dan een negatieve trend. Dit is in alle maanden het geval. Dit relatie is het sterkst aan het einde van het voorjaar (mei). Bij iedere meter verlaging neemt de (gemiddelde)  $ET_A$  af met 0,351mm.

TABEL 15. HELLINGSHOEK VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE VERLAGING (PER MAAND).

		Maart	April	Mei	Juni	Juli	Aug	Sept
H1	Hellingshoek	-0,029	-0,192	-0,351	-0,190	-0,113	-0,113	-0,069

De relatie  $ET_A$  en verlaging van de grondwaterstand als gevolg van de drinkwaterwinning laat aan het begin van het groeiseizoen, vooral in april en mei, een sterk negatieve trend zien. Binnen het gebied met een grote verlaging ( $> 0,5m$ ) komen géén hoge actuele verdampingswaarden voor. Dit duidt mogelijk op een vochttekort, omdat bij geringe verlaging ( $< 0,5m$ ) wel een hogere  $ET_A$  wordt waargenomen (Figuur 23). De strepen die te zien zijn in de figuur zijn het gevolg van de aanpassing van het onderzoeksgebied naar exact dezelfde uitsnede en dezelfde celgrootte voor alle gebruikte kaartbeelden. Hierdoor is de waarde uit de oorspronkelijke cel van 250 x 250 meter toegekend aan 100 cellen van 25 x 25 meter. Hierdoor lijkt het dat er over deze afstand van maximaal 250 meter géén verandering optreedt en er dan opeens sprake is van een sprong. Dit zal de relatie slechts in geringe mate beïnvloeden, echter de berekende p-waarde is hierdoor niet bruikbaar.

Binnen de invloed van de drinkwaterwinning is sprake van een trend tussen de  $ET_A$  en de verlaging als gevolg van de drinkwaterwinning gedurende het gehele groeiseizoen (maart t/m september). In april en mei is dit verband het sterkst. Opgemerkt moet worden dat verlaging ook een relatie heeft met de afstand; de verlaging is immers het grootst nabij de drinkwaterwinning. Dit verband is echter niet lineair.

FIGUUR 23  $ET_A$  IN MEI (LINKS) EN JULI (RECHTS) TEGEN VERLAGING ALS GEVOLG VAN DE DRINKWATERWINNING.



#### 4.1.6 Relatie $ET_A$ en afstand tot de drinkwaterwinning of verlaging per deelgebied

Voor de ligging van de deelgebieden zie paragraaf 4.1.3 (de kaarten in Figuur 18 t/m Figuur 21).

##### Noordwestelijk deelgebied

Het noordwestelijk deelgebied (Figuur 18) laat over het gehele groeiseizoen, met uitzondering van de maand september, de verwachte trend tussen  $ET_A$  en afstand tot de winning zien (Tabel 16). De relatie in september is (zwak) tegengesteld aan de verwachting. De relatie tussen  $ET_A$  en de verlaging is in alle maanden volgens de verwachting (Tabel 17). De relatie is in beide gevallen het sterkst aan het einde van het voorjaar (april/mei).

TABEL 16. HELLINGSHOEK VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR HET NOORDWESTELIJKE DEELGEBIED.

	ETA03 (maart)	ETA04 (april)	ETA05 (mei)	ETA06 (juni)	ETA07 (juli)	ETA08 (augustus)	ETA09 (september)
Hellingshoek	0,004	0,077	0,106	0,010	0,008	0,008	-0,004

TABEL 17. HELLINGSHOEK VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE VERLAGING VOOR HET NOORDWESTELIJK DEELGEBIED.

	ETA03 (maart)	ETA04 (april)	ETA05 (mei)	ETA06 (juni)	ETA07 (juli)	ETA08 (augustus)	ETA09 (september)
Hellingshoek	0,000	-0,337	-0,637	-0,063	-0,074	-0,074	-0,030

##### Noordoostelijk deelgebied

Het noordoostelijk deelgebied (Figuur 19) laat over het gehele groeiseizoen de verwachte trend tussen  $ET_A$  en zowel afstand tot de winning zien (Tabel 16) als ook de verlaging (Tabel 19). De relatie is in beide gevallen sterkst aan het einde van het voorjaar (mei), maar ook in de zomermaanden geldt in dit gebied een sterke relatie tussen  $ET_A$  en de afstand tot de winning.

TABEL 18. HELLINGSHOEK VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR HET NOORDOOSTELIJK DEELGEBIED.

	ETA03	ETA04	ETA05	ETA06	ETA07	ETA08	ETA09
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)
Hellingshoek	0,005	0,008	0,026	0,027	0,044	0,044	0,020

TABEL 19. HELLINGSHOEK VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE VERLAGING VOOR HET NOORDOOSTELIJK DEELGEBIED.

	ETA03	ETA04	ETA05	ETA06	ETA07	ETA08	ETA09
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)
Hellingshoek	-0,021	-0,114	-0,359	-0,104	-0,184	-0,184	-0,097

### Zuidoostelijk deelgebied

Het zuidoostelijk deelgebied (figuur 20) laat vooral in de zomermaanden (juni, juli en augustus) een relatie zien tussen  $ET_A$  en afstand tot de winning zien (Tabel 20). De relatie is niet heel sterk en in de maanden maart, mei en september is de relatie zelfs tegen gesteld aan de verwachting. De relatie tussen  $ET_A$  en de verlaging is in de maanden april en september tegengesteld aan de verwachting (Tabel 21). Ook hier is dus vooral in de zomermaanden (juni, juli en augustus) sprake van een verwachte relatie.

TABEL 20. HELLINGSHOEK VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR HET ZUIDOOSTELIJK DEELGEBIED.

	ETA03	ETA04	ETA05	ETA06	ETA07	ETA08	ETA09
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)
Hellingshoek	-0,001	0,006	-0,032	0,031	0,015	0,015	-0,015

TABEL 21. HELLINGSHOEK VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE VERLAGING VOOR HET ZUIDOOSTELIJK DEELGEBIED.

	ETA03	ETA04	ETA05	ETA06	ETA07	ETA08	ETA09
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)
Hellingshoek	-0,043	0,120	-0,130	-0,278	-0,341	-0,341	0,582

### Zuidwestelijk deelgebied

Het zuidwestelijk deelgebied (Figuur 21) laat in de zomermaanden (juli en augustus) een trend zien tussen  $ET_A$  en zowel afstand tot de winning zien (Tabel 22) als ook de verlaging (Tabel 23) die tegengesteld is aan de verwachting. In de voorjaar (mei) is de relatie het sterkst.

TABEL 22. HELLINGSHOEK VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR HET ZUIDWESTELIJK DEELGEBIED.

	ETA03	ETA04	ETA05	ETA06	ETA07	ETA08	ETA09
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)
Hellingshoek	0,006	0,013	0,048	0,043	-0,029	-0,029	0,002

TABEL 23. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE VERLAGING VOOR HET ZUIDWESTELIJK DEELGEBIED.

	ETA03	ETA04	ETA05	ETA06	ETA07	ETA08	ETA09
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)
Hellingshoek	-0,095	-0,190	-0,512	-0,240	1,017	1,017	-0,048

### Constateringen voor alle deelgebieden

De trends verschillen van deelgebied tot deelgebied. Vooral de westelijke deelgebieden zijn de relaties sterker. De sterkste relaties worden voornamelijk in het voorjaar gevonden. De trends in de zomermaanden zijn kleiner, aan het einde van de zomer zelfs vaak tegengesteld. Uitzondering hierop is het zuidoostelijke deelgebied, waar de relatie alleen juist alleen in de zomermaanden volgens de verwachting is. Daarbij moet opgemerkt worden dat waterwingebied zelf niet in de zuidelijke deelgebieden ligt. De afstand van het eerste perceel ligt bij een afstand van circa 1 km en de maximale verlaging is slechts 50 cm. De relatie wordt hierdoor mogelijk sterk beïnvloed.

#### 4.1.7 Gevoeligheidsanalyse

In dit onderzoek is gekozen voor het 90% kwantiel. De hogere waarden zullen, ongeacht de invloed van de drinkwaterwinning, het gevolg zijn van zeer intensief beheer. Bijvoorbeeld een proactief beleid met bodemverbetering en beregening. De lagere kwantielen kunnen naast droogteschade ook sterk beïnvloed zijn door externe invloeden, zoals 'structuurbederf', 'bemesting' of randeffecten. Denk hierbij aan schaduwwerking van bomen, of drainage door kavelsloten. Ook kunnen de pixels van de Remote Sensing producten uit een gemengd signaal bestaan als de pixel maar voor deel uit agrarisch grasland bestand.

Bij een kleine spreiding zal de keuze voor het kwantiel minder gevoelig zijn, toch is de gekozen waarde enigszins arbitrair. Daarom is met een gevoeligheidsanalyse is gekeken of de uitkomst van het 70%, 80% en 85% kwantiel grote verschillen in resultaten vertonen in vergelijking met de uitkomst voor het 90% kwantiel. De resultaten voor de NDVI en de  $ET_A$  zijn respectievelijk weergegeven in Tabel 24 en Tabel 25

TABEL 24. RELATIE VAN DE NDVI TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR VERSCHILLENDE KWANTIENEN.  
RODE MARKERING DUIDT INSIGNIFICANT AAN.

	NDVI03	NDVI04	NDVI05	NDVI06	NDVI07	NDVI08	NDVI09	NDVIMAX
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)	
H1 (90%)	0,018	0,008	0,008	0,029	0,000	0,001	0,016	0,005
H1 (85%)	0,021	0,011	0,010	0,037	0,002	0,002	0,016	0,007
H1 (80%)	0,019	0,019	0,010	0,031	0,002	0,003	0,019	0,009
H1 (70%)	0,027	0,017	0,011	0,011	0,000	0,000	0,023	0,011

Hoewel de relaties per maand verschillend zijn voor de verschillende kwantielen, is de richting en de mate wel vergelijkbaar. Het zijn dezelfde maanden (juli en augustus) die nauwelijks een relatie vertonen en die niet significant zijn. Ook geldt voor alle kwantielen dat de relatie in de maand juni het sterkste is. Opmerkelijk is wel dat de sterkte van de relatie lijkt toe te nemen bij een lager kwantiel, met uitzondering van de maand juni. Daar is het 70% kwantiel weinig onderscheidend, terwijl het 85% kwantiel een veel groter verschil laat zien.

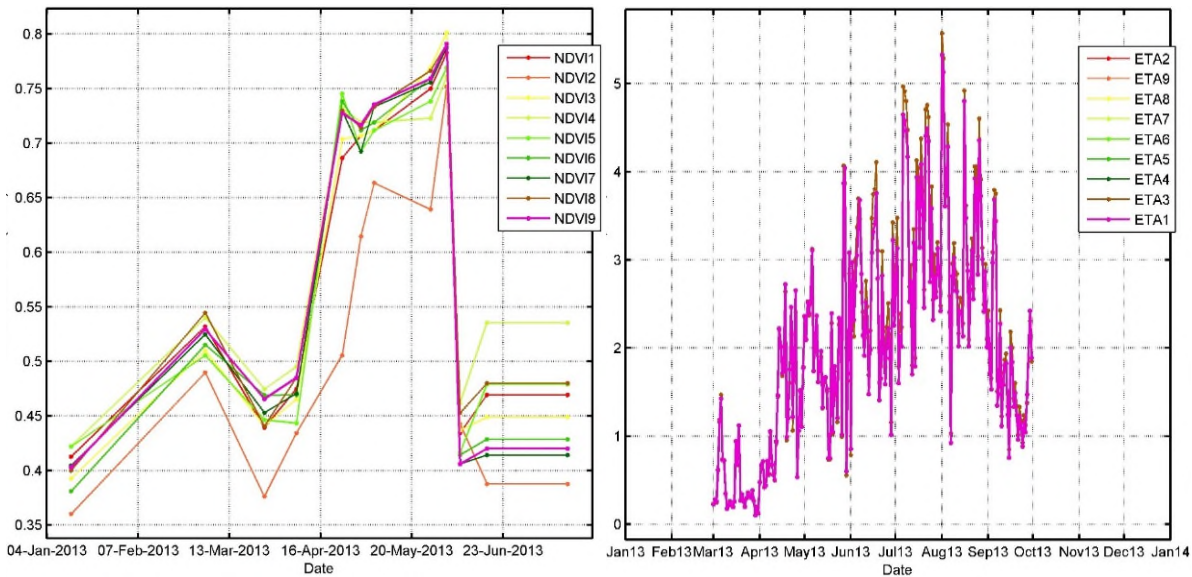
TABEL 25. RELATIE VAN DE ET<sub>A</sub> TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR VERSCHILLENDE KWANTIENEN.

	ETA03	ETA04	ETA05	ETA06	ETA07	ETA08	ETA09
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)
H1 (90%)	0,022	0,108	0,204	0,039	0,048	0,048	0,021
H1 (85%)	0,022	0,109	0,221	-0,023	0,088	0,088	0,036
H1 (80%)	0,018	0,110	0,273	0,003	0,081	0,081	0,039
H1 (70%)	0,008	0,119	0,318	-0,058	0,069	0,069	0,008

Hoewel ook hier de relaties per maand verschillend zijn voor de verschillende kwantielen, is de richting en de mate nog steeds vergelijkbaar. Het is ook dezelfde maand (juni) die een minder sterke relatie vertoont, of zelfs tegengesteld kan zijn. Ook geldt voor alle kwantielen dat de relatie in de maand mei het sterkste is.

#### 4.1.8 Tijdreeksen binnen een veld

Om de variatie binnen een veld te vergelijken is random een perceel gekozen (zie Figuur 11). Binnen dit veld zijn de punten 1 t/m 4 langs rand geplaatst. De rest van de punten zijn in het veld geplaatst. De tijdreeksen zijn weergegeven in Figuur 24. De reeksen komen nagenoeg met elkaar overeen. Alleen de tijdreeks van NDVI8 wijkt duidelijk af met een lager gelegen waarde.



FIGUUR 24 TIJDREKSEN BINNEN EEN VELD. LINKS: NDVI [-], RECHTS: ET<sub>A</sub> [MM/D]

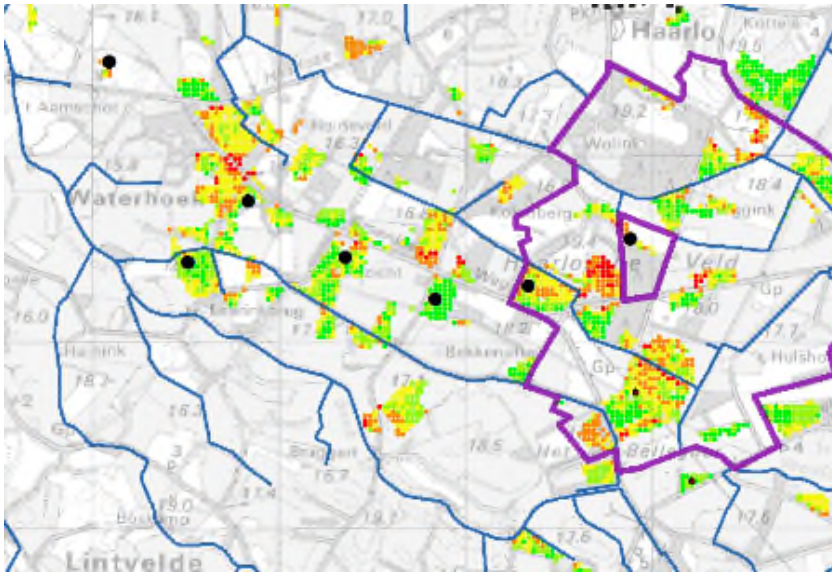
#### 4.1.9 Tijdreeksen in een raai

In een drietal raaien zijn tijdreeksen gemaakt van de NDVI en de ET<sub>A</sub>. Er is gekozen voor een vaste afstand van ca. 0,5 km tussen de punten. Door de vereiste combinatie van landgebruik en bodemtype liggen de punten niet per se op een rechte lijn. Het punt is wel steeds midden in het perceel gekozen om het randeffect zo veel mogelijk te beperken.

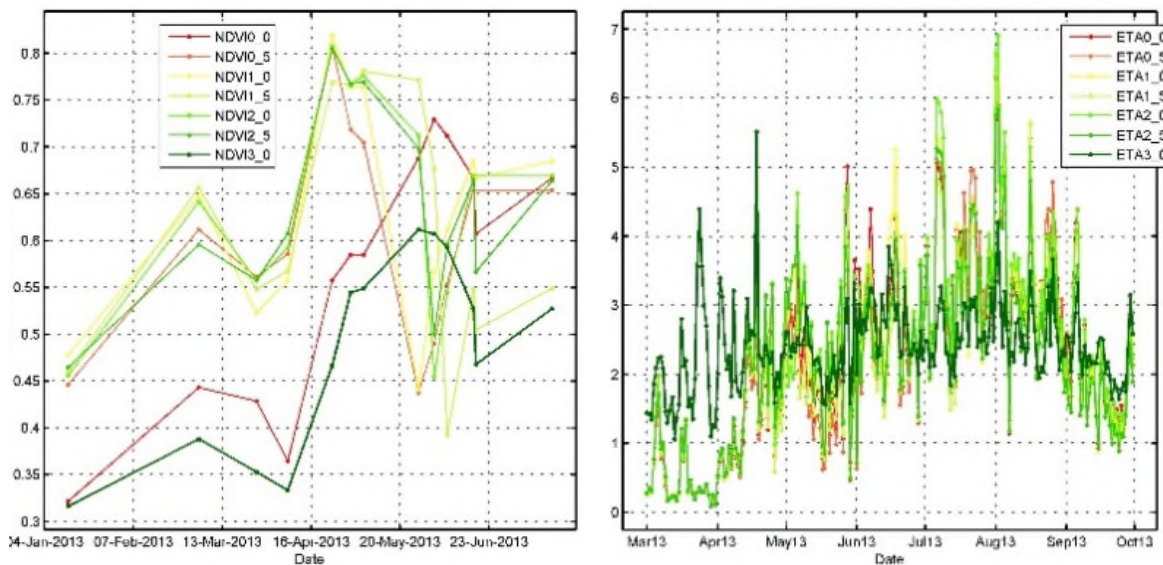
##### Raai 1 (Westelijke richting)

Het eerste punt bevindt zich in het waterwingebied (0 m). Deze tijdreeks laat zeer lage NDVI-waarden zien in vergelijking met de punten op 0,5 tot 2,5 kilometer afstand. Het laatste punt, op 3,0 km afstand tot de winning, laat ook zeer lage NDVI-waarden zien. Dit punt is zeer dicht bij de bebouwde kom van Borculo gelegen.

De ET<sub>A</sub> in de periode mei en juli laat voor de eerste drie punten, op een afstand tot 1 kilometer van het puttenveld, enkel zeer lage waarden laten zien. Daarbuiten zijn de verschillen zeer klein, waarbij het punt dat zich in het waterwingebied bevindt af en toe wat hogere waarden lijkt te geven.



FIGUUR 25 LIGGING VAN DE PUNTEN VOOR DE TIJDREKSEN VAN RAAI 1.

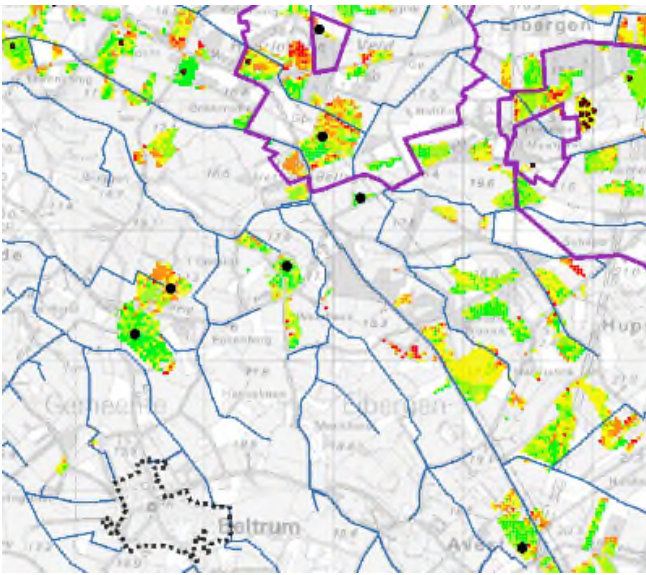
FIGUUR 26 TIJDREKSEN VAN DE NDVI (LINKS) EN  $ET_A$  (RECHTS) IN RAAI 1 (FIGUUR 25). IN DE NAAMGEVING STAAT DE AFSTAND TOT DE WINNING (BIJ BENADERING).

### Raai 2 (Zuidelijke richting)

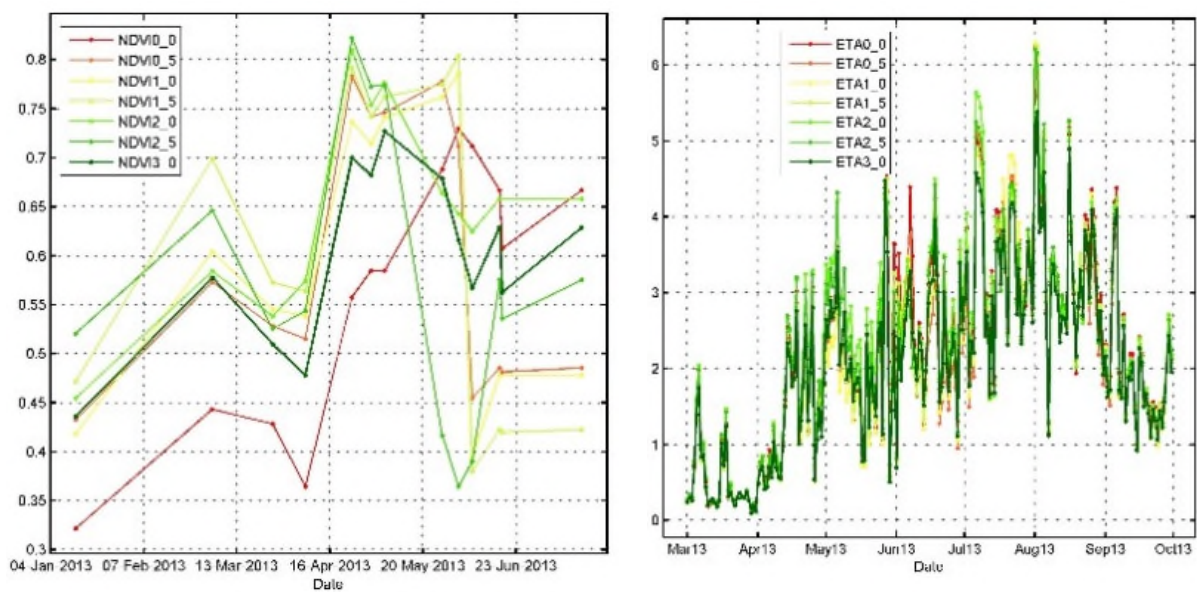
Het eerste punt bevindt zich in het waterwingebied (0 m) en is gelijk aan het eerste punt in raai 1. Ook in deze raai laat het eerste punt zeer lage NDVI-waarden zien in vergelijking met de andere percelen in deze raai. Opmerkelijk is ook hier dat het laatste punt, op 3,0 km afstand tot de winning, iets achter blijft.

De NDVI-waarde op 2,5 km afstand van de winning daalt in juni zeer drastisch van 0,78 naar 0,36. Deze waarde is maar net iets hoger dan kale grond. Vervolgens herstelt de NDVI snel en komt opnieuw tot hogere waarden dan de percelen tot en met 1,0 km afstand van de winning.

De  $ET_A$  tot en met 1,0 km afstand tot de winning zijn iets lager dan de percelen op een grotere afstand, maar de verschillen zijn klein. Uitzondering is het perceel dat zich in het waterwingebied bevindt; deze laat in de maanden juni duidelijk hogere waarden zien.



FIGUUR 27 LIGGING VAN DE PUNTEN VOOR DE TIJDREEKSEN VAN RAAI 2.



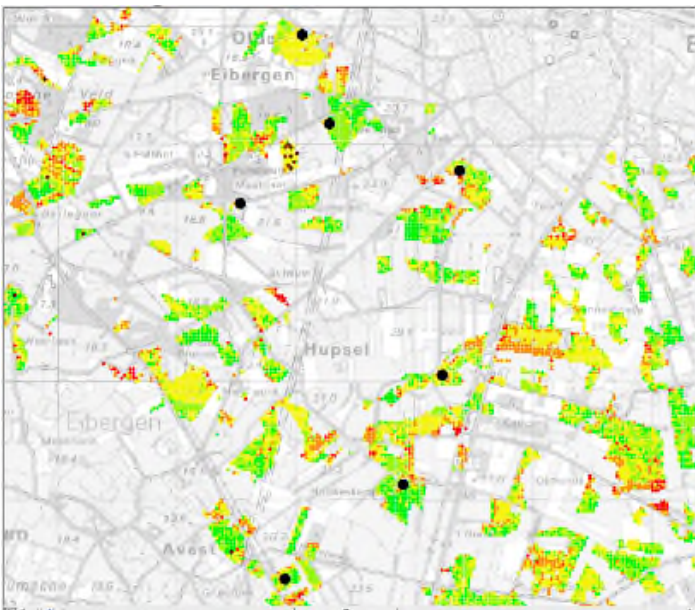
FIGUUR 28 TIJDREEKSEN VAN DE NDVI (LINKS) EN  $ET_A$  (RECHTS) IN RAAI 2 (FIGUUR 27). IN DE NAAMGEVING STAAT DE AFSTAND TOT DE WINNING (BIJ BENADERING).

### Raai 3 (Zuidoostelijke richting)

In deze raai is een ander eerste punt gekozen, dat zich niet buiten het waterwingebied bevindt. De tijdreeks laat zien dat op dit perceel de NDVI moeizaam stijgt naar de maximale waarde, die ook beduidend lager ligt dan het maximum van de andere percelen.

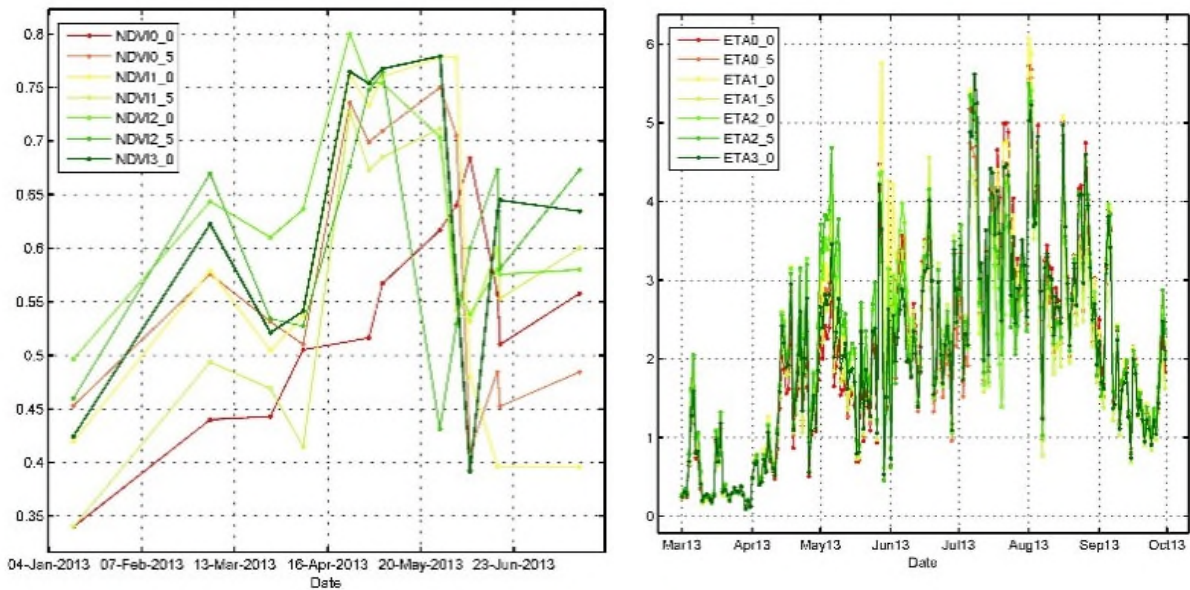
Het punt op 0,5 km laat een minder steile toename in NDVI zien, zowel na de winter als na de 2<sup>e</sup> snede in juni. De percelen op meer dan 2,0 km afstand tot de winning stijgen uiteindelijk ook tot een hogere NDVI-waarde dan de percelen dichterbij de winning.

De verschillen in  $ET_A$  zijn erg klein. De percelen tot en met 1,0 km afstand tot de winning zijn in de maanden april en mei iets lager dan de percelen op een grotere afstand.



FIGUUR 29 LIGGING VAN DE PUNTEN VOOR DE TIJDREEKSEN VAN RAAI 3.





FIGUUR 30 TIJDREEKSEN VAN DE NDVI (LINKS) EN ET<sub>A</sub> (RECHTS) IN RAAI 3. IN DE NAAMGEVING STAAT DE AFSTAND TOT DE WINNING (BIJ BENADERING).

### Constaties voor alle raaien

De percelen dicht bij de drinkwaterwinning ( $\leq 1,0$  km afstand tot de winning) blijven meestal iets achter; er is sprake van een lagere NDVI-waarde en ook laat de reeks soms een langzamer herstel van wat?? zien. De temporele variatie van ET<sub>A</sub> is van nature al erg groot, waardoor de verschillen hier minder duidelijk zijn. Ook hier lijken de punten dicht bij de winning wel vaker iets achter te blijven. Bij de punten op een grotere afstand zijn de verschillen minder duidelijk. Bij raai 1 en 2 wijkt het punt op 3,0 km afstand sterk af. Het aannemelijk is dat deze wordt beïnvloed door een externe factor.

#### 4.1.10 Grassneden

Het kan zijn dat dezelfde maximale NDVI-waarde wordt bereikt, maar dat de tijd die daarvoor nodig is langer is waardoor er minder vaak gemaaid kant worden. Het gemiddelde aantal grassneden binnen het invloedsgebied (H1) ligt iets hoger van daarbuiten (Tabel 26). Het verschil van 0.01 is een verschil van  $<0,5\%$ .

Daarnaast is gekeken naar een trend in het aantal sneden (Tabel 27). Voor de percelen binnen de invloed van de drinkwaterwinning (H1) is hier een forse positieve trend zichtbaar. Bij de relatie tussen het aantal sneden en de verlaging is een duidelijke negatieve trend zichtbaar. Buiten de invloed van de drinkwaterwinning (H0) wordt een zwakke trend gevonden. Ook het verschil in trend binnen (H1) en buiten (H0) de invloed van de drinkwaterwinning is fors, wat de significantie van de trend bevestigt.

TABEL 26. GEMIDDELD AANTAL SNEDEN BINNEN (H1) EN BUITEN (H0) DE INVLOED VAN DE DRINKWATERWINNING

	Snedes
H1	1,97
H0	1,96
Vershil	0,01

TABEL 27. RELATIE EN FOUT (P-WAARDE) VAN HET AANTAL SNEDEN BIJ VERSCHILLENDE MOGELIJKE BEÏNVLOEDING DOOR DE DRINKWATERWINNING..

Snedes	H1	H0	Verlaging
Hellingshoek	0,472	0,020	-0,196
P	0,047	0,005	0,050

#### 4.1.11 Hersteltijd

Naast het aantal grassnedes, kan ook de hersteltijd na de snede worden beoordeeld. Wanneer onvoldoende vocht beschikbaar is, zal de hersteltijd na een snede toenemen. Er is op twee manieren bekeken of de hersteltijd dichterbij de winning anders is, dan buiten de invloed van de winning.

De hersteltijd buiten de invloed van de drinkwaterwinning (H0) is iets korter dan de hersteltijd binnen de invloed van de drinkwaterwinning (H1). Het verschil van <1 dag is niet significant, mede door veel hogere tijdsinterval van beschikbare NDVI-waarden.

Binnen de invloed van de drinkwaterwinning wordt een negatieve relatie gevonden. Met toenemende afstand neemt de hersteltijd af. Hetzelfde oordeel geldt wanneer naar de verlaging wordt gekeken. Bij een toenemende verlaging, neemt de hersteltijd toe. Buiten de invloed van de onttrekking wordt geen significante relatie gevonden. Ook het verschil in trend binnen (H1) en buiten (H0) de invloed van de drinkwaterwinning is fors, wat de significantie van de trend bevestigt.

TABEL 28. GEMIDDELD HERSTELTIJD BINNEN (H1) EN BUITEN (H0) DE INVLOED VAN DE DRINKWATERWINNING

	Hersteltijd
H1	28.90
H0	28.43
Vershil	-0,47

TABEL 29. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE HERSTELTIJD BIJ VERSCHILLENDE MOGELIJKE BEÏNVLOEDING DOOR DE DRINKWATERWINNING.

Hersteltijd	H1	H0	Verlaging
Hellingshoek	-3.046	-0,0876	2,340
P	0,771	0,0787	0,825

## 4.2 Vessem

### 4.2.1 Relatie NDVI en afstand tot de drinkwaterwinning binnen en buiten de invloed van de drinkwaterwinning

Om de hypothesen te toetsen is Vessem (V) in twee zones verdeeld: de invloedzone van de winning (V1) en het gebied dat buiten de invloed van de winning ligt (V0).

Tabel 30 geeft een overzicht van de gemiddelde NDVI per maand binnen en buitende de invloed van de drinkwaterwinning. Er wordt verwacht dat de NDVI hoger is buiten de invloed en dat is nagenoeg voor alle maanden het geval. In augustus is het omgekeerd, maar het verschil is zeer gering.

TABEL 30. GEMIDDELDE NDVI PER MAAND BINNEN (V1) EN BUITEN (V0) DE INVLOED VAN DE DRINKWATERWINNING.

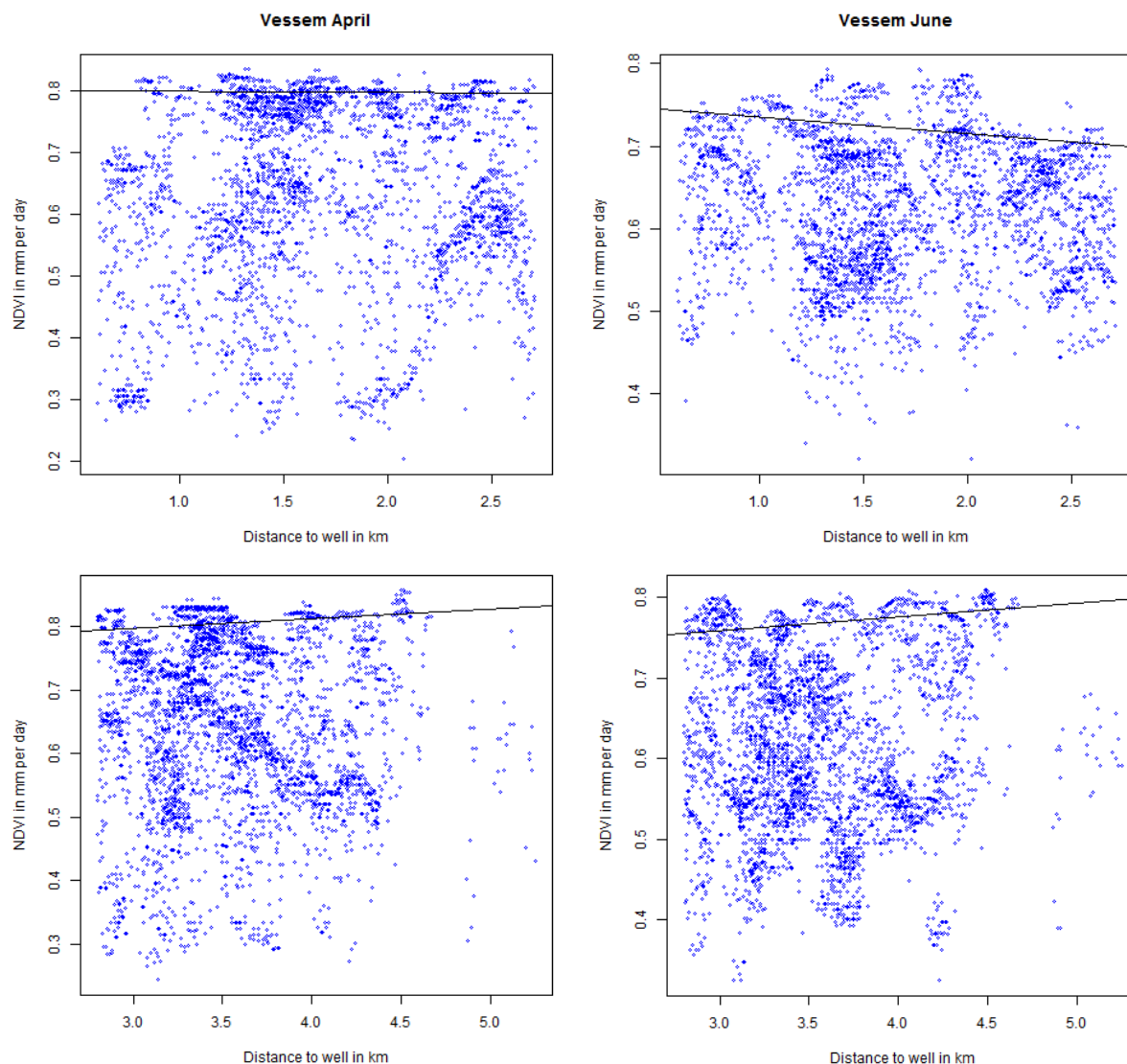
	NDVI03 (maart)	NDVI04 (april)	NDVI05 (mei)	NDVI06 (juni)	NDVI07 (juli)	NDVI08 (augustus)	NDVI09 (september)	NDVIMAX
V1	0,530	0,637	0,695	0,611	0,742	0,731	0,696	0,779
V0	0,546	0,648	0,708	0,634	0,763	0,726	0,734	0,792
Vershil	0,017	0,011	0,014	0,023	0,021	-0,005	0,038	0,013

De verwachting is een positieve trend tussen NDVI en afstand tot de drinkwaterwinning daar waar deze invloed heeft (V1). Dit is alleen (in beperkte mate) het geval in de maanden augustus en september (Tabel 31), waarbij in augustus de trend buiten de invloed van de drinkwaterwinning (V0) nagenoeg even groot is. Alleen in september is er dus echt sprake van een onderscheidende en significante trend. Een hellingshoek van 0,01 betekent dat iedere kilometer afstand de NDVI met 0,01 toe neemt. Aangezien de invloedafstand van de drinkwaterwinning ongeveer 3,0 km bedraagt, gaat het over een maximaal verschil van 0,03. De NDVI van een goed grasland ligt rond de 0,80. Een NDVI van 0,77 ligt daar net iets onder. Waarschijnlijk is dit verschil groot genoeg om merkbaar te zijn in de opbrengst van het gewas.

In de maanden mei en juni is er binnen de invloed van de drinkwaterwinning géén trend, of zelfs een licht negatieve trend waargenomen (zie ook Figuur 31). Buiten de invloed van de drinkwaterwinning (V0) is daarbij sprake van een licht positieve trend.

TABEL 31. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN AFTAND PER MAAND BINNEN EN BUITEN DE INVLOED VAN DE WATER ONTTREKKING.

		Maart	April	Mei	Juni	Juli	Aug	Sept	MAX
V1	Hellingshoek	-0,0069	-0,0021	0,0000	-0,0198	0,0000	0,0077	0,0104	0,0053
	P	0,0024	0,0015	0,0009	0,0024	0,0011	0,0009	0,0043	0,0012
V0	Hellingshoek	-0,0148	0,0149	0,0095	0,0169	0,0094	0,0074	-0,0113	-0,0036
	P	0,0021	0,0022	0,0013	0,0036	0,0009	0,0023	0,0025	0,0019



FIGUUR 31 NDVI IN APRIL (LINKS) EN JUNI (RECHTS) TEGEN AFSTAND BINNEN (BOVEN) EN BUITEN (ONDER) DE INVLOED VAN DE DRINKWATERWINNING.

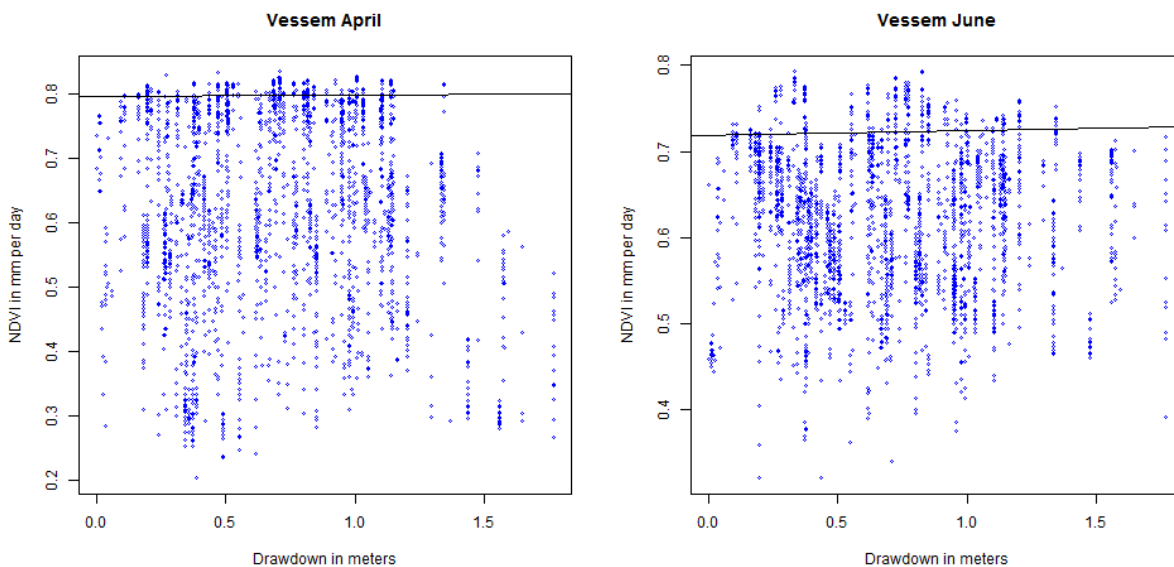
#### 4.2.2 Relatie NDVI en verlaging van de grondwaterstand als gevolg van de drinkwaterwinning

De verwachting is dat bij een grotere verlaging de NDVI lager is. De relatie NDVI en verlaging van de grondwaterstand heeft dan een negatieve trend. De verwachte negatieve trend wordt alleen gevonden voor de maanden maart en augustus. In augustus neemt met iedere meter verlaging de NDVI af met 0,019. De verlaging kan oplopen tot bijna 2 meter, wat voor augustus resulteert in een NDVI van 0,76 in plaats van 0,80.

In overige maanden is positieve relatie gevonden. Opgemerkt moet worden dat verlaging ook een relatie heeft met de afstand; de verlaging is immers het grootst nabij de drinkwaterwinning. Dit verband is echter niet lineair.

TABEL 32. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE VERLAGING (PER MAAND).

		Maart	April	Mei	Juni	Juli	Aug	Sept	MAX
V1	Hellingshoek	-0,0062	0,0019	0,0010	0,0060	0,0038	-0,0189	0,0521	0,0099
	P	0,0030	0,0026	0,0015	0,0044	0,0016	0,0013	0,0033	0,0021



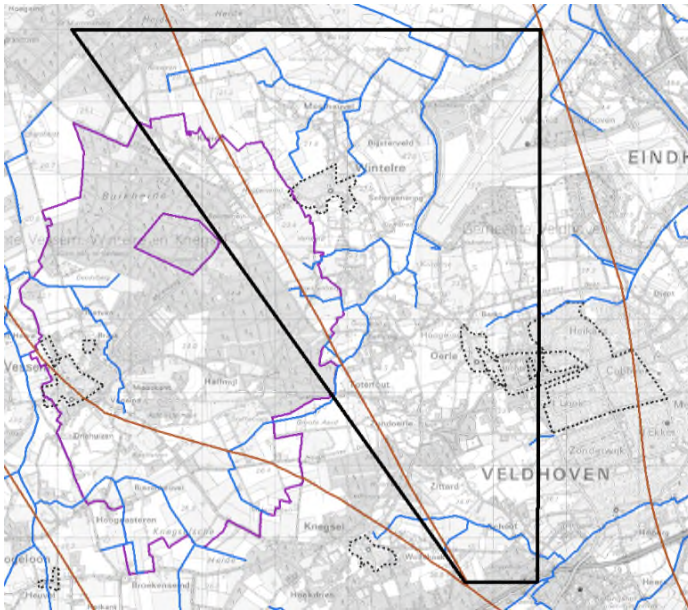
FIGUUR 32 NDVI IN MEI (LINKS) EN JULI (RECHTS) TEGEN VERLAGING ALS GEVOLG VAN DE DRINKWATERWINNING.

#### 4.2.3 Relatie NDVI en afstand tot de drinkwaterwinning of verlaging per deelgebied

Er zijn drie deelgebieden onderscheiden. In het zuidelijk deelgebied komt het gewenste bodemtype (Hn21) niet voor. Daarom is voor dit deelgebied géén detailanalyse is gemaakt. De overige twee deelgebieden worden hieronder beschreven.

##### Oostelijke deelgebied

Het oostelijk deelgebied (Figuur 33) laat voor de maanden maart, april, juni, juli en augustus een verwachte positieve trend zien tussen NDVI en afstand tot de drinkwaterwinning (Tabel 33) en voor de verlaging tegen de NDVI (Tabel 34).



FIGUUR 33. OOSTELIJK DEELGEBIED VAN VESSEM (ZWART OMLIJD) OP EEN TOPOGRAFISCHE ONDERGROND MET HET WATERWINGEBIED EN HET GRONDWATERBESCHERMINGSGEBIED (BEIDEN PAARS). DAARNAAST ZIJN WATERLOPEN (BLAUW) EN BREUKLIJNEN (BRUIN) WEERGEGEVEN.

TABEL 33. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR HET OOSTELIJK DEELGEBIED.

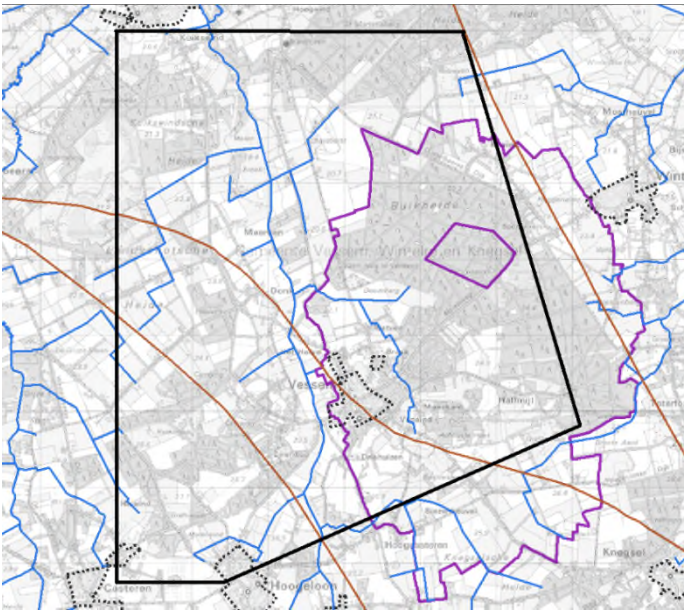
	NDVI03	NDVI04	NDVI05	NDVI06	NDVI07	NDVI08	NDVI09	NDVIMAX
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)	
Hellingshoek	0,008	0,001	-0,002	0,006	0,008	0,018	-0,006	-0,002
P	0,002	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001

TABEL 34. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE VERLAGING VOOR HET OOSTELIJK DEELGEBIED.

	NDVI03	NDVI04	NDVI05	NDVI06	NDVI07	NDVI08	NDVI09	NDVIMAX
	(maart)	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)	
Hellingshoek	-0,026	-0,012	0,006	-0,025	-0,030	-0,045	0,004	0,000
P	0,004	0,002	0,001	0,007	0,003	0,003	0,002	0,002

### Westelijk deelgebied

Het westelijke deelgebied (Figuur 34) laat voor de maanden april, mei, juni, september en de maximum NDVI over het groeiseizoen een verwachte trend zien tussen NDVI en afstand tot de drinkwaterwinning (Tabel 35) en voor de verlaging tegen de NDVI (Tabel 36). In de maand juni is alleen bij de afstand tot de drinkwaterwinning een lichte trend waarneembaar. Bij de verlaging is de hellingshoek 0.



FIGUUR 34. WESTELIJK DEELGEBIED VAN VESSEM (ZWART OMLIJD) OP EEN TOPOGRAFISCHE ONDERGROND MET HET WATERWINGEBIED EN HET GRONDWATERBESCHERMINGSGEBIED (BEIDEN PAARS). DAARNAAST ZIJN WATERLOPEN (BLAUW) EN BREUKLIJNEN (BRUIN) WEERGEGEVEN.

TABEL 35. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR HET WESTELIJK DEELGEBIED.

	NDVI03 (maart)	NDVI04 (april)	NDVI05 (mei)	NDVI06 (juni)	NDVI07 (juli)	NDVI08 (augustus)	NDVI09 (september)	NDVIMAX
Hellingshoek	-0,007	0,005	0,004	0,016	0,002	-0,001	0,023	0,007
P	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000



TABEL 36. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE NDVI TEGEN DE VERLAGING VOOR HET WESTELIJK DEELGEBIED.

	NDVI03 (maart)	NDVI04 (april)	NDVI05 (mei)	NDVI06 (juni)	NDVI07 (juli)	NDVI08 (augustus)	NDVI09 (september)	NDVIMAX
Hellingshoek	0,022	-0,004	-0,006	-0,041	0,000	0,002	-0,061	-0,014
P	0,003	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001	0,003	0,001

#### Constateringen voor alle deelgebieden

De significantie en sterkte van de relatie verschilt voor de deelgebieden van maand tot maand. Er is nauwelijks overeenkomst. In het oostelijke deel laten augustus, juli en maart de sterkste trends zien. Deze trends zijn dan in het westelijk deelgebied in tegengestelde richting of verwaarloosbaar klein. De sterkste relatie wordt voor het westelijk deelgebied juist gevonden voor de maand september gevolgd door juni. Alleen de maanden april en juni laat dus in beide deelgebieden een overeenkomstige trend zien. Ook spreken de deelgebieden elkaar in de maand juli niet tegen. De relatie in het westelijk deelgebied is dan alleen niet heel sterk.

#### 4.2.4 Relatie $ET_A$ en afstand tot de drinkwaterwinning binnen en buiten de invloed van de drinkwaterwinning

Om de hypothesen te toetsen is Vessem (V) in twee zones verdeeld: de invloedzone van de winning (V1) en het gebied dat buiten de invloed van de winning ligt (V0).

Volgens verwachting zijn de  $ET_A$  waarden buiten de invloed van de drinkwaterwinning hoger dan binnen de invloed van de drinkwaterwinning (Tabel 37). Dit verschil is het grootste aan het einde van het voorjaar (mei). Vanaf augustus is het verschil duidelijk kleiner.

TABEL 37 GEMIDDELDE  $ET_A$  PER MAAND BINNEN (V1) EN BUITEN (V0) DE INVLOED VAN DE DRINKWATERWINNING.

	ETA04 (april)	ETA05 (mei)	ETA06 (juni)	ETA07 (juli)	ETA08 (augustus)	ETA09 (september)
V1	1,749	2,014	2,372	3,472	3,346	2,086
V0	1,892	2,241	2,610	3,618	3,424	2,181
Vershil	0,143	0,227	0,238	0,146	0,078	0,095

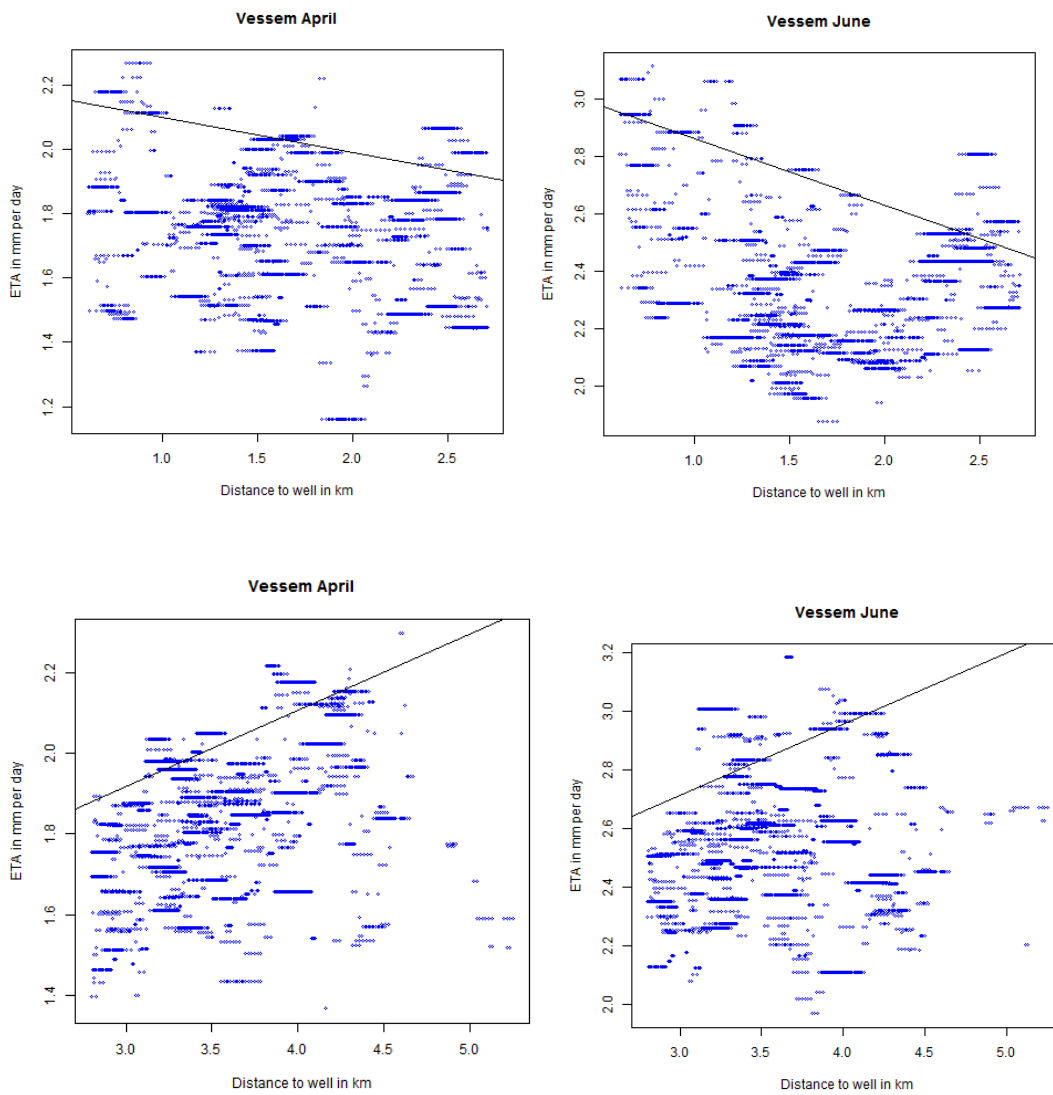
De relatie  $ET_A$  en afstand tot de drinkwaterwinning laat binnen het invloedsg gebied (V1) overwegend negatieve trends zien (Tabel 38). De trend in de maand juni is zelfs vrij sterk negatief (

Figuur 35). Alléén in augustus is sprake van een zwak positieve trend. Ook de relaties buiten het invloedsgebied (V0) laten hetzelfde onverwachte beeld zien, met sterk positieve trends. Alleen de maand juli laat de verwachte richting van de relatie zien.

De strepen die te zien zijn in de figuur zijn het gevolg van de aanpassing van het onderzoeksgebied naar exact dezelfde uitsnede en dezelfde celgrootte voor alle gebruikte kaartbeelden. Hierdoor is de waarde uit de oorspronkelijke cel van 250 x 250 meter toegekend aan 100 cellen van 25 x 25 meter. Hierdoor lijkt het dat er over deze afstand van maximaal 250 meter géén verandering optreedt en er dan opeens sprake is van een sprong. Dit zal de relatie slechts in geringe mate beïnvloeden, echter de berekende p-waarde is hierdoor niet bruikbaar.

TABEL 38. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING.

		April	Mei	Juni	Juli	Aug	Sept
V1	Hellingshoek	-0,110	-0,070	-0,232	-0,015	0,002	-0,043
V0	Hellingshoek	0,189	0,224	0,243	-0,332	0,330	0,256



FIGUUR 35  $ET_A$  IN APRIL (LINKS) EN JUNI (RECHTS) TEGEN AFSTAND BINNEN (BOVEN) EN BUITEN (ONDER) DE INVLOED VAN DE DRINKWATERWINNING.

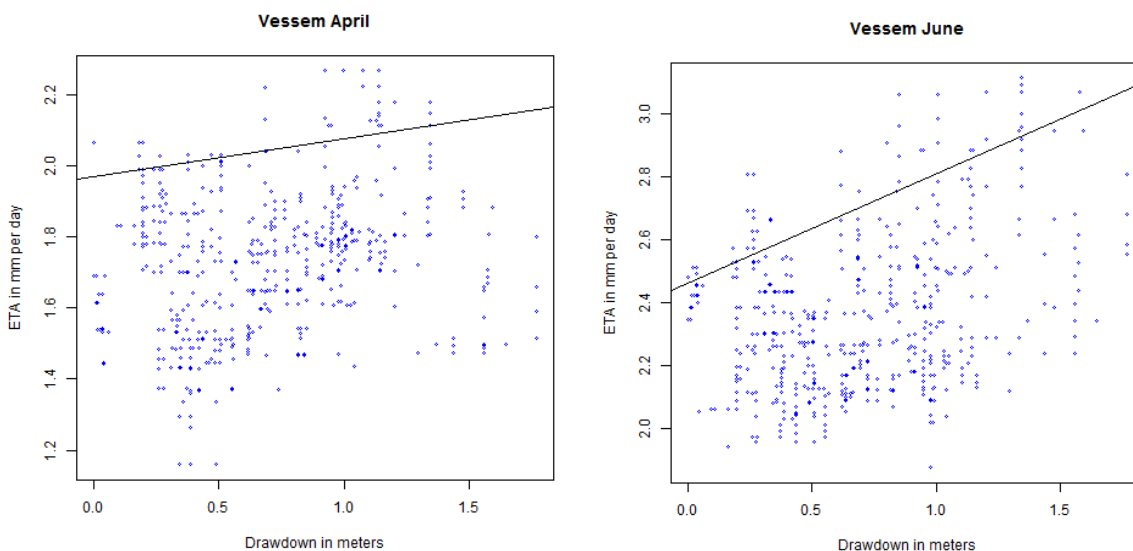
#### 4.2.5 Relatie $ET_A$ en verlaging van de grondwaterstand als gevolg van de drinkwaterwinning

De verwachting is dat bij een grotere verlaging de  $ET_A$  lager is. De relatie  $ET_A$  en verlaging van de grondwaterstand heeft dan een negatieve trend. Dit is in uitsluitend in augustus het geval (Tabel 39). De trend is het sterkst in juni. Bij iedere meter verlaging neemt de (gemiddelde)  $ET_A$  toe met 0,346mm. Geheel tegengesteld aan de verwachting.

TABEL 39. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE VERLAGING (PER MAAND).

		ETA04 (april)	ETA05 (mei)	ETA06 (juni)	ETA07 (juli)	ETA08 (augustus)	ETA09 (september)
V1	Relatie	0,107	0,095	0,346	0,014	-0,013	0,059

Uit figuur 36 blijkt dat de positieve trend sterk wordt beïnvloed door de lage  $ET_A$  waarden die voorkomen in het gebied waarbij de verlaging <0,5 meter bedraagt. In de figuren is te zien dat in de maand april er een zeer lage  $ET_A$  wordt weergegeven wanneer de verlaging meer dan ca. 1,3 meter bedraagt. De relatie wordt mogelijk ook door externe factoren sterk beïnvloed. Opgemerkt moet worden dat verlaging ook een relatie heeft met de afstand; de verlaging is immers het grootst nabij de drinkwaterwinning. Dit verband is echter niet lineair.



FIGUUR 36  $ET_A$  IN MEI (LINKS) EN JULI (RECHTS) TEGEN VERLAGING ALS GEVOLG VAN DE DRINKWATERWINNING.

#### 4.2.6 Relatie $ET_A$ en afstand tot de drinkwaterwinning of verlaging per deelgebied

Voor de ligging van de deelgebieden zie paragraaf 4.2.3 (de kaarten in Figuur 33 en Figuur 34).

##### Oostelijke deelgebied

Het oostelijk deelgebied (Figuur 33) laat voor de maanden mei en juni de verwachte relatie tussen  $ET_A$  en afstand tot de winning zien (Tabel 40). De trend in april is negatief, alleen is deze trend zeer gering. De sterkste trend wordt waargenomen in mei.

De verlaging tegen de  $ET_A$  laat eveneens voor de mei en juni de verwachte trend zien (Tabel 41). De sterkste trend wordt ook hier waargenomen in mei.

TABEL 40. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR HET OOSTELIJK DEELGEBIED.

	ETA04	ETA05	ETA06	ETA07	ETA08	ETA09
	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)
Helingshoek	-0,002	0,058	0,013	-0,031	-0,040	-0,005

TABEL 41. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE VERLAGING VOOR HET OOSTELIJK DEELGEBIED.

	ETA04	ETA05	ETA06	ETA07	ETA08	ETA09
	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)
Helingshoek	0,015	-0,168	-0,010	0,129	0,125	0,017

### Westelijk deelgebied

Het westelijke deelgebied (Figuur 34) laat voor alle maanden de verwachte trend tussen  $ET_A$  tegen de afstand tot de winning (Tabel 42).  $ET_A$  tegen de verlaging laat alleen voor april en juni niet de verwachte trend zien (Tabel 43). De sterkste trend wordt in beide gevallen waargenomen in augustus.

TABEL 42. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR HET WESTELIJK DEELGEBIED.

	ETA04	ETA05	ETA06	ETA07	ETA08	ETA09
	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)
Helingshoek	0,033	0,069	0,021	0,014	0,108	0,078

TABEL 43. HELLINGSHOEK EN P-WAARDE VAN DE 90% KWANTIEL VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE VERLAGING VOOR HET WESTELIJK DEELGEBIED.

	ETA04 (april)	ETA05 (mei)	ETA06 (juni)	ETA07 (juli)	ETA08 (augustus)	ETA09 (september)
Helingshoek	0,066	-0,132	0,027	-0,048	-0,225	-0,099

#### Constateringen voor alle deelgebieden

De significantie en sterkte van de relatie verschilt voor de deelgebieden van maand tot maand. De sterkste relaties worden voornamelijk in het voorjaar gevonden. In mei worden in beide deelgebieden sterke trends waargenomen. In de zomermaanden juli, augustus en september wordt voor het oostelijke deelgebied een trend vastgesteld die tegengesteld is aan de verwachting. In het westelijk deelgebied zijn de trends dan juist sterk aanwezig.

#### 4.2.7 Gevoeligheidsanalyse

In dit onderzoek is gekozen voor het 90% kwantiel. De hogere waarden zullen, ongeacht de invloed van de drinkwaterwinning, het gevolg zijn van zeer intensief beheer. Bijvoorbeeld een proactief beleid met bodemverbetering en beregening. De lagere kwantielen kunnen naast droogteschade ook sterk beïnvloed zijn door externe invloeden, zoals 'structuurbederf', 'bemesting' of randeffecten. Denk hierbij aan schaduwwerking van bomen, of drainage door kavelsloten. Ook kunnen de pixels van de Remote Sensing producten uit een gemengd signaal bestaan als de pixel maar voor deel uit agrarisch grasland bestand.

Bij een kleine spreiding zal de keuze voor het kwantiel minder gevoelig zijn, toch is de gekozen waarde enigszins arbitrair. Daarom is met een gevoeligheidsanalyse gekeken of de uitkomst van het 85% en 95% kwantiel grote verschillen in resultaten vertonen in vergelijking met de uitkomst voor het 90% kwantiel. De resultaten voor de NDVI en de  $ET_A$  zijn respectievelijk weergegeven in Tabel 44 en Tabel 45. De gevoeligheidsanalyse is gedaan voor het westelijk deelgebied.

TABEL 44. RELATIE VAN DE NDVI TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR VERSCHILLENDE KWANTIELEN. RODE MARKERING DUIDT INSIGNIFICANT AAN.

	NDVI03 (maart)	NDVI04 (april)	NDVI05 (mei)	NDVI06 (juni)	NDVI07 (juli)	NDVI08 (augustus)	NDVI09 (september)	NDVIMAX
V1 (95%)	-0,008	0,003	0,004	0,014	0,003	0,002	0,021	0,009
V1 (90%)	-0,007	0,005	0,004	0,016	0,002	-0,001	0,023	0,007
V1 (85%)	-0,006	0,001	0,004	0,015	0,002	0,002	0,024	0,006

Hoewel de relaties per maand verschillend zijn voor de verschillende kwantielen, is de richting en de mate wel vergelijkbaar. Het zijn dezelfde maanden die nauwelijks een relatie vertonen en die niet significant zijn. Ook geldt voor alle kwantielen dat de relatie in de maand september, gevolgd door juni het sterkste is.

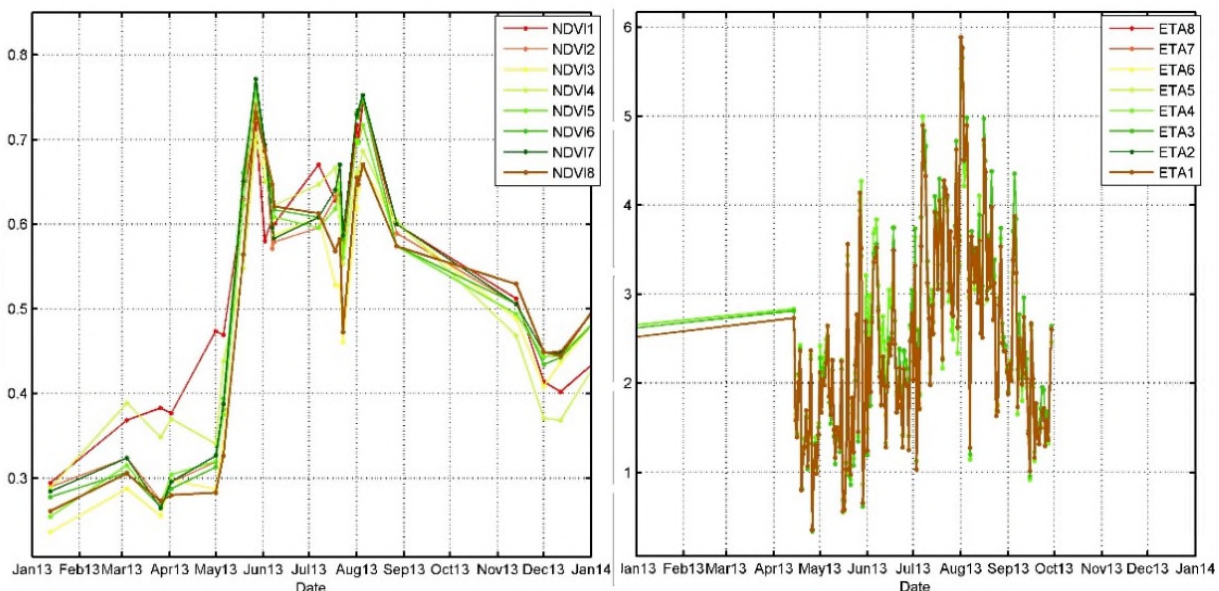
TABEL 45. RELATIE VAN DE  $ET_A$  TEGEN DE AFSTAND TOT DE WINNING VOOR VERSCHILLENDE KWANTIENEN.

	ETA04	ETA05	ETA06	ETA07	ETA08	ETA09
	(april)	(mei)	(juni)	(juli)	(augustus)	(september)
V1 (95%)	0,009	0,076	0,029	0,047	0,121	0,096
V1 (90%)	0,033	0,069	0,021	0,014	0,108	0,078
V1 (85%)	0,011	0,074	0,024	-0,019	0,105	0,062

Hoewel ook hier de relaties per maand verschillend zijn voor de verschillende kwantielen, is de richting en de mate redelijk vergelijkbaar. Opvallend zijn de grotere verschillen tussen de kwantielen in de maand april. Het is wel dezelfde maand (augustus) die de sterkste relatie vertoont.

#### 4.2.8 Tijdreeksen binnen een veld

Om de variatie binnen een veld te vergelijken is een random veld gekozen (zie Figuur 11). Binnen dit veld zijn de punten 1 t/m 4 langs rand geplaatst. De rest van de punten zijn in het veld geplaatst. De tijdreeksen zijn weergegeven in Figuur 37.



FIGUUR 37 TIJDREEKSEN BINNEN EEN VELD. LINKS: NDVI [-], RECHTS:  $ET_A$  [MM/D]

De tijdreeksen NDVI1 en NDVI4 laten een afwijkende tijdreeks zien. Het betreft twee reeksen die aan de rand van het perceel zijn geplaatst en mogelijk sterk beïnvloed worden door een 'randeffect'. In alle reeksen is hetzelfde

moment van maaien te herkennen. De verschillen tussen de tijdreeksen van de  $ET_A$  zijn verwaarloosbaar klein in verhouding tot de natuurlijke variatie van de actuele verdamping.

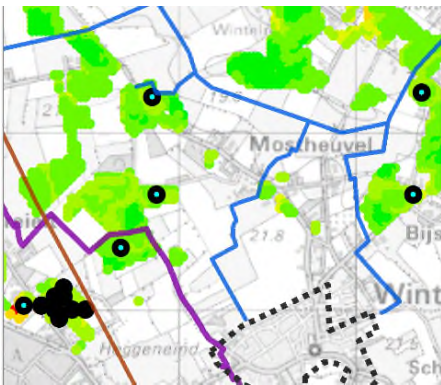
#### 4.2.9 Tijdreeksen in een raai

In een tweetal raaien zijn tijdreeksen gemaakt van de NDVI en de  $ET_A$ . Er is gekozen voor een vaste afstand van ca. 0,5 km tussen de punten. Door de vereiste combinatie van landgebruik en bodemtype liggen de punten niet per se op een rechte lijn. Het punt is wel steeds midden in het perceel gekozen om het randeffect zo veel mogelijk te beperken.

##### Raai 1 (Oostelijke richting)

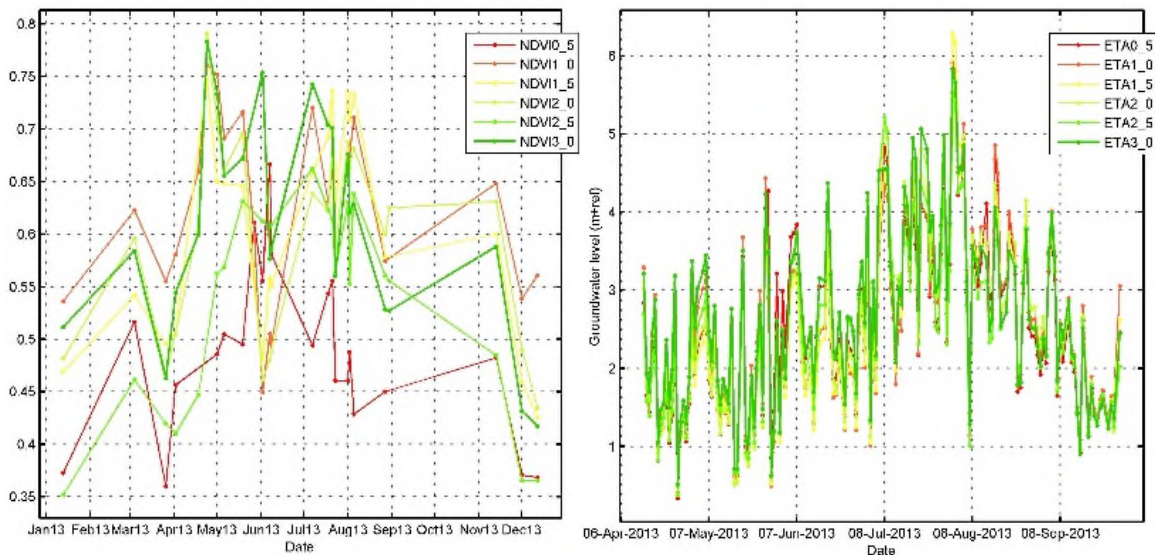
Het perceel op 0,5 km heeft gedurende het gehele jaar een lagere NDVI-waarde. Overige tijdreeksen volgen nagenoeg hetzelfde patroon, met uitzondering van het punt op circa 2,5 km afstand. Deze tijdreeks blijft door onbekende oorzaak iets achter op de rest.

De  $ET_A$  laat voor de percelen op 1,0 en 1,5 km iets lagere waarden zien, maar de verschillen zijn minimaal.



FIGUUR 38 LIGGING VAN DE PUNTEN VOOR DE TIJDREEKSEN VAN RAAI 1.





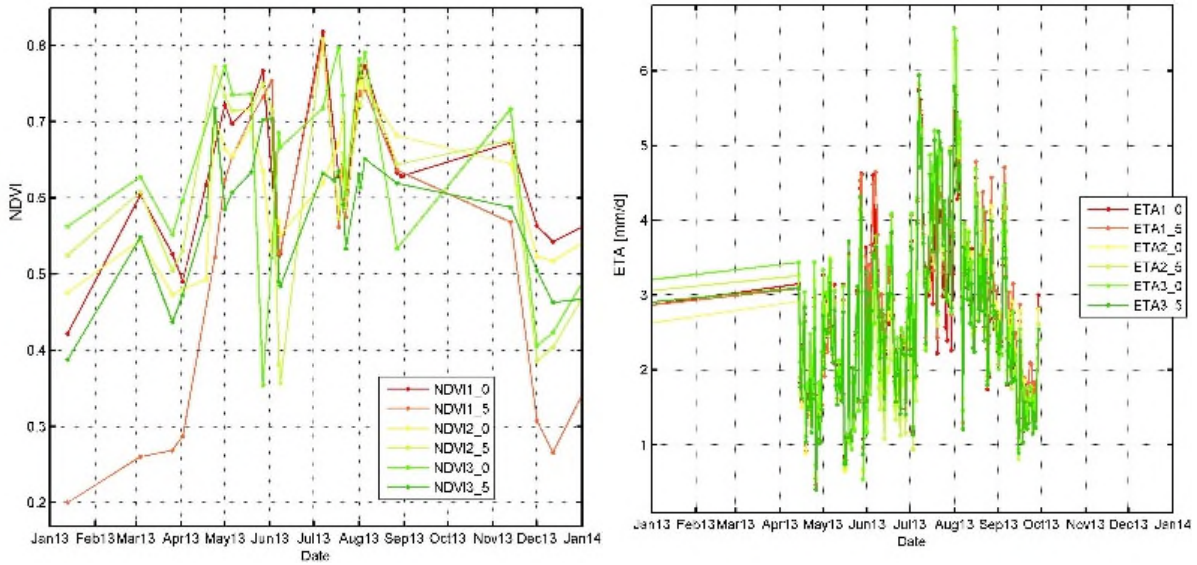
FIGUUR 39 TIJDREEKSEN VAN DE NDVI (LINKS) EN  $ET_A$  (RECHTS) IN RAAI 1 (FIGUUR 38). IN DE NAAMGEVING STAAT DE AFSTAND TOT DE WINNING (BIJ BENADERING).

### Raai 2 (Westelijke richting)

De NDVI in de tijdreeks op circa 1,0 km afstand blijft in het begin van het groeiseizoen duidelijk achter. De overige tijdreeksen komen nagenoeg met elkaar overeen en bereiken ook allen overeenkomstige maximale waarden. In de tijdreeksen van de  $ET_A$  laat de reeks die het dichtst bij de winning een positieve uitschieter zien in de eerste weken van juni. Dit is niet het gevolg van een uitgestelde snede, getuigd de gelijktijdige verlaging in NDVI. De overige verschillen in  $ET_A$  zijn minimaal.



FIGUUR 40 LIGGING VAN DE PUNTEN VOOR DE TIJDREEKSEN VAN RAAI 2.



FIGUUR 41 TIJDREEKSEN VAN DE NDVI (LINKS) EN ET<sub>A</sub> (RECHTS) IN RAAI 2 (FIGUUR 40). IN DE NAAMGEVING STAAT DE AFSTAND TOT DE WINNING (BIJ BENADERING).

#### 4.2.10 Grassneden

Het kan zijn dat dezelfde maximale NDVI-waarde wordt bereikt, maar dat de tijd die daarvoor nodig is langer is waardoor er minder vaak gemaaid kan worden. Het gemiddelde aantal grassneden binnen het invloedsgebied (V1) ligt hoger van daarbuiten (Tabel 46). Het verschil van 0,18 is een verschil van bijna 10%.

Daarnaast is gekeken naar een trend in het aantal sneden (Tabel 47). Voor de percelen binnen de invloed van de drinkwaterwinning (V1) is hier een forse positieve trend zichtbaar. Bij de relatie tussen het aantal sneden en de verlaging is een duidelijke negatieve trend zichtbaar. Buiten de invloed van de drinkwaterwinning (V0) wordt eveneens sterke trend gevonden. Het verschil in trend binnen (V1) en buiten (V0) de invloed van de drinkwaterwinning is zeer gering. Er is dus géén duidelijke aanwijzing van minder grassneden binnen het invloedsgebied van de winning.

TABEL 46. GEMIDDELD AANTAL SNEDEN BINNEN (V1) EN BUITEN (V0) DE INVLOED VAN DE DRINKWATERWINNING

	Sneden
V1	1,99
V0	1,81
Vershil	0,18

TABEL 47. RELATIE EN FOUT (P-WAARDE) VAN HET AANTAL SNEDEN BIJ VERSCHILLENDE MOGELIJKE BEÏNVLOEDING DOOR DE DRINKWATERWINNING..

Snede	V1	V0	Verlaging
Hellingshoek	0,698	0,690	-0,310
P	0,039	0,040	0,050

#### 4.2.11 Hersteltijd

Naast het aantal grassneden, kan ook de hersteltijd na de snede worden beoordeeld. Wanneer onvoldoende vocht beschikbaar is, zal de hersteltijd na een snede toenemen. Er is op twee manieren bekeken of de hersteltijd dichter bij de winning anders is, dan buiten de invloed van de winning.

De hersteltijd buiten de invloed van de drinkwaterwinning (V0) is iets korter dan de hersteltijd binnen de invloed van de drinkwaterwinning (V1). Het verschil van <1 dag is niet significant, mede door veel hogere tijdsinterval van beschikbare NDVI-waarden.

TABEL 48. GEMIDDELD HERSTELTIJD BINNEN (V1) EN BUITEN (V0) DE INVLOED VAN DE DRINKWATERWINNING

	Hersteltijd
V1	45.6
V0	44.8
Vershil	-0,8

Binnen de invloed van de drinkwaterwinning wordt een negatieve trend gevonden. Met toenemende afstand neemt de hersteltijd af. Hetzelfde oordeel geldt wanneer naar de verlaging wordt gekeken. Bij een toenemende verlaging, neemt de hersteltijd toe.

Echter, buiten de invloed van de onttrekking wordt eveneens een sterke trend gevonden. De trend buiten de invloed van de drinkwaterwinning is veel groter dan de trend binnen de drinkwaterwinning. Er is dus géén duidelijke aanwijzing van een langere hersteltijd binnen het invloedgebied van de winning.

TABEL 49. RELATIE EN FOUT (P-WAARDE) VAN DE HERSTELTIJD BIJ VERSCHILLENDE MOGELIJKE BEÏNVLOEDING DOOR DE DRINKWATERWINNING..

Hersteltijd	V1	V0	Verlaging
Hellingshoek	-3.098	-15.966	6.987
P	NB	NB	NB

## 5 Conclusie en aanbevelingen

Allereerst worden de belangrijkste conclusies voor de drinkwaterwinningen 'Haarlo – OldenEibergen' en Vessem' gepresenteerd, gevolgd door een beoordeling van de hypothesen uit paragraaf 3.4. Vervolgens wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvragen van deze fase (fase 2) uit de studie. Het hoofdstuk sluit af met enkele concrete aanbevelingen.

### 5.1.1 Conclusies voor deelgebied Haarlo en Olden Eibergen

#### NDVI

- Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat het 90% kwantiel een verdedigbare keuze is. De exacte waarden verschillen weliswaar per kwantiel, maar de conclusies veranderen niet bij een hoger of lager kwantiel.
- Wanneer meerdere tijdreeksen binnen één perceel worden geanalyseerd, is soms een randeffect zichtbaar. Dit kan zowel in hogere als lagere NDVI-waarden resulteren. Het verwachte aantal afwijkende reeksen op de totale te analyseren dataset is waarschijnlijk verwaarloosbaar klein.
- Er is een significante trend gevonden tussen de NDVI-waarde en de afstand voor de maanden maart, april, mei, juni en september, niet voor juli en augustus.
- Er is een significante relatie gevonden tussen de NDVI-waarde en de verlaging als gevolg van de drinkwaterwinning voor de maanden maart, mei, juli, augustus en september, niet voor april en juni.
- In de maanden mei en augustus worden, ook de afzonderlijke deelgebieden, over het algemeen een (sterke) significante relatie gevonden.
- In de maand juni wordt vaak ook een tegengestelde relatie gevonden, waarbij de NDVI-waarde toeneemt wanneer juist een sterkere invloed van de drinkwaterwinning wordt verwacht. Hiervoor is géén verklaring. Dit heeft mogelijk te maken met droogteschade als gevolg van een neerslagtekort (extreem droge periode). Als gevolg hiervan zou de invloed van de drinkwaterwinning daardoor in relatieve zin geringer zijn. Dit is echter niet nader onderzocht.
- Wanneer de gehele tijdreeks van verschillende percelen in een raai met verschillende afstand tot de winning worden onderzocht, blijven de percelen op korte afstand tot de winning (<1,0 km) duidelijk achter. Dit vertaalt zich naar lagere maximale NDVI-waarden of een zichtbaar trager herstel na een grassnede.
- Het gemiddelde aantal grassneden, dat bepaald kan worden aan de hand van de NDVI, verschilt nauwelijks binnen en buiten de invloed van de drinkwaterwinning. Voor beide gebieden geldt een gemiddelde van 2 sneden per jaar. Wel is een duidelijke trend zichtbaar in het aantal sneden binnen de zone die wordt beïnvloed door de drinkwaterwinning. Gemiddeld genomen wordt dicht bij de drinkwaterwinning 1 snede minder geoogst. Deze trend is niet zichtbaar in het gebied buiten de invloed van de drinkwaterwinning.
- De gemiddelde hersteltijd na een grassnede, welke is bepaald aan de hand van de NDVI, bedraagt circa 29 dagen. Er is nauwelijks verschil binnen en buiten de invloed van de drinkwaterwinning. Wel is een duidelijke trend zichtbaar in de hersteltijd binnen de zone die wordt beïnvloed door de drinkwaterwinning. Percelen dicht bij de drinkwaterwinning hebben gemiddeld genomen een hersteltijd die 4 dagen hoger ligt. Echter, gezien de relatief lage frequentie waarop NDVI-beelden beschikbaar zijn, is het verschil verwaarloosbaar.

#### ET<sub>A</sub>

- Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat het 90% kwantiel een verdedigbare keuze is. De exacte waarden verschillen weliswaar per kwantiel, maar de conclusies veranderen niet bij een hoger of lager kwantiel.
- Wanneer meerdere tijdreeksen binnen één perceel worden geanalyseerd, is soms een randeffect zichtbaar. Echter, de natuurlijke temporele variatie is zo groot, dat verschillen verwaarloosbaar klein zijn.

- Binnen de invloed van het drinkwaterwinning is voor alle maanden een trend gevonden tussen de  $ET_A$  en de afstand tot de winning. Deze trend is, met uitzondering voor de maand juni, minimaal 3 keer sterker dan de relatie welke is gevonden buiten de invloed van de winning.
- Er is voor alle maanden een trend gevonden tussen de  $ET_A$  en de verlaging als gevolg van de drinkwaterwinning.
- In de maand juni wordt, ook de afzonderlijke deelgebieden, altijd een relatie gevonden. Dit is zowel het geval bij afstand als ook bij verlaging. Dit is tegenstrijdig aan de conclusie op basis van de NDVI. Opgemerkt moet worden dat de  $ET_A$  in deze periode aanzienlijk hoger ligt. Kleine verschillen resulteren dan gemakkelijker in een sterke trend dan bij lage waarden, vanwege het feit dat een grotere bandbreedte aan mogelijke verdampingswaarden voorligt.
- Wanneer de gehele tijdreeks van verschillende percelen in een raai met verschillende afstand tot de winning worden onderzocht, kan géén verschil worden herkend. De natuurlijke variatie is vele malen groter dan de onderlinge verschillen.

### 5.1.2 Conclusies voor deelgebied Vessem

#### NDVI

- Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat het 90% kwantiel een verdedigbare keuze is. De exacte waarden verschillen weliswaar per kwantiel, maar de conclusies veranderen niet bij een hoger of lager kwantiel.
- Wanneer meerdere tijdreeksen binnen één perceel worden geanalyseerd, is soms een randeffect zichtbaar. Dit kan zowel in hogere als lagere NDVI-waarden resulteren. Het verwachte aantal afwijkende reeksen op de totale te analyseren dataset is verwaarloosbaar klein.
- Er is een trend gevonden tussen de NDVI-waarde en de afstand tot de winning voor de maanden augustus en september.
- Er is een significante relatie gevonden tussen de NDVI-waarde en de verlaging als gevolg van de drinkwaterwinning voor de maanden maart en augustus.
- In de maand juni wordt in de twee afzonderlijke deelgebieden een relatie gevonden. De hierboven genoemde maanden zijn in de deelgebieden tegenstrijdig aan elkaar.
- Het voorkomen van de tegengestelde trends is niet nader onderzocht. Wel is bekend dat de ondergrond complex is; door de aanwezigheid van breuken in de ondergrond zal er géén sprake zijn van een cirkelvorming invloedsgebied, hetgeen wel wordt verondersteld in deze analyses.
- Wanneer de gehele tijdreeks van verschillende percelen in een raai met verschillende afstand tot de winning worden onderzocht, zijn de verschillen minimaal. Er kan géén eenduidig patroon worden onderscheiden.
- Het gemiddelde aantal grassneden, dat bepaald kan worden aan de hand van de NDVI, verschilt nauwelijks binnen en buiten de invloed van de drinkwaterwinning. Voor beide gebieden geldt een gemiddelde van 2 sneden per jaar. Wel is een duidelijke trend zichtbaar in het aantal sneden binnen de zone die wordt beïnvloed door de drinkwaterwinning. Gemiddeld genomen wordt dicht bij de drinkwaterwinning 1 snede minder geoogst. Deze trend is echter ook zichtbaar in het gebied buiten de invloed van de drinkwaterwinning. Hierdoor kan de waargenomen trend niet per definitie aan de drinkwaterwinning worden toegeschreven.
- De gemiddelde hersteltijd na een grassnede, welke is bepaald aan de hand van de NDVI, bedraagt circa 45 dagen. Er is nauwelijks verschil binnen en buiten de invloed van de drinkwaterwinning. Wel is een duidelijke trend zichtbaar in de hersteltijd binnen de zone die wordt beïnvloed door de drinkwaterwinning. Percelen dicht bij de drinkwaterwinning hebben gemiddeld genomen een hersteltijd die 4 dagen hoger ligt. In het gebied buiten de invloed van de drinkwaterwinning is een veel sterkere trend waargenomen. Daarnaast is de relatief lage frequentie waarop NDVI-beelden beschikbaar zijn niet voldoende om dit verschil te duiden. De trend kan om meerdere redenen niet worden toegeschreven aan de drinkwaterwinning.

**ET<sub>A</sub>**

- Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat het 90% kwantiel een verdedigbare keuze is. De exacte waarden verschillen weliswaar per kwantiel, maar de conclusies veranderen niet bij een hoger of lager kwantiel.
- Wanneer meerdere tijdreeksen binnen één perceel worden geanalyseerd, is soms een randeffect zichtbaar. Echter, de natuurlijke temporele variatie is zo groot, dat verschillen verwaarloosbaar klein zijn.
- Binnen de invloed van de drinkwaterwinning is alleen voor de maand augustus een relatie gevonden tussen de ET<sub>A</sub> en de afstand tot de winning. Deze relatie is minder sterk dan de relatie die is gevonden buitend de invloed van de drinkwaterwinning. Daarnaast is voor de overige maanden zelfs een tegengestelde relatie aangetoond. Deze is ook nooit sterker dan de relatie buiten de invloed van de drinkwaterwinning. De gevonden relaties kunnen niet aan de drinkwaterwinning worden toegeschreven.
- Er is alleen voor de maand augustus een relatie gevonden tussen de ET<sub>A</sub> en de verlaging als gevolg van de drinkwaterwinning. De relatie is overigens niet heel sterk.
- In de maand mei wordt in de twee afzonderlijke deelgebieden een sterke trend gevonden
- In de zomermaanden (juli, augustus en september) wordt voor het oostelijke deelgebied een trend vastgesteld die tegengesteld is aan de verwachting. In het westelijk deelgebied zijn de trends dan juist sterk aanwezig.
- Wanneer de gehele tijdreeks van verschillende percelen in een raai met verschillende afstand tot de winning worden onderzocht, kan géén verschil worden herkend. De natuurlijke variatie is vele malen groter dan de onderlinge verschillen.

**5.1.3 Controle van de hypothesen**

In paragraaf 3.4 zijn een 8-tal hypothesen opgesteld. Dezes

**Hypothesen bij de ruimtelijke analyses**

1. Wanneer er droogteschade optreedt ten gevolg van de drinkwaterwinning, zal de NDVI afnemen in de richting van de de winning.

Deze trend is bij de twee drinkwaterwinningen in verschillende maanden waargenomen. De trend is niet in alle maanden aanwezig of niet relevant als ook naar de trend buiten de invloed van de drinkwaterwinning wordt gekeken. Bij de drinkwaterwinning Haarlo – Olden Eibergen is in mei altijd sprake van een relatie. Dit is zowel op basis van de fysieke afstand tot de winning, als bij de berekende verlaging als gevolg van de drinkwaterwinning. Bij de drinkwaterwinning Vessem is er sprake van een trend in de maanden april, juni. Wat bij beide winningen overeenkomt is dat in de zomer (juli, augustus en september) de relaties zwak of zelfs tegengesteld zijn aan de verwachting.

2. Wanneer er veel, gezond gewas op een veld staat en er is voldoende vocht beschikbaar is, is de actuele verdamping hoog. Nabij de winning is minder vocht beschikbaar en wordt dus een lagere ET<sub>A</sub> verwacht dan verder van de winning af. Wanneer de drinkwaterwinning de enige (ruimtelijke) invloed is, dan wordt er buiten in de invloed van de drinkwaterwinning geen relatie verwacht.

Deze trend is bij de twee drinkwaterwinningen in verschillende maanden waargenomen. De trend is niet in alle maanden aanwezig of niet relevant als ook naar de trend buiten de invloed van de drinkwaterwinning wordt gekeken. Bij zowel de drinkwaterwinning Haarlo – Olden Eibergen als ook Vessem worden de sterkste relaties in het voorjaar gevonden.

Bij de drinkwaterwinning Vessem zijn grote verschillen tussen de verschillende deelgebieden waargenomen. In de zomermaanden wordt voor het oostelijke deelgebied een trend vastgesteld die tegengesteld is aan de

verwachting, even als de conclusie bij Haarlo – Eibergen. In het westelijk deelgebied van Vessem is in deze maanden echter ook sterke relatie aangetoond.

3. Dicht bij onttrekking wordt een hoge spreiding in waarden van  $ET_A$  en NDVI verwacht. Als gevolg van maatregelen zullen de percelen verschillend reageren op een beperkte vochtbeschikbaarheid. Op grotere afstand wordt een lage spreiding verwacht. Omdat hier weinig invloed is van de drinkwaterwinning wordt minder verscheidenheid in maatregelen van boeren verwacht waardoor de  $ET_A$  en NDVI waarden niet veel zullen variëren.

In de gehanteerde werkwijze is hier niet specifiek naar gekeken. Als de kwantielregressie-grafieken door de oogharen worden bekeken, vallen de volgende zaken op:

- Dicht bij de winning lijken de zeer hoge NDVI-waarden te ontbreken
- Bij een grote verlaging lijken de zeer hoge NDVI-waarden te ontbreken
- Dicht bij de winning lijken de zeer hoge  $ET_A$ -waarden te ontbreken
- Bij een grote verlaging lijken de zeer hoge  $ET_A$ -waarden te ontbreken

Maar ook:

- Ver van de winning af lijken de zeer lage NDVI-waarden te ontbreken
- Bij een geringe verlaging lijken de zeer lage NDVI-waarden te ontbreken
- Ver van de winning af lijken de zeer lage  $ET_A$ -waarden te ontbreken
- Bij een geringe verlaging lijken de zeer lage  $ET_A$ -waarden te ontbreken

Dit is echter niet statistisch onderbouwd.

### Hypothesen bij de temporele analyses

1. Binnen een perceel wordt verwacht dat er geen variatie in NDVI of  $ET_A$  zit. Wel kunnen er randeffecten optreden door invloed van wegen, greppels/sloten (verlagend) overhangende bomen (hoger) en bodemverdichting. Ook wordt verwacht dat een heel veld in een keer gemaaid wordt en dat dus al de sneden precies op hetzelfde moment in tijd vallen.

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de variatie over het algemeen gering is, maar een (sterk) randeffect is ook niet altijd uit te sluiten. Doordat de dataset hiervoor niet is gefilterd, zullen uitbijters als gevolg van randeffecten de getoonde relaties beïnvloeden. Het aantal pixels met randeffecten is gering, waardoor de conclusies waarschijnlijk niet worden beïnvloed.

De variatie binnen een perceel tonen ook geen gefaseerde oogst. Het perceel wordt gemaaid binnen twee opnames. Mocht er toch enkele dagen overheen gaan, dan zal dit vanwege de frequentie van beschikbare NDVI-beelden, de resultaten niet beïnvloeden.

2. Er wordt verwacht dat de NDVI en  $ET_A$  door tijd lager zijn voor de punten dicht bij de drinkwaterwinning en dat na een grassnede de NDVI langzamer toeneemt dicht bij de onttrekking.

De natuurlijke variatie in  $ET_A$  is zeer groot, met name in het groeiseizoen. Hierdoor zijn verschillen nauwelijks waarneembaar. De NDVI laat dicht bij de drinkwaterwinning wel duidelijk lagere waarden zien. Ook lijkt de stijging geringer te zijn, al is het verschil niet goed te kwantificeren vanwege de frequentie van beschikbare NDVI-beelden.

3. Wanneer er droogteschade optreedt ten gevolg van de drinkwaterwinning, dan is de verwachting dat er minder sneden zijn nabij de winning dan verder van de winning af.

Het gemiddelde aantal grassneden binnen en buiten de invloed van de drinkwaterwinning verschillen niet van elkaar. Wel is er een trend waargenomen binnen de invloed van de drinkwaterwinning. Dicht bij de winning wordt gemiddeld 1x vaker geoogst, dan verder van de rand. Echter, bij Vessem is een sterkere trend waargenomen buiten de invloed van de winning. Een andere invloed dan de drinkwaterwinning lijkt hier dus sterker.

Voor beide winningen geldt dat het kleiner aantal grassneden niet de drinkwaterwinning kan worden toegeschreven.

4. De verwachting is dat de hersteltijd langer is dicht bij de drinkwaterwinning.

Uit de statistische analyse blijkt dat de hersteltijd enkele dagen (ca. 4) langer is, binnen de invloed van de drinkwaterwinning. Dit verschil is echter verwaarloosbaar, mede als gevolg van de lage frequentie waarop NDVI-beelden beschikbaar zijn.

5. Wanneer de drinkwaterwinning de enige (ruimtelijke) invloed is, dan wordt er buiten in de invloed van de drinkwaterwinning geen relatie verwacht tussen afstand en NDVI of  $ET_A$ .

Dit verschilt van maand tot maand. Bij de analyse is rekening gehouden met een achtergrond trend, door te stellen dat de trend binnen de invloed van de drinkwaterwinning minimaal 3x groter moet zijn dan een waargenomen trend buiten de invloed van de drinkwaterwinning. Met name bij de drinkwaterwinning Vessem worden sterke relaties buiten de invloed van de drinkwaterwinning gevonden, die vaak zelfs veel sterker zijn dan de relaties binnen de invloed van de drinkwaterwinning. Externe factoren spelen hier een grotere rol. Hetgeen niet betekend dat de invloed van de drinkwaterwinning verwaarloosbaar is. Wel mag geconcludeerd worden dat het niet eenvoudig is om een (deel) van een verminderde opbrengst toe te kennen aan de drinkwaterwinning. Nog moeilijker is het om dat deel te kwantificeren.

#### 5.1.4 Algemene conclusies, beantwoording van de onderzoeksvragen

Bij deze fase hoort het beantwoorden van deelvragen 3 tot en met 6 en wordt het antwoord op vraag 9 verder aangevuld:

- 3 *Welke temporele discretisatie is nodig bij droogteschadebepaling met Remote Sensing technieken? Is er een totaalbedrag voor een groeiseizoen op te stellen?*

Uit deze pilot is gebleken dat Remote Sensing technieken niet zondermeer kunnen worden ingezet, als overige invloeden onvoldoende in beeld zijn. Er kan weliswaar worden gekeken naar maximale NDVI-waarden als maatstaf voor de vitaliteit van het gewas, maar het is niet mogelijk om daarvan een directe vertaling naar opbrengst te maken. Ook het aantal grassneden is hierin géén maatstaaf, zolang niet bekend is welke hoeveelheid (biomassa) daarbij is geoogst. Een grassnede is niet alléén afhankelijk van de vitaliteit van het gewas, maar ook de weersomstandigheden spelen een belangrijke rol bij de keuze om te gaan maaien.

Daarbij kan de gemiddelde maandwaarde voor de NDVI ook worden beïnvloed door een grassnede: een gezond perceel kan juist begin juni alweer worden gemaaid. Hierdoor zal de verdamping de hele maand achter blijven. Een perceel waarbij de groei tegenvalt kan in deze maand juist hogere NDVI of meer verdamping laten zien. Daarvoor is tevens meer inzicht nodig in het daadwerkelijke beheer van de verschillende percelen.

Op basis van het bovenstaande is een hoge temporele discretisatie van groot belang. Hierdoor kan in meer detailniveau naar tijdreeksen worden gekeken om zekere beheeraspecten eruit te kunnen filteren. Bij een hogere frequentie, bijvoorbeeld wekelijks, kan daarmee een betere selectie worden gemaakt van achterblijvende percelen.



Het blijft daarbij wel altijd een vergelijking met omliggende percelen, waardoor het kwantificeren van een totaal schadebedrag voorlopig niet tot de mogelijkheden behoort. Een hogere frequentie van NDVI-gegevens is wel mogelijk, wanneer meerdere beelden van verschillende satellieten worden gecombineerd tot 'dagwaarden'. Na filtering van onvolkomenheden, zoals bewolking, zal een hogere frequentie beschikbaar zijn.

#### 4 *Zijn op basis van historische beelden bepalingen te doen van voorgekomen droogteschade op percelen?*

Er is een lange reeks van Remote Sensing beelden beschikbaar. Vooral de NDVI leent zich ervoor om een lange historische reeks te ontwikkelen. Daarbij blijft het, zonder exacte kennis van overige invloeden, een vergelijkingsexercitie waarbij achterblijvende percelen kunnen worden geïdentificeerd. Voor het kwantitatief vaststellen van droogteschade is meer inzicht nodig.

Daarnaast zouden diverse Remote Sensing producten kunnen worden ingezet om modelinstrumenten te vullen om een beter historisch overzicht te verschaffen. Ook hiervoor geldt dat de overige invloeden zo goed mogelijk in beeld moeten zijn om effecten te kwantificeren.

#### 5 *Zijn er in de loop der jaren trends (in de tijd) waarneembaar die samenhangen met droogteschade (denk hierbij aan toegenomen biomassa-productie en de hiermee samenhangende toegenomen actuele verdamping)?*

Doordat een beperkte tijdreeks beschikbaar is gesteld, heeft het onderzoek zich beperkt tot één groeiseizoen (2013). Langjarige trends zijn daarom niet onderzocht. Op basis van het antwoord op vraag 4 is dit waarschijnlijk wel mogelijk, bijvoorbeeld op basis van NDVI.

#### 6 *Kunnen bekende systeemveranderingen (andere onttrekking, droog/nat jaar; waterhuishoudkundige werken) inzichtelijk worden gemaakt met behulp van Remote Sensing technieken?*

Dergelijke inzichten moeten zichtbaar gemaakt kunnen worden met Remote Sensing technieken. Echter, daarbij is het wel belangrijk om inzicht te hebben in de systeemveranderingen. Omdat de inzichten nu vooral een onderlinge vergelijking toelaten, is inzicht nodig in de situatie op de desbetreffende percelen. Een mogelijke invulling kan worden geven doormiddel van diverse 'validatiepercelen'; percelen op verschillende locaties, met verschillende invloeden waarvan alle relevante gegevens bekend zijn. Denk daarbij aan beregeningsgiften, actuele grondwaterstand en opbrengsten.

#### 9. *Wat zijn de kosten die gemoeid zijn met het opvragen en verwerken van de karakteristieken uit vraag 7 bij verschillende analysefrequenties?*

De actuele Remote Sensing producten worden collectief ingekocht door de waterschappen. Deze kunnen worden ingezet voor onderzoeksdoeleinden. Daarnaast zijn veel ruwe Remote Sensing beelden om niet beschikbaar. Op basis hiervan kunnen ook (lange) historische reeksen worden opgebouwd. Wel zullen deze gegevens moeten worden bewerkt, getransformeerd en zullen onvolkomenheden (zoals bewolking) moeten worden gefilterd. De software hiervoor is specialistisch, evenals de gevraagde vakkennis. Hierbij valt te denken aan enkele weken werk. Daarbij maakt de omvang van de dataset niet veel uit. Er kan dus desgewenst een dataset voor heel Nederland worden ontwikkeld. De investering kan met meerdere partijen worden gedeeld.

### 5.1.5 Aanbevelingen

Specifiek ten aanzien van de uitgevoerde pilotstudie, worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Deelgebied Vessem laat soms tegenstrijdige bevindingen zien. Mogelijk is dit het gevolg van de gekozen uitgangspunten en aannames die zijn gedaan met betrekking tot het invloedsgebied. Een betere ruimtelijke discretisatie van het invloedsgebied, bijvoorbeeld gekwantificeerd met een numeriek grondwatermodel, geeft mogelijk betere inzichten. Temeer omdat hiermee recht kan worden gedaan aan de complexe ondergrond, met meerdere breuken.
- Grassneden zijn nu onderzocht per 'pixel', waardoor op één perceel verschillende aantallen grassneden worden geteld. Door de analyse op te schalen naar een waarde per perceel, kan de ruis op de perceelsgrenzen worden gefilterd.
- De regressie is op een beperkte dataset uitgevoerd. Er zijn veiligheidsmarges ingevoerd om er zeker van te zijn dat het landgebruik op het perceel gedurende het jaar 2013 grasland is geweest. Door ook "tijdelijk grasland" te onderzoeken, kan de dataset mogelijk worden uitgebreid. Wel is het dan aan te bevelen om te controleren of daadwerkelijk gedurende het jaar het landgebruik niet is gewijzigd.
- De regressie is op een beperkte dataset uitgevoerd. Er is uitsluitend gekeken naar het bodemtype Hn21, zodat verschillen niet het gevolg zijn bodemgesteldheid. Echter, door intensieve bewerking komt de bodemclassificatie mogelijk niet meer overeen met de oude bodemkarteringen. Uitbreiding van de dataset met meerdere bodemtypen is goed mogelijk, als de bodemeigenschappen beter in beeld zijn. Daarbij is de capillaire nalevering van de bodem onderscheidend.

#### Concrete aanbevelingen voor vervolgstappen

- Statistisch gezien kan het interessant zijn om niet één kwantiel te kiezen voor de gehele set, maar per sectie (afstand of verlaging) het kwantiel met het hoogste aantal waarnemingen in beeld te brengen. Daarbij kan worden bekeken of het grootste deel zich onderin of juist bovenin de bandbreedte bevindt.
- Een groen gewas met vochttekort verdampt nauwelijks, maar ook een ongezond gewas met voldoende vocht kan dezelfde  $ET_A$  leveren. Als verdamping volledig vanuit neerslag gevoed moet worden (met name in de zomermaanden) kunnen beide percelen dus evenveel 'achter blijven', waardoor ook géén trend wordt gevonden. Een beoordeling op basis het verdampingstekort ( $ET_D$ ) kan dit onderscheid mogelijk wel maken. Dit onderzoek kon nu niet worden uitgevoerd omdat het beeld met verdampingstekort reeds gecorrigeerd was voor de actuele vegetatietoestand. Zonder deze correctie, dus een zuiver vergelijk tussen potentiële verdamping en verdampingstekort, kan stress beter inzichtelijk maken.
- Als het mogelijk is droogteschade met remote sensing voldoende nauwkeurig vast te stellen, dan noch is het onmogelijk om op basis van deze techniek de oorzaak van droogteschade te bepalen. Allereerst kan droogteschade ook een andere oorzaak hebben dan de winning. Maar nog belangrijker is dat de gewasopbrengst ook het gevolg zijn van andere oorzaken dan een tekort aan water. Denk bijvoorbeeld aan wateroverlast, verslemping van de grond, ziekten en plagen, een te zure bodem, of een gebrek aan voedingsstoffen.  
Een deel zou door middel van praktijk onderzoek en het betrekken van de agrarische sector in beeld kunnen worden gebracht. Het essentieel om meer inzicht te krijgen in het beheer aspect. Dit gaat in de eerste plaats om beregning en drainage, maar ook om de gesteldheid van de teelaarde. Met name het gehalte organisch stof en de mate van verdichting kunnen van invloed zijn op de gewenste vochthuishouding. Omdat investeren vooral een financiële afweging is, zou dit dicht bij de winning vaker voor kunnen komen. Immers, de uitgekeerde droogteschade kan hierin worden geïnvesteerd. Daarnaast is mogelijk sprake van meer begrip en is er meer bewustwording, juist door het uitkeren van droogteschade. Om dit onderzoek breder te trekken, is het onze aanbeveling om in een volgend stadium ook de agrariërs zelf te betrekken.
- In dit onderzoek hebben we significante verbanden gevonden tussen de afstand tot de winning en de van remote sensing afgeleide NDVI en  $ET_A$ , twee grootheden die informatie verschaffen over de vitaliteit van het gewas. Deze significante verbanden kunnen wijzen op de directe invloed van de grondwaterwinning, maar het is evenzeer mogelijk dat ze het resultaat zijn van een schijnrelatie met de winning. Winsten zijn immers vaak geplaatst in wat hogere delen van het landschap, waar de grondwaterstand wat dieper is ten

opzichte van maaiveld en waar de gewassen ook zonder de winning al vaker last hebben van droogteschade. Een gecombineerde analyse met actuele grondwaterstanden kan uitsluitsel geven of de grondwaterstanden van nature niet te diep onder het maaiveld liggen om de gewassen van vocht te voorzien.

- Ten tijde van het uitvoeren van de statistische analyses (2014 en 2015) waren we nog aangewezen op de beschikbaar gestelde datasets. Inmiddels zijn veel meer gegevens (vrij) beschikbaar om een langjarige periode te beschouwen. Met het oog op de toekomst is aandacht voor hoogfrequente metingen en hoog hoge resolutie essentieel. ESA is in 2014 begonnen met het lanceren van de eerste Sentinel satellieten als onderdeel van het Copernicus programma. De komende jaren zal het aantal worden uitgebreid, met verschillende satellieten behorende tot verschillende onderzoeksprogramma's (Sentinel-1 t/m Sentinel 5).
- Het onderzoeksvoorstel Optimizing Water Availability using Sentinel-1 Satellites (OWAS1S) was succesvol in het STW programma WATER 2014. Het onderzoeksbudget wordt onder andere gebruikt voor het aanstellen van drie promovendi, twee aan de Universiteit Twente, bij de faculteiten ITC en CTW en een in Wageningen. De promovendi gaan een nieuwe Europese satelliet, Sentinel-1 gebruiken om met ongeëvenaarde ruimtelijke resolutie (10m) de draagkracht voor landbouwvoertuigen en vochtbeschikbaarheid voor planten te meten. Door deze informatie te combineren met bestaande modellen wordt onderzocht hoe waterbeheer geoptimaliseerd kan worden. Met name de vochtbeschikbaarheid zal een product worden waarmee de bevindingen een stap verder gebracht kunnen worden. Net als de NDVI in het huidige onderzoek, betreft het een product met een hoge ruimtelijke resolutie ('pixel based' ca. 25m of 'object based' per perceel). Daarnaast zijn de radarbeelden ongevoelig voor weer (bewolking). De dagelijkse beelden leveren dus ook een tijdreeks op dagbasis. Daarnaast onderzoekt de Universiteit Twente ook de mogelijkheden om de informatie te 'koppelen' aan bestaande modellen. Het combineren met andere Remote Sensingproducten behoort dan ook tot de mogelijkheden.