

The background image shows a water level gauge (NAP scale) in a wetland. The gauge is a dark vertical post with a blue and white scale. The water level is approximately 0.95 meters above the gauge's base. The surrounding area is a flat, grassy wetland with some reeds in the foreground. The sky is clear and blue.

Balanceren tussen droogte en wateroverlast

Onderzoek naar een robuust watersysteem

Tom Lichtenberg, Lily Siepel & Elin Thomassen
Velp, 10 juni 2020

Balanceren tussen droogte en wateroverlast

Onderzoek naar een robuust watersysteem

Auteurs:

Tom Lichtenberg
tom.lichtenberg@hvhl.nl
0612782442

Lily Siepel
lily.siepel@hvhl.nl
0611966706

Elin Thomassen
elin.thomassen@hvhl.nl
0643662742

Opleiding:
Land- en Watermanagement

Hogeschool:
Van Hall Larenstein

Functie:
Afstudeerstudenten

Opdrachtgever:

Waterschap Vechtstromen
Veronique Groot Koerkamp-Kaiser
v.grootkoerkamp@vechtstromen.nl
088 220 36 73

Bas Worm
b.worm@vechtstromen.nl
088 220 33 33

Interne begeleider:
Peter Groenhuijzen
peter.groenhuijzen@hvhl.nl
0612834748

Status document: Definitief

Datum en plaats: Velp, 10 juni 2020

Voorwoord

Voor u ligt de bachelorscriptie 'Balanceren tussen droogte en wateroverlast'. Het onderzoek voor deze scriptie is onze laatste stap richting de afronding van de studie Land- en Watermanagement aan de Hogeschool Van Hall Larenstein, te Velp. Onze specialisatie, duurzame gebiedsontwikkeling, heeft ervoor gezorgd dat wij de complexe en integrale probleemstelling vanuit waterschap Vechtstromen durfden aan te pakken. Vanaf begin februari 2020 tot juni 2020 zijn wij bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van de scriptie.

Allereerst willen wij onze stagebegeleiders Veronique Groot Koerkamp-Kaiser en Bas Worm bedanken voor de begeleiding vanuit het waterschap. Veronique wist ons altijd te motiveren en zorgde ervoor dat wij de moed er in hielden wanneer het onderzoek en het rapporteren wat minder soepel verliep. Wanneer wij soms lange dagen en avonden maakten, zorgde zij ervoor dat wij onszelf vrije tijd en leuke activiteiten ter compensatie gunden. Dit gaf ons weer de energie, die wij nodig hadden om er weer volledig tegenaan te kunnen. Daarnaast zorgde Veronique ervoor dat wij de structuur tijdens het rapporteren goed bijhielden en dat het afstudeerproces goed verliep. Bas zorgde er altijd voor dat wij bij hem terecht konden als wij vragen hadden over bijvoorbeeld het watersysteem. In zijn krappe agenda wist hij altijd tijd te creëren voor ons, als wij wilde sparren over de inhoud van het rapport. Mede door Bas, hebben wij kritisch naar ons onderzoek kunnen kijken, waardoor het best mogelijke resultaat behaald is.

Tevens willen wij onze collega's bij het waterschap bedanken die ons, ondanks dat wij daar maar kort aanwezig konden zijn, ons altijd de juiste richting op hebben gestuurd of dan wel de juiste informatie hebben verstrekt. Wanneer wij arriveerden op het kantoor in Almelo, werden wij, zelfs om acht uur in de ochtend, met enthousiasme ontvangen. Ook willen wij Peter Groenhuijzen bedanken voor de begeleiding vanuit Hogeschool Van Hall Larenstein. Zijn kritische feedback heeft uiteindelijk geleid tot een rapport, wat bondig en resultaat gericht geschreven is.

Als laatste willen wij onze vrienden en familieleden bedanken. Tijdens de coronacrisis werd de grens tussen studie(werk) en privé steeds kleiner. Zij zorgden ervoor dat we genoeg pauzes hielden tijdens het schrijven van de scriptie en dat wij met onze zorgen terecht konden bij hen. Hun wijsheid en motiverende woorden hebben ons geholpen deze scriptie tot een goed einde te brengen.

Wij wensen u veel leesplezier toe!

Tom Lichtenberg, Lily Siepel & Elin Thomassen

Velp, 10 juni 2020

Samenvatting

In de afgelopen jaren, was het oosten van Nederland door klimaatverandering de droogste regio van het land. Hierdoor zakte het grondwater en vond er droogteschade aan zowel landbouw als natuur plaats. Klimaatverandering veroorzaakt echter niet alleen droge perioden, maar ook momenten van wateroverlast door langere perioden van neerslag in de winter en extreme piekneerslag in de zomer. Deze gevolgen zullen tot 2050 naar verwachting alleen maar toenemen.

Het huidige watersysteem is ingericht om grote afvoeren snel te verwerken. Echter vragen gebruikers van het watersysteem om een watersysteem dat adaptief kan reageren op zowel piekbelasting als droogte. Het watersysteem dient daarom een transitie te ondergaan, waarbij er een nieuwe balans moet worden gevonden tussen het afvoeren en bergen van voldoende water. Om te kunnen balanceren tussen droogte en wateroverlast moet het watersysteem robuust ingericht worden. Hiervoor is de volgende hoofdvraag opgesteld: Hoe kan het watersysteem van waterschap Vechtstromen in 2050 robuust ingericht worden?

Een watersysteem is robuust als het systeem weerstand biedt aan- en veerkrachtig reageert op- de toename van extremere weersituaties waarbij de verschillende functies in het systeem allemaal betrokken zijn. De functies dienen zoveel mogelijk van het systeem te profiteren zonder nadelige gevolgen te ervaren en zonder het watersysteem zelf nadelig te beïnvloeden. Het systeem heeft een lange levensduur, ofwel kan lang acteren op veranderingen.

Om een antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag zijn voor twee pilot-gebieden, die beiden representatief zijn voor grote delen van het watersysteem van waterschap Vechtstromen, knelpunten in beeld gebracht. Deze knelpunten die voortkomen uit een gebiedsbeschrijving en watersysteemanalyse zijn vervolgens volgens de MoSCoW-methode gesorteerd op urgentie. Uiteindelijk zijn, op basis van gestelde prioriteiten, kansrijke maatregelen opgesteld. De mate van prioriteit is gebaseerd op de ernst en omvang van de knelpunten. De maatregelen zijn vervolgens met behulp van de Multicriteria-analyse geanalyseerd.

Uit dit onderzoek blijkt uiteindelijk dat de beschouwde maatregelen de gesignaleerde knelpunten verlichten, maar niet oplossen. Een robuust watersysteem moet een samenspel tussen systeemrobuustheid en gebruikersrobuustheid vormen. Systeemrobuust betekent dat het watersysteem zo onafhankelijk mogelijk moet worden van externe wateraanvoer, door water dat al in het gebied is, te bergen en optimaal te benutten. Gebruikersrobuust betekent dat gebruikers van het watersysteem moeten adapteren aan te droge en te natte situaties en via die weg dus ook hun bijdrage leveren aan de toekomstbestendigheid. Kansrijke maatregelen die hierin passend zijn betreffen: verhoging van het organische stofgehalte van de bodem, het vasthouden van water met behulp van boerenstuwen en retentiegebieden en het 'slimmer' maken van het watersysteem door de toepassing van dynamisch peilbeheer. Hierdoor, is het systeem beter voorbereid op zowel te droge als te natte situaties. Als de implementatie van een robuust watersysteem niet mogelijk blijkt, zal de mindset van de gebruikers moeten worden veranderd. Klimaat effecten moeten voor een deel worden geaccepteerd, waarbij ze kunnen worden gezien als kansen om te adapteren en niet als knelpunten. Op basis hiervan wordt aanbevolen om te onderzoeken of de huidige gebruiksfuncties en traditionele manieren van landgebruik nog wel op de langere termijn rendabel zijn.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	8
1.1	Aanleiding	9
1.2	Context	9
1.3	Probleemstelling	11
1.4	Doel van het onderzoek	12
1.5	Deelvragen	12
1.6	Leeswijzer	12
2.	Theoretisch kader	13
2.1	Definitiebeschrijving klimaateffecten	14
2.2	Werkdefinitie robuust watersysteem	15
3.	Methode	16
3.1	Soort onderzoek	17
3.2	Werkwijze	17
3.3	Dataverzameling	18
3.4	Validatie en betrouwbaarheid	18
4.	Gebiedsbeschrijving	20
4.1	Watersysteem waterschap Vechtstromen	21
4.2	Actorenbeschrijving	22
4.3	Beschrijving pilot-gebied noord	23
4.4	Beschrijving pilot-gebied zuid	26
5.	Hydrologische systeemanalyse	29
5.1	Meteorologische droogte	30
	5.1.1 Weergegevens weerstation Twenthe & Hoogeveen	30
	5.1.2 Gemiddeld jaar (2014)	31
	5.1.3 Extreem jaar (2018)	31
	5.1.4 Verwachting 2050	32
5.2	Waterbalans	32
	5.2.1 Waterbalans pilot-gebied noord	33
	5.2.2 Waterbalans pilot-gebied zuid	34
	5.2.3 Vergelijking Bergingsverandering pilot-gebieden noord en zuid	35
5.3	Hydrologische droogte	36
	5.3.1 Droogval van watergangen	36
	5.3.2 Te lage grondwaterstanden	37
5.4	Bodemvochtdroogte	38
	5.4.1 Gewassen en vegetatie	38
	5.4.2 Waterbehoefte maïs	39
	5.4.3 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	42

5.5	Wateroverlast	44
5.5.1	Pilot-gebied noord	44
5.5.2	Pilot-gebied zuid	46
6.	Knelpunten en kansrijke maatregelen	49
6.1	Prioriteiten	50
6.2	Kansrijke maatregelen	51
6.3	Criteria MCA	53
6.4	Overzicht geschikte maatregelen	55
7.	Advies	56
7.1	Uitwerking top-5-maatregelen pilot-gebied noord en zuid	57
7.2	Advies	62
8.	Conclusie & aanbevelingen	63
8.1	Conclusie	64
8.2	Aanbevelingen	65
9.	Discussie	66
	Nawoord	69
	Bibliografie	70
	Bijlagerapport*	

* De vermelde bijlagen zijn in het bijlagenrapport te vinden.

1 Inleiding



1.1 Aanleiding

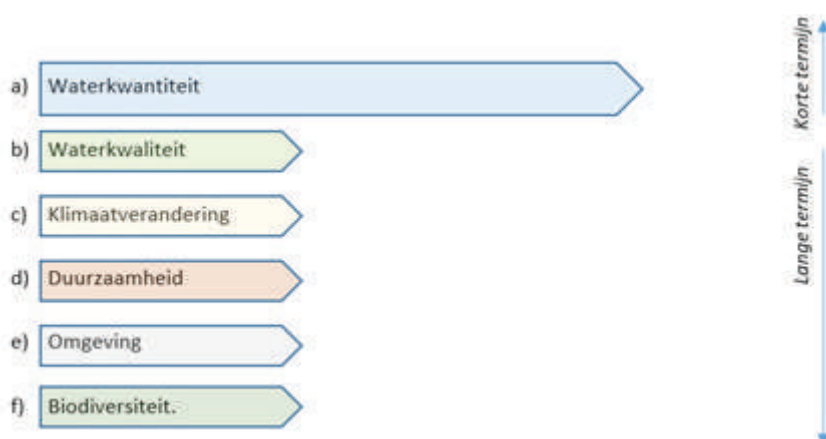
'Oost-Nederland gaat gebukt onder droogte' (Rooijen, 2019), 'Wateroverlast na noodweer in Oost-Nederland' (Luchtenberg, 2019). Veel krantenkoppen vermelden de gevolgen van klimaatverandering. In de afgelopen jaren, voornamelijk de zomers van 2018 en 2019, was het oosten van Nederland de droogste regio van het land. Plaatselijk liepen de neerslagtekorten op tot 350 millimeter (Waterschap Vechtstromen, sd). Hierdoor zakte het grondwater en vond er droogteschade aan zowel landbouw als natuur plaats. Klimaatverandering veroorzaakt niet alleen droge perioden, maar ook momenten van wateroverlast door langere perioden van neerslag in de winter en extreme piekneerslag in de zomer.

Om Nederland te beschermen tegen de gevolgen van klimaatverandering, is het Deltaprogramma ontwikkeld. De maatregelen en projecten van het Deltaprogramma zijn uitgewerkt in deltaplannen: het Deltaplan Waterveiligheid, het Deltaplan Zoetwater en het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (DPRA). Deze plannen zijn een leidraad voor de komende jaren (Rijksoverheid, 2019). Het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie wordt als leidraad gebruikt om te voorkomen dat schade door wateroverlast en droogte zo min mogelijk toeneemt. De kern van het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie is dat Nederland in 2050 klimaatbestendig en waterrobuust is ingericht (Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie, 2019).

1.2 Context

Aansluitend op het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie komt waterschap Vechtstromen op korte termijn tot een beleidsnota dat antwoord geeft op de droogteproblematiek van 2018 en 2019. In deze beleidsnota streeft waterschap Vechtstromen naar een robuust watersysteem, waarin maatwerk geleverd wordt op het gebied van a) waterkwantiteit, b) waterkwaliteit, c) klimaatverandering, d) duurzaamheid, e) omgeving en f) biodiversiteit (zie Figuur 1). De beleidsnota wordt vormgegeven middels het project 'Robuust Watersysteem 2050'.

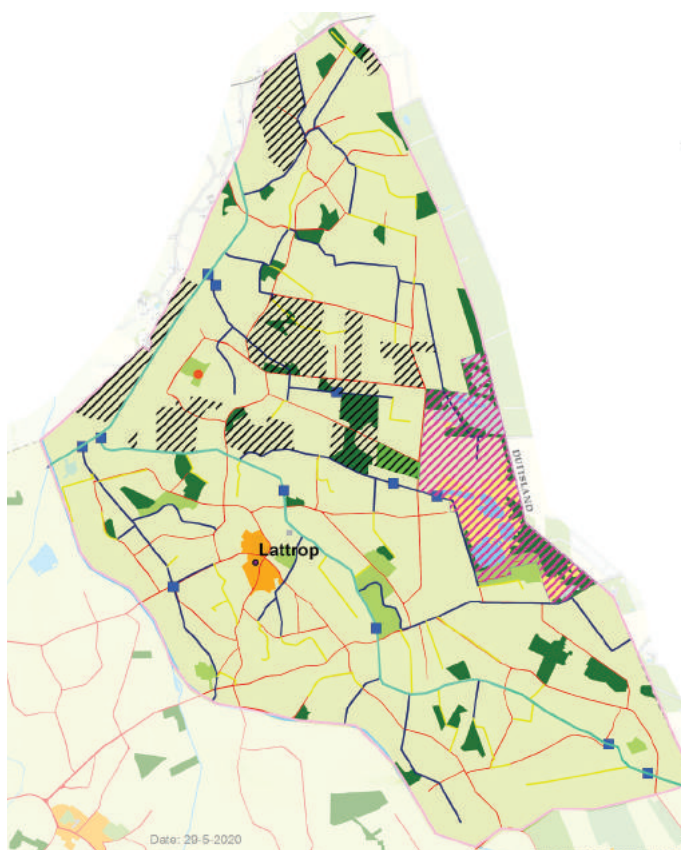
Het doel van dit project van het waterschap Vechtstromen is om de balans tussen vernatting en verdroging te vinden voor het gehele watersysteem. In de eerste fase van het project (2020) wordt er primair gekeken naar de afbakening van het element a) waterkwantiteit. Doel van het huidige, voorliggende onderzoek is om input te leveren aan dit element a) waterkwantiteit in het project 'Robuust Watersysteem 2050'.



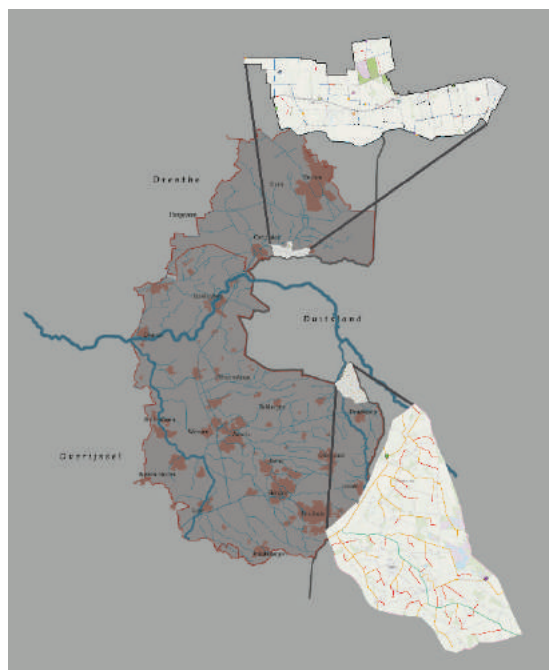
Figuur 1: Elementen robuust watersysteem (Waterschap Vechtstromen, sd)

Pilot-gebieden

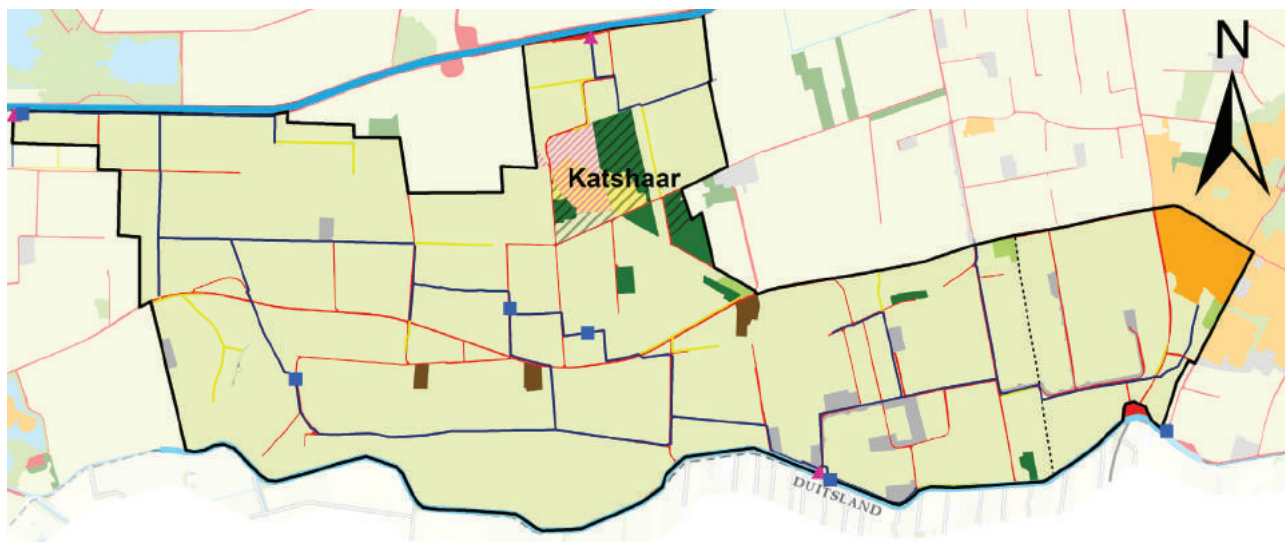
Het watersysteem van waterschap Vechtstromen is geheel vrij-afwaterend, met in een deel ($\pm 40\%$) de mogelijkheid tot externe wateraanvoer. Het onderzoek wordt uitgevoerd voor een tweetal specifiek toegewezen pilot-gebieden, die representatief zijn voor het gehele watersysteem van waterschap Vechtstromen (zie Figuur 4). Pilot-gebied zuid (omgeving Lattrop-Breklenkamp, Overijssel) betreft een vrij-afwaterend gebied zonder wateraanvoermogelijkheden en pilot-gebied noord (omgeving Schoonebeek, Drenthe) presenteert een vrij-afwaterend gebied met de mogelijkheid tot wateraanvoer (zie figuren 2 en 3). De pilot-gebieden hebben actueel en zichtbaar te kampen met vernatting en verdroging. De pilot-gebieden zijn representatief voor het watersysteem binnen het waterschap. Dat maakt de gebieden geschikt voor nader onderzoek naar mogelijke maatregelen om te balanceren tussen droogte en wateroverlast.



Figuur 2: Pilot-gebied zuid



Figuur 4: De ligging van de twee pilot-gebieden binnen waterschap Vechtstromen

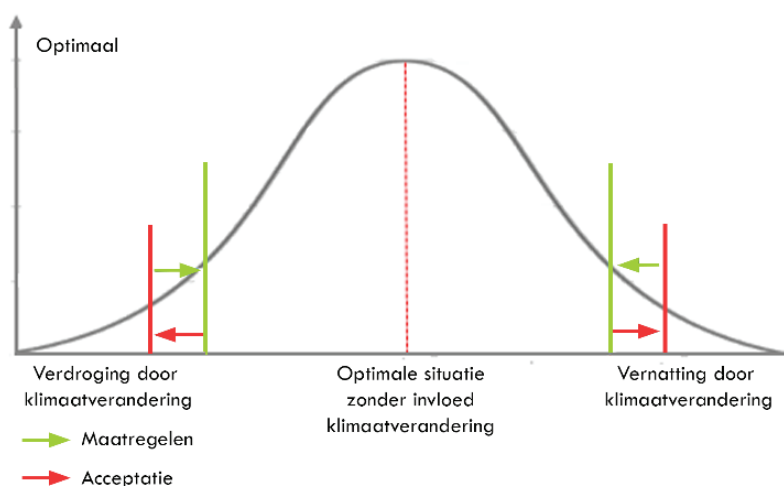


Figuur 3: Pilot-gebied noord

1.3 Probleemstelling

Het huidige watersysteem is ingericht om grote afvoeren snel te verwerken. Echter vraagt klimaatverandering om een watersysteem dat adaptief kan reageren op zowel piekbelasting als droogte. Het watersysteem dient een transitie te ondergaan, waarbij er een nieuwe balans moet worden gevonden tussen het afvoeren en bergen van voldoende water. Dat zou de optimale situatie zijn. Met het oog op de toekomst, wordt er verwacht dat de situatie van het watersysteem juist verder van deze optimale situatie af zal raken (zie Figuur 5).

Het waterschap wil duidelijk hebben waar de knelpunten op het gebied van wateroverlast en droogte zich in het watersysteem bevinden en welke maatregelen er getroffen kunnen worden om klimaateffecten, zoals wateroverlast en droogte te beperken. Figuur 5 wordt hierbij als uitgangspunt gebruikt. Dit figuur geeft de balans weer met de effecten van klimaatverandering op de functionering van het watersysteem. Er wordt verwacht dat er door klimaatverandering verder van de optimale situatie geweken wordt, waardoor er een keuze gemaakt moet worden: I) maatregelen nemen of II) accepteren dat er vaker overlast door verdroging of vernatting optreedt.



Figuur 5: Balans met de effecten van klimaatverandering op de functionering van het watersysteem. De perioden dat de situatie te nat of te droog is, gaan als gevolg van klimaatverandering toenemen.

1.4 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om advies te geven over de inrichting van een robuust watersysteem binnen de grenzen van waterschap Vechtstromen. Het beoogde eindproduct resulteert in een advies dat gericht is op het vinden van de juiste maatregelen, die zorgen voor een optimale functionering van het element waterkwaliteit in het project 'Robuust Watersysteem 2050'. Er wordt bekeken waar zowel de huidige knelpunten als die in 2050 zich gaan bevinden in het watersysteem.

Dit leidt tot de volgende hoofdvraag: **Hoe kan het watersysteem van waterschap Vechtstromen in 2050 robuust ingericht worden?**

1.5 Deelvragen

Om de hoofdvraag hoe het watersysteem van waterschap Vechtstromen in 2050 robuust ingericht kan worden te beantwoorden, zijn de volgende deelvragen opgesteld:

1. Wat is een robuust watersysteem?
2. Hoe robuust is het huidige watersysteem van waterschap Vechtstromen?
3. Welke knelpunten treden er in 2050 op in het watersysteem van waterschap Vechtstromen?
4. Welke gevolgen hebben de knelpunten die in 2050 optreden voor het huidige functiegebruik?
5. Welke maatregelen dragen bij aan de realisatie van een robuust watersysteem van waterschap Vechtstromen in 2050?

1.6 Leeswijzer*

Vanaf hoofdstuk 2 wordt het theoretisch kader uitgewerkt waarin er dieper ingaan wordt op de verschillende definities van een robuust watersysteem en welke definitie er in dit onderzoek gehanteerd wordt. In hoofdstuk 3 wordt de methode van het onderzoek uitgewerkt en hoofdstuk 4 omschrijft de gebiedsinventarisatie. Vanaf hoofdstuk 5 wordt de hydrologische systeemanalyse gepresenteerd. In dit hoofdstuk worden waterbalansen weergegeven en wordt er ingegaan op meteorologische droogte, hydrologische droogte, bodemvochtdroogte en wateroverlast. In Hoofdstuk 6 worden de knelpunten en kansrijke maatregelen uitgewerkt. In dit hoofdstuk worden de bevindingen van het onderzoek geprioriteerd met behulp van de MoSCoW-methode en de Multicriteria-analyse. In hoofdstuk 7 wordt er advies gegeven over kansrijke maatregelen die geïmplementeerd kunnen worden om het watersysteem robuust in te richten voor 2050. Hoofdstuk 8 geeft de conclusie en aanbevelingen weer. Dit hoofdstuk geeft antwoord op de hoofd- en deelvragen en er worden aanbevelingen aan het waterschap gedaan. Hoofdstuk 9 presenteert de discussie van het onderzoek.

** In de tekst wordt er regelmatig verwezen naar bijlagen. De bijlagen fungeren als verdieping van de hoofdtekst en onderbouwen de uitgangspunten van behaalde resultaten.*



2 Theoretisch kader

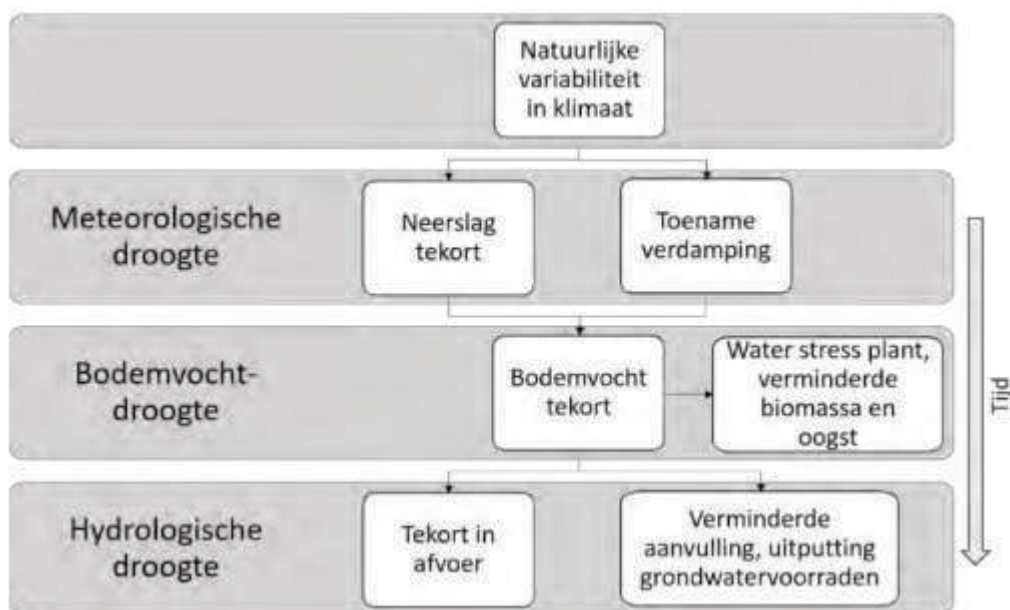
In dit hoofdstuk wordt er inzicht gegeven in de definities van wateroverlast en droogte. Daarnaast wordt de werkdefinitie van een 'robuust watersysteem' bepaald voor waterschap Vechtstromen.

2.1 Definitiebeschrijving klimaateffecten

Door klimaatverandering treden er verschillende klimaateffecten op waaronder droogte en wateroverlast. Maar wanneer spreekt men van droogte of wateroverlast? In deze paragraaf worden de definities voor de klimaateffecten geformuleerd.

Droogte

Droogte is een relatief begrip. In dit onderzoek wordt de volgende definitie gehanteerd: er wordt gesproken van droogte als een tijdelijke situatie droger is dan de reguliere langjarig-gemiddelde situatie. Deze droogte wordt veroorzaakt door variabiliteit in neerslag en verdamping (Peters, 2004). In dit onderzoek wordt er onderscheid gemaakt tussen de drie componenten: meteorologische droogte, hydrologische droogte en bodemvochtdroogte (zie figuur 6). Een gedetailleerde uitleg van deze begrippen is weergegeven in bijlage 1.



Figuur 6: Verschillende droogtecomponenten Bron: (van den Eertwegh, et al., 2019)

Wateroverlast

Wateroverlast is een fenomeen waarbij er last wordt ondervonden als gevolg van te veel water. Bij een teveel aan water kan er schade optreden. Door klimaatverandering worden winters natter en worden de buien 's zomers intensiever. Landelijke normen, zoals vanuit het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW), zijn bedoeld om veranderingen van neerslagintensiteit en landgebruik te vertalen naar wateroverlast (Immerzeel & Droogers, 2008). Als de landelijke normen worden overtreden is er sprake van wateroverlast. In dit rapport worden drie vormen van wateroverlast behandeld: kortdurende hevige neerslag, langdurende neerslag en grondwateroverlast.

2.2 Werkdefinitie robuust watersysteem

Het huidige watersysteem is erop ingericht om (overtollig) water zo snel en veilig mogelijk af te voeren en om gebiedsvreemd water aan te voeren bij watertekorten (Vallei en Veluwe, 2020). Mede door klimaatverandering, die droogte veroorzaakt, zal deze aanpak in de toekomst nadelige gevolgen kennen. De huidige inrichting en het beheer vraagt om een revitalisatie. In het beleid wordt het facet vasthouden uit de drietrapsmethode van vasthouden, bergen en afvoeren niet vaak meegenomen. Het robuust inrichten van het watersysteem wordt in veel beleidsstukken genoemd als oplossing voor de gevolgen van droogte en wateroverlast die door klimaatverandering vaker zullen voorkomen. Maar wat houdt robuust in? Robuust betekent letterlijk sterk en stevig en als iets robuust is, wordt de indruk gewekt dat het niet snel kapot gaat (zie figuur 7).

robuust (bn.; -er, meest -) [<Fr. *robuste*], stevig gebouwd, syn. *sterk, krachtig*: (meton.) *een robuuste gezondheid*.

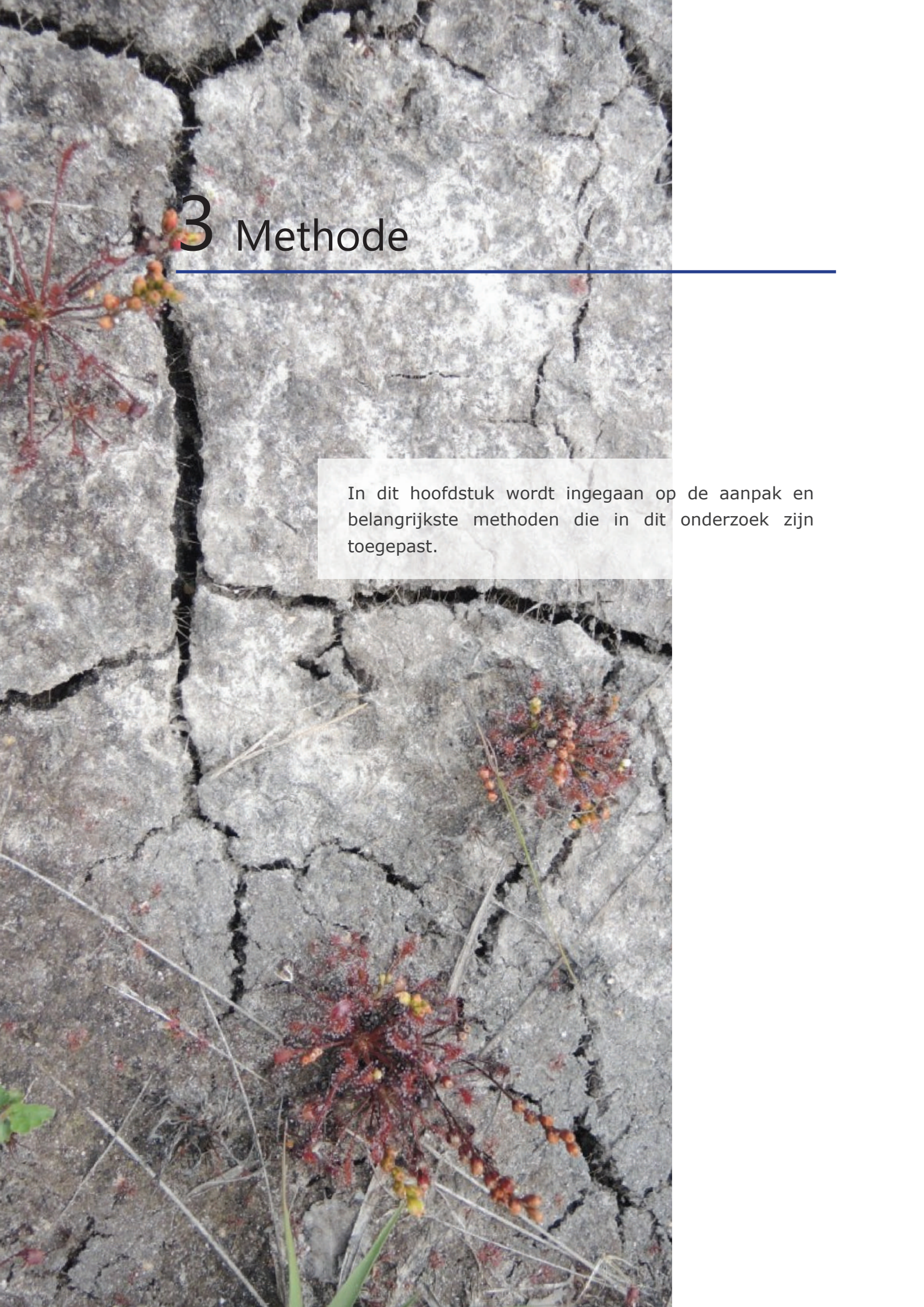
Figuur 7: Definitie van robuust volgens de van Dale Bron: (van Dale, sd)

In het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie, maar ook in andere beleidstukken van het waterschap, wordt het begrip robuust meerdere malen gebruikt, er is alleen geen eenduidige definitie.

Bijlage 2, laat zien dat een robuust watersysteem het resultaat is van systeemrobuustheid en veerkrachtigheid. Systeemrobuust betekent het vermogen van een systeem om verstoringen te voorkomen. Met veerkrachtig wordt bedoeld op het vermogen van een systeem om te herstellen van de gevolgen van verstoringen (de Bruijn, 2005).

Het Nationaal waterplan stelt dat een robuust watersysteem bestand moet zijn tegen extreme gebeurtenissen én weerstand moet bieden aan verschillende mogelijke toekomstige ontwikkelingen. De maatregelen die het watersysteem ondersteunen en de gebruikers die hierbij betrokken zijn, dienen om te gaan met onzekerheden omtrent toekomstige ontwikkelingen. Hierin moet er onderscheidt gemaakt worden tussen systeemrobuustheid (omgaan met extreme gebeurtenissen) en beslisrobuustheid (omgaan met onzekerheden van toekomstige ontwikkelingen) (Stowa, sd). Het proefschrift 'System Robustness Analysis in support of flood and drought riskmanagement' (Mens, 2015), voegt toe dat het watersysteem robuust is als het systeem kan blijven functioneren tijdens verschillende mate van verstoring en waardoor schade beperkt blijft. Gebruikers van het watersysteem dienen dus zo weinig mogelijk nadelige gevolgen te ondervinden van verstoringen in het watersysteem als deze als robuust gedefinieerd is. Een watersysteem dat veerkrachtig wordt beschouwd kan op lange termijn acteren op voorspelde klimaatveranderingen. Hiermee wordt bedoeld dat een watersysteem pas robuust kan worden beschouwd als het lange levensduur heeft om blijvend te kunnen acteren op veranderingen.

Kortom een robuust watersysteem is het resultaat van systeemrobuustheid en veerkrachtigheid. In dit onderzoek wordt een robuust watersysteem als volgt gedefinieerd: *'Een systeem dat weerstand biedt aan- en veerkrachtig reageert op- de toename van extremere weerssituaties waarbij de verschillende gebruikers van het systeem allemaal betrokken zijn en de gebruikers zoveel mogelijk profiteren zonder nadelige gevolgen te ervaren. Daarnaast moet het watersysteem een lange levensduur hebben, ofwel lang kunnen acteren op veranderingen.'*



3 Methode

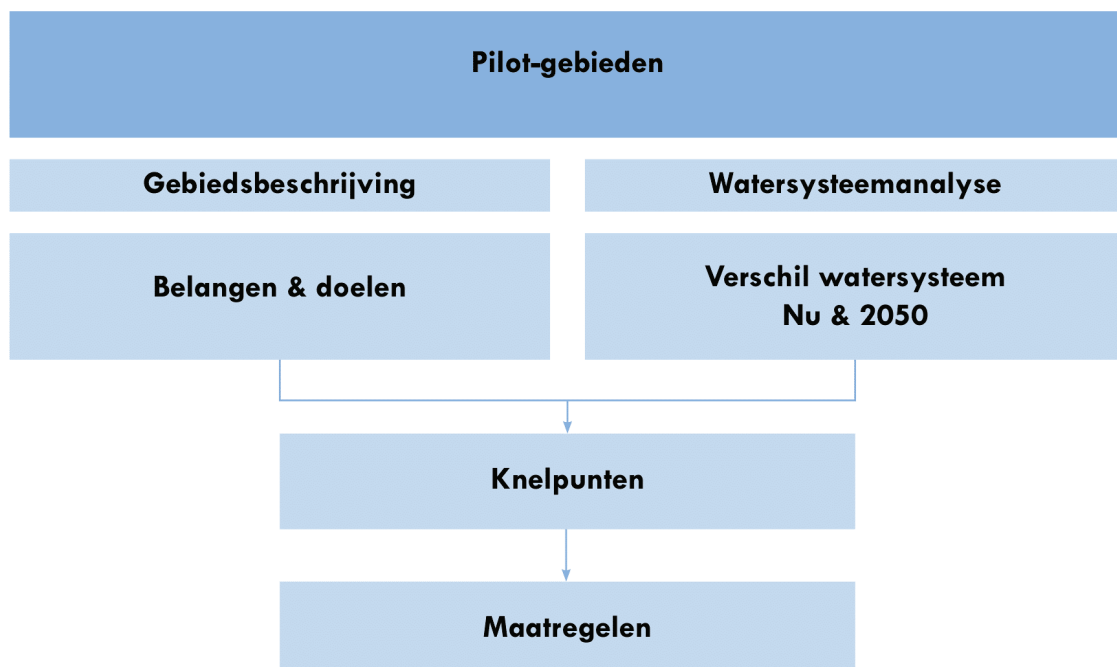
In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de aanpak en belangrijkste methoden die in dit onderzoek zijn toegepast.

3.1 Soort onderzoek

Dit onderzoek is een praktijkgericht onderzoek. Praktijkgericht onderzoek is geworteld in de beroepspraktijk en draagt bij aan de verbetering en innovatie van die beroepspraktijk. Dergelijk onderzoek vindt plaats door het genereren van kennis en inzichten, maar ook door het leveren van toepasbare producten en ontwerpen en concrete oplossingen voor praktijkproblemen (Lange, de, Schuman, & Montesano Montessori, 2011).

3.2 Werkwijze

In dit onderzoek zijn er verschillende stappen doorlopen om antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag (zie figuur 8). Het doel van het onderzoek is om advies te geven over de inrichting van een robuust watersysteem, waarbij het watersysteem voldoet aan de vraag van betrokken gebruiksfuncties. Dit vraagt enige kennis over het projectgebied en oorzaken van klimaatsverandering. Kennis over het projectgebied is verkregen door het uitvoeren van een gebiedsbeschrijving en een hydrologische watersysteemanalyse. Informatie voortkomend uit deze onderzoeken hebben tijdens het gehele onderzoek gediend als uitgangssituatie en geven inzicht in de werking van zowel het huidige watersysteem als het watersysteem in 2050, eigenschappen van het projectgebied en de doelen en belangen van actoren bij een robuust watersysteem. De resultaten van deze methoden resulteren in knelpunten die zich in 2050 voor zullen doen in het watersysteem. De knelpunten zijn met behulp van de MoSCoW-methode geprioriteerd op urgentie, waarna er maatregelen opgesteld zijn om de knelpunten te verlichten. De maatregelen zijn met behulp van een Multicriteria-analyse (MCA) gescoord op verschillende criteria om inzichtelijk te krijgen welke maatregelen het meest bijdragen aan een robuuste inrichting van het watersysteem. De uitwerking van de effectieve maatregelen uit zich in een praktijkgericht advies dat antwoord geeft op de hoofdvraag.



Figuur 8: Methode

3.3 Dataverzameling

In het onderzoek wordt desktopresearch en veldonderzoek verricht om antwoord te geven op de vraag hoe een robuust watersysteem van waterschap Vechtstromen in 2050 ingericht kan worden. De onderzoeksmethoden die gebruikt worden, zijn zowel kwantitatief als kwalitatief.

Desktopresearch

Dit onderzoek is grotendeels gebaseerd op desktopresearch. Dit onderdeel is kwalitatief van aard en uitte zich in het bestuderen van specifieke informatie over de pilot-gebieden, criteria waar een robuust watersysteem aan moet voldoen en de uitwerking van verschillende klimaateffecten in 2050. Voor het verkrijgen van specifieke gebiedsinformatie is er gebruikgemaakt van de webviewers van het waterschap; Geoweb en Atis. De volledige beschrijving van de pilot-gebieden is aangevuld met secundaire gegevens, waarbij voornamelijk digitale bronnen van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), de Wageningen Universiteit, Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), USGS Global Visualization Viewer, Kennisportaal Ruimtelijke adaptatie en klimaatatlassen Twente en Drenthe zijn geraadpleegd.

Veldonderzoek

Veldonderzoek bestaat in dit onderzoek uit het afnemen van semi-gestructureerde interviews, het gaan op veldbezoek en het bijwonen van verschillende vergaderingen en brainstormsessies. Informatie verkregen uit veldonderzoek dient ter onderbouwing van de verwerkte data. Veldonderzoek geeft inzicht in de werking van het watersysteem, eigenschappen van de pilot-gebieden en de belangen van de actoren.

Analyses

De analyse levert een beschrijving op van de uitwerking van klimaateffecten op het watersysteem en verschillende actoren in de pilot-gebieden. Er zijn in dit onderzoek verschillende analysemethoden gebruikt. De verzamelde data uit desktopresearch en veldonderzoek is met behulp van Excel en ArcMap (GIS) verwerkt tot waterbalansen en analyses van droogte en wateroverlast. De bevindingen van deze analyses blijken knelpunten te zijn, die optreden in het watersysteem van 2050. De knelpunten, die zijn voortgekomen uit de gebiedsbeschrijving en watersysteemanalyse, zijn vervolgens volgens de MoSCoW-methode gesorteerd op volgorde van belangrijkheid. Daarna zijn op basis van prioriteiten maatregelen opgesteld. De prioriteiten zijn gebaseerd op de ernst en omvang van de knelpunten. Deze maatregelen zijn vervolgens met behulp van de Multicriteria-analyse (MCA) geanalyseerd om inzichtelijk te krijgen welke maatregelen het meest bijdragen aan een robuuste inrichting van het watersysteem.

3.4 Validatie en betrouwbaarheid

Ten behoeve van de validiteit is er in dit onderzoek zoveel mogelijk gebruikgemaakt van de meest recente literatuur en betrouwbare bronnen van onder andere de Wageningen Universiteit, het KNMI, Stowa, FAO, Rijksoverheid en interne informatie van het waterschap. De interviews dienen als onderbouwing van de resultaten van de verschillende analyses die zijn gebaseerd op gebruikte bronnen.

De hoeveelheid bronnen maakt het onderzoek valide omdat verschillende bronnen met elkaar kunnen worden vergeleken. Minder valide is dat de bronnen zijn gekozen en geïnterpreteerd vanuit het referentiekader van de onderzoekers. De vastlegging van gebruikte bronnen zorgt voor een grote betrouwbaarheid van het desktopresearch.

De interviews zijn in het eerste deel van het onderzoek fysiek afgenomen bij de medewerkers van het waterschap. Deze interviews zijn niet opgenomen wat ze minder valide maakt. Wel zijn er door meerdere onderzoekers aantekeningen gemaakt. Door de corona-crisis hebben er geen

verdere fysieke interviews met actoren plaatsgevonden en is getracht om de interviews via mail af te nemen. Van de vijf verzonden interviews is er slechts één interview volledig ingevuld en is verdere reactie van actoren uitgebleven. Deze interviews zijn valide omdat de antwoorden op schrift staan. Door geringe reacties was het opstellen van een valide actorenanalyse niet mogelijk waardoor er is gekozen voor een algemene actorenbeschrijving van de drie hoofdactoren: waterschap Vechtstromen, agrariërs en natuurbeheerders.

De bevindingen uit het hoofdstuk 'Knelpunten en kansrijke maatregelen' zijn volgens de MoSCoW-methode geprioriteerd. De MoSCoW-methode is gevoelig voor subjectiviteit omdat de invulling van deze analyse afhangt van de argumentatie. Omdat argumentaties subjectief zijn, kan er getwijfeld worden aan de validiteit van de MoSCoW-methode. De prioritering heeft geen invloed op het resultaat van het onderzoek, maar geeft helder weer welke knelpunten het urgentst zijn. De criteria die gebruikt zijn in de MCA zijn gebaseerd op verschillende aspecten van het onderzoek. Een maatregel krijgt per criteria een score toegekend. Hoe hoger de score hoe geschikter de maatregel. Op deze manier hebben de verschillende criteria invloed op de prioritering van de maatregelen. Verandert de waarde per criterium, dan heeft dit invloed op het resultaat van de MCA. Om betrouwbaarheid van de MCA te garanderen, is elke score per criterium beargumenteerd. Omdat beargumentaties subjectief zijn, kan er getwijfeld worden aan de betrouwbaarheid van de MCA. De mogelijke gevolgen van subjectiviteit zijn in dit onderzoek gevalideerd met een gevoeligheidsanalyse.

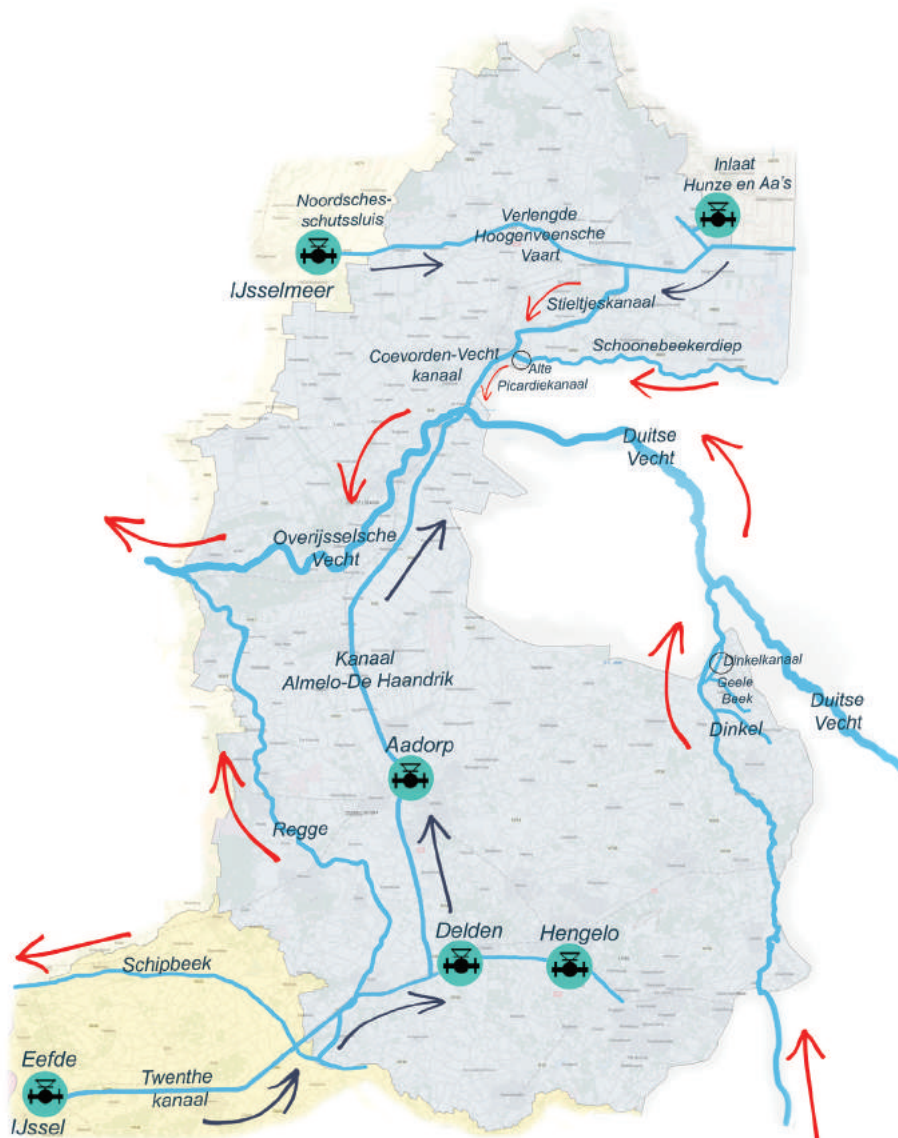
4 Gebiedsbeschrijving



Hoe zit het beheergebied van waterschap Vechtstromen en de pilot-gebieden in elkaar? Dit hoofdstuk beschrijft de huidige situatie van het beheergebied met bijbehorende knelpunten van waterschap Vechtstromen en de pilot-gebieden.

4.1 Watersysteem waterschap Vechtstromen

Het watersysteem van waterschap Vechtstromen (zie figuur 9), valt binnen de provincies Drenthe, Overijssel en Gelderland. De Regge, Dinkel en de Overijsselsche Vecht vormen samen het geraamte van het watersysteem van waterschap Vechtstromen. Een deel van het beheergebied (40%) kan via het Twentekanaalsysteem en het Drents Primair Aanvoersysteem (DPA), worden voorzien van water (Braak, Grobbe, Heitbrink, Lenne, & Worm, 2019). De wateraanvoerende gebieden zijn voornamelijk gelegen in Drenthe en in een klein deel van het Overijsselse beheergebied. Deze gebieden worden gekenmerkt door een streefpeil dat wordt gehandhaafd door het inlaten van gebiedsvreemd water of het wegpompen van het overschot. Het overgrote deel van het Overijsselse beheergebied (noordoost Twente) wordt gekenmerkt als een vrij-afwaterend gebied, waarbij wateraanvoer in tijden van droogte niet mogelijk is. De distributie van water in de pilot-gebieden gaat via watergangen. Er zijn twee categorieën watergangen: 'OOWS' en 'Watergangen in bedrijf'. 'OOWS'-watergangen zijn watergangen die binnen het nieuwe onderhoudsbeleid van Vechtstromen vallen en waarvan het onderhoud door de grondeigenaren wordt uitgevoerd (Waterschap Vechtstromen, sd). 'Watergangen in bedrijf' zijn watergangen die op de legger staan en worden beheerd door waterschap Vechtstromen. Een uitgebreidere beschrijving van het watersysteem van Vechtstromen is te lezen in bijlage 4.1.



Figuur 9: Watersysteem waterschap Vechtstromen. De donkerblauwe pijlen geven de aanvoermogelijkheden van water aan. De rode pijlen geven de afvoer van water weer.

4.2 Actorenbeschrijving

Bij het robuust maken van het watersysteem is de betrokkenheid van actoren vereist. Omdat de pilot-gebieden grotendeels worden gebruikt en beheerd door het waterschap, agrariërs en natuurorganisaties, worden deze actoren als hoofd-actoren beschouwd (zie figuren 10 en 14). Er zijn naast de hoofd-actoren nog meer actoren (zie bijlage 5). Deze actoren zijn in dit onderzoek echter buiten beschouwing gelaten omdat ze niet tot de hoofdgebruikers van het watersysteem behoren. Dit is bevestigd door de gebiedsbeheerders van beide pilot-gebieden.

Doelen en belangen waterschap Vechtstromen

Beide pilot-gebieden vallen binnen het beheergebied van waterschap Vechtstromen. Het waterschap controleert en regelt de waterhuishouding en is verantwoordelijk voor onder andere de waterkeringszorg, het waterkwantiteitsbeheer en het waterkwaliteitsbeheer binnen het beheergebied (waterschap Vechtstromen, sd). Het hoofddoel van het waterschap is om een optimale balans te vinden tussen vernatting en verdroging in het watersysteem. Dit probeert het waterschap te verwezenlijken door de uitvoering van het project 'Robuust watersysteem 2050'. Een optimale balans in het watersysteem is nodig om te voldoen aan de opgestelde beleidskaders (zie bijlage 3).

Doelen en belangen agrariërs

De pilot-gebieden worden voor het grootste deel gebruikt door agrariërs. De meeste agrariërs worden vertegenwoordigd door LTO Noord. LTO Noord vormt de schakel tussen haar leden, de overheid, de maatschappij en het bedrijfsleven (LTO Noord, sd). Zoals vanzelfsprekend is het hoofddoel van agrariërs het behalen van winst middels het leveren van agrarische producten. Een tekort of overschot aan water leidt tot kapitaalverlies, waardoor agrarisch ondernemen bemoeilijkt wordt. Agrariërs hebben belang bij een robuust watersysteem zodat ze voortdurend van een optimaal waterpeil voorzien kunnen worden. Hierdoor treedt er bijvoorbeeld minder gewasschade op door droogte- en zuurstofstress en blijft de bewerking van het land mogelijk.

Doelen en belangen natuur

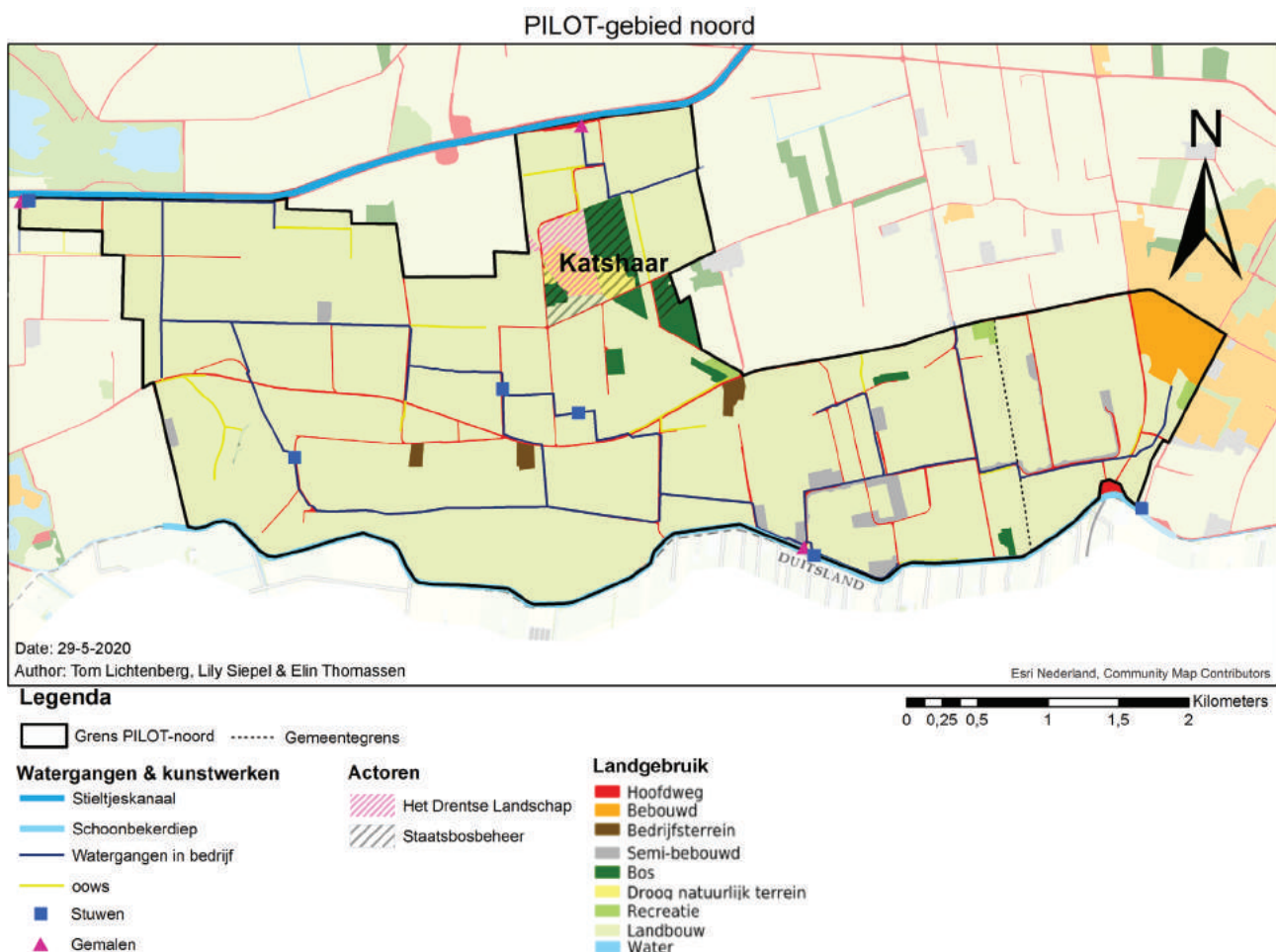
Naast de actor agrariërs, is ook de actor natuur actief in het gebied. Onder de actor natuur wordt ook de actor landgoederen geschaard. Landgoed Twickel verpacht veel percelen in pilot-gebied zuid en wil namelijk, door middel van natuurinclusieve landbouw bijdragen aan natuur. De natuur in de pilot-gebieden wordt beheerd door verschillende organisaties: Staatsbosbeheer, Het Drentse Landschap, Landschap Overijssel, Landgoed Twickel en Huis te Breckelenkamp. Al deze organisaties hebben hetzelfde hoofddoel: het onderhouden, beschermen en ontwikkelen van het landschap (Staatsbosbeheer, sd) (Het Drentse Landschap, sd) (Landschap Overijssel, sd). In pilot-gebied zuid bevindt zich het natuurgebied 'Schans de Katshaar'. Dit natuurgebied wordt gekenmerkt als een droog natuurlijk terrein met enkele vochtminnende gebieden. Daarnaast is een deel van de natuur in pilot-gebied zuid onderdeel van Natura-2000 (Bergvennen en Brecklenkampse Veld). De natuur in het Natura-2000 gebied is een combinatie van droogte- en vochtminnende natuur. De actor natuur heeft belang bij een robuust watersysteem zodat de natuurlijke sponswerking van het systeem wordt hersteld en de gebieden veerkrachtig kunnen reageren op klimaat effecten. De sponswerking is verminderd door de aanleg van diepe sloten in het kader van de ruilverkaveling door landbouw (zie bijlage 11.5). Een tekort aan water leidt tot schade aan natuur en erfgoed. Natuur heeft meer baat bij een grote bergingsmogelijkheid waardoor gebiedseigen water beter vastgehouden kan worden. Een wateroverschot wordt dan ook als kans gezien om waterbuffers aan te vullen, die ingezet kunnen worden in drogere perioden.

Resultaat

De verschillen in belangen en doelen van de actoren leiden tot conflicten over de inrichting van het watersysteem. Agrariërs hebben belang bij een waterpeil dat past bij agrarisch functiegebruik. Natuur heeft daarentegen belang bij een hoger waterpeil om het natuurlijke systeem te herstellen. Een hersteld natuurlijker systeem kan water beter vasthouden waardoor natuur beschermd wordt tegen watertekorten in tijden van droogte (zie bijlage 11.5). Een waterpeil dat afgesteld is op agrarisch functiegebruik zorgt voor het diep wegzakken van grondwaterstanden, wat schadelijk is voor natuur. Een te hoog waterpeil zorgt daarentegen voor schade aan agrarisch functiegebruik. De bewerking van het land is hierdoor minder goed mogelijk en de kans op gewasschade door zuurstofstress neemt toe. Het waterschap staat tussen de twee actoren in en probeert ze van een optimaal waterpeil te voorzien. In 2050 wordt dit echter bemoeilijkt door het vaker voorkomen van klimaateffecten. Hoe het waterschap het watersysteem in 2050 robuust kan inrichten waardoor de actoren van een optimaal waterpeil kunnen worden voorzien, wordt in dit rapport onderzocht.

4.3 Beschrijving pilot-gebied noord

Deze paragraaf geeft een beschrijving van de huidige situatie met bijbehorende knelpunten van pilot-gebied noord. Pilot-gebied noord vertegenwoordigt het watersysteem, met de optie tot wateraanvoer. Het pilot-gebied bevindt zich in Drenthe nabij het dorp Schoonebeek. Het gebied wordt in het zuiden begrensd door het Schoonebekerdiep en in het noorden door het Stieltjeskanaal (zie figuur 10). Een uitgebreidere gebiedsbeschrijving van pilot-gebied noord is weergegeven in bijlage 6.

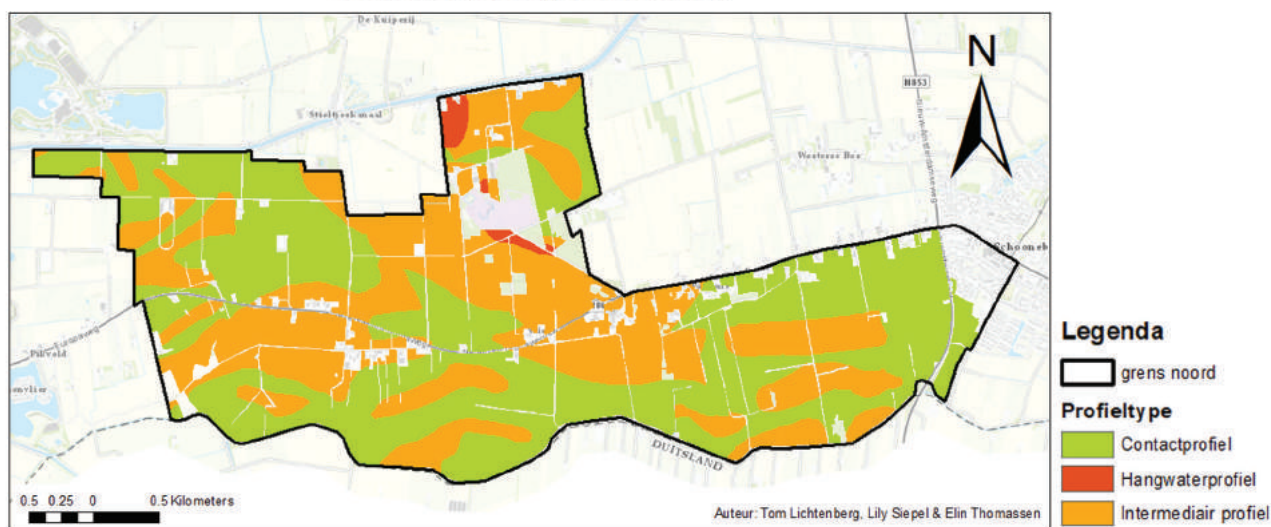


Figuur 10: Landgebruik en eigenaren pilot-gebied noord

Abiotische factoren

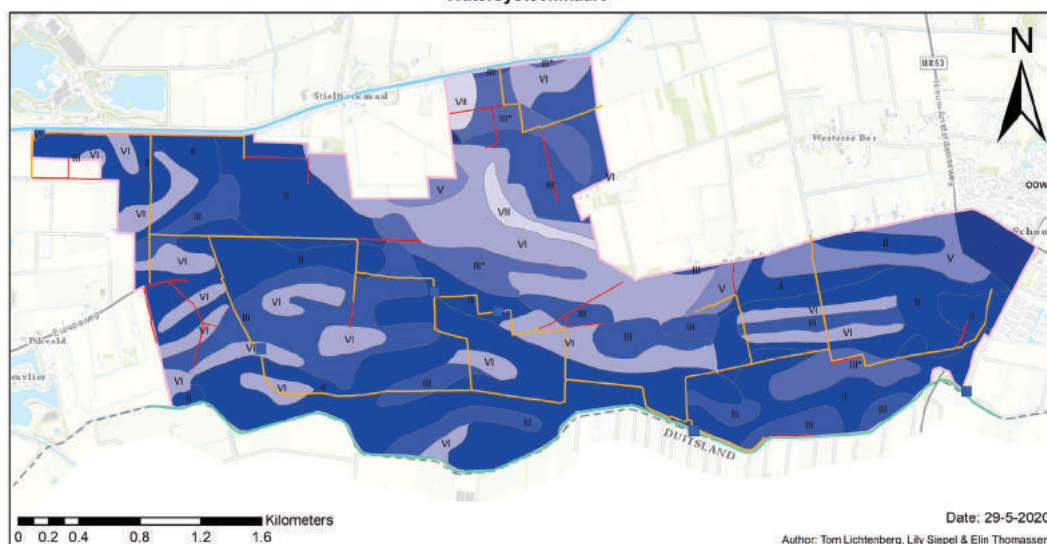
Het gebied behoort tot het zandlandschap. De bodem in wateraanvoerende gebieden, zo ook pilot-gebied noord, wordt met name gekenmerkt door contact- en intermediaire bodemprofielen (zie figuur 11). De grondwaterstanden liggen bij een contactprofiel bijna het gehele jaar vlak onder het maaiveld. Bij intermediaire profielen ligt het grondwater in de winter vlak onder de oppervlakte en in de zomer diep onder het maaiveld (zie bijlage 8). De grondwatertrappen komen overeen met de profielen (zie figuur 12). Op plekken met intermediaire profielen bevinden zich de grondwatertrappen VI en VII. Op plekken met contactprofielen zijn voornamelijk grondwatertrappen II en III te vinden. Het pilot-gebied heeft veel watergangen. De watergangen zijn smal en diep waardoor ze een grote drainerende werking hebben.

Profielen pilot-gebied noord



Figuur 11: Profielen pilot-gebied noord

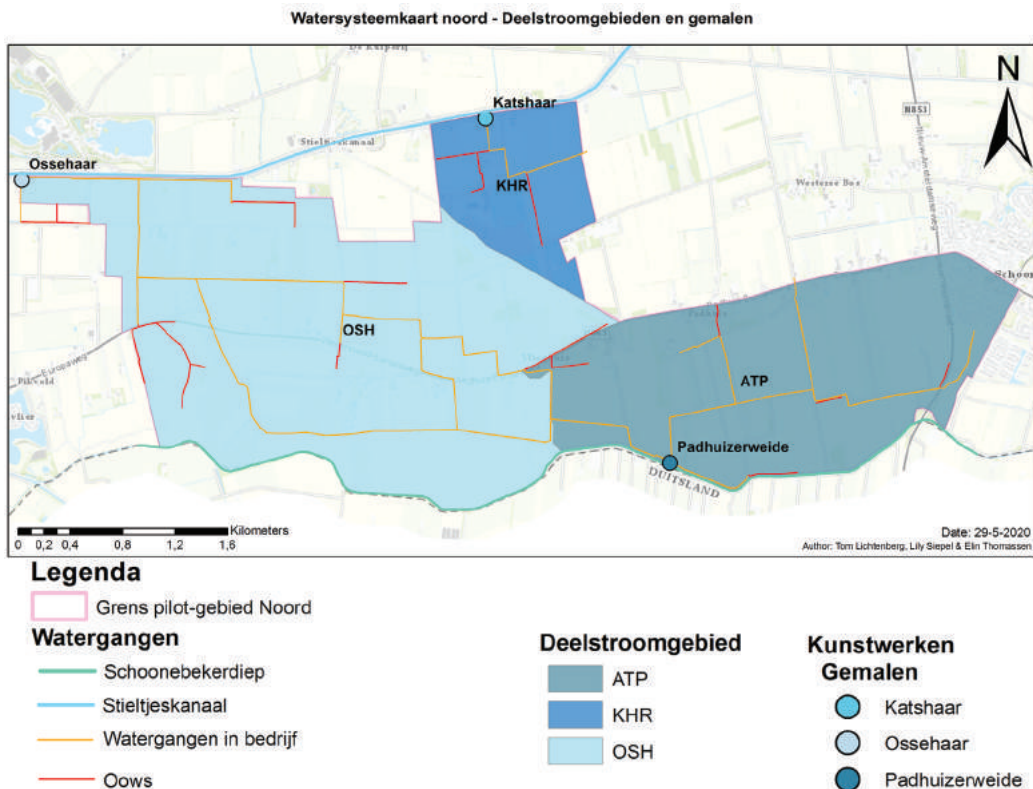
Watersysteemkaart



Figuur 12: Watersysteem pilot-gebied noord

Watersysteem

Pilot-gebied noord is opgedeeld in deelstroomgebieden Ossehaar, Alte Picardie Kanaal en Katshaar (zie figuur 13). Deelstroomgebied Ossehaar is het grootste deelstroomgebied, waarin de watergangen afwateren op het gemaal Ossehaar en worden afgevoerd op het Stieltjeskanaal. Een deel van deelstroomgebied Alte Picardie Kanaal ligt binnen het pilot-gebied. Water uit het deelstroomgebied watert via gemaal Padhuizerweide af op het Schoonebekerdiep. Het waterschap hanteert in het pilot-gebied streefpeilen waardoor er enkel water wordt afgevoerd wanneer het waterpeil het streefpeil overstijgt. Bij een watertekort kan wateraanvoer plaatsvinden via gemaal Padhuizerweide. Deelstroomgebied Katshaar is vrij-afwaterend.



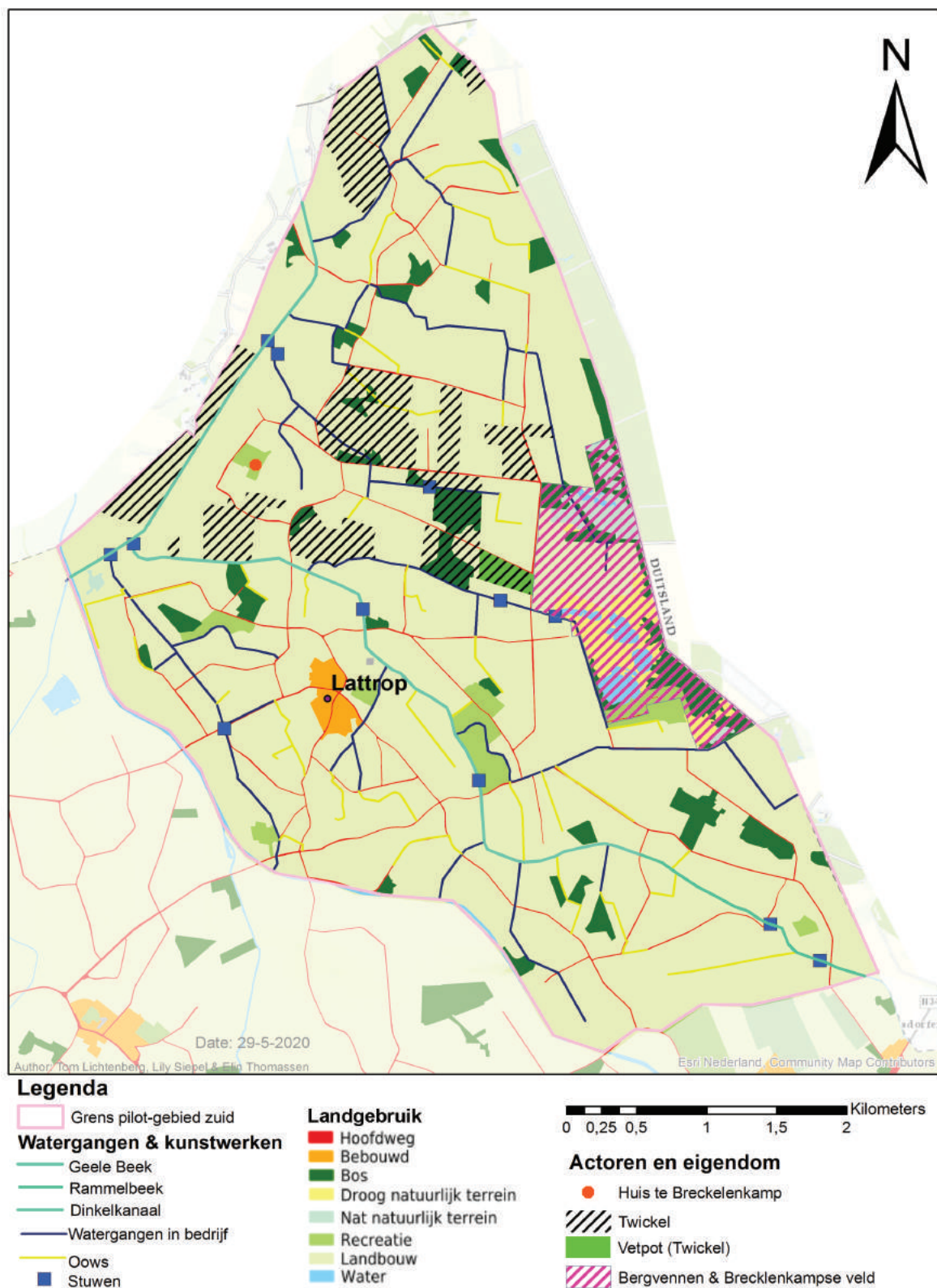
Figuur 13: Deelstroomgebieden pilot-gebied noord

Knelpunten huidig watersysteem

Het pilot-gebied is voornamelijk wateraanvoerend, wat betekent dat er in drogere perioden extern water aangevoerd kan worden. door deze watertoevoermogelijkheid wordt er in de zomermaanden weinig droogte ervaren. Tijdens de extreem droge zomers van afgelopen jaren bleek dat watertoevoer beperkt mogelijk was omdat het gemaal Padhuizerweide niet diep genoeg kan opmalen, zodat bij droogte het gebied niet meer van water kan worden voorzien. Door de mindere mogelijkheid tot wateraanvoer wordt er in de extreme zomers toch droogtestress ervaren. De drainerende werking van smal en diep gedimensioneerde watergangen draagt hier aan bij. Bij hoge piekafvoeren treedt het water buiten de oevers, doordat 90% van de watergangen wordt bediend met handbediende kunstwerken. Vanwege te weinig personeel, kunnen deze kunstwerken niet op tijd bediend worden waardoor wateroverlast optreedt. Plasvorming door wateroverlast heeft een negatief effect op gewassen en vegetatie door zuurstofstress. Een uitgebreide beschrijving van de knelpunten is weergegeven in bijlage 9. Onderbouwing van de knelpunten is weergegeven in bijlage 11.

4.4 Beschrijving pilot-gebied zuid

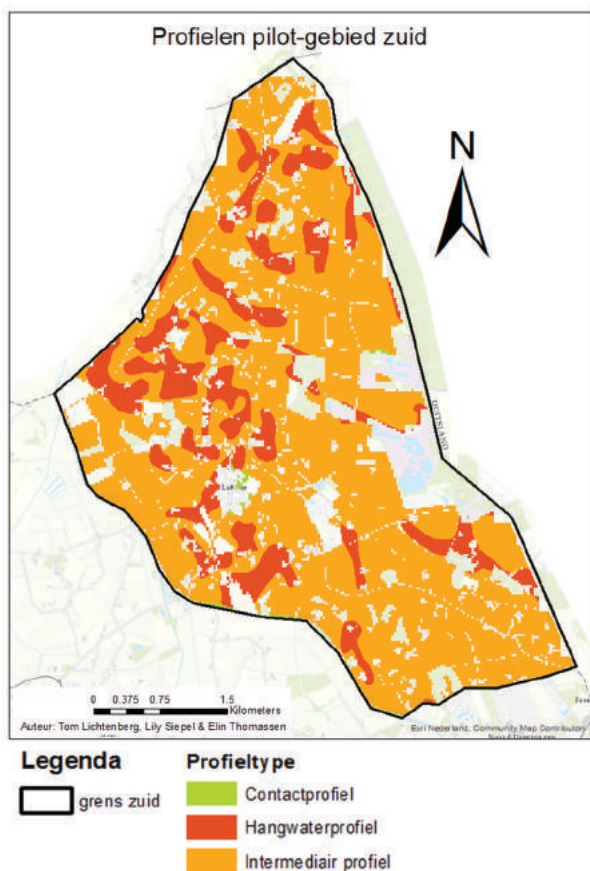
Deze paragraaf geeft een beschrijving van de huidige situatie met bijbehorende knelpunten van pilot-gebied zuid. Pilot-gebied zuid is gelegen bij Lattrop-Breklenkamp in de gemeente Dinkelland (Overijssel). Het pilot-gebied wordt omgrenst door de Dinkel, het Dinkelkanaal en de Geele Beek (zie figuur 14). Het pilot-gebied bevindt zich in het vrij-afwaterende deel van het waterschap. Een uitgebreidere gebiedsbeschrijving van pilot-gebied zuid is weergegeven bijlage 7.



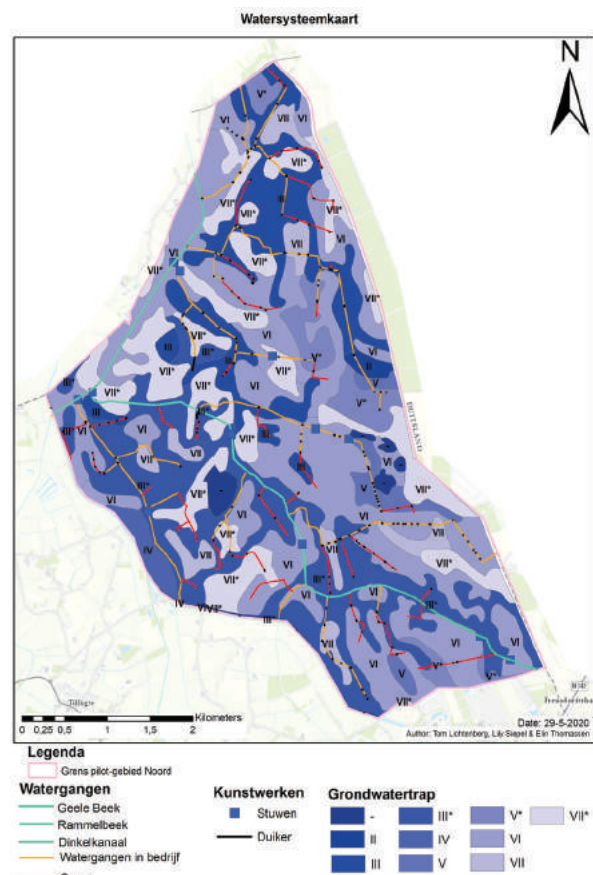
Figuur 14: Landgebruik en eigenaren pilot-gebied zuid

Abiotische factoren

Pilot-gebied zuid is een relatief droog gebied, waar voornamelijk de grondwatertrappen VI, VII en VII* voorkomen (zie figuur 16). Het gebied ligt op de hoge zandgronden en behoort tot het zandlandschap. De bodem in een vrij-afwaterend gebied wordt met name gekenmerkt door intermediaire profielen in combinatie met enkele hangwaterprofielen (zie figuur 15). Bij hangwaterprofielen ligt de grondwaterstand het hele jaar diep onder het maaiveld. Op deze profielen zijn gewassen en vegetatie volledig afhankelijk van vochtvoorziening via neerslag of irrigatie (zie bijlage 8). De grondwatertrappen komen overeen met de profielen (zie figuur 16). Op plekken met hangwaterprofielen bevinden zich de grondwatertrappen VI en VII. Een groot aantal watergangen in het gebied zijn zeer diep ingesneden, waardoor deze watergangen een hoge drainerende werking hebben.



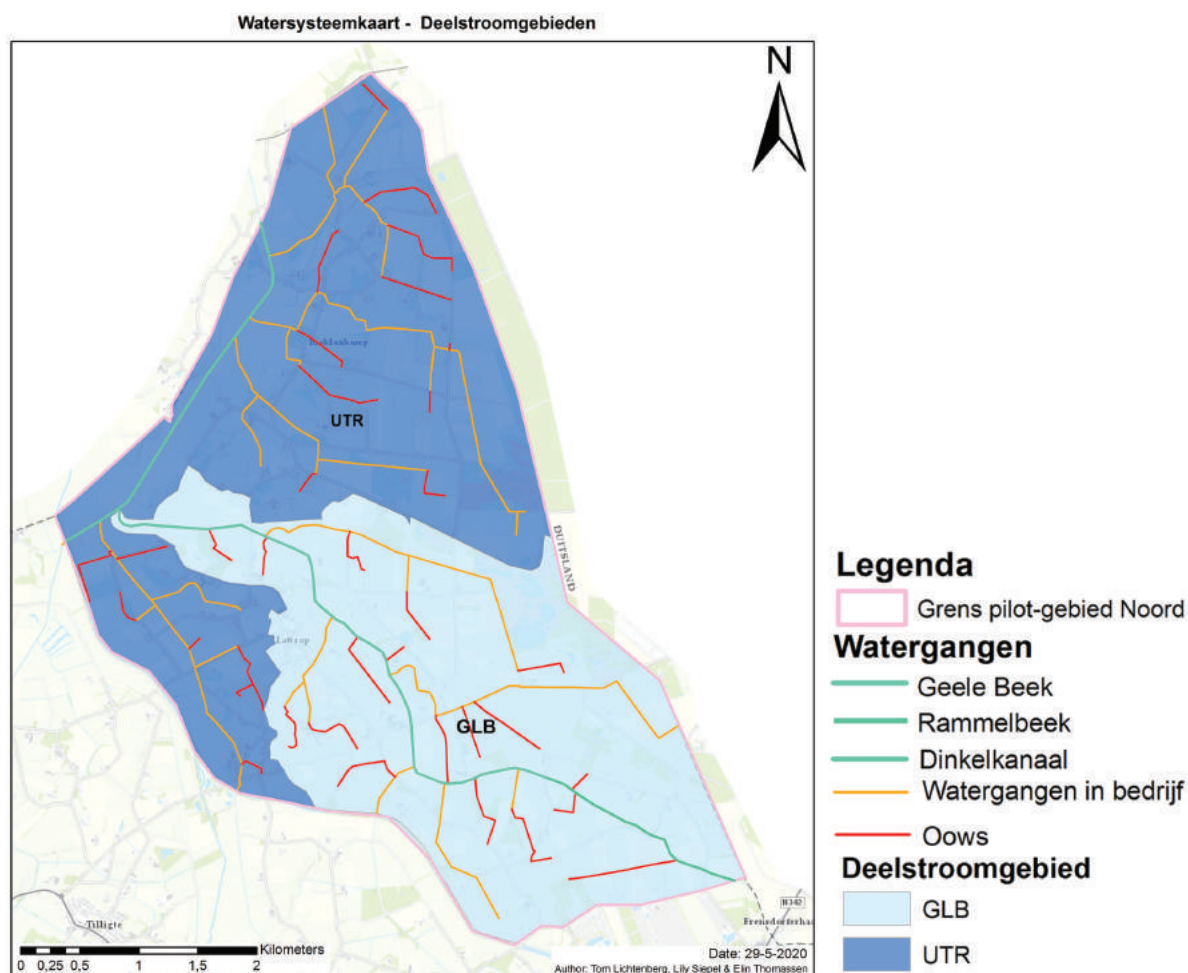
Figuur 15: Profielen pilot-gebied zuid



Figuur 16: Watersysteemkaart pilot-gebied zuid

Watersysteem

Pilot-gebied zuid is opgedeeld in de deelstroomgebieden Untere Dinkel (UTR) en Geele Beek (GLB) (zie figuur 17). Het deelstroomgebied UTR bedekt het grootste gedeelte van het projectgebied. Omdat er in het gebied sprake is van verhang hoeft het gebied niet leeggepompt te worden met gemalen maar kan het vrij afstromen. Het water in beide deelstroomgebieden stroomt dan ook vrij af op de Dinkel of het Dinkelkanaal. Anders dan in pilot-gebied noord wordt er in pilot-gebied zuid gewerkt met stuwen die het waterniveau op peil houden (zie bijlage 7).



Figuur 17: Deelstroomgebieden pilot-gebied zuid

Knelpunten huidig watersysteem

De gebruiksfuncties ondervinden in langdurige warme perioden, zoals de zomers van 2018 en 2019, overlast door droogte. De droogte heeft te maken met het vocht leverende vermogen van de hoge zandgronden. Doordat het gebied op een hoge zandgrond ligt, infiltreert regenwater snel en kan het slecht worden vastgehouden. De drainerende werking van de smal en diep gedimensioneerde watergangen draagt hier aan bij. Daarnaast is het gebied vrij-afwaterend, waardoor er geen water aangevoerd kan worden en het gebied afhankelijk is van regenwater. Door de hoge verdamping en de afhankelijkheid van regenval trad er onherstelbare schade op aan de natuur. Niet alleen natuur leed onder de droogte, ook agrariërs. In extreem droge perioden, zoals de zomers van 2018 en 2019, is er een onttrekkingsverbod van grond- en oppervlaktewater ingesteld. Hierdoor konden de agrariërs hun gewassen niet irrigeren wat leidde tot gewasschade. Toch kunnen er in natte periodes ook problemen ontstaan. Zo kan water blijven staan op straat of op percelen die worden gebruikt voor landbouw (Huiskens, 2020). Een uitgebreide beschrijving van de knelpunten is weergegeven in bijlage 10. Onderbouwing van de knelpunten zijn weergegeven in bijlage 11.

5 Hydrologische systeemanalyse



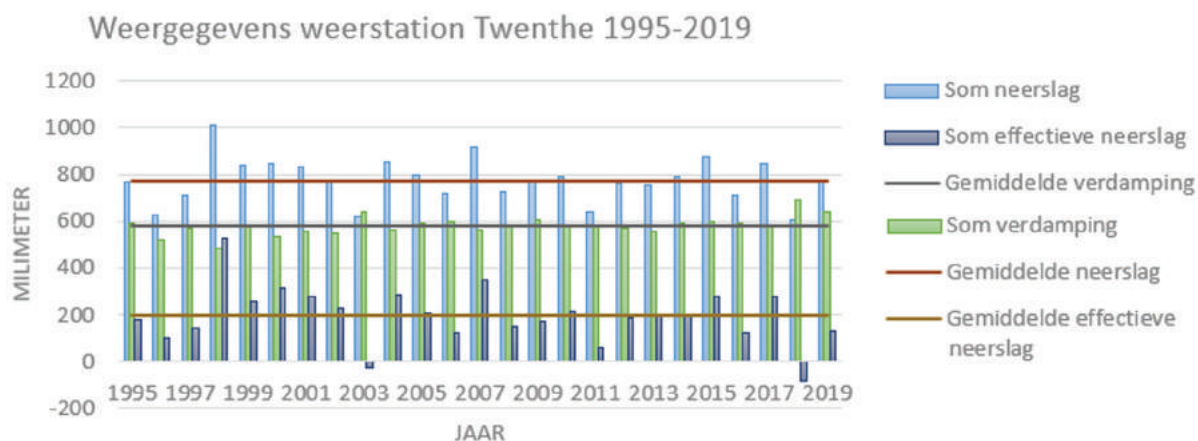
In dit hoofdstuk wordt de robuustheid van zowel het huidige als het watersysteem in 2050 inzichtelijk gemaakt. De robuustheidsbepaling wordt gedaan door het opstellen van waterbalansen. De waterbalansen zijn gebaseerd op neerslag en temperatuur van een normaal jaar, een extreem jaar en voor 2050. Om de situatie voor 2050 te berekenen, wordt er in dit onderzoek gebruikgemaakt van het meest extreme KNMI'14-klimaatscenario, WH. Naast het opstellen van waterbalansen wordt er per klimaateffect (de drie componenten van droogte en wateroverlast) inzichtelijk gemaakt welke uitwerking deze klimaateffecten hebben op het watersysteem van de pilot-gebieden in 2050.

5.1 Meteorologische droogte

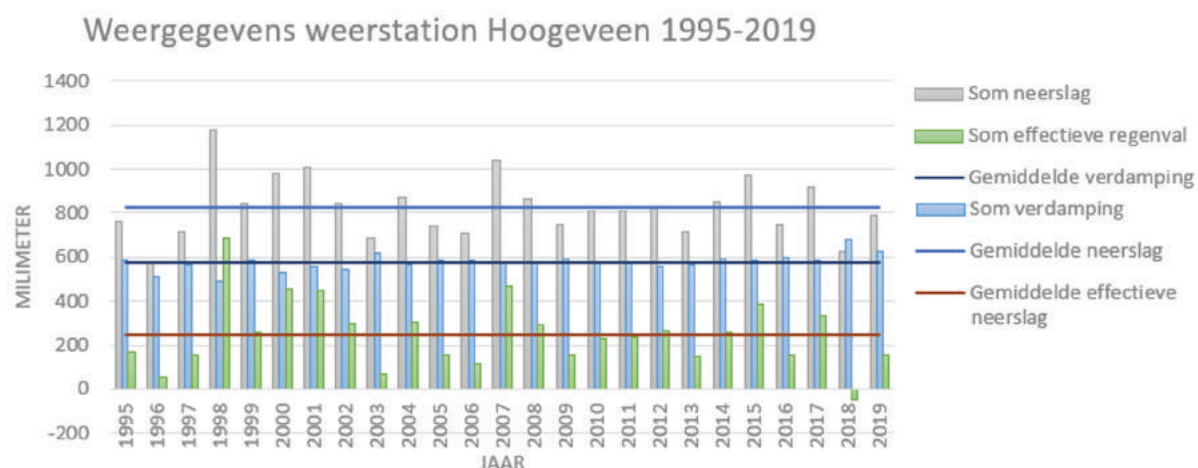
Er is sprake van meteorologische droogte wanneer het neerslagtekort groter is dan in een gemiddeld jaar. Een neerslagtekort ontstaat wanneer er meer water verdampt dan dat er bijkomt door neerslag. Met behulp van de klimaatgegevens van het KNMI is er gekeken naar de hoeveelheid regen en verdamping in de afgelopen 25 jaar voor de weerstations Twenthe en Hogeveen (KNMI, 2020). Deze weerstations zijn gekozen omdat zij het dichtst bij de pilotgebieden gelegen zijn en dus representatieve meteorologische gegevens weergeven.

5.1.1 Weergegevens weerstation Twenthe & Hogeveen

Voor het verkrijgen van representatieve weergegevens voor 2050, dient er een referentiejaar aangewezen te worden. Het referentiejaar fungeert als nul-jaar waarop de weervoorspellingen van 2050 worden gebaseerd. Uit weergegevens blijkt dat het jaar 2014 het meest overeen komt met de gemiddelde waarden van beide weerstations (zie figuren 18 en 19) en wordt om deze reden gebruikt als referentiejaar. Het jaar 2018 wordt gebruikt als een extreem jaar omdat er in 2018 een negatieve effectieve regenval heeft plaatsgevonden. Een negatieve effectieve regenval betekent dat de totale jaarlijkse verdamping hoger was dan de totale jaarlijkse neerslag (zie figuren 18 en 19).



Figuur 18: Weergegevens weerstation Twenthe 1995-2019



Figuur 19: Weergegevens weerstation Hogeveen 1995-2019

Meteorologische droogte uit zich voornamelijk in de zomer, wanneer er een hogere verdamping wordt gemeten dan in de winter. Later in dit hoofdstuk worden er waterbalansen opgesteld, die het veranderende waterpeil in de zomer en in de winter laten zien. Om het vochttekort voor de jaren 2014, 2018 en 2050 inzichtelijk te maken, worden de weergegevens uitgewerkt voor een zomerhalfjaar en een winterhalfjaar. Een zomerhalfjaar is een periode van 1 april tot 1 oktober en een winterhalfjaar is een periode van 1 oktober tot 1 april.

5.1.2 Gemiddeld jaar (2014)

Het KNMI omschrijft het jaar 2014 als een uitzonderlijk warm, zeer zonnig en vrij droog jaar. Alhoewel het jaar 2014 overeenkomt met de gemiddelde neerslag en verdamping over de afgelopen 25 jaar, blijkt dat 2014 het warmste jaar sinds 1706 is (KNMI, 2015). De gemiddelde neerslag in 2014 was lager dan in een gemiddeld jaar. De regionale verschillen in neerslag waren erg groot. Dat is terug te zien in de gegevens uit het weerstation Hoogeveen, waar een neerslagsom van 852 millimeter werd gemeten. In Twenthe was dit 789 millimeter. De vochttekorten en -overschotten zijn uitgebreid per maand weergegeven in bijlage 12.

In tabel 1 en 2 is te zien dat de neerslagsom bij beide weerstations in de zomer hoger was dan in de winter. Het noordelijke gebied kende echter geen meteorologische droogte in de zomer. Bij weerstation Twenthe werd er in het zuidelijke pilot-gebied wel een meteorologische droogte waargenomen, namelijk met -1 millimeter. Deze waarde is echter zodanig laag, dat er in 2014 over het algemeen niet van een meteorologische droogte gesproken wordt.

Tabel 1, Weergegevens zomer- en winterhalfjaar 2014 weerstation Hoogeveen

	Som neerslag (mm)	Som verdamping (mm)	Berging (mm)
Winter	355	117	238
Zomer	497	474	23

Tabel 2, Weergegevens zomer- en winterhalfjaar 2014 weerstation Twenthe

	Som neerslag (mm)	Som verdamping (mm)	Berging(mm)
Winter	320	121	199
Zomer	469	470	-1

5.1.3 Extreem jaar (2018)

Het jaar 2018 is het warmst gemeten jaar na 2014. Het jaar 2018 past in de trend van een opwarmend klimaat. De maandgemiddelden van 2018 zijn weergegeven in bijlage 13. Het gemiddelde neerslagtekort in de gebieden rondom weerstation Twenthe bedroeg namelijk een tekort van -309 millimeter (zie tabel 3). In de gebieden rondom weerstation Hoogeveen bedroeg het neerslagtekort -278 millimeter (zie tabel 4). Geconcludeerd kan worden dat er in 2018 sprake is van een zeer grote meteorologische droogte.

Tabel 3, Weergegevens zomer- en winterhalfjaar 2018 weerstation Hoogeveen

	Som neerslag (mm)	Som verdamping (mm)	Berging(mm)
Winter	345	117	229
Zomer	283	561	-278

Tabel 4, Weergegevens zomer- en winterhalfjaar 2018 weerstation Twenthe

	Som neerslag (mm)	Som verdamping (mm)	Berging(mm)
Winter	341	115	226
Zomer	265	575	-309

5.1.4 verwachting 2050

De meteorologische droogte voor het jaar 2050 is berekend met de kerncijfers van de KNMI'14-klimaatsscenario's. De percentages van het meest extreme scenario WH worden gebruikt om de extreemste meteorologische droogte inzichtelijk te maken (zie bijlage 15). De verwachting is dat in 2050 de neerslag over het jaargemiddelde in pilot-gebied noord met -12 millimeter afneemt en in pilot-gebied zuid met -59 millimeter afneemt (zie tabellen 5 en 6). De verwachting op basis van de KNMI'14 scenario's, is dat er in mindere mate meteorologische droogte zal zijn.

Tabel 5, Weersverwachtingen 2050 (scenario WH) gebaseerd op weergegevens 2014, weerstation Hoogeveen

	Som neerslag (mm)	Som verdamping (mm)	Berging(mm)
Winter	396	125	271
Zomer	505	517	-12

Tabel 6, Weersverwachtingen 2050 (senario WH) gebaseerd op weergegevens 2014, weerstation Twenthe

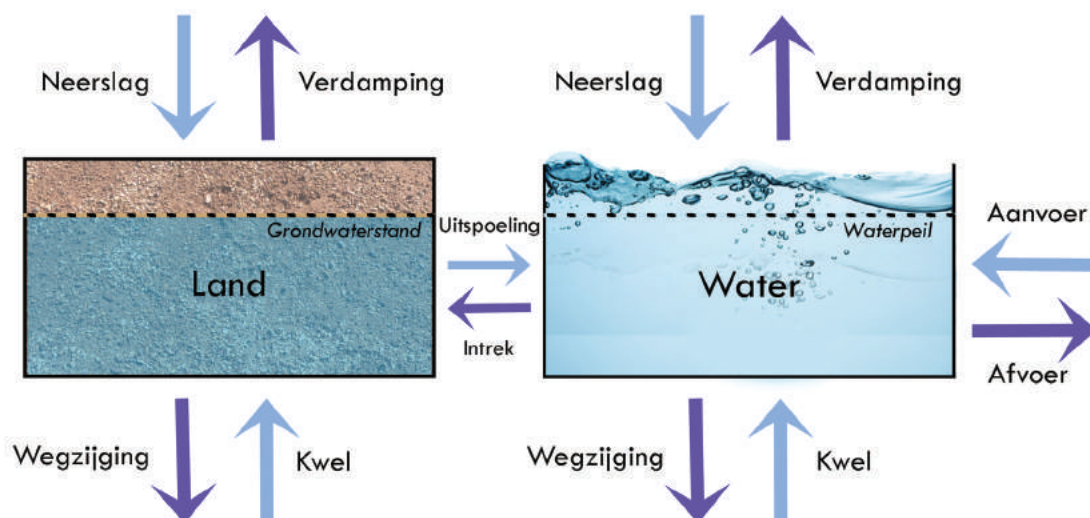
	Som neerslag (mm)	Som verdamping (mm)	Berging(mm)
Winter	355	129	226
Zomer	454	513	-59

Resultaten

Uit berekeningen komt naar voren dat de berging in het winterhalfjaar bij beide weerstations toeneemt met 14%. In 2050 worden de wintermaanden natter en de zomermaanden droger. Vochttekorten zullen met name in de zomermaanden juni, juli, augustus en zelfs in september voorkomen (zie bijlage 14). Als de voorspelling van 2050 vergeleken wordt met de resultaten van 2018, kan er geconcludeerd worden dat de weersituatie in 2018 heel extreem was.

5.2 Waterbalans

Deze paragraaf bespreekt de resultaten van de waterbalansen die zijn opgesteld voor de pilot-gebieden noord en zuid. De waterbalansen geven inzicht in de totale waterberging van de pilot-gebieden. De waterbalansen worden opgesteld voor een zomer- en winterhalfjaar van de jaren 2014, 2018 en 2050 en zijn weergegeven in bijlagen 22 en 23. Enkel de componenten afvoer, aanvoer, neerslag en verdamping zijn meegenomen in de opgestelde waterbalansen (zie figuur 20). De componenten kwel en wegzijging zijn in de gebieden verwaarloosbaar omdat in de watersysteematlas Twente wordt aangegeven dat de kans op kwel in het overgrote deel van het projectgebied nihil is.



Figuur 20, Schematische weergave van een eenvoudige waterbalans

5.2.1 Waterbalans pilot-gebied noord

Pilot-gebied noord bestaat grotendeels uit een wateraanvoerend gebied en voor een klein deel uit een vrij-afwaterend gebied (zie paragraaf 4.3). De verschillende deelstroomgebieden binnen het pilot-gebied hebben verschillende aan- en afvoerdebieten. In het onderzoek is gerekend met een representatieve afvoer, gebaseerd op de afvoergegevens van gemaal Ossehaar (zie bijlage 16). Door het ontbreken van gegevens over de gehandhaafde pompcapaciteit tijdens de zomer- en winterhalfjaren van 2014 en 2018, is de pompcapaciteit van deze jaren gebaseerd op een schatting van de gebiedsbeheerder uit het pilot-gebied. De afvoer van het vrij-afwaterende deelstroomgebied Katshaar is berekend met een maatgevende afvoer, voortkomend uit het Cultuurtechnisch Vademecum (zie bijlage 17). Aanvoer van water vindt plaats via het gemaal Padhuizerweide. Specifieke gegevens van de pompcapaciteit van het gemaal en de debieten zijn weergegeven in bijlage 18. In bijlage 19 wordt een rekenvoorbeeld weergegeven, dat de methode van de opgestelde waterbalansen beschrijft.

Resultaat

In 2014 heeft er volgens de gegevens van het KNMI geen meteorologische droogte plaatsgevonden. De waterbalansen voor 2014 laten zien dat er in het winterhalfjaar een stijging van het grondwater plaatsvindt met 0,85 meter (zie tabel 7). In de zomer treedt er echter wel verlaging van het grondwaterpeil op. Reden hiervoor kan de zeer hoge verdamping zijn, die heeft plaatsgevonden in de warme zomermaanden van 2014. In de zomer van 2018 was het uitzonderlijk warm, waardoor de totale verdamping erg hoog was. Dit is terug te zien in de zeer grote negatieve berging van -281 millimeter in de waterbalans voor het zomerhalfjaar van 2018. In het winterhalfjaar wordt dit tekort gecompenseerd door een positieve berging van 203 millimeter (zie tabel 7). Deze stijging is echter niet genoeg om een positieve waterberging te krijgen voor het totale jaar van 2018.

Voor het maken van de waterbalans van 2050 zijn de weergegevens en aan- en afvoergegevens van het referentiejaar 2014 gebruikt als uitgangspunt. Uit de waterbalans blijkt dat de waterberging in het winterhalfjaar toeneemt. In het zomerhalfjaar laat de waterbalans een negatieve waterberging zien van -42 millimeter. De resultaten van het winterhalfjaar van 2050 komen overeen met de resultaten uit 2018. In 2018 wordt er echter meer water afgevoerd dan in 2050. Dit verschil komt doordat de resultaten van 2050 zijn gebaseerd op de resultaten van 2014. In 2014 heeft het afvoergemaal veel meer pompuren gemaakt dan in 2018. Uit de vergelijkingen van de zomerhalfjaren van 2018 en 2050 blijkt dat de waterberging in het zomerhalfjaar van 2050 minder negatief is dan in 2018.

Tabel 7, Resultaat waterbalansen pilot-gebied noord

Periode	Δ Berging (mm)	Δ GWS (m)
Winterhalfjaar 2014	169	0,85
Zomerhalfjaar 2014	-8	-0,04
Winterhalfjaar 2018	203	1,02
Zomerhalfjaar 2018	-281	-1,40
Winterhalfjaar 2050	202	1,01
Zomerhalfjaar 2050	-42	-0,22

5.2.2 Waterbalans pilot-gebied zuid

Pilot-gebied zuid is gelegen in een vrij-afwaterend gebied, wat betekent dat er geen toevoer van extern water plaatsvindt. De afvoer in pilot-gebied zuid wordt bepaald door de aanwezige vegetatie, bodemsoort en watersysteem (zie bijlage 20). Het gebied bevat geen afvoergemalen, waardoor er voor dit gebied gerekend is met een maatgevende afvoer. Verschillende methoden voor de bepaling en motivatie van de gebruikte maatgevende afvoer is uitgewerkt en weergegeven in bijlage 21. De maatgevende afvoer voor het zomer- en winterhalfjaar wordt zowel voor de jaren 2014, 2018 als 2050 gebruikt, waarbij verschil in neerslag en verdamping in deze jaren niet wordt meegenomen. De uitkomsten van de waterbalansen in 2018 en 2050 zullen dus hoger of lager uitvallen dan de uitkomsten die in de balansen weergegeven zijn (zie bijlage 23).

Resultaat

Tabel 8 laat zien dat er in het zomer- en winterhalfjaar van 2014 nauwelijks droogte heeft opgetreden. In 2018 vond er een zeer grote meteorologische droogte plaats. Dit is terug te zien in de waterberging van het zomerhalfjaar van 2018. Dit zomerhalfjaar laat een negatieve van -319 millimeter zien. In het winterhalfjaar van 2018 neemt er een grotere stijging van de waterberging plaats dan in 2014. Echter kan deze berging de negatieve berging van het zomerhalfjaar niet compenseren.

Tabel 8 laat zien dat de verwachte meteorologische droogte in 2050, doorwerkt in de resultaten van de waterbalans. De waterberging neemt in het winterhalfjaar toe, maar in het zomerhalfjaar is er een negatieve waterberging van -69 millimeter te zien. De bergingstoename in het winterhalfjaar is gelijk aan de waterberging van het winterhalfjaar van 2018. Het verschil tussen de hoeveelheid gevallen neerslag en verdamping is in 2018 ongeveer gelijk aan de verwachting in 2050. Dit is ten opzichte van 2014 een toename van 17%. De negatieve waterberging in het zomerhalfjaar kan door de positieve waterberging in het winterhalfjaar gecompenseerd worden.

Tabel 8, Resultaten waterbalansen pilot-gebied zuid

Periode	ΔBerging (mm)	ΔGWS (m)
Winterhalfjaar 2014	160	0,80
Zomerhalfjaar 2014	-11	-0,05
Winterhalfjaar 2018	187	0,94
Zomerhalfjaar 2018	-319	-1,60
Winterhalfjaar 2050	187	0,94
Zomerhalfjaar 2050	-69	-0,35

5.2.3 Vergelijking Bergingsverandering pilot-gebieden noord en zuid

In deze sub-paragraaf wordt de berging en het verschil in grondwaterstanden van de verschillende pilot-gebieden met elkaar vergeleken (zie tabel 9). Geconcludeerd kan worden dat de waterberging in het winterhalfjaar meer toeneemt in pilot-gebied noord dan in pilot-gebied zuid. Pilot-gebied zuid heeft in het zomerhalfjaar over het algemeen een grotere negatieve waterberging dan pilot-gebied noord. Pilot-gebied zuid heeft een kleinere waterberging in het winterhalfjaar en sterkere afname van waterberging in het zomerhalfjaar dan pilot-gebied noord. Hierdoor wordt er in pilot-gebied zuid meer droogte ervaren. Volgens de voorspellingen neemt deze trend in de toekomst toe. Toch vallen de voorspellingen voor 2050 lager uit dan de extreme weersituatie die zich in 2018 heeft voorgedaan.

Tabel 9, Resultaten waterberging (mm) per pilot-gebied

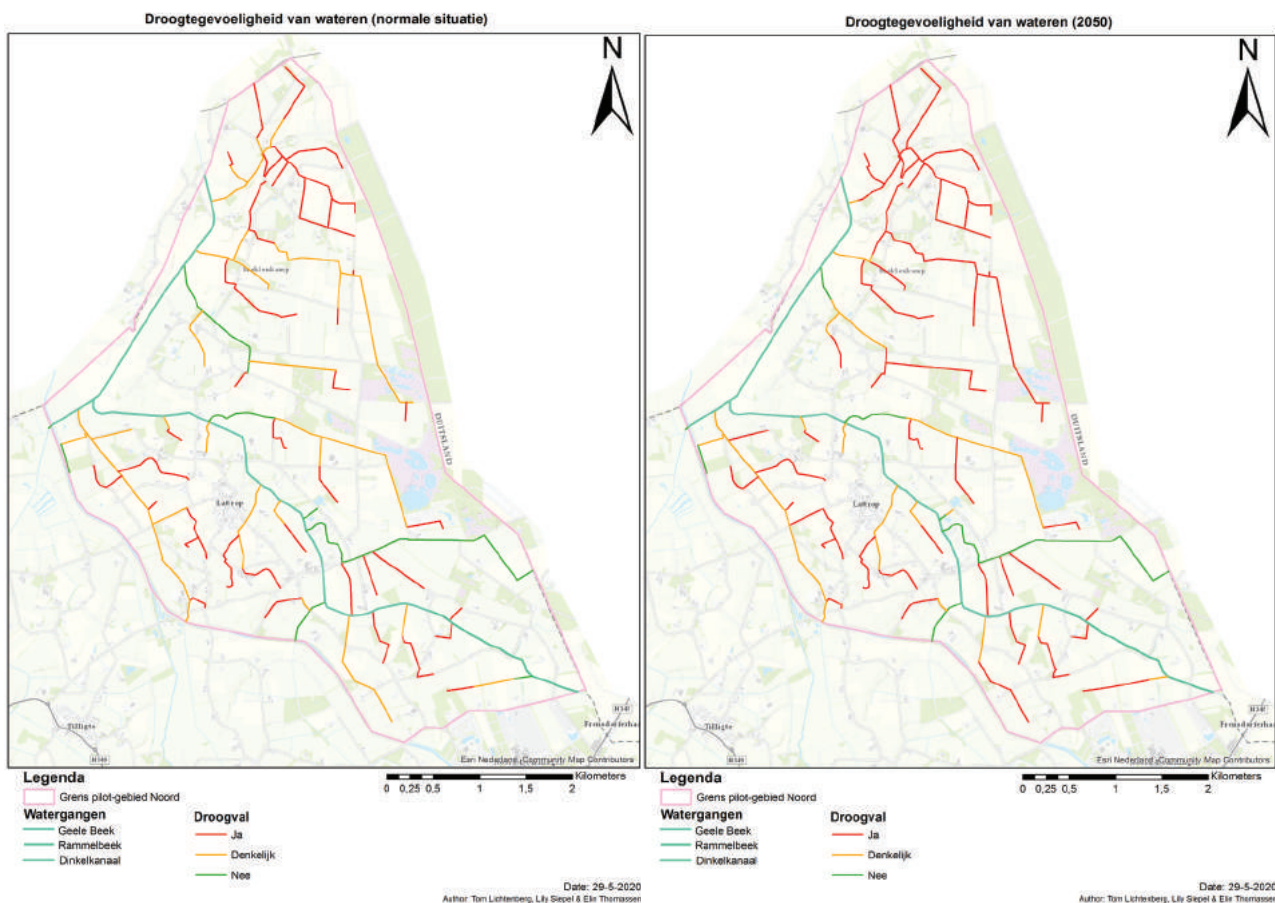
Seizoen	Berging pilot-gebied noord (mm)	Berging pilot-gebied zuid (mm)
Winterhalfjaar 2014	+169	+160
Zomerhalfjaar 2014	-8	-11
Winterhalfjaar 2018	+203	+187
Zomerhalfjaar 2018	-281	-319
Winterhalfjaar 2050	+202	+187
Zomerhalfjaar 2050	-42	-69

5.3 Hydrologische droogte

In deze paragraaf worden de resultaten van het onderzoek naar hydrologische droogte besproken. Er is een onderscheid gemaakt worden tussen de droogval van watergangen en (te lage) grondwaterstanden. Een gedetailleerde uitleg en de uitgangspunten voor de berekeningen zijn weergegeven in bijlagen 24 en 25.

5.3.1 Droogval van watergangen

In zowel 2050 als in een normaal jaar vallen watergangen gecategoriseerd als 'OOWS' droog. Deze watergangen hebben een relatief groot verhang waardoor het reikend effect van water(aanvoer) vanuit aangesloten watergangen klein is. Daarnaast hebben deze waterlopen een smal, maar diep profiel. De aanliggende percelen zijn vrijwel compleet afhankelijk van neerslag. Deze droogval komt voor in pilot-gebied noord en zuid. In pilot-gebied zuid valt een overgroot deel van de watergangen droog in een normaal jaar. Enkele watergangen ondervinden geen droogval. De reden is de externe toevoer van water. In tegenstelling tot pilot-gebied noord vallen in pilot-gebied zuid ook watergangen gecategoriseerd als 'watergangen in bedrijf' droog in zowel een normaal jaar als in de 2050 (zie figuren 21 en 22). Voor alle watergangen geldt dat er in het algemeen meer droogval plaatsvindt in 2050.



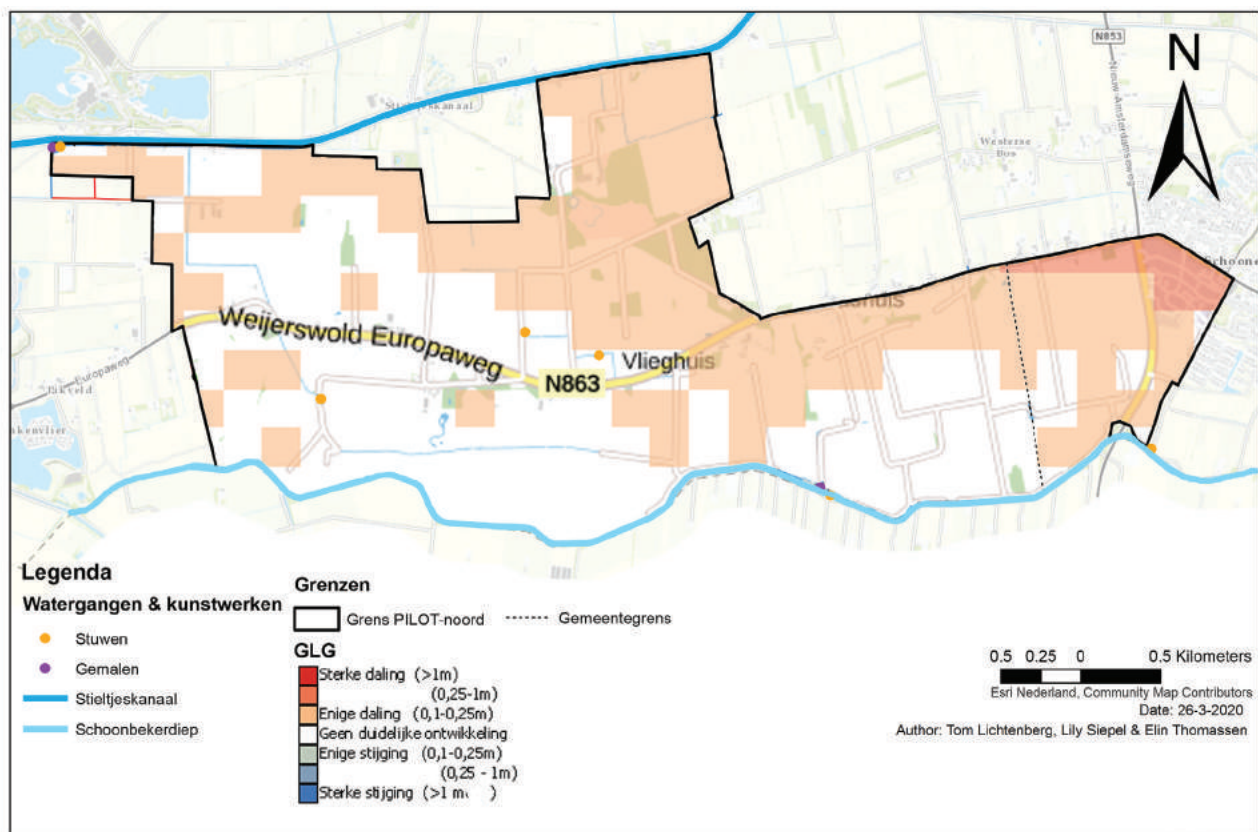
Figuur 21: droogtegevoeligheid van watergangen in een normale situatie

Figuur 22: Droogtegevoeligheid van watergangen in 2050 (zuid)

5.3.2 Te lage grondwaterstanden

Aan de hand van de pilot-gebieden kan er gezegd worden dat daar waar de verspreiding van de bodemprofielen (zie figuren 12 en 15) heterogeen is, de verschillen in grondwaterstanden tussen zomer- en winterhalfjaar groter zijn dan op plekken waar de verspreiding van bodemprofielen homogeen is.

De verandering van de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) voor 2050 in pilot-gebied noord komt overeen met de opgestelde waterbalans. De grotere dalingen zijn vooral te vinden in gebieden met een intermediair- of hangwaterprofiel. Op deze plekken is enige daling waarneembaar, waarbij de GLG met ongeveer 0,1 tot 0,25 meter uitzakt (zie figuur 23). Ook is er een sterkere daling van circa 0,25 tot 1 meter waar te nemen rond Schoonebeek. Kijkend naar de waterbalans van 2050 voor pilot-gebied noord (zie tabel 7), wordt er een zakking van de GLG van ongeveer 0,2 meter verwacht. Gemiddeld genomen vind er volgens figuur 23 in 2050 een daling van de GLG van 0,1 tot 0,25 meter plaats.



Figuur 23: extreem droge zomer (2050) en daling van GLG in noord (klimaat-effectatlas, 2020)

In pilot-gebied zuid is er geen overeenkomst tussen de voorspelde GLG en de opgestelde waterbalans. Er kan geconcludeerd worden dat de daling van de GLG in 2050 groter is bij intermediaire- en hangwaterprofielen dan bij contactprofielen. In dit onderzoek betekent dit dat in gebieden waar wateraanvoer mogelijk is, er dus grotere veranderingen gaan optreden versus kleine en geringe veranderingen in gebieden waar wateraanvoer (bijna niet) mogelijk is.

5.4 Bodemvochtdroogte

De pilot-gebieden hebben voornamelijk een agrarische functie. Om te kijken wat het verwachte klimaat van 2050 voor invloed heeft op het groeiproces van gewassen en vegetatie, wordt er in deze paragraaf gekeken naar de effecten van toenemende droogte op het bodemvocht. Bodemvocht is het water dat zich tussen de poriën van de bodemdeeltjes in de onverzadigde zone bevindt (Molenaar, de, 1995). Bodemvochtdroogte wordt alleen onderzocht voor de gebieden waar zich een hangwaterprofiel bevindt (zie bijlage 8). Hangwaterprofielen komen met uitstek voor in pilot-gebied zuid. Pilot-gebied noord heeft nauwelijks hangwaterprofielen en is peilgestuurd waardoor verwacht wordt dat er nauwelijks bodemvochtdroogte zal optreden. Hierdoor wordt bodemvochtdroogte alleen voor pilot-gebied zuid uitgewerkt. Met behulp van Remote Sensing wordt er in kaart gebracht waar zich gewasschade voordoet in tijden van droogte en worden er berekeningen voor het gewas maïs gemaakt om inzicht te krijgen in de mate van bodemvochtdroogte.

5.4.1 Gewassen en vegetatie

Beide pilot-gebieden bestaan voor meer dan 80% uit landbouw en grasland. De gewassen die verbouwd worden in deze gebieden zijn maïs, aardappelen, wintertarwe (granen) en bieten. Het overgrote gedeelte van het pilot-gebied is gelegen op zandgronden, waar de capillaire stijghoogte voor de gewassen relatief gering is.

Waterbehoefte per gewas

In tabel 10 worden de maximale worteldiepten, effectieve wortelzones en de gevoelige perioden per landbouwgewas op een hangwaterprofiel weergegeven. De grootste vochtbehoefte vindt over het algemeen plaats tijdens de ontwikkelingsfase en bloeiperiode. Deze periode vindt voornamelijk in het voorjaar en in de zomer plaats. Uit onderzoek blijkt dat maïs zeer efficiënt omgaat met water en de meeste droge stof produceert per liter verdamping. Vergeleken met andere gewassen zoals aardappelen is het gewas minder afhankelijk van het vochtgehalte in de bodem. Aardappelen dienen te worden geïrrigeerd wanneer 50% van het beschikbare bodemvocht is verdampt. Voor maïs en granen geldt dit wanneer 75% van het beschikbare bodemvocht is verdampt (Praktijkonderzoek Plant en Omgeving).

Tabel 10: Gewassenmerken

Gewas	Effectieve wortelzone	Maximale worteldiepte (m)	Gevoelige periode	Grootste vochtbehoefte
Snijmaïs	25-30 cm	1,2 (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2018)	Bloeiperiode en afrijping	Juli, augustus
Graan (tarwe)	25-30 cm	1,5 (Dr.ir.A.Darwinkel, 1997)	Bloeiperiode	April - juli
Aardappel	25 cm	0,65 (Lieshout, 1956)	Na knolzetting	April-mei
Suikerbieten	25-30 cm	1,5 (IRS, 2019)	Kieming & ontwikkelingsfase	Juni, juli

5.4.2 Waterbehoefte maïs

Maïs wordt na grasland het meeste verbouwd in pilot-gebied zuid. Op 64% van het totale oppervlak van de hangwaterprofielen wordt agrarisch gras verbouwd, gevolgd door 27% maïs. In deze sub-paragraaf wordt gekeken wat de invloed van de weersomstandigheden in 2050 op maïs is. Hiervoor is het totale en beschikbare bodemvocht voor maïs berekend bij een matig humeuze zandgrond. De berekening en onderbouwing wordt weergegeven in bijlage 26.

Groeiseizoen

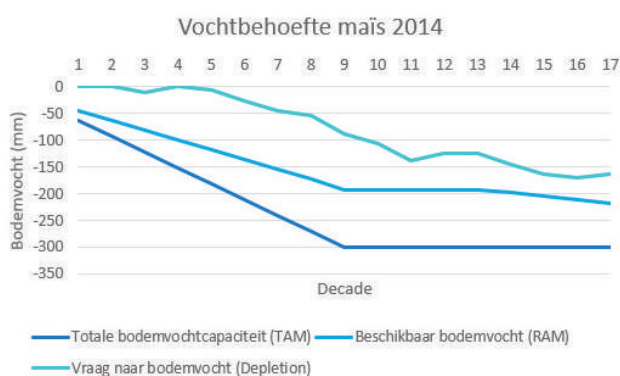
Het groeiseizoen van maïs betreft een periode van 17 decaden, lopend van 1 mei tot halverwege oktober. Het groeiseizoen van het gewas is opgedeeld in verschillende groeistadia: de kiemingsfase, de vegetatieve ontwikkeling, de generatieve ontwikkeling en de afrijping. Gedurende de ontwikkeling van het gewas verandert de bodembedekking, gewashoogte en bladdichtheid. Deze factoren zorgen voor verschillende waarden van gewasverdamping gedurende het groeiseizoen van het gewas. Dit heeft invloed op de totale bodemvochtcapaciteit, de beschikbaarheid van vocht in de bodem en de vraag van het gewas naar bodemvocht.

Bodemvochtcapaciteit

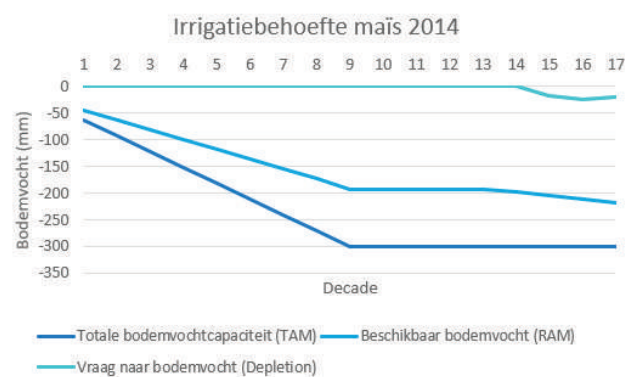
De totale bodemvochtcapaciteit voor een representatieve bodem in pilot-gebied zuid rijkt aan het begin van het groeiseizoen tot 45 millimeter onder maaiveld en neemt tot het bloeiseizoen, wanneer het gewas zich volledig heeft ontwikkeld, toe tot een maximum van 216 millimeter (zie figuur 24). Het beschikbare bodemvocht van de bodem is per groeiseizoen vermenigvuldigd met een factor. De factor representeert de gemiddelde fractie van het direct beschikbare bodemvocht dat door het gewas uit de wortelzone kan worden gehaald, voordat er vochtstress zal optreden. Het direct beschikbare bodemvocht bedraagt 32 millimeter aan het begin van het groeiseizoen, 138 millimeter in het bloeiseizoen en 157 millimeter aan het einde van het groeiseizoen (zie figuur 24 en bijlage 26).

Waterbehoefte normaal jaar

Als de vraag van een gewas naar bodemvocht groter is dan het direct beschikbare bodemvocht, treedt er droogtestress op. In 2014 had het gewas een waterbehoefte van 340 millimeter (zie tabel 11) voor een optimale ontwikkeling. Bij de optimale ontwikkeling van een gewas kan er een maximale productie behaald worden. In figuur 24 is te zien dat de vraag naar bodemvocht gedurende het groeiseizoen toeneemt. Dit heeft te maken met de hoge verdamping in juli en augustus. De benodigde irrigatie, waarbij het gewas optimaal zal groeien, bedraagt 169 millimeter (zie tabel 11 en figuur 25).



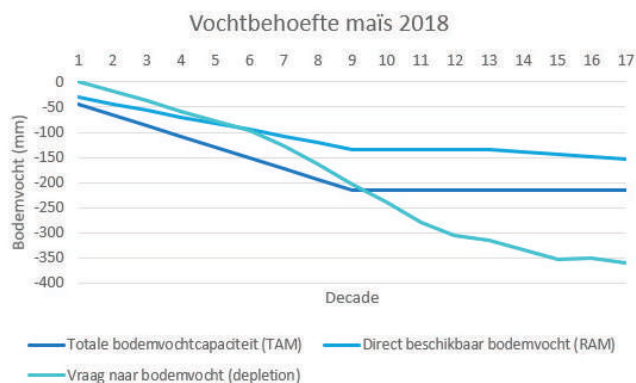
Figuur 24: Vochtbehoefte snijmaïs 2014



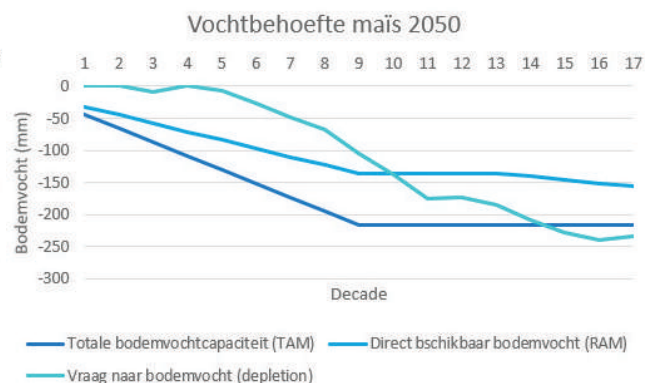
Figuur 25: Vochtbehoefte snijmaïs met irrigatie 2014

Waterbehoefte 2018 & 2050

Bodemvochtberekeningen voor maïs zijn ook uitgevoerd voor het groeiseizoen van 2018 en het voorspelde groeiseizoen van 2050. Uit de grafieken kan opgemaakt worden dat het bodemvochtttekort in 2018 uitzonderlijk hoog was. Zonder irrigatie zou het gewas in de zesde decade, in de ontwikkelingsfase, al droogtestress ervaren (zie figuur 26). In 2050 wordt er in decade 10 pas droogtestress ervaren (zie figuur 27).



Figuur 26: Vochtbehoefte snijmaïs 2018



Figuur 27: Vochtbehoefte snijmaïs 2050

In tabel 11 is per jaar de totale waterbehoefte (CWR), het direct beschikbare bodemvocht (RAM), irrigatie en de effectieve regenval (Peff) berekend. Uit de gegevens kan geconcludeerd worden dat de waterbehoefte van het gewas ten opzichte van 2014 toeneemt en het direct beschikbare bodemvocht afneemt. Tabel 12 geeft per groeiseizoen de diepte van het direct beschikbare bodemvocht ten opzichte van het maaiveld in millimeters weer. In de kiemingsfase (I) en in de afrijping (L) blijft de bodemvochtcapaciteit redelijk gelijk. In het bloeiseizoen (M) neemt dit echter af met 4 mm in 2018 en met 2 mm in 2050.

Tabel 11, Bodemvochtgegevens maïs (mm)

Jaar	CWR	RAM	Irrigatie	Peff
2014	340	1919	169	233
2018	418	1861	333	49
2050	373	1891	219	203

Tabel 12, Beschikbaar bodemvocht per groeiseizoen (mm)

Jaar	I	D	M	L
2014	32,2	-	138	157
2018	30,4	-	134	154
2050	32,1	-	136	156

Tabel 13 geeft per groeiseizoen weer hoeveel water geïrrigeerd moet worden om het gewas optimaal te kunnen laten groeien. In tabellen 13 en 14 is zichtbaar dat de irrigatiebehoefte in 2018 veel groter is dan in 2050. De trend laat zien dat tijdens extremere weersituaties het gewas tijdens de ontwikkelingsfase en in het bloeiseizoen het meest verdampt, waardoor de vraag naar water in deze groeiperioden enorm stijgt (zie tabel 14). Er kan geconcludeerd worden dat de voorspelde weersomstandigheden voor 2050 veel minder extreem zullen zijn dan de weersituatie die in 2018 heeft plaatsgevonden (zie bijlage 27).

Tabel 13, Benodigde irrigatie per groeiseizoen voor een optimale gewasgroei

Jaar	I	D	M	L
2014	9,5	88	71,4	0
2018	58,6	144	131	0
2050	9,8	105	103	0

Tabel 14, Percentuele toename behoefte irrigatie per groeiseizoen

Jaar	I	D	M	L
2018	+517%	+64%	+83%	0%
2050	+3%	+19%	+44%	0%

Conclusie

Een gewas dat verbouwd wordt op een hangwater- of intermediair profiel op hogere zandgronden ervaart in een normaal jaar droogtestress indien er niet voldoende water aanwezig is om te irrigeren. De hogere zandgronden die matig humeus zijn, hebben een geringe bodemvochtcapaciteit, waardoor de bodem weinig vocht kan vasthouden. Met het oog op de toekomst neemt de vraag naar water en irrigatie in de loop van het groeiseizoen toe. In combinatie met een hogere verdamping van het gewas en een afname van het direct beschikbare bodemvocht, zal het gewas in 2050, met name in de gevoeligste periode, meer droogtestress ervaren. Een positieve kanttekening is dat het gewas volgens de voorspelling minder droogtestress zal ervaren in 2050 dan dat het gewas heeft ervaren in 2018. Bij extreme bodemvochtttekorten, zoals die in de zomers van 2018 en 2019 plaatsvonden, zal er wederom een onttrekkingsverbod van grond- en oppervlaktewater ingesteld worden. Irrigatie is hierdoor met name in het bloeiseizoen niet mogelijk, waardoor de productiviteit van het gewas wordt verlaagd. Hierdoor zal een groot deel van de gewasopbrengst verloren gaan. In het ergste geval gaat het gewas verwelken en is er helemaal geen gewasopbrengst. Het vochttekort in juni en juli schaadt niet alleen snijmaïs, maar ook overige gewassen zoals graan en suikerbieten (zie tabel 10).

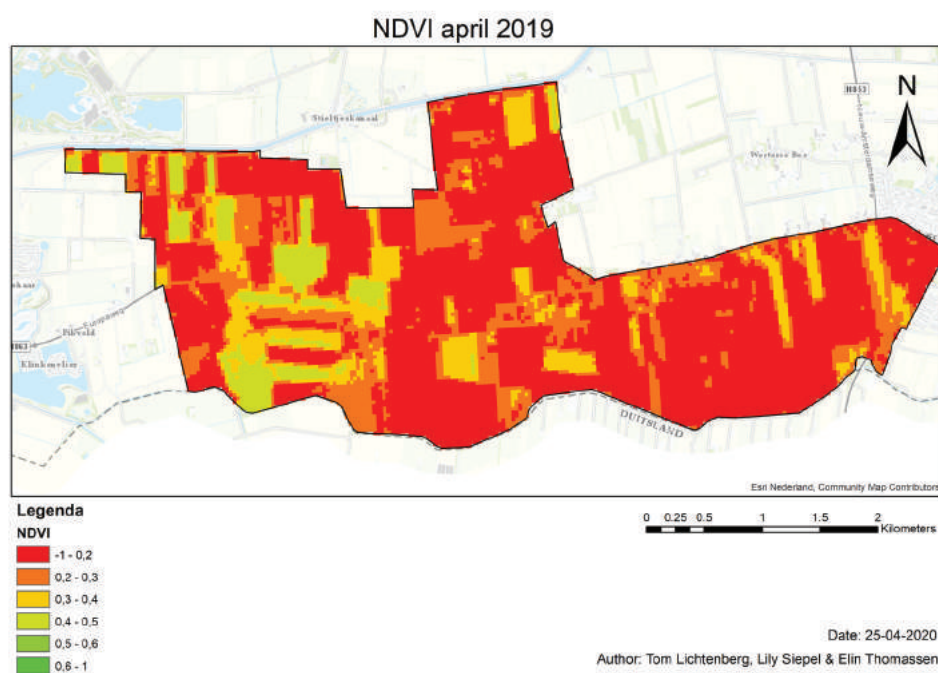
5.4.3 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

In deze sub-paragraaf wordt met behulp van remote sensing data (zie bijlage 28) de gezondheid van gewassen geanalyseerd. Door middel van satellietdata kan de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) worden berekend (zie bijlage 29). NDVI kwantificeert de groenheid van vegetatie en wordt in deze paragraaf gebruikt als indicator voor droogte. De NDVI-index heeft een spreiding van -1 tot +1. Negatieve waarden geven hoogstwaarschijnlijk water en bebouwd gebied aan. Waarden vanaf 0 tot 0,2 laten zien dat planten geen groene bladeren meer hebben en door stressomstandigheden zijn doodgegaan (GISGeography, 2017). Hoe dichterbij 1 komt, hoe groener de plant is, wat betekent dat de plant erg gezond is (zie bijlage 29).

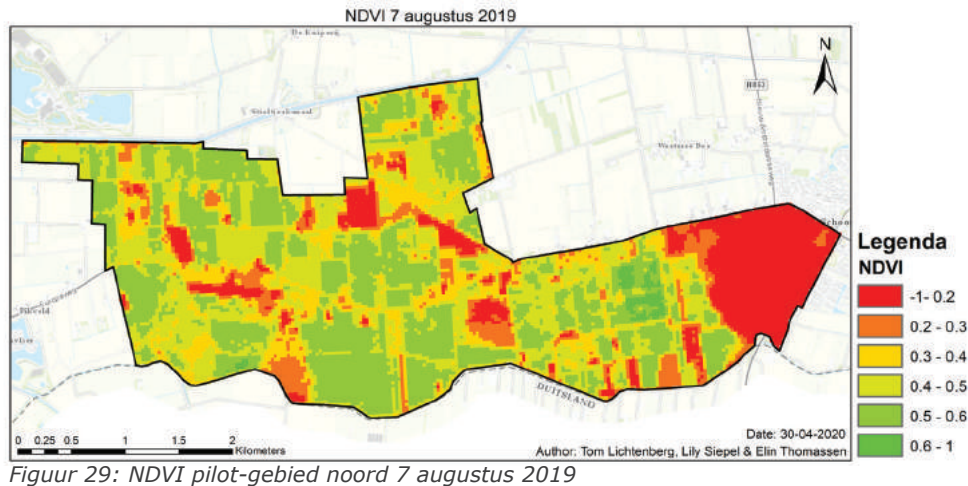
Doordat er geen NDVI-kaarten voor 2050 gemaakt kunnen worden, is het groeiseizoen van de vegetatie in een extreem jaar uitgewerkt. Uit voorgaande paragrafen blijkt, dat het jaar 2018 extremer is dan de klimaatvoorspelling voor 2050. De knelpunten voortkomend uit de kaarten van 2018, zouden dus representatief of groter zijn dan de knelpunten die zich in 2050 voor gaan doen. De beelden voor 2018 zijn niet gebruikt, omdat deze bewolkt waren en dus niet bruikbaar. Daarom is er gekozen om de satellietbeelden van 2019 te gebruiken, wat als een extreem jaar beschouwd kan worden.

NDVI pilot-gebied noord

In figuren 28 en 29 zijn de NDVI-waarden berekend en weergegeven voor de maand april en augustus. April is voor de meeste gewassen het begin van het groeiseizoen. Dit betekent dat de gewassen zodanig klein zijn, dat ze weinig bladoppervlak bevatten en dus minder NDVI-straling reflecteren. Veel percelen worden hierdoor als rood weergegeven. Natuur is een stabiele factor, aangezien vegetatie er het gehele jaar aanwezig is. In figuur 28 is er te zien dat het voorjaar van 2019 zeer droog start. Dit is voornamelijk te zien rondom het natuurgebied Katshaar. Wordt er gekeken naar figuur 29, dan blijkt dat de gewassen en vegetatie zich redelijk goed herstelt hebben ten opzichte van het voorjaar. In bijlage 30 zijn de NDVI kaarten voor pilot-gebied noord in het jaar 2014 uitgewerkt. Hieruit komt voort dat de natuurgebieden in het voorjaar van 2019 wel degelijk een achterstand in de ontwikkelings- en bloeifase hebben opgelopen. De rode vlek rechts op figuur 29, is een wolk. Omdat een wolk niet reflecteert, valt de NDVI-waarde hier erg laag uit.



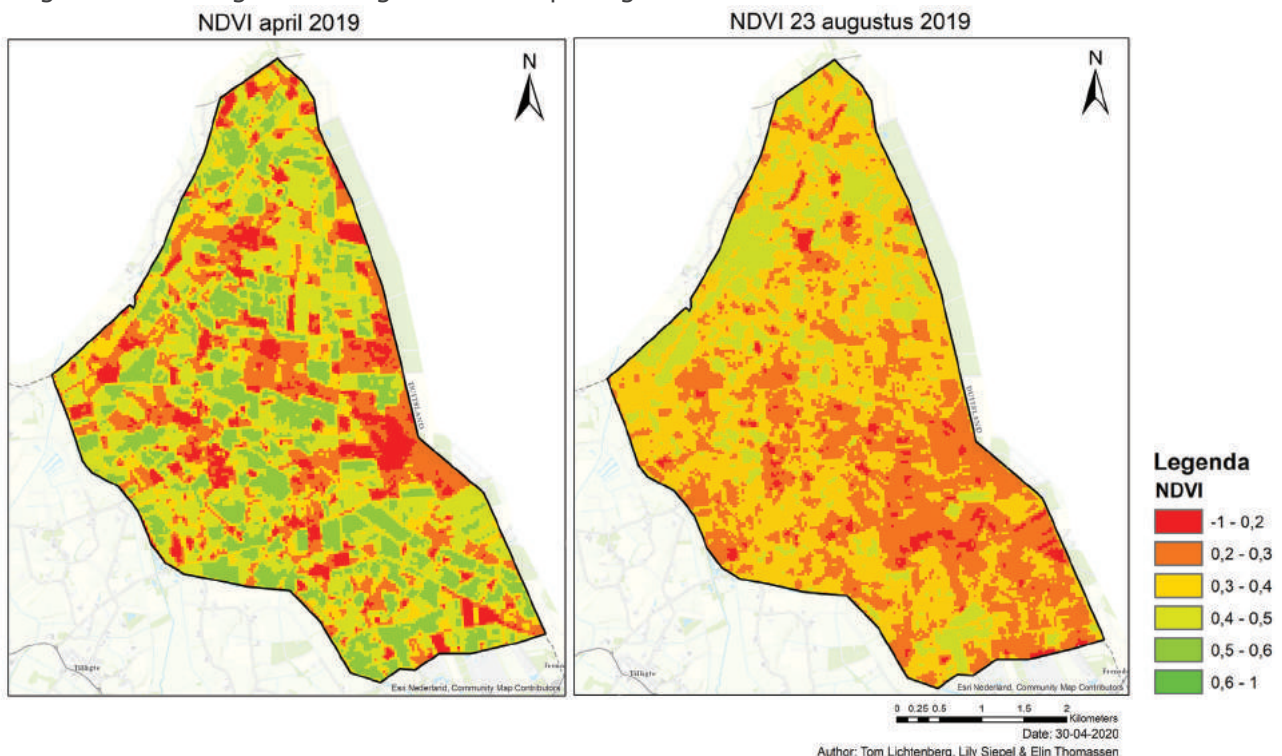
Figuur 28: NDVI pilot-gebied noord april 2019



Figuur 29: NDVI pilot-gebied noord 7 augustus 2019

NDVI pilot-gebied zuid

In figuren 30 en 31 zijn de NDVI-waarden in het voorjaar en in de zomer van 2019 weergegeven voor pilot-gebied zuid. Zoals ook vermeld in pilot-gebied noord, heeft de natuur in pilot-gebied zuid in het voorjaar van 2019 droogteschade ondervonden ten opzichte van 2014 (zie bijlage 30). In figuur 30 is er te zien dat de vennen in het Natura-2000 gebied een zeer lage NDVI-waarde hebben. Kijkend naar figuur 31, blijkt de NDVI-waarden van de vennen zijn gestegen. Dit betekent dat de vennen gedeeltelijk zijn opgedroogd. Worden figuur 30 en 31 met elkaar vergeleken, dan kan er geconcludeerd worden dat de droge periode van 2019 grote schade heeft aangericht aan vegetatie en gewassen in pilot-gebied zuid.



Figuur 30: NDVI april 2019

Figuur 31: NDVI augustus 2019

Conclusie

Uit de resultaten blijkt dat pilot-gebied noord sneller herstelt is van het vochttekort dan pilot-gebied zuid. Het is aannemelijk dat door watertoevoer in het gebied, gewassen beter en sneller in staat zijn om te herstellen dan in vrij-afwaterende gebieden. In pilot-gebied zuid is de schade aan vegetatie en natuur velen malen groter dan in pilot-gebied noord. Voornamelijk in pilot-gebied zuid uit zich dat in het opdrogen van de vennen in het Natura-2000 gebied.

5.5 Wateroverlast

Met behulp van verschillende bestaande kaarten (Klimaat-effectatlas, sd) is inzichtelijk gemaakt welke plekken in de pilot-gebieden in 2050 te maken zullen gaan krijgen met wateroverlast en wat hier de neveneffecten van zijn. De kaarten geven de huidige situatie en die in 2050 aan.

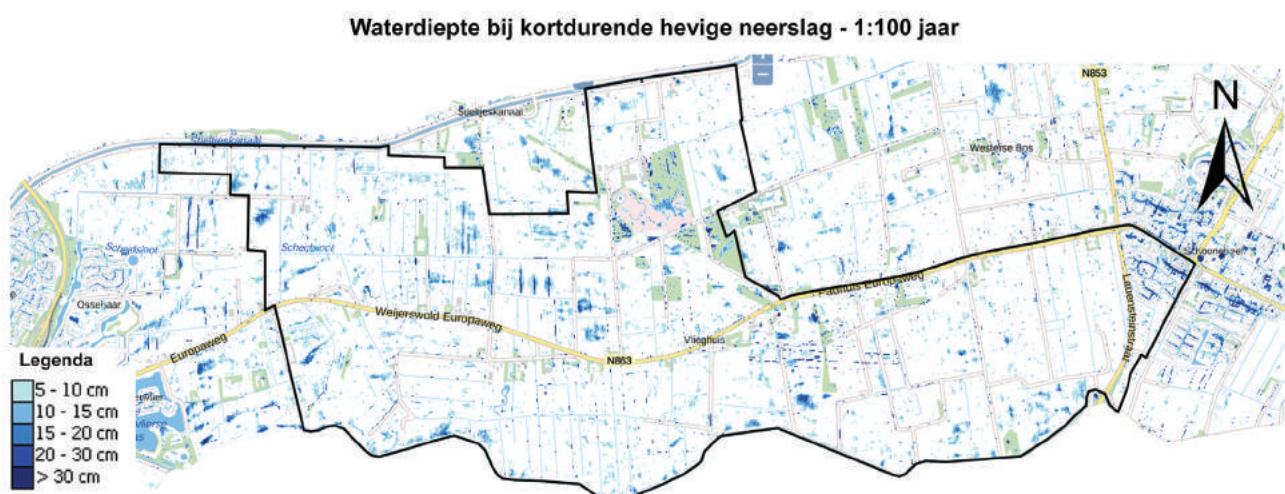
Wateroverlast kan worden opgedeeld in drie typen wateroverlast: wateroverlast door kortdurende hevige neerslag, wateroverlast door langdurige neerslag en grondwateroverlast. Als er een grote hoeveelheid neerslag valt, kunnen beken, sloten en kanalen het water op een gegeven moment niet meer aan waardoor ze buiten hun oevers treden en zo overlast veroorzaken. Er is pas sprake van wateroverlast als de gebruiksfunctie op deze locatie door een te grote waterdiepte niet meer kan worden uitgevoerd. Natuurgebieden hebben bijvoorbeeld minder snel last van wateroverlast dan percelen die gebruikt worden voor akkerbouw of verblijfsrecreatie. In 2050 zal wateroverlast frequenter voorkomen. Verdere informatie over wateroverlast is uitgewerkt in bijlagen 31.1, 31.2 en 31.3.

5.5.1 Pilot-gebied noord

In deze paragraaf wordt duidelijk gemaakt welke gebieden binnen pilot-gebied noord in 2050 te maken zullen krijgen met wateroverlast.

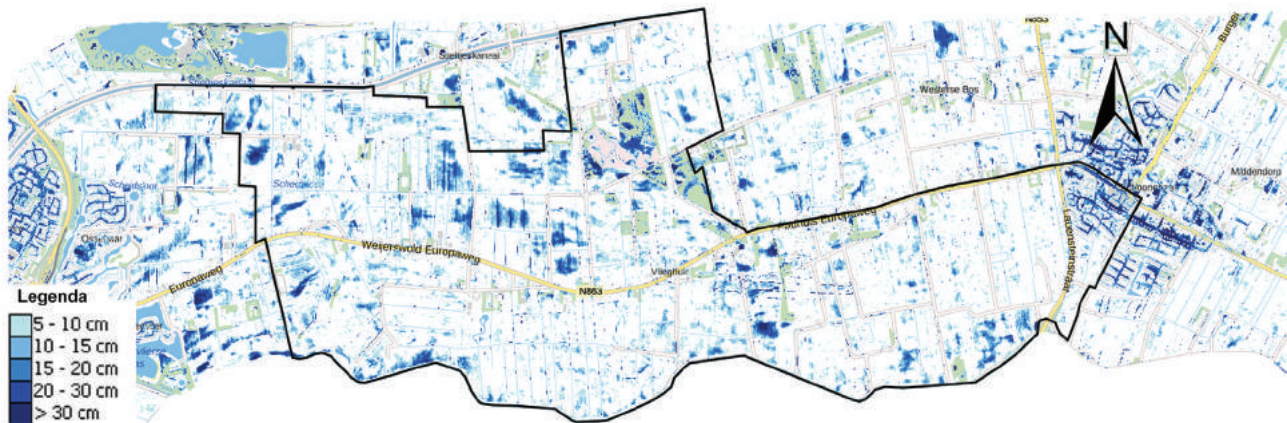
Kortdurende hevige neerslag neemt toe

Er is een toename in wateroverlast doordat er soms zó veel neerslag in een korte tijd valt dat het water niet snel genoeg kan infiltreren, kan worden geborgen of worden afgevoerd. Op deze momenten blijven er in het landelijke gebied dan ook plassen staan op bijvoorbeeld akkers of wegen, zie figuren 32 en 33. Treedt er kortdurende hevige neerslag op, resulteert dit in wateroverlast verspreidt over het gehele gebied. Rond Schans de Katshaar, rond het Schoonebeekerdiep, ten zuiden van Padhuis en verschillende percelen tussen het Stieltjeskanaal en de N863 ten westen van Katshaar is de wateroverlast het grootst. Deze wateroverlast zorgt voor een derving van opbrengsten van agrariërs door zuurstofstress (zie figuur 34). De kans op zuurstofstress in 2050 zal vooral ten westen van schans de Katshaar toenemen. De extreme buien met bijbehorende wateroverlast, zoals te zien in figuren 32 en 33, zullen in 2050 vaker voorkomen.

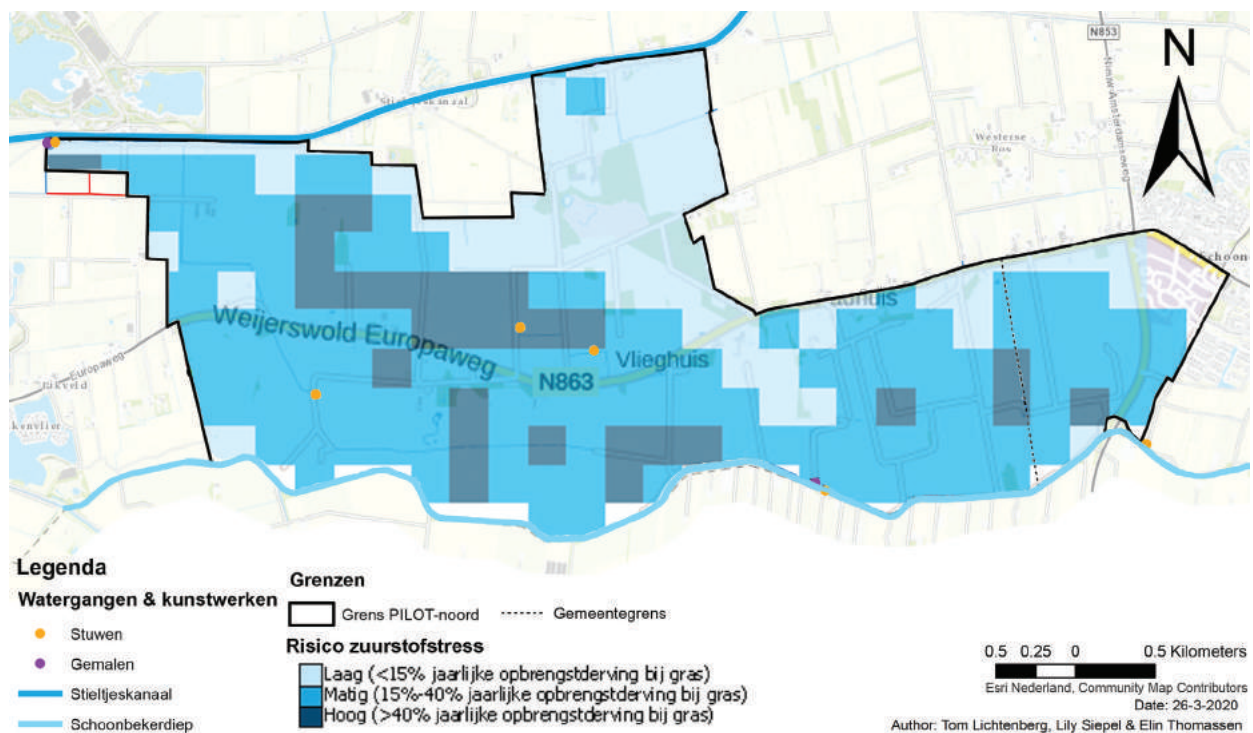


Figuur 32: Waterdiepte bij kortdurende hevige neerslag - 1:100 jaar Bron: (Klimaat-effectatlas, sd)

Waterdiepte bij kortdurende hevige neerslag - 1:1000 jaar



Figuur 33: Waterdiepte bij kortdurende hevige neerslag - 1:1000 jaar Bron: (Klimaat-effectatlas, sd)

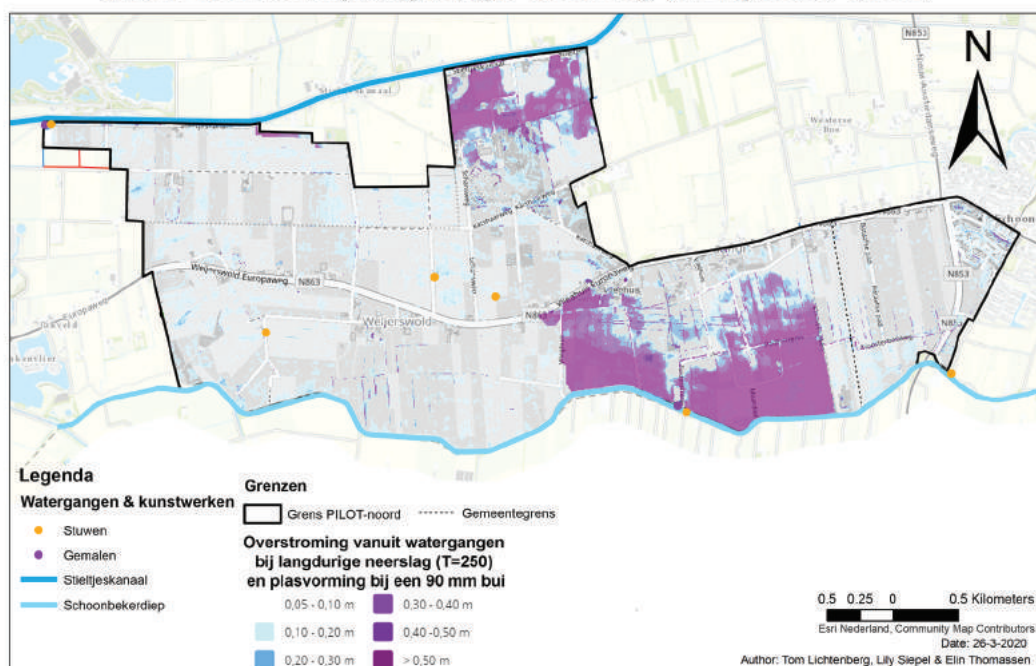


Figuur 34: Risico zuurstofstress 2050 pilot-gebied noord Bron: (Klimaat-effectatlas, sd)

Meerdaagse natte periodes nemen toe

Langdurige neerslag met een grote neerslagsom vindt vaker plaats. Deze aanhoudende langdurige neerslag kan ervoor zorgen dat het watersysteem verzadigd raakt waarbij onder andere overtollig water in plassen op het land blijft staan. Dit zorgt voor een derving van opbrengsten van agrariërs (zie figuur 34). Anders dan bij kortdurende hevige neerslag, zijn er in pilot-gebied noord wel clusters te maken: in het noorden vlak boven Schans de Katshaar en in het zuiden, tussen het Schoonerbeekerdiep en de N863 ter hoogte van Vlieghuis en Padhuis (zie figuur 35). In 2050 wordt de kans dat de locaties in figuur 35 te maken krijgen met wateroverlast door meerdaagse natte periodes groter.

Wateroverlast bij langdurige neerslag pilot-gebied noord



Figuur 35: Wateroverlast bij langdurige neerslag (T=250) pilot-gebied noord Bron: (Vechtstromen, sd)

Grondwateroverlast neemt toe

Bij langdurige en hevige neerslag vindt de afvoer van grondwater soms niet snel genoeg plaats wat ervoor zorgt dat het grondwaterpeil te hoog komt te staan. Een te hoog grondwaterpeil kan natschade veroorzaken in landbouw en natuur. Tevens zorgt een te hoog grondwaterpeil voor natte kelders en kruipruimtes. Omdat over het algemeen de grondwaterstanden in de winter hoger zijn dan in de zomer, komt grondwateroverlast sneller voor in de winter. In pilot-gebied noord zal de grondwaterstand in 2050 niet genoeg toenemen om voor overlast te zorgen, zie bijlage 31.4.

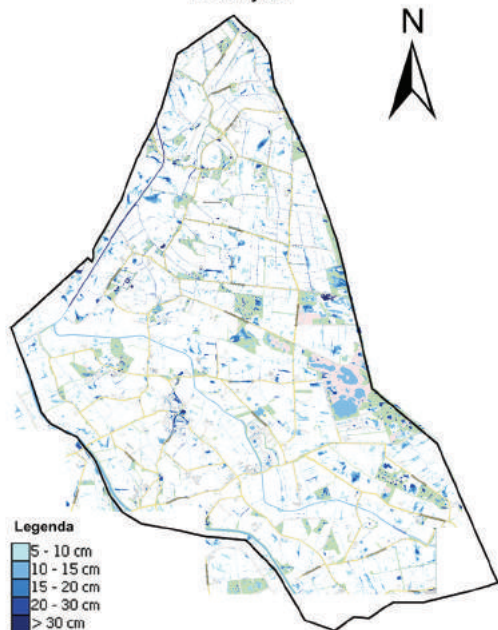
5.5.2 Pilot-gebied zuid

In deze sub-paragraaf wordt duidelijk gemaakt welke gebieden binnen pilot-gebied zuid in 2050 te maken zullen krijgen met wateroverlast.

Kortdurende hevige neerslag neemt toe

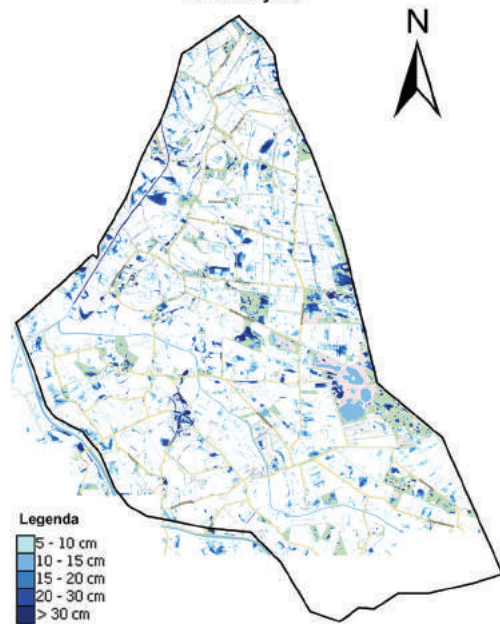
Door wateroverlast door kortdurende hevige neerslag blijven er in het landelijke gebied plassen staan op bijvoorbeeld akkers of wegen, zie figuren 36 en 37. De wateroverlast is verspreid over het hele gebied waardoor er geen clusters aan te wijzen zijn. Rond het Dinkelkanaal, in Lattrop, de bossen rond de 'Vetpot' en in het Natura-2000-gebied is wateroverlast het grootst. Dit zorgt voor een derving van opbrengsten van agrariërs door zuurstofstress, zie figuur 38. Het risico op zuurstofstress zal verspreid over het gehele gebied toenemen. De extreme buien met bijbehorende wateroverlast, zoals te zien in figuren 36 en 37, zullen in 2050 vaker voorkomen.

Waterdiepte bij kortdurende hevige neerslag
1:100 jaar



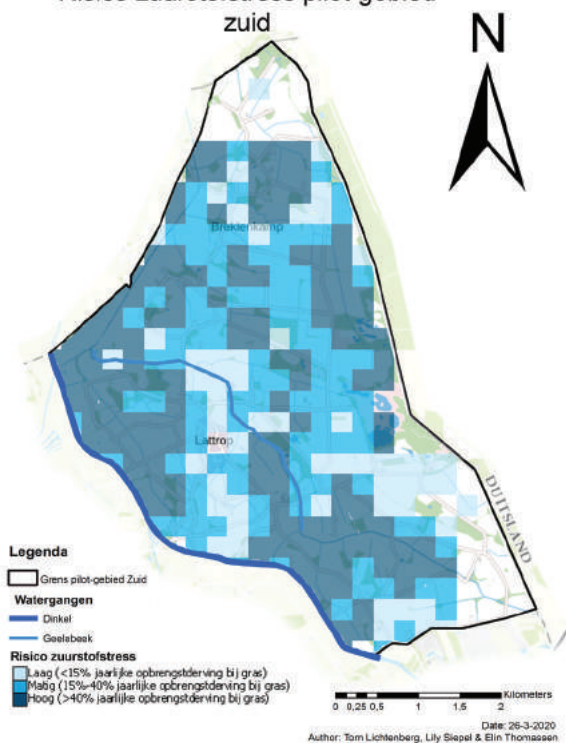
Figuur 36: Waterdiepte bij kortdurende hevige neerslag die eens per 100 jaar voorkomt

Waterdiepte bij kortdurende hevige neerslag
1:1000 jaar



Figuur 37: Waterdiepte bij kortdurende hevige neerslag die eens per 1000 jaar voorkomt

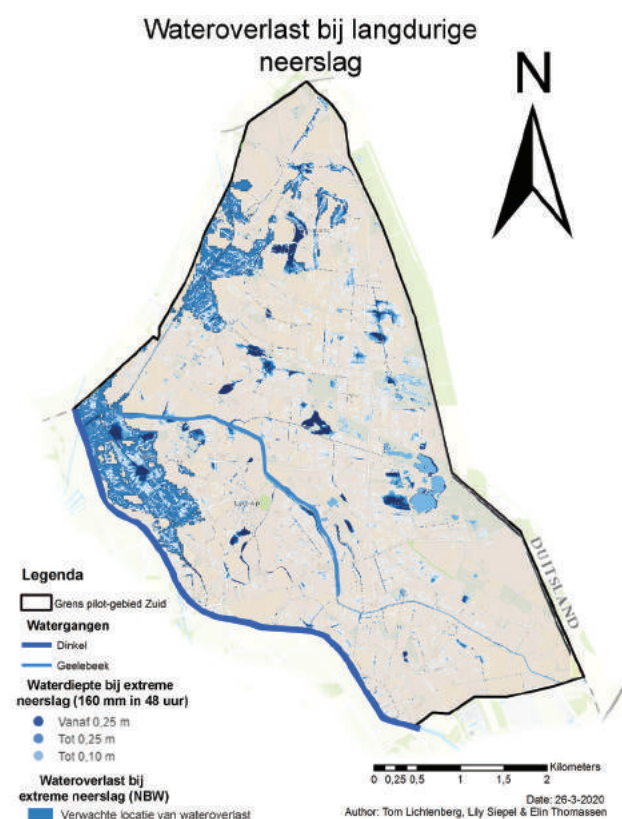
Risico zuurstofstress pilot-gebied
zuid



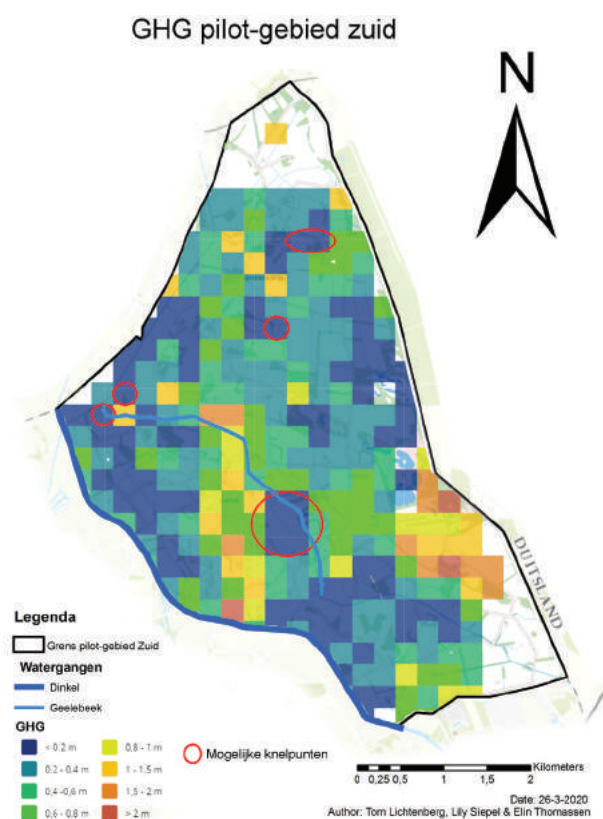
Figuur 38: Risico zuurstofstress 2050 pilot-gebied noord
Bron: (Klimaat-effectatlas, sd)

Meerdaagse natte periodes nemen toe

Wateroverlast zorgt voor een derving van opbrengsten van agrariërs en moeilijk begaanbare wegen. Vooral in het oosten (rond de Dinkel en het Dinkelkanaal) van het pilot-gebied is er sprake van wateroverlast door langdurige neerslag, zie figuur 39. Dit zorgt voor een derving van opbrengsten van agrariërs, zie figuur 38. In 2050 wordt de kans dat de locaties in figuur 39 te maken krijgen met wateroverlast door meerdaagse natte periodes groter.



Figuur 39: Wateroverlast bij langdurige neerslag pilot-gebied zuid Bron: (Klimaatatlas Twents waternet, sd)



Figuur 40: Gemiddeld hoogste grondwaterstand in pilot-gebied zuid Bron: (Klimaat-effectatlas, sd)

Grondwateroverlast neemt toe

In pilot-gebied zuid zal de grondwaterstand in 2050 op sommige plekken toenemen waardoor er overlast wordt ervaren, zie de rood omcirkelde gebieden in figuur 40 (zie bijlage 31.4). Bij de grootste locatie, aangegeven in figuur 40, valt hier echter een kanttekening te plaatsen. Op deze locatie ligt Lattrop waar waarschijnlijk gedraineerd wordt. Om deze reden is de kans dat hier daadwerkelijk grondwateroverlast op gaat treden in 2050 klein.

Conclusie

Door klimaatverandering zullen beide pilot-gebieden vaker te maken krijgen met wateroverlast door meerdaagse natte periodes in de winter en kortdurende hevige neerslag in de zomer. Meerdaagse natte periodes zorgen voor grootschaligere overlast, terwijl kortdurende hevige neerslag daarentegen voor veel kleinschaligere overlast zorgt. Door de algemene toename van neerslag neemt vooral in pilot-gebied zuid de kans op grondwateroverlast toe. De lager gelegen delen van beide pilot-gebieden (pilot-gebied zuid meer dan pilot-gebied noord) zullen te maken krijgen met zuurstofstress waardoor gewasschade optreedt.



6 Knelpunten en kansrijke maatregelen

Uit de actorenbeschrijving (paragraaf 4.2) en de hydrologische systeemanalyse is gebleken dat het watersysteem zowel op dit moment als in 2050 niet aan de belangen en doelen van de actoren kan voldoen. Door het watersysteem robuust te maken, is dit wel mogelijk. Op basis van prioriteiten worden in dit hoofdstuk maatregelen opgesteld. De prioriteiten zijn gebaseerd op de ernst en omvang van de knelpunten.

6.1 Prioriteiten

In deze paragraaf worden de knelpunten op volgorde gezet van ernst en omvang volgens de MoSCoW-methode (zie bijlage 32). Dit is gedaan om inzicht te krijgen in welke knelpunten het eerst opgelost moeten worden. De uitkomst van de prioritering van knelpunten heeft geen invloed op het eindresultaat.

Knelpunten pilot-gebied noord

In figuur 41 zijn de hoofd- en sub-knelpunten voor pilot-gebied noord weergegeven. Hoofdknelpunten zijn directe gevolgen van klimaatverandering. Sub-knelpunten zijn knelpunten die door de hoofdknelpunten worden veroorzaakt. De hoofdknelpunten zijn op volgorde van urgentie gezet; waar hoofdknelpunt 1 de hoogste urgentie heeft en hoofdknelpunt 8 de laagste.

Landelijk knelpunt	Het klimaat verandert: - Meteorologische droogte in de zomer neemt toe - Nattere winters en meer zomerse piekbuien							
Hoofdknelpunt	1. Te weinig water beschikbaar om alle gebruiksfuncties optimaal te bedienen	2. Te ondiepe aanvoerende pomp in Schoonebeekerdiep	3. OOWS-waterlichamen in het water-aanvoerende gebied vallen droog	4. Deelstroomgebied Katshaar is vrij-afwaterend	5. Vocht-leverend vermogen van hogere zandgronden is laag	6. Wateroverlast meerdaagse natte periodes (winter)	7. Wateroverlast door extreme piekneerslag (zomer)	8. Te weinig personeel
Sub-knelpunten	In tijden van droogte wordt de afhankelijkheid van extern water groter voor natuur en landbouw	Er is geen wateraanvoer mogelijk	Grondwaterstanden zijn in de zomer relatief laag	Geen wateraanvoer mogelijk	Aanwezigheid gewassen op hogere zandgronden	Het watersysteem kan de afvoer van overtollig water niet aan waardoor het water buiten te oevers treedt	Watergangen kunnen niet optimaal bediend worden bij piekbuien	
	Meteorologische droogte zorgt voor mindere mogelijkheid externe wateraanvoer		Het drainerende effect van de watergangen neemt toe	Grondwaterstanden zijn in de zomer erg laag	Droogtestress in de zomer	Bij extreme piekneerslag in de winter neemt hierdoor de kans op grondwateroverlast toe		
	Schade aan natuur en landbouw		Gewasschade	Gewasschade	Verminderde capillaire opstijging	De lucht in de bodemporiën die de plantenwortels nodig hebben voor respiratie wordt vervangen door water wat zuurstofstress oplevert		
				Schade aan vochtminnende natuur	Er is meer water nodig om de gewassen te irrigeren	Gewasschade		
					Gewasschade	Moeilijk begaanbare wegen		

Figuur 41, Knelpunten pilot-gebied noord

Knelpunten pilot-gebied zuid

Figuur 42 geeft de hoofd- en sub-knelpunten voor pilot-gebied zuid weer. De hoofdknelpunten zijn op volgorde van urgentie gezet; waar hoofdknelpunt 1 de hoogste urgentie heeft en hoofdknelpunt 6 de laagste.

Landelijk knelpunt	Het klimaat verandert: - Meteorologische droogte in de zomer neemt toe - Nattere winters en meer zomerse piekbuien					
Gebiedsknelpunt	1. Licht in vrij-afwaterend gebied	2. Watergangen met relatief diep en smal profiel	3. Licht op de hogere zandgronden	4. Bevat voor- namelijk intermediaire profielen	5. Toename meerdaagse natte periodes	6. Toename extreme piekneerslag
Sub-knelpunten	- Bodemvochttekort al vroeg in het voorjaar	- Grondwaterstanden in de zomer erg laag	- Gebied is van nature erg droogtegevoelig	- Grondwaterstanden in de zomer erg laag	- Het watersysteem wordt overbelast	- Het watersysteem wordt overbelast
	- Grondwaterstanden in de zomer erg laag	- Drainerend effect erg hoog	- Waterretentie is lastig	- Meer water nodig voor irrigatie gewassen	- Toename kans grondwateroverlast	- Toename kans grondwateroverlast
	- Meer water nodig voor irrigatie gewassen	- Droogvalling watergangen	- Grondwaterstanden in de zomer erg laag	- Gewasschade	- Zuurstofstress	- Zuurstofstress
	- Droogvalling watergangen	- Meer water nodig voor irrigatie gewassen	- Meer water nodig voor irrigatie gewassen		- Gewasschade	- Gewasschade
	- Onttrekkingsverbod	- Waterretentie is lastig			- Moeilijk begaanbare wegen	- Moeilijk begaanbare wegen
	- Gewasschade				- Natte kelders en kruipruimtes	- Natte kelders en kruipruimtes
	- Lage waterstand grachten Huis te Brecklenkamp					
	- Kans paalrot en verzakking groter (Brecklenkamp)					

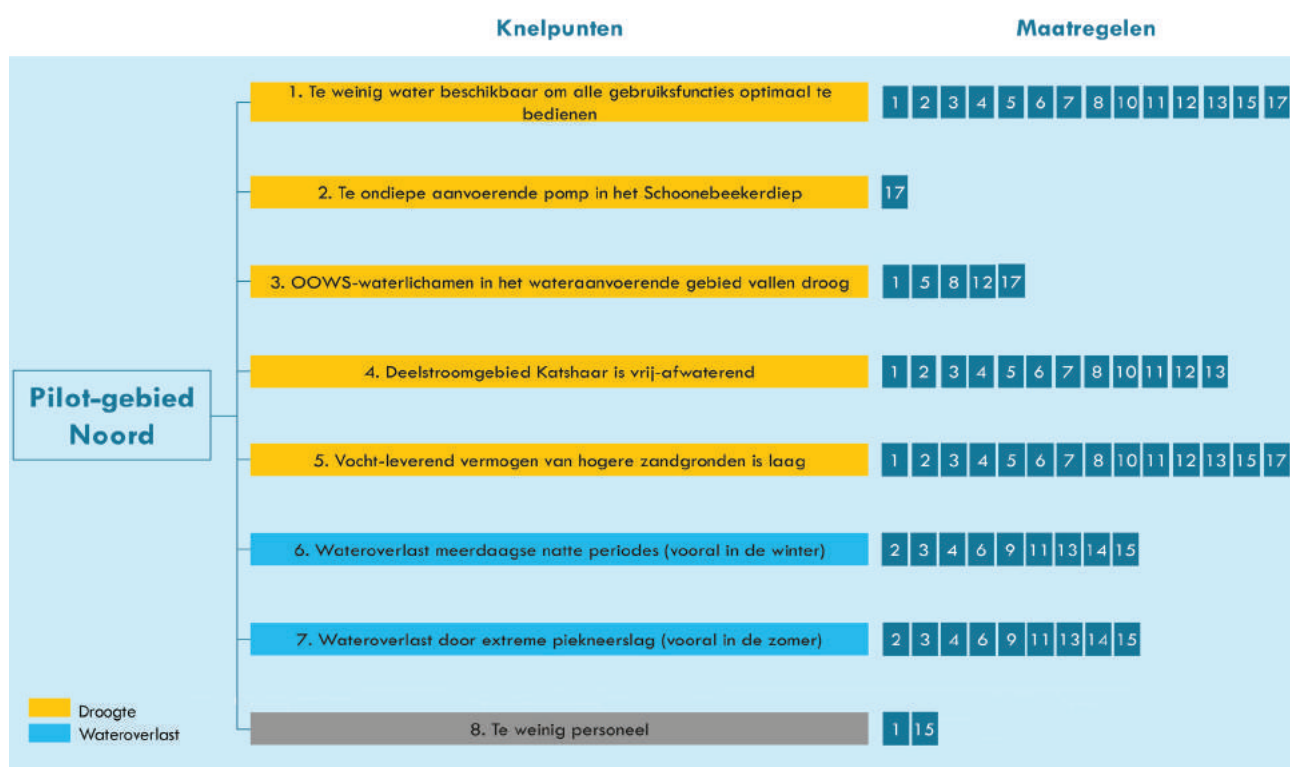
Figuur 42: Hoofd- en sub-knelpunten pilot-gebied zuid

6.2 Kansrijke maatregelen

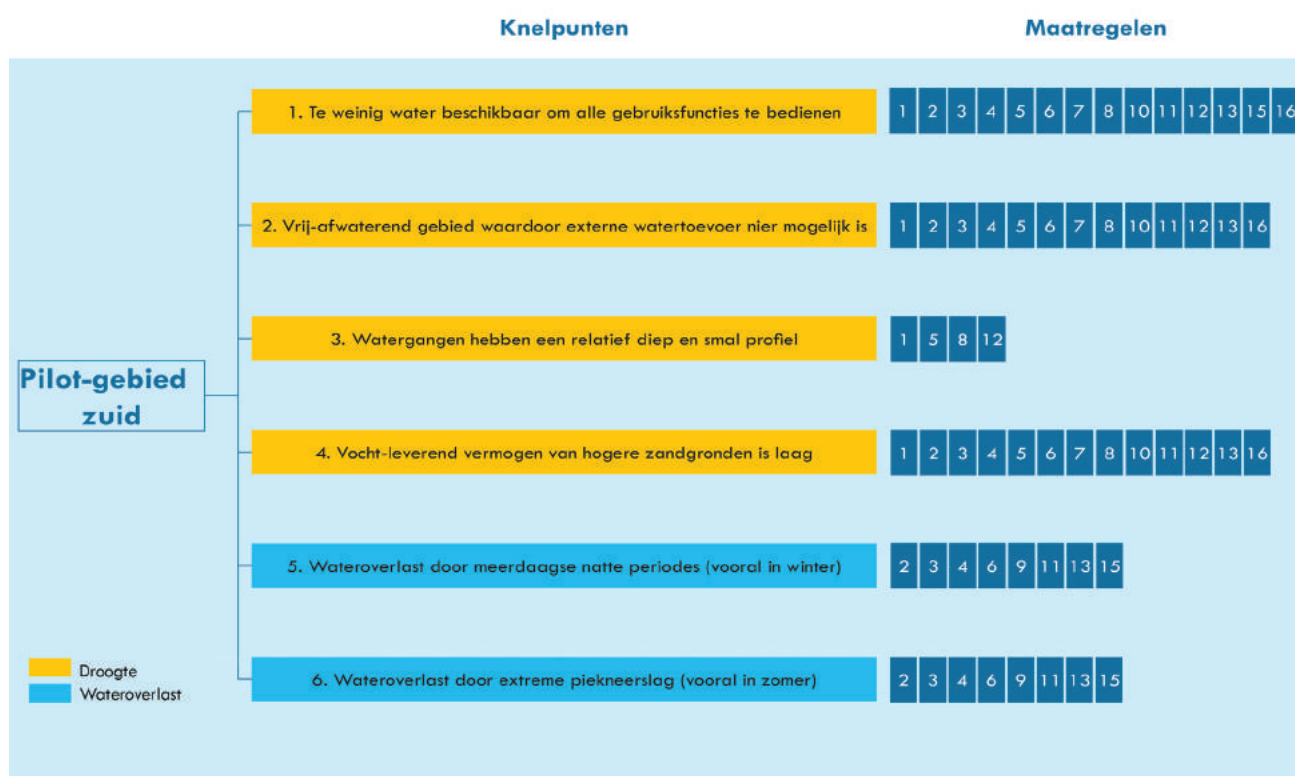
In deze paragraaf worden kansrijke maatregelen opgesteld die kunnen bijdragen aan het robuust maken van het watersysteem. In figuur 43 zijn deze maatregelen opgesteld. In bijlage 33 worden de maatregelen uitgewerkt. In figuur 44 en figuur 45 zijn de maatregelen gekoppeld aan de knelpunten in figuren 41 en 42. De meeste maatregelen verlichten meerdere knelpunten. In bijlage 34 is de koppeling tussen de opgestelde maatregelen en de knelpunten per pilot-gebied beschreven.

Maatregelen	Uitleg Maatregelen
1	Boerenstuw
2	Agro-ecologie
3	Verhogen organische stofgehalte
4	Andere gewassen en vegetatie
5	Verondiepen watergangen
6	Retentiegebieden
7	Slimmer irrigatiesysteem
8	Groene stuw
9	Verbeteren bodemstructuur
10	Mengteelt
11	Vanggewas
12	Watergangen verbreden en verondiepen
13	Regenwateropvang
14	Opbollen percelen
15	Dynamisch peilbeheer
16	Wateraanvoerende pomp (zuid)
17	Vergroten capaciteit aanvoerpomp (noord)

Figuur 43: Kansrijke maatregelen die de knelpunten verzachten



Figuur 44: Opgestelde maatregelen voor de knelpunten in pilot-gebied noord



Figuur 45: Opgestelde maatregelen voor pilot-gebied zuid

6.3 Criteria MCA

In deze paragraaf worden de maatregelen uit paragraaf 6.2 met behulp van een Multicriteria-analyse (MCA) getoetst aan verschillende criteria. De maatregelen die het hoogst scoren, blijken het meest geschikt om bij te dragen aan een robuust watersysteem. Om de resultaten van de MCA te valideren, is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd (bijlage 36).

Criteria MCA

Om inzicht te krijgen in de effectiviteit van de opgestelde maatregelen, worden ze gewogen aan criteria. Tijdens een brainstormsessie zijn de criteria in samenspraak met de opdrachtgever opgesteld. De criteria zijn opgedeeld in criteria-groepen en sub-criteria. Criteria-groepen zijn de onderdelen uit de definitie van robuust watersysteem. Er is onderscheid gemaakt in sub-criteria omdat niet alle maatregelen een positieve uitwerking hebben op alle actoren, beide pilot-gebieden of de vermindering van klimaateffecten. Sommige eigenschappen van maatregelen zijn waardevoller dan anderen. Om deze reden zijn sommige criteria anders gewogen (bijlage 35.2). Deze criteria-groepen zijn onderverdeeld in sub-criteria (bijlage 35.1). De maatregelen opgesteld in figuur 43 worden in de MCA gescoord aan de opgestelde criteria-groepen en sub-criteria, zie tabel 15.

Tabel 15: Criteria-groepen en sub-criteria

Criteria groep	Sub-criteria
<i>Kans medewerking actoren</i>	1. Agrariërs 2. Natuur (waaronder ook landgoederen)
<i>Effect voor actoren</i>	1. Agrariërs 2. Natuur (waaronder ook landgoederen)
<i>Intensiviteit beheer en onderhoud</i>	1. Waterschap Vechtstromen
<i>Effect op watersysteem</i>	1. Effect tegengaan wateroverlast 2. Effect tegengaan bodemvochtdroogte 3. Effect tegengaan hydrologische droogte
<i>Robuustheid</i>	1. Robuustheid volgens definitie

Score per criteria

Elke maatregel wordt per sub-criteria beoordeeld met een waarde van 1 tot en met 5. Over het algemeen geldt dat als een criteria beoordeeld wordt met de score 1, deze maatregel het minst geschikt is. Als een criteria beoordeeld wordt met de score 5, is deze maatregel uiterst geschikt. In tabel 16 is per criteria de betekenis van de schaal van de scores uitgelegd.

Tabel 16: Score per criteria (MCA)

Criteria groep	Uitleg	Schaal van score
Kans medewerking actoren	De mate van medewerking aan de voorgestelde maatregelen om ze succesvol te kunnen implementeren.	1: Geen medewerking verwacht 2: weinig medewerking verwacht 3: Voldoende medewerking 4: redelijk veel medewerking verwacht 5: volledige medewerking
Effect op actoren	Het effect dat de maatregel heeft op de actoren en betrokken functies.	1: nadelig effect 2: geen effect 3: klein, positief effect 4: redelijk positief effect 5: positief effect
Intensiviteit beheer en onderhoud	De mate van intensiviteit van beheer en onderhoud voor het waterschap die de maatregelen met zich meebrengt.	1: Hoge intensiviteit beheer en onderhoud 2: Redelijke intensiviteit beheer en onderhoud 3: Matige intensiviteit beheer en onderhoud 4: Lage intensiviteit beheer en onderhoud 5: Geen beheer en onderhoud
Effect op watersysteem	Het effect dat de maatregel heeft op het watersysteem.	1: nadelig effect 2: geen effect 3: klein, positief effect 4: redelijk positief effect 5: positief effect
Robuustheid	De mate van robuustheid volgens de definitie*	1: voldoet niet aan definitie 2: voldoet slechts aan één deel van de definitie 3: voldoet aan twee delen van de definitie 4: voldoet aan drie delen van de definitie 5: voldoet volledig aan de definitie

* De definitie voor robuust watersysteem die in dit onderzoek gebruikt wordt is: 'Een systeem dat (1) weerstand biedt aan- en veerkrachtig reageert op- de toename van extremere weerssituaties waarbij de (2) verschillende gebruikers van het systeem allemaal betrokken zijn en (3) de gebruikers zoveel mogelijk profiteren zonder nadelige gevolgen te ervaren. Daarnaast (4) moet het watersysteem een lange levensduur hebben, ofwel lang kunnen acteren op veranderingen.

6.4 Overzicht geschikte maatregelen

Alle maatregelen zijn beoordeeld aan de hand van criteria. De toelichting van de scores zijn te zien in bijlage 35.3. In tabel 17 en tabel 18 zijn de scores van de hoogst scorende maatregelen voor pilot-gebieden noord en zuid. Om de resultaten van de MCA te valideren, is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd (bijlage 36). Uit de analyse blijkt dat de maatregelen in pilot-gebied op de 1e, 2e, 3e en 4e plek sowieso in de top-5 horen, in welke volgorde echter valt te twisten. De scores van maatregelen op de 5e, 6e en 7e plek liggen heel dicht bij elkaar. Als deze maatregelen anders waren gescoord, hadden andere maatregelen op plek 5 gestaan. In pilot-gebied zuid horen maatregelen 1 tot en met 3 sowieso in de top 5. 'Boerenstuwen' hoort hier overduidelijk op plek 1. Over de volgorde van maatregelen die op plekken 2, 3, 4 en 5 staan valt te twisten. De scores van maatregelen op de 4e, 5e, 6e en 7e plek liggen heel dicht bij elkaar. Als deze maatregelen anders waren gescoord, hadden andere maatregelen op de 4e en 5e plek gestaan.

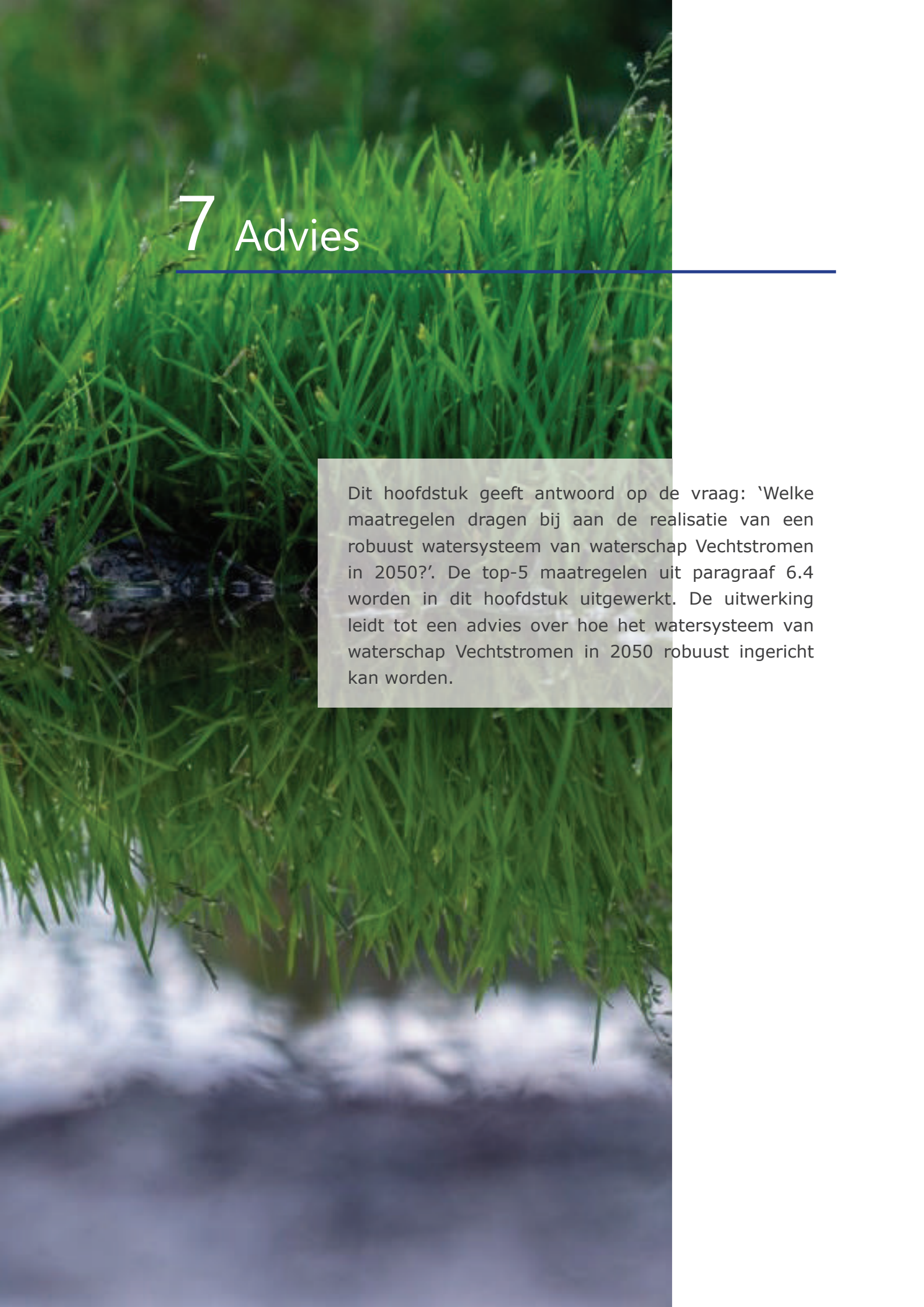
De scores in pilot-gebied zuid zijn hoger dan in pilot-gebied noord, zie tabel 17 en tabel 18. Dit geeft aan dat de maatregelen in pilot-gebied zuid urgenter zijn dan in pilot-gebied noord.

Tabel 17: Top-5-maatregelen pilot-gebied noord

Plek	Maatregel	Score
1	Dynamisch peilbeheer	51
2	Verhogen organische stofgehalte	50
3	Vergroten capaciteit aanvoerpomp	49,5
4	Boerenstuwen	48,5
5	Agro-ecologie	45,5

Tabel 18: Top-5-maatregelen pilot-gebied zuid

Plek	Maatregel	Score
1	Boerenstuwen	62
2	Wateraanvoerende pomp	58,5
3	Verhogen organische stofgehalte	57
4	Agro-ecologie	53,5
5	Retentiegebieden	53



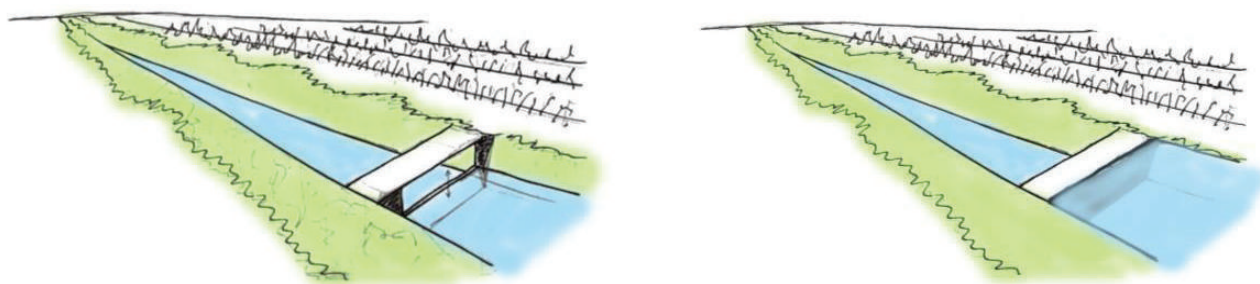
7 Advies

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de vraag: 'Welke maatregelen dragen bij aan de realisatie van een robuust watersysteem van waterschap Vechtstromen in 2050?'. De top-5 maatregelen uit paragraaf 6.4 worden in dit hoofdstuk uitgewerkt. De uitwerking leidt tot een advies over hoe het watersysteem van waterschap Vechtstromen in 2050 robuust ingericht kan worden.

7.1 Uitwerking top-5-maatregelen pilot-gebied noord en zuid

In deze paragraaf worden de vijf maatregelen uitgewerkt die het hoogst hebben gescoord per pilot-gebied, zie paragraaf 6.2. De maatregelen hebben als doel om een grotere bergingscapaciteit te creëren in de pilot-gebieden. Hoe groter de bergingscapaciteit, des te beter het watersysteem kan reageren op klimaateffecten. Het effect van de maatregelen op de bergingscapaciteit van het watersysteem wordt met behulp van opgestelde waterbalansen voor het zomerhalfjaar van 2050 inzichtelijk gemaakt. De resultaten zijn gebaseerd op een maximale bergingscapaciteit die de maatregelen kunnen leveren, zonder rekening te houden met factoren die de bergingscapaciteit kunnen verlagen. Gebruikte methoden en verdere uitwerking van de maatregelen is te lezen in bijlage 37. De effecten van de maatregelen staan in verhouding tot de bergingscapaciteit van de pilot-gebieden in paragraaf 5.2.1 en 5.2.2.

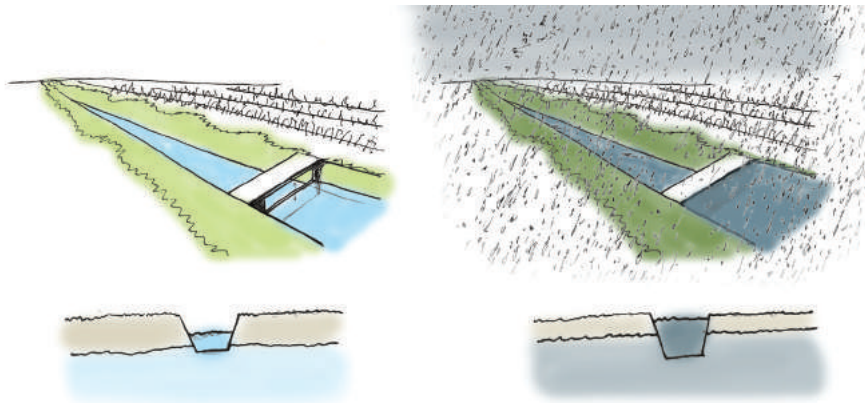
Boerenstuw



Figuur 46: Effect van de maatregel 'Boerenstuw' (links is de stuw omhoog, rechts is de stuw dicht)

De toepassing van boerenstuwen is een bergingsmethode, waarbij de agrariër zelf kan bepalen hoeveel water wordt geborgen of afgevoerd, zie figuur 46. In beide pilot-gebieden vallen watergangen droog. Met de plaatsing van 8 boerenstuwen in pilot-gebied noord en 16 boerenstuwen in pilot-gebied zuid, kan er in pilot-gebied noord maximaal 1 millimeter en in pilot-gebied zuid maximaal 3 millimeter in het zomerhalfjaar van 2050 geborgen worden, zie bijlage 37.1.

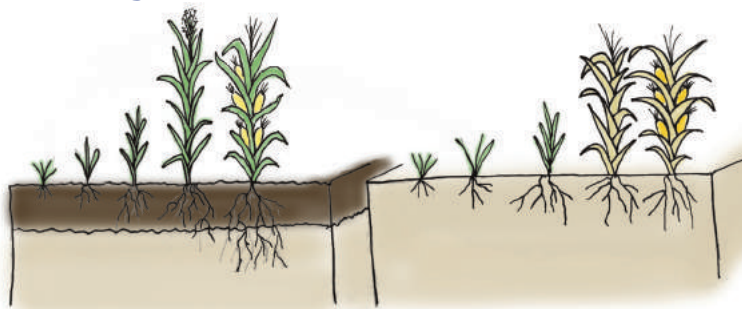
Dynamisch peilbeheer



Figuur 47: Werking van dynamisch peilbeheer

Dynamisch peilbeheer (zie figuur 47) is zeer effectief in pilot-gebied noord. In pilot-gebied noord wordt er hedendaags gewerkt met een vast zomer- en winterstreefpeil. De gemalen slaan aan als het waterpeil zich enkele centimeters boven of onder het streefpeil bevindt. Op dat moment wordt er overtollig water afgevoerd dat wordt beschouwd als een wateroverschot, maar wat echter nog geen wateroverlast veroorzaakt. In droge perioden had dit wateroverschot kunnen fungeren als extra waterbuffer. Het watertekort dient hierdoor te worden aangevuld door externe wateraanvoer. Doordat dynamisch peilbeheer kan inspelen op verwachte weersomstandigheden, waterstanden en een bredere range tussen het zomer- en winterpeil bevat, kan er effectiever worden omgegaan met gebiedseigen water en kan er een beter waterbeheer worden toegepast. De vele aanwezige stuwen in pilot-gebied noord zorgen ervoor dat het dynamische peilbeheer goed kan worden toegepast, waardoor het verschil tussen peil- en grondwaterstandsverandering kleiner wordt, zie bijlage 37.2.

Verhogen organisch stofgehalte



Figuur 48: Effect verhogen organische stofgehalte

Het verhogen van organische stofgehalte (zie figuur 48) is in beide pilot-gebieden effectief. Bij elke verhoging van 1% organische stofgehalte, neemt de bergingscapaciteit met 4 tot 6 millimeter toe (Landbouw op Peil, 2014). Als deze vuistregel wordt toegepast op de pilot-gebieden blijkt dat de bergingscapaciteit met 5 millimeter toeneemt (bijlage 37.3) als alle akkerbouw- en graslandpercelen met 1% organisch stofgehalte verhoogd worden. In een droge zomer, waarin het neerslagtekort permanent toeneemt, is het effect van de extra waterberging door organisch stofgehalte gering. Echter, in een matig droge zomer met regelmatig een regenbui, kan de extra waterberging meerdere malen worden benut en kan een beregeningsbeurt worden uitgesteld en soms worden uitgespaard (Groenendijk, Wösten, Postma, & Ruijtenberg, 2019). Ditzelfde geldt voor natte winters. Bij de verhoging van organische stofgehalte neemt de bergingscapaciteit toe en kan er meer vocht worden vastgehouden in de bodem; de sponswerking van de bodem wordt groter. Het organische stofgehalte kan worden verhoogd door de afbraak van organisch stofgehalte te verminderen en de toevoer van organische stof te verhogen. De verhoging van organisch stofgehalte is echter lastig.

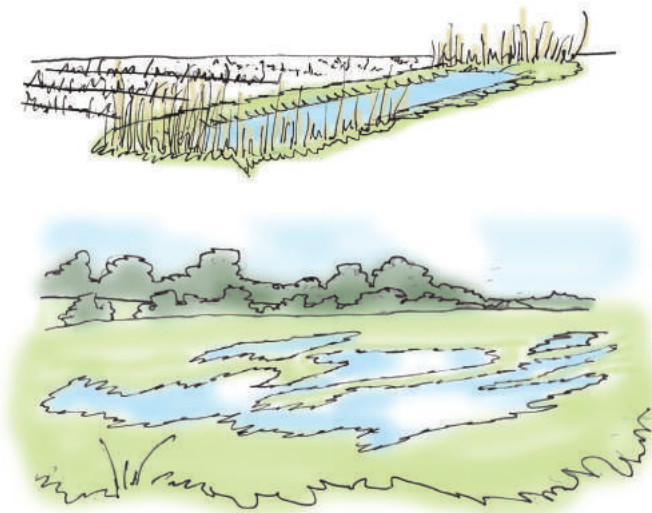
Agro-ecologie



Figuur 49: Agro-ecologie

Agro-ecologie, zie figuur 49, is een verzamelnaam voor regeneratieve plantaardige productiesystemen die veerkracht tonen. Toekomstbestendige, veerkrachtige landbouw valt hier ook onder (WUR, sd). Agro-ecologie heeft veel positieve neveneffecten zoals de verhoging van het organische stofgehalte in de bodem, zie bijlage 37.3. Met de maatregel agro-ecologie wordt de traditionele landbouw omgevormd tot een toekomstbestendige en veerkrachtige landbouw. Op deze manier kan de functie landbouw behouden worden op een duurzame manier. Voorbeelden van toekomstbestendige landbouwvormen zijn: agroforestry (voedselbos), mengteelten, strokenteelten en groenbemesters (bijlage 37.4).

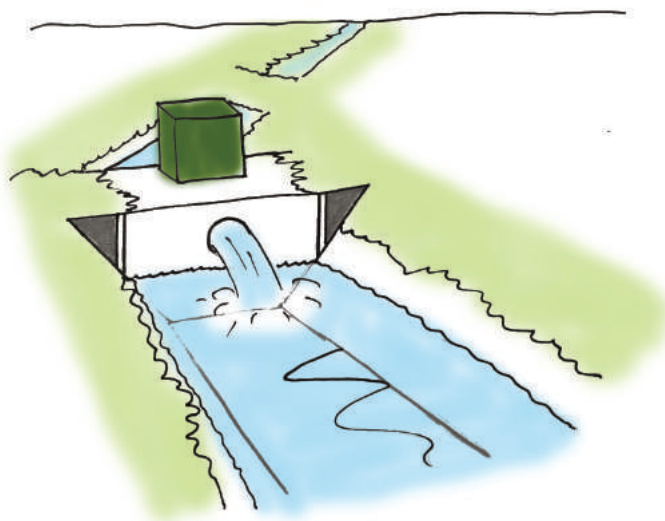
Retentiegebieden



Figuur 50: Retentiegebieden

Retentiegebieden (zie figuur 50) zijn vooral effectief in pilot-gebied zuid. In de winter heeft pilot-gebied zuid een neerslagoverschot en in de zomer een -tekort. Er wordt dus in het winterhalfjaar te veel water afgevoerd in plaats van vastgehouden. Waterberging is mogelijk in de vorm van een gezamenlijke waterbuffer of een wateropslag op eigen perceel. Het hebben van een wateropslag maakt met name agrariërs minder afhankelijk van de hoeveelheid water uit sloten of kanalen. De lage prioriteit van landbouw in de verdringingsreeks zorgt ervoor dat watertoevoer naar agrarische gebieden in tijden van droogte onzeker wordt. Als ervan uitgegaan wordt dat elke agrariër een deel van zijn perceel inlevert om als waterberging te dienen (25mx75mx1,5m), dan levert dat 3 millimeter extra berging op in het zomerhalfjaar van 2050. Tevens is het interessant om als agrariër een blauwe dienst te leveren, zie bijlage 37.5. Dit kan in de vorm van een boerenbergingsgebied. Het gebied behoudt zijn functie voor landbouwkundig gebruik, maar kan in tijden van wateroverlast dienen als tijdelijke waterbuffer

Vergroten pompcapaciteit pilot-gebied noord

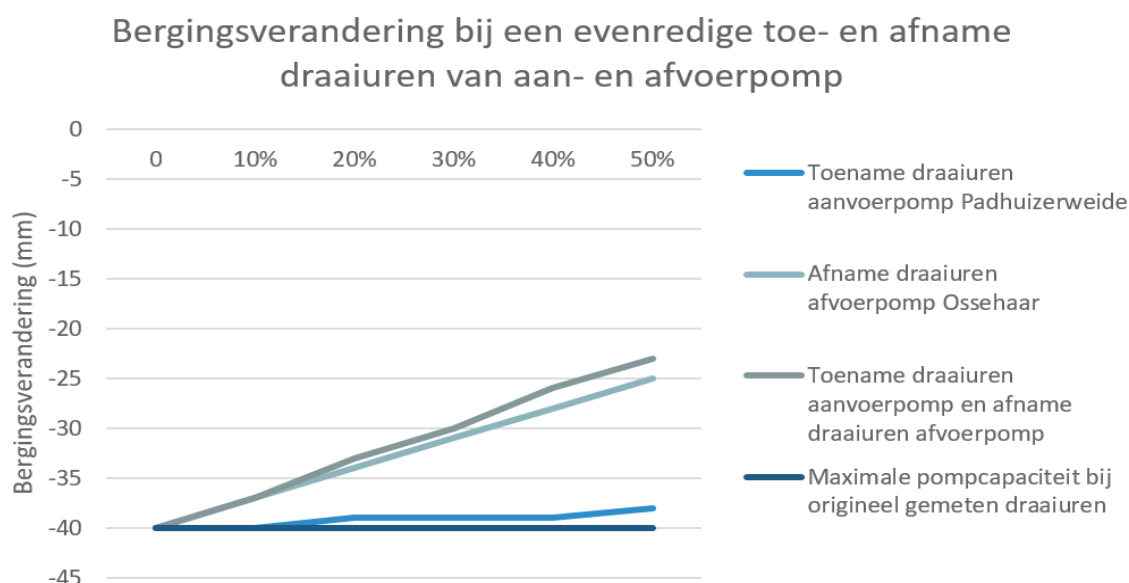


Figuur 51: Vergroten pompcapaciteit pilot-gebied noord en wateraanvoerende pomp pilot-gebied zuid

Door de capaciteit van de aanvoerpomp in pilot-gebied noord te vergroten, zie figuur 51, kan de pomp ook in droge perioden water blijven aanvoeren. Er is voor verschillende draaiuren van de aan- en afvoergemalen berekend wat de bergingscapaciteit van pilot-gebied noord in het zomerhalfjaar van 2050 is. Bij elke berekening is er gerekend met de maximale aanvoercapaciteit (100%) waarbij enkel de draaiuren zijn veranderd. De draaiuren in de berekening zijn gebaseerd op de gemeten draaiuren van het referentiejaar 2014. Dit is voor volgende situaties berekend:

1. **Originele aanvoer met een originele afvoer:** In de eerste situatie wordt er gerekend met de originele draaiuren van het aan- en afvoergemaal.
2. **Verhoogde aanvoer met een originele afvoer:** In de tweede situatie is er sprake van een toename van het aantal draaiuren van het aanvoergemaal waarbij de draaiuren van het afvoergemaal hetzelfde blijven.
3. **Originele aanvoer met verlaagde afvoer:** In de derde situatie blijven de draaiuren van het aanvoergemaal gelijk en worden de draaiuren van het afvoergemaal verlaagd.
4. **Verhoogde aanvoer met verlaagde afvoer:** In de vierde situatie worden de draaiuren van het aanvoergemaal evenredig verhoogd en de draaiuren van het afvoergemaal evenredig verlaagd.

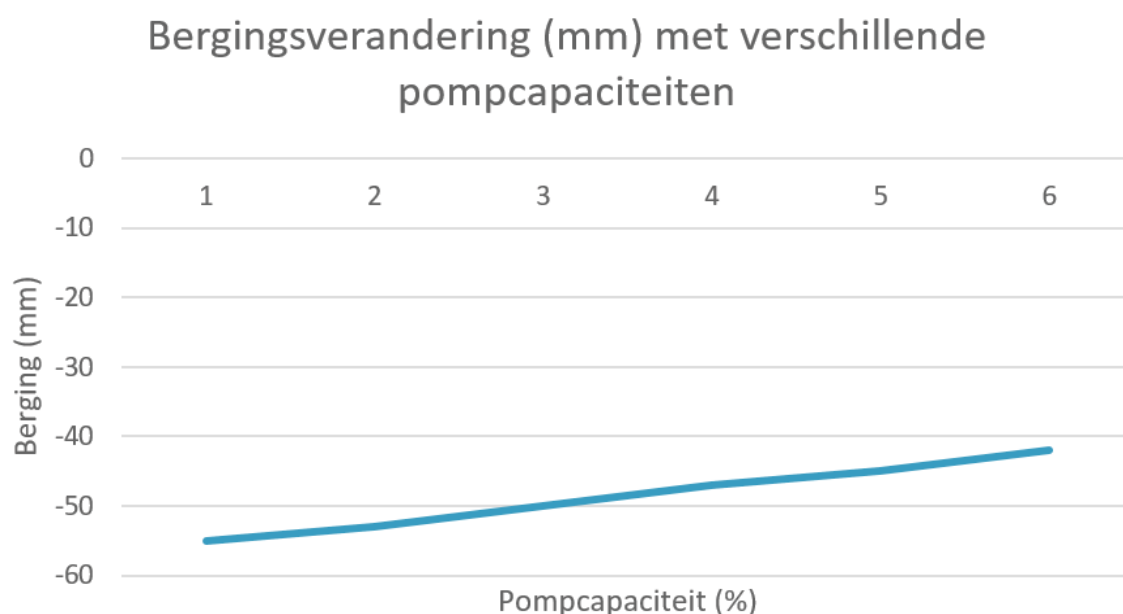
Uit de resultaten blijkt dat het verminderen van de afvoer, dus water bergen en vasthouden in het gebied, effectiever is en meer effect heeft dan wateraanvoeren, zie figuur 52. Overige uitgangspunten en berekeningen zijn weergegeven in bijlage 37.6.



Figuur 52, Effecten van het verlagen draaiuren afvoerpomp en verhogen draaiuren aanvoerpomp

Wateraanvoerende pomp pilot-gebied zuid

Door een wateraanvoerende pomp te plaatsen in pilot-gebied zuid, zie figuur 51, wordt er binnen het vrij-afwaterende systeem een wateraanvoerend systeem gecreëerd (bijlagen 37.7 en 38). In droge perioden kan er hierdoor extern water aangevoerd worden. De aanvoer van water is echter zeer afhankelijk van het debiet van het Dinkelkanaal. Neemt dit debiet af, dan neemt de mogelijkheid tot watertoevoer van extern water in pilot-gebied zuid ook af. Per toename van de pompcapaciteit met 5% neemt de bergingscapaciteit van het pilot-gebied toe met 2 tot 3 millimeter, zie figuur 53. Om te blijven voldoen aan de KRW-richtlijnen, is een maximale pompcapaciteit niet mogelijk.



Figuur 53, Bergingsverandering (mm) bij verschillende pompcapaciteiten

7.2 Advies

In dit hoofdstuk zal er per type gebied advies worden gegeven over de knelpunten die in hoofdstuk 6 te lezen zijn.

Tabel 19: Effect maatregelen op bergingscapaciteit

Maatregel	Pilot-gebied	Toename bergingscapaciteit
Boerenstuw	Noord	1 mm
	Zuid	3 mm
Dynamisch peilbeheer	Noord	-
Verhogen OS & Agro-ecologie 1% (bergingsvermogen 6 mm)	Noord	5 mm
	Zuid	5 mm
Retentiegebied (6 ha)	Zuid	3 mm
Verhogen pompcapaciteit Verlagen draaiuren afvoergemaal (-10%) Verhogen draaiuren aanvoergemaal (+20%)	Noord	Pompcapaciteit 100%: 2 mm
		3 mm
		1 mm
WATERAANVOERENDE pomp	Zuid	Pompcapaciteit 25%: 14 mm
		Pompcapaciteit 5% : 2-3 mm

De maatregelen zijn opgesteld aan de hand van kwalitatief onderzoek. Voorafgaand aan de uitwerking van de maatregelen werd verwacht dat maatregelen die wateraanvoer mogelijk maakten het effectiefst zouden blijken. Tijdens de MCA werd er gedacht dat de maatregelen die wateraanvoer verwezenlijkten, een positief effect hadden op het watersysteem. Uit de uitwerking van de maatregelen blijkt, dat de vermindering van afvoer en de vergroting van berging meer effect heeft op het watersysteem, dan de vergroting van aanvoer. In tabel 19 is te zien dat de vergroting van de bergingscapaciteit van de bodem zeer positief uitvalt. De verhoging van het organische stofgehalte is voor beide pilot-gebieden de effectiefste maatregel. Deze maatregel is zowel effectief in te droge als in te natte situaties. Voor pilot-gebied zuid is het vasthouden van water met behulp van boerenstuwen en retentiegebieden erg effectief. De implementatie van een wateraanvoerende pomp heeft ook veel effect. Deze maatregel maakt het gebied alleen afhankelijk van de beschikbaarheid van water in het Dinkelkanaal. Naast de verhoging van het organische stofgehalte is dynamisch peilbeheer in pilot-gebied noord erg effectief. Met deze maatregel wordt het watersysteem 'slimmer' waardoor het voorbereid is op zowel te droge als te natte situaties. In paragraaf 6.1 werd gesteld dat de te ondiepe pomp Padhuizersweide in pilot-gebied noord een groot knelpunt was. Uit de berekeningen blijkt echter dat de vergroting van de aanvoercapaciteit geen effect heeft als de afvoercapaciteit niet verlaagd wordt.

Uit de resultaten blijkt dat de maatregelen de knelpunten verlichten maar niet oplossen. Geadviseerd wordt om het gebied systeemrobuust te maken; onafhankelijk worden van externe wateraanvoer, door water, dat al in het gebied is, te bergen en optimaal te benutten. Om dit te bereiken moet er worden ingezet op een inrichting van het gebied, die maakt dat het onafhankelijk van wateraanvoer wordt. Dit kan alleen door de verschillende maatregelen te combineren en ervoor te zorgen dat ze elkaar versterken. Ook wordt er geadviseerd om het gebied gebruikersrobuust te maken; gebruikers van het watersysteem kunnen adapteren aan te droge en te natte situaties.

8 Conclusie & aanbevelingen

Dit hoofdstuk presenteert de conclusie van het onderzoek. Aansluiten op de conclusie worden in dit hoofdstuk aanbevelingen aan het waterschap gegeven.



8.1 Conclusie

In dit onderzoek is gezocht naar een antwoord op de vraag: 'Hoe kan het watersysteem van waterschap Vechtstromen worden ingericht, zodat het klimaatrobuust is in 2050?' Hiervoor zijn zowel kwalitatieve als kwantitatieve onderzoeksmethodes toegepast om de knelpunten in het watersysteem in 2050 en de effecten daarvan zichtbaar te krijgen.

Het watersysteem is in zijn huidige vorm niet robuust. Een watersysteem kan als robuust worden beschouwd als er sprake is van systeemrobuustheid en gebruikersrobuustheid. Treden er extreme weerssituaties op, dan blijkt dat het watersysteem hier adequaat op kan reageren. Door toename in de nu nog beperkte bergingscapaciteit kan meer wateroverlast voorkomen. Door daarnaast meer te richten op het vasthouden en bergen van water, wordt ongewenste afvoer van water teruggedrongen. Zo ontstaat er systeemrobuustheid. Gebruikersrobuustheid ontstaat als gebruikers van het watersysteem in staat zijn om te anticiperen op droge en natte periodes. Er moet een verandering in de 'mindset' van grondgebruikers komen waarbij in de kern efficiënter wordt omgegaan met gebiedseigen water. Wateroverschotten moeten niet worden gezien als overlast, maar als kans om voorbereid te kunnen zijn op drogere perioden. Het watersysteem moet door een andere manier van landgebruik meer ruimte krijgen om veerkrachtiger om te gaan met verschillende weersinvloeden.

De verwachte knelpunten die optreden in 2050 hebben betrekking op klimatologische veranderingen (droogte en piekbelastingen) en het landgebruik door gebruikers van het watersysteem. De klimatologische veranderingen zullen zich voor de gebruiksfuncties uiten in een grotere vraag naar water, terwijl er minder water beschikbaar is. In de toekomst zal er in de zomerperiode te weinig water beschikbaar zijn om alle gebruikersfuncties optimaal te bedienen. Gevolg is dat de gebieden door de minimale bergingsopties afhankelijker worden van de zeer onzekere factor neerslag.

Het verzachten van effecten van klimaatverandering kan, maar tot op zekere hoogte. De beschouwde maatregelen verlichten de gesignaleerd knelpunten, maar lossen de knelpunten niet op. Gebruikersrobuustheid is daarom essentieel voor het creëren van een robuust watersysteem in 2050. Mogelijke maatregelen die bij kunnen dragen aan een robuust watersysteem richten zich op het vasthouden en bergen van gebiedseigen water, waarbij afvoer van water wordt teruggedrongen. Verhoging van organisch stofgehalte, het aanleggen van waterretentiegebieden of het implementeren van boerenstuwen. Deze maatregelen kunnen ervoor zorgen dat zowel de gebruikers van het watersysteem als het watersysteem meer ruimte krijgt om veerkrachtig om te gaan met verschillende weersinvloeden. Zo ontstaat er een samenspel tussen systeemrobuustheid en gebruikersrobuustheid en kan er beter gebalanceerd worden tussen droogte en wateroverlast.

8.2 Aanbevelingen

Een samenspel tussen systeemrobustheid en gebruikersrobustheid zorgt ervoor dat het watersysteem van waterschap Vechtstromen tegen 2050 robuuster ingericht is. Dit vraagt om een transitie in beheer en inrichting van het watersysteem. Het waterschap wordt aanbevolen om in te zetten op een slimmer watersysteem dat is voorbereid op toekomstige situaties. Uit de maatregelen komt voort dat in peilgestuurde gebieden, de maatregelen 'dynamisch peilbeheer' en het beperken van de afvoer, effectieve maatregelen zijn om een slimmer watersysteem te creëren dat voorbereid is op de toekomstige weersituaties. Voor een vrij-afwaterend gebied zonder wateraanvoermogelijkheden geldt dat het verhogen van de bergingsmogelijkheden en bergingscapaciteiten van de bodem, doormiddel van het verhogen van het organisch stofgehalte van de bodem en het plaatsen van boerenstuwen, zeer effectief blijken. Hoewel deze maatregelen vooral nog theoretisch effectief blijken, wordt het waterschap toch geadviseerd om verder onderzoek te doen naar het effect van deze maatregelen in de praktijk. Tevens wordt er geadviseerd onderzoek te doen naar de financiële haalbaarheid van de aanbevolen maatregelen.

Het waterschap wordt daarnaast aanbevolen om voorlichting te geven over gebruikersrobustheid. Doormiddel van deze voorlichtingen kan het waterschap een proactieve rol spelen om de mindset van gebruikers van het watersysteem te veranderen, waarbij kennis over adequaat gebruik van het watersysteem onder de gebruikers van het watersysteem wordt vergroot. Hierbij dient het waterschap zich in te zetten op kennisdeling en gezamenlijk leren ('joint fact finding'). Een robuust watersysteem wordt namelijk niet gecreëerd door de mindset van één gebruiker te veranderen, maar door het veranderen van de collectieve mindset. Het watersysteem is immers een gezamenlijk goed. Wordt de mindset niet veranderd, dan wordt geadviseerd over te gaan tot de fase van 'acceptatie'.

Waterschap Vechtstromen bevindt zich in de beginfase van het project 'Robuust Watersysteem 2050'. Het project richt zich op korte termijn vooral nog op het element 'waterkwantiteit'. Dit wordt vormgegeven middels twee pilot-gebieden, die antwoord geven op, hoe robustheid op het gebied van waterkwantiteit bereikt kan worden in de praktijk. Uit voorliggend onderzoek blijkt dat het gebruik van twee pilot-gebieden zeer effectief zijn om snel een overzicht te krijgen en om te bepalen, welke maatregelen op het gebied van waterkwantiteit per type gebied het meest effectief zijn. Deze methode resulteert in feite in een soort van 'stresstest' op gebiedsniveau. Op langer termijn wordt er in het project 'Klimaatrobust Watersysteem 2050' naast waterkwantiteit ook invulling gegeven aan de elementen waterkwaliteit, duurzaamheid, omgeving en biodiversiteit in het licht van de klimaatverandering en maatschappelijke wensen. Het waterschap wordt aanbevolen om ook voor deze elementen het gebruik van pilot-gebieden toe te passen. Zo krijgt het waterschap snel en in de praktijk inzichtelijk welke maatregelen in een bepaald gebied gewenst zijn.

9 Discussie

A photograph of a rural landscape. In the background, there is a large green barn with a dark roof and a smaller brick building. In the foreground, a small waterfall flows over a concrete structure into a stream. The water is white and foamy. There are green plants and grass around the stream. A metal structure with a box is visible on the right side of the stream.

Dit hoofdstuk presenteert de discussie van het onderzoek in het kader van relevantie, betrouwbaarheid, haalbaarheid en het proces van het onderzoek. Vanwege de complexe en integrale context van dit onderzoek, is de discussie gestructureerd in thema's: werkdefinitie, actorenanalyse, het onderzoek, knelpunten en maatregelen. Uit de discussie volgen aanbevelingen die paragraaf 8.2 aanvullen. De aanbevelingen in dit hoofdstuk zijn gericht op vervolgonderzoek.

Werkdefinitie

In het rapport is er een werkdefinitie opgesteld. Uitgaande van deze definities is geconcludeerd dat het huidige watersysteem in 2050 strikt genomen niet kan voldoen aan deze definitie. De reden hiervoor is de sterke toename van negatieve gevolgen door klimaatverandering die de gebruikers van het watersysteem zullen gaan ondervinden. Zelfs met het nemen van maatregelen kan de definitie in 2050 niet behaald worden. Afgevraagd kan worden of deze werkdefinitie ook gehandhaafd kan worden in 2050. Aanbevolen wordt om in vervolgonderzoek het begrip 'gebruikersrobuustheid' toe te voegen aan de werkdefinitie van een robuust watersysteem. Daarnaast moet er ook nadrukkelijker gekeken worden of de baten van de maatregelen opwegen tegen de kosten die de maatregelen met zich meebrengen (kosten-efficiëntie). Hierbij dient benadrukt te worden dat de acceptatie omtrent verdroging en vernatting onderdeel gaat worden van ons bestaan en dat dit een gedeelde verantwoordelijkheid wordt van onze samenleving.

Actorenanalyse

Uit het onderzoek blijkt dat de grondgebruikers geen nadelige gevolgen ondervinden van de effecten van klimaatverandering in een gemiddeld jaar. Ook hier is een kanttekening bij te plaatsen. De uitgevoerde actorenanalyse is anders uitgevallen dan voorspelt, wegens de onverwachte coronacrisis die het communicatieproces van het onderzoek heeft verstoord. In het onderzoeksproces zijn de vertegenwoordigers van het waterschap en de belangenorganisaties benaderd als de betrokken actoren, maar vele reacties bleven uit wegens het op afstand werken en de afgelaste interviewgesprekken. Dit heeft om begrijpelijke redenen het onderzoek bemoeilijkt en daarmee bleef de volledigheid beperkt. Voor vervolgonderzoek wordt aanbevolen om nog intensiever in te zetten op het betrekken van afzonderlijke grondgebruikers en actoren.

Onderzoek

Uit het onderzoek blijkt dat de pilot-gebieden in normale jaren kunnen voldoen aan de gestelde definitie van een robuust watersysteem. Hierbij geldt 2014 als het gehanteerde referentiejaar. Alhoewel de gegevens voor dit referentiejaar van een valide bron (KNMI) zijn overgenomen, kan er een kanttekening geplaatst worden bij de keuze van dit referentiejaar. Als de weergegevens van meerdere jaren met elkaar worden vergeleken, blijkt namelijk dat 2014 een uitzonderlijk warme zomer had vergeleken met een gemiddeld jaar. Omdat 2014 toch gebruikt is als referentiejaar, kunnen de resultaten voor het toekomstscenario extremer uitvallen dan dat ze voorspeld zijn. Daarbij kan worden opgemerkt dat met het gebruik van een extreem jaar als referentiejaar, de robuustheid van het watersysteem groter blijkt dan gedacht. Het watersysteem kon volgens het onderzoek in 2014 namelijk goed adapteren op de weersextremen in de zomermaanden.

Uit de conclusie blijkt dat in het extreem droge jaar 2018 het watersysteem niet robuust is. Het watersysteem is daarbij aan de geformuleerde werkdefinitie getoetst doormiddel van opgestelde waterbalansen voor zowel het wateraanvoerende als het vrij-afwaterende gebied. Hierbij zijn de waterbalansen zodanig vereenvoudigd dat ze enkel een schatting geven van het bergingstekort- of overschot en is niet intensief naar de andere balansposten (m.u.v. neerslag en verdamping) gekeken. Voor input van de waterbalansen kon niet altijd beschikt worden over sluitende en betrouwbare meetdata, zodat hier het nodige afgeschat moest worden. Hierdoor is naar verwachting een behoorlijke onbetrouwbaarheid in de waterbalansen geslopen. Indien het waterschap meer met het instrument waterbalans wil werken om invulling te geven aan klimaatrobuustheid, dan dient het waterschap de meetinspanning sterk te verbeteren.

In deze studie worden er verschillende vormen van droogte gebruikt, waaronder hydrologische- en bodemvochtdroogte. Gebleken is dat alhoewel theoretisch het onderscheid te maken is en bijdraagt aan het begrip droogte, het in de praktijk lastig te kwantificeren is hoe omvangrijk de ene droogte is en wat het effect ervan is. Zo is het optreden van bodemvochtdroogte sterk

afhankelijk van gewastypen en is er per gewastype ook veel discussie mogelijk over de exacte irrigatiebehoefte ervan. Het onderdeel hydrologische droogte is in beeld gebracht door naar bodemprofielen te kijken. Deze zijn echter vereenvoudigd. In hoeverre de resultaten afwijken van de werkelijkheid is op dit moment niet te duiden. Aanbevolen wordt om voor deze componenten meer gebied specifieke informatie te verzamelen.

Knelpunten

Uit de studie blijkt dat er verschillende knelpunten optreden in het watersysteem van waterschap Vechtstromen. Deze knelpunten zijn in grote lijnen hetzelfde als de knelpunten die nu al gesignaleerd worden, maar dan in extremere vorm of in hogere frequentie. De gebruikte klimaatscenario's van het KNMI zijn weliswaar de meest actuele, maar het zijn verwachtingen en in die zin dus geen zekere voorspellingen. Daarnaast blijkt volgens de kerncijfers van het KNMI'14 scenario, dat er in 2050 in mindere mate meteorologische droogte wordt verwacht, dan dat er in 2018 gemeten is. Gediscussieerd kan worden of de KNMI'14 nog wel een volwaardig beeld van de verwachtingen van 2050 weergeeft. De KNMI'14 scenario's zijn namelijk gebaseerd op de peiljaren 1981-2010. In deze jaren zijn de extreem droge jaren 2018, 2019 en mogelijk 2020 niet meegenomen. Verwachting is dat met de toevoeging van deze extremen het scenario voor 2050 anders uitvalt.

Maatregelen

Verscheidene maatregelen leveren een positieve bijdrage aan een klimaatbestendig en robuust watersysteem van waterschap Vechtstromen in 2050. De effectiviteit van deze theoretische uitkomsten worden middels de twee pilot-gebieden noord en zuid in uitvoering gebracht. Deze praktijktoets draagt bij aan de haalbaarheidskansen van de aanbevolen maatregelen. Het onderzoek heeft uitgewezen dat waterschap Vechtstromen nog een aantal goed toepasbare maatregelen kan doorvoeren, zodat het watersysteem een klimaatbestendig en robuuste inrichting kan krijgen. Dit resultaat is met behulp van de kennis van nu. De ontwikkelingen gaan dusdanig snel, waarbij prioriteringen regelmatig verlegd zullen worden, dat een periode tot 2050 een zeer lange vooruitblik richting de toekomst lijkt en dit vraagt om met enige regelmaat te actualiseren en bij te sturen.

Nawoord

Wij hebben het onderzoek en het schrijven van de scriptie als zeer interessant ervaren. Wij zijn blij met het resultaat.

Door onder andere de coronacrisis zijn wij van het oorspronkelijke projectvoorstel gedeeltelijk afgeweken. De hoofd- en deelvragen zijn aangepast en de interviews liepen grotendeels via de mail. De actoren-analyse heeft moeten wijken en er is uiteindelijk overgegaan op een actorenbeschrijving. Vanwege onze interesse in het sociale onderdeel van onze opleiding, vonden wij het loslaten in eerste instantie vervelend. Toen wij tot de conclusie zijn gekomen dat dit echter het beste was om de validiteit te waarborgen, werd de verandering snel geaccepteerd. In het aanvankelijke projectplan bleek de formulering van de vragen niet correct want de antwoorden op de vragen zouden niet leiden tot het tackelen van de probleemstelling. In het begin waren het aanpassen van de structuur en de methode van het onderzoek erg lastig. Er was veel tijd gemoeid met de opzet van het projectplan en verandering zou betekenen dat er tijd verloren zou gaan. Vanwege de complexiteit en grootte van de opdracht bleek compact schrijven een grote opgave. In de week voor het inleveren heeft dit tot veel stress geleid omdat het nog niet voldeed aan de eisen.

Terugkijkend heeft bijvoorbeeld de inventarisatie een (te) groot deel van de tijd ingenomen terwijl de tijd veel efficiënter gebruikt had kunnen worden. Echter hebben deze veranderingen uiteindelijk wel geleid tot een logischer en gestructureerd eindproduct.

Tijdens de analyse fase is er een driedelig gemaakt in het verdelen van taken. Deze verdeling is een juiste keus geweest waardoor elk van ons een expertise heeft kunnen ontwikkelen. Tevens blijkt na afloop dat ieder zich ook goed heeft kunnen verdiepen in de andere analyses vanwege de vaak ingeplande overlegmomenten. De driedelig heeft is dus niet ten kosten gegaan van persoonlijke ontwikkeling, al was dit wel waar wij afhankelijk bang voor waren. Terugkijkend op de samenwerking zijn wij blij met het verloop. Het bundelen van onze verschillende sterke persoonlijke punten heeft er toe geleid dat wij tot dit eindresultaat zijn gekomen.

De vele feedback sessies met de stagebegeleiders Bas Worm, Veronique Groot Koerkamp-Kaiser en Peter Groenhuijzen hebben wij als zeer nuttig ervaren. Tevens hebben wij, door het verplicht op afstand moeten werken, nieuwe methoden van communicatie geleerd.

A vertical photograph of a forest scene. In the foreground, a shallow stream flows, its surface reflecting the surrounding trees and foliage. The water is dark and still, creating clear reflections. The banks of the stream are covered with green moss and small plants. Several tall, slender tree trunks stand in the water and on the banks. The background is filled with more trees, their branches and leaves creating a dense canopy. The overall atmosphere is serene and natural.

10 Bibliografie

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper No.56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Atelier GROENBLAUW. (sd). Infiltratiekratten en infiltratieputten. Opgeroepen op mei 5, 2020, van Groenblauwe netwerken: <https://nl.urbangreenbluegrids.com/measures/infiltration-boxes-and-infiltration-drainswells/>
- Atelier GROENBLAUW. (sd). Kristalblad, Hengelo/Enschede. Opgeroepen op mei 5, 2020, van Groenblauwe netwerken: <https://nl.urbangreenbluegrids.com/projects/kristalblad-hengeloenschede/>
- Bartholomeus, R., de Louw, P., Witte, F., van Dam, J., van Deijl, D., Hoefsloot, P., . . . Van den Eertwegh, G. (2019). Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. Opgeroepen op maart 24, 2020
- Beersma, J., Hakvoort, H., Jilderda, R., Overeem, A., & Versteeg, R. (2019). Neerslagstatistiek en -reeksen voor het waterbeheer 2019. Amersfoort: Stowa. Opgeroepen op april 2020
- Benders, L. (2018, Juni 7). Methodologie in je scriptie - compleet stappenplan. Opgehaald van www.scribbr.nl: <https://www.scribbr.nl/scriptie-structuur/methodologie-in-je-scriptie/>
- Berendsen, H. (2005). Landschappelijk Nederland. Perspectief Uitgevers. Opgeroepen op april 27, 2020
- Bokhorst, J. (sd). Organische stof. Opgeroepen op mei 13, 2020, van Goed bodembeheer: <https://www.goedbodembeheer.nl/organische-stof>
- Braak, D. t., Grobbe, T., Heitbrink, L., Lenne, R. d., & Worm, B. (2019). Beleidsevaluatie Droogte 2018. Almelo: Waterschap Vechtstroom.
- Brouwer, C., Prins, K., Kay, M., & Heibloem, M. (sd). Irrigation Water Management: Irrigation Methods. Opgeroepen op mei 6, 2020, van Irrigation Water Management: Irrigation Methods: <http://www.fao.org/3/s8684e/s8684e07.htm>
- Buishand, T., Jilderda, R., & Wijngaard, J. (2009). Regionale verschillen in extreme neerslag. De Bilt: KNMI. Opgeroepen op april 2020
- Bureau Lantschap. (2009). Ontgonnen verleden, Regiobeschrijvingen provincie Drenthe. Ede: Directe Kennis.
- Compendium voor de Leefomgeving. (2009, Maart 19). Nationaal Landschap Noordoost-Twente. Opgehaald van www.clo.nl: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl149701-noordoost-twente>
- de Bruijn, K. M. (2005). Resilience and flood risk management: A systems approach applied to lowland rivers. Delft: DUP Science. Opgeroepen op maart 26, 2020
- Dr.ir.A.Darwinkel. (1997). Teelthandleiding wintertarwe. Wageningen: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

- Future Water. (sd). Klimaat Adaptieve Drainage. Opgeroepen op mei 6, 2020, van Future Water: <https://www.futurewater.nl/projects/klimaat-adaptieve-drainage/>
- GISGeography . (2017, Mei 9). What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)? Opgehaald van www.gisgeography.com: <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/>
- Groenendijk, P., Wösten, H., Postma, R., & Ruijtenberg, R. (2019, April). Organisch stof: De moeite waard voor waterbeheer? H2O, pp. 28-31.
- H2O waternetwerk. (2019, augustus 7). Vallei en Veluwe stimuleert biodiversiteit met nieuwe aanpak bij maaien. Opgeroepen op mei 6, 2020, van H2O waternetwerk: <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/vallei-en-veluwe-stimuleert-biodiversiteit-met-nieuwe-aanpak-bij-maaien>
- Haan, J. J. (2018, Juli 18). Beregenen in de akkerbouw: passen en meten. Opgehaald van www.subsites.wur.nl: <https://subsites.wur.nl/nl/show/Beregenen-in-de-akkerbouw-passen-en-meten-1.htm>
- Handboek Bodem & Bemesting. (sd). Organisch stofgehalte. Opgeroepen op Mei 2020, van www.handboekbodemenbemesting.nl: <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Organische-stofbeheer/Organische-stofbalans.htm>
- Handboek bodem & bemesting. (sd). Organische-stofbalans. Opgeroepen op mei 13, 2020, van Handboek bodem & bemesting: <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Organische-stofbeheer/Organische-stofbalans.htm>
- Handboek Bodem & Bemesting. (sd). Vruchtwisseling. Opgeroepen op mei 14, 2020, van Handboek Bodem & Bemesting: <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Vruchtwisseling.htm>
- Helpdesk Water. (sd). Waterwet. Opgeroepen op maart 24, 2020, van Helpdesk Water: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/waterwet/>
- Hendriks, D., Broers, H. P., Ek, R. v., & Hoogewoud, J. (2012). Dynamiek van uitwisseling grond- en oppervlaktewater in Nederland. H2O, 27-30.
- Het Drentse Landschap. (sd). Dit zijn wij. Opgeroepen op april 27, 2020, van Het Drentse Landschap: <https://www.drentslandschap.nl/dit-zijn-wij>
- Huiskamp, A. (2019, Januari 7). Jaar 2018. Opgehaald van www.knmi.nl: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2018/jaar>
- Huiskens, R. (2020, maart 4). (T. Lichtenberg, L. Siepel, & E. Thomassen, Interviewers)
- Immerzeel, W., & Droogers, P. (2008). Klimaatverandering en lokale wateroverlast ten gevolge van extreme neerslag in Nederland. FutureWater. Opgeroepen op maart 24, 2020

- InfoMil, K. (sd). Normen voor wateroverlast. Opgeroepen op Maart 2, 2020, van www.infomil.nl:https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/thema-s/wateroverlast-0/normen-wateroverlast/
- IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC. Opgeroepen op februari 24, 2020
- IRS. (2019, November). Groei en ontwikkeling van de suikerbiet. Opgehaald van www.irs.nl:https://www.irs.nl/userfiles/teelthandleiding/bemesting_teelthandleiding.pdf
- J.G.P.W. Clevers (Ed.). (2006). Remote Sensing reader. Wageningen: Wageningen University & Research.
- Jongmans, A., van den Berg, M., Sonneveld, M., Peek, G., & van den Berg van Saparoea, R. (2012). Landschappen van Nederland (Vol. 1). Wageningen: Wageningen Academic Publishers.
- Kenniscentrum InfoMil. (sd). Waterakkoorden. Opgeroepen op Februari 28, 2020, van www.infomil.nl:https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/waterwet/organisatie/waterakkoorden/
- Kennisportaal Ruimtelijk Adaptatie. (sd). Achtergrondinformatie wateroverlast. Opgeroepen op april 16, 2020, van Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/informatie/wateroverlast/>
- Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie. (2019). Deltaplan Ruimtelijke adaptatie 2018. Opgeroepen op februari 2020, van Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/overheden/deltaplan-ra/>
- Klimaatatlas Twents waternet. (sd). Klimaatatlas Twents waternet. Opgeroepen op april 2020, van Klimaatatlas Twents waternet.
- klimateffectatlas. (2020, Mei). klimateffectatlas viewer (droogte). Opgehaald van klimateffectatlas: <http://www.klimateffectatlas.nl/nl/>
- Klimateffectatlas. (sd). Kaartverhalen. Opgeroepen op april 16, 2020, van Klimateffectatlas: <http://www.klimateffectatlas.nl/nl/kaartverhaal-wateroverlast>
- KNMI. (2014). KNMI'14-klimaatscenario's. Opgeroepen op februari 24, 2020, van KNMI: <http://www.klimaatscenario's.nl/>
- KNMI. (2015, Januari 5). Jaar 2014. Opgehaald van www.knmi.nl:https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2014/jaar
- KNMI. (2015). KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie. De Bilt: KNMI. Opgeroepen op februari 26, 2020
- KNMI. (2020). Archief maand/seizoen/jaaroverzichten. Opgeroepen op Maart 2020, van www.knmi.nl:https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/

- KNMI. (2020). Dagwaarden neerslagstations. Opgeroepen op April 2020, van [www.knmi.nl](https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/monv/reeksen): <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/monv/reeksen>
- KNMI. (sd). Extreme neerslag. Opgeroepen op april 28, 2020, van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/extreme-neerslag>
- KNMI. (sd). IPCC. Opgeroepen op februari 24, 2020, van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/ipcc>
- Landbouw op Peil. (2014). Optimalisatie bodem en water. Opgeroepen op mei 13, 2020
- Landschap Overijssel. (sd). Beekdallandschap. Opgeroepen op april 9, 2020, van Landschap Overijssel: <https://www.landschapoverijssel.nl/landschaptypes/beekdallandschap>
- Landschap Overijssel. (sd). Bergvennen & Brecklenkampse Veld. Opgeroepen op maart 2020, van www.landschapoverijssel.nl: <https://www.landschapoverijssel.nl/gebieden/bergvennen>
- Landschap Overijssel. (sd). Missie en visie van Landschap Overijssel. Opgeroepen op april 27, 2020, van Landschap Overijssel: <https://www.landschapoverijssel.nl/publicaties/missie-en-visie-landschap-overijssel>
- Lange, de, R., Schuman, H., & Montesano Montessori, N. (2011). Praktijkgericht onderzoek voor reflectieve professionals. Antwerpen-Apeldoorn: Garant. Opgeroepen op maart 2020
- Lempert, R. J., Popper, S. W., & Bankes, S. C. (2003). Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis. RAND. Opgeroepen op maart 26, 2020
- Lenne, R. d., & Harkel, W. t. (2020). Zullen we het op een (water)akkoordje gooien?
- Lieshout, J. V. (1956). De beworteling van een aantal landbouwgewassen. 'S-Gravenhage: Staatsdrukkerij en uitgeverbedrijf.
- Lievense. (sd). Voedselbossen. Opgehaald van Lievense: <https://lievense.com/wp-content/uploads/C1-voedselbossen-I.pdf>
- Louis Bolk Instituut. (2020). Stikstof: moeilijk te vatten. Opgeroepen op mei 14, 2020, van NDICEA stikstofplanner: <http://www.ndicea.nl/indexnl.php?i=nlstart>
- LTO Noord. (sd). Over LTO Noord. Opgeroepen op april 27, 2020, van LTO Noord: https://www.ltonoord.nl/over-lto-noord?__sw_csrfToken=Wyb04qdBDcOK0osDuikDdKbqqOxpWyyo
- Luchtenberg, P. (2019, juli 20). Wateroverlast na noodweer in Oost-Nederland: supermarkten in Heerde en Zwolle dicht. Opgeroepen op februari 2020, van de Stentor: (Waterschap Vechstromen, sd)

- Maas, G., van der Meij, W., van Delft, S., & Heidema, A. (2019). Toelichting bij de legenda Geomorfologische kaart van Nederland 1:50.000. (Wageningen Environmental Research) Opgeroepen op maart 2020, van <https://legendageomorfologie.wur.nl/>: https://legendageomorfologie.wur.nl
- Mens, M. J. (2015). System Robustness Analysis in Support of Flood and Drought Risk Management. Amsterdam: IOS Press BV. Opgeroepen op maart 26, 2020
- Meulenkamp, W., Olde Loohuis, R., Rienks, W., van Rooij, B., Swart, W., Vogelzang, T., & Jong, de, D. (2009). Grootschalig boeren in kleinschalig landschap. Hengelo: Laserline Hengelo.
- Molenaar, de, J. G. (1995). Biodiversiteit en terreinheterogeniteit. Wageningen: Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek.
- Moody, P., & Brown, C. (2013). Robustness indicators for evaluation under climate change: Application to the upper Great Lakes. Water Resources Research. Opgeroepen op maart 25, 2020
- Mulder, P. (2017, Augustus 7). MoSCoW Methode. Opgehaald van www.toolshero.nl: <https://www.toolshero.nl/project-management/moscow-methode/>
- Nutrinorm. (2013). Organischestoflevering van gronbemers afhankelijk van zaaidatum. Opgeroepen op mei 13, 2020, van Nutrinorm: <https://www.nutrinorm.nl/nl-nl/Paginas/Organische-stoflevering-van-groenbemers.aspx#.XrveMWgzbIU>
- obn natuurkennis. (sd). droog zandlandschap. Opgeroepen op april 10, 2020, van obn natuurkennis: <https://www.natuurkennis.nl/landschappen/droog-zandlandschap/droog-zandlandschap/algemeen-droogzand/>
- Peters, E. (2004). De droogte van 2003 in Nederland. Stromingen 10. Opgeroepen op maart 24, 2020, van <https://edepot.wur.nl/9972>
- Philipsen, B., Van Eekeren, N., Van der Burgt, G.-J., Van Schooten, H., & De Haan, M. (2011). Vruchtwisseling van gras en maïs; Effect op organische stof en kosten/baten. V-focus. Opgeroepen op mei 14, 2020
- Pleijter, M. (2004). Veengronden en moerige gronden op de Bodemkaart van Nederland anno 2003. Wageningen: Alterra.
- Praktijkonderzoek Plant en Omgeving. (sd). www.innovatieveenkolonien.nl. Opgehaald van Factsheet Praktijknetwerk beregning: Beregning en gewasproductie.
- Rass International BV. (sd). Fighting water with water. Opgeroepen op mei 5, 2020, van TubebARRIER: <https://tubebARRIER.nl/voor-wie-is-onze-tijdelijke-dijk/>
- Reinalda, S. (2020, Maart 17). Beheer en onderhoud binnen waterschap vechtstromen. (L. Siepel, E. Thomassen, & T. Lichtenberg, Interviewers)

- Rijksoverheid. (2006, November). Natura 2000 gebied 46 - Bergvennen & Brecklenkampse Veld. Opgehaald van www.natura2000.nl: https://www.natura2000.nl/sites/default/files/gebieden_aanwijzing_en_archief/046/046_gebiedendocument_Bergvennen%20en%20Brecklenkampse%20Veld_nove.pdf
- Rijksoverheid. (2009). Nationaal Waterplan. Opgeroepen op maart 25, 2020
- Rijksoverheid. (2019). Deltaprogramma: waterveiligheid, zoetwater en ruimtelijke adaptatie. Opgeroepen op februari 2020, van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/deltaprogramma/deltaprogramma-bescherming-tegen-overstromingen-en-zoetwatertekort>
- Rijkswaterstaat. (sd). Grondwateroverlast. Opgeroepen op april 29, 2020, van Rijkswaterstaat: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/thema-s/wateroverlast-0/grondwateroverlast/>
- Rijkswaterstaat. (sd). Normen voor wateroverlast. Opgeroepen op april 16, 2020, van Kenniscentrum InfoMil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/thema-s/wateroverlast-0/normen-wateroverlast/>
- Rijkswaterstaat Oost-Nederland, Overijssel, P., Drenthe, P., IJssel, W. R., Delta, W. D., & Vechstromen, W. (2017). Waterakkoord Twenthekanalen en Overijsselsche Vecht.
- Rijkswaterstaat. (sd). Verdeling water bij droogte. Opgeroepen op maart 18, 2020, van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/droogte-en-watertekort/verdeling-water-bij-droogte/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (sd). Waterregeling. Opgeroepen op maart 26, 2020, van Kenniscentrum Infomil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/waterwet/besluiten-regelingen/waterregeling/>
- Rooijen, L. v. (2019, Augustus 1). Oost-Nederland gaat gebukt onder droogte. Opgehaald van www.boerderij.nl: <https://www.boerderij.nl/Home/Nieuws/2019/8/Droogte-in-Oost-Nederland-problematisch-456927E/>
- Sibma, L. (1987). Ontwikkeling en groei van maïs (*Zea mays* L.) onder Nederlandse omstandigheden. Wageningen: Pudoc.
- Sloots, F. (2020, maart 17). (L. Siepel, T. Lichtenberg, & E. Thomassen, Interviewers) Opgeroepen op april 9, 2020
- Smits, I., Wijngaarden, J., Versteeg, R., & Kok, M. (2004). Statistiek van extreme neerslag in Nederland. Utrecht: STOWA. Opgeroepen op april 26, 2020
- Staatsbosbeheer. (sd). Over Staatsbosbeheer. Opgeroepen op april 27, 2020, van Staatsbosbeheer: <https://www.staatsbosbeheer.nl/over-staatsbosbeheer/organisatie>
- Stowa. (sd). Robuustheid. Opgeroepen op maart 26, 2020, van Stowa: <https://www.stowa.nl/deltafacts/waterveiligheid/innovatieve-dijkconcepten/robuustheid>

- Stowa. (sd). Waterreservoirs op bedrijfsniveau. Opgeroepen op Mei 2020, van [www.stowa.nl](https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/waterreservoirs-op-bedrijfsniveau): <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/waterreservoirs-op-bedrijfsniveau>
- Swaen, B. (2013, oktober 10). Wat is kwalitatief en kwantitatief onderzoek. Opgeroepen op mei 30, 2020, van Scribbr: <https://www.scribbr.nl/onderzoeksmethoden/kwalitatief-vs-quantitatief-onderzoek/>
- TNO. (sd). Grondwatertools Isohysen. Opgeroepen op maart 2020, van Grondwatertools: <https://www.grondwatertools.nl/grondwatertools-viewer>
- USGS. (sd). www.usgs.gov. Opgeroepen op April 2020, van Landsat Normalized Difference Vegetation Index: https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-normalized-difference-vegetation-index?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- Vallei en Veluwe. (2020). BOVI2050. Opgeroepen op maart 25, 2020, van BOVI2050: <https://bovi2050.nl/verhaal/robust-en-natuurlijk-oppervlaktewater-systeem-van-bron-tot-monding/>
- van Dale. (sd). betekenis 'robust'. Opgeroepen op maart 25, 2020, van van Dale: <https://www.vandale.nl/gratis-woordenboek/nederlands/betekenis/robust#.XntyfqhKjIV>
- van den Eertwegh, G., Bartholomeus, R., de Louw, P., Witte, F., van Dam, J., van Deijl, D., de Wit, J. (2019). Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. Opgeroepen op maart 24, 2020
- Van Os, J., Van der Heijden, T., Van der Gaast, J., & Van Bakel, P. (1997). Kosten van waterhuishoudkundige maatregelen tegen verdroging. Lelystad. Opgeroepen op mei 6, 2020
- Vechtstromen. (sd). Klimaatatlas Noordelijke Vechtstromen. Opgehaald van Vechtstromen.
- Vechtstromen. (sd). Normering regionale wateroverlast. Opgeroepen op april 2020, van kaarten.vechtstromen.nl: <https://kaarten.vechtstromen.nl/openbaar/map.html?webmap=ef6fb3e9aacd4da2a02b8dda1efa0a7a>
- Vechtstromen, W. (2019). "Een blauwgroene toekomst, waaraan iedereen kan meedoen". Almelo: Waterschap Vechtstromen.
- Vechtstromen, W. (sd). Verdringingsreeks oppervlaktewater Vechtstromen. Opgeroepen op Maart 2, 2020, van www.vechtstromen.nl: [file:///wvs-home.wvs.local/home/Isie/Downloads/verdringingsreeks_oppervlaktewater_vechtstromen_tabel%20\(1\).pdf](file:///wvs-home.wvs.local/home/Isie/Downloads/verdringingsreeks_oppervlaktewater_vechtstromen_tabel%20(1).pdf)
- Vechtstromen, W. (sd). Waterbeheer in normale omstandigheden. Opgeroepen op Maart 3, 2020, van www.vechtstromen.nl: <https://www.vechtstromen.nl/waterbeheerplan/strategie-beleid/voldoende-water/waterbeheer-normale/#start-inhoud>
- Veldman, W. G. (2006). Maaien of niet? Effect van de Flora- en Faunawet op het peilbeheer. Enschede: Universiteit Twente .

- Wageningen University & Research. (sd). Legenda's en indelingen op bodemkaarten. Opgeroepen op Maart 2020, van www.landschapsleutel.wur.nl: https://landschapsleutel.wur.nl/documentatie/htm/Legendas%20Bodemkaarten.htm#_top
- Wageningen University & Research. (sd). WRM-10306: Block CWR Water Balance. Wageningen, Gelderland, Nederland.
- Wageningen University and Research. (2017, maart 9). Mengteelt vervangt monocultuur voor duurzame landbouw. Opgehaald van Wageningen University and Research: <https://www.wur.nl/nl/nieuws/Mengteelt-vervangt-monocultuur-voor-duurzame-landbouw.htm>
- Waterschap Aa en Maas. (sd). Gezond en natuurlijk water. Opgeroepen op maart 25, 2020, van Waterschap Aa en Maas: <https://www.aaenmaas.nl/onswerk/schoon-water/gezond-natuurlijk/>
- Waterschap Drents Overijsselse Delta. (2018). Waterakkoord Drenthe 2018. Opgeroepen op april 22, 2020, van [file:///C:/Users/Elin%20Thomassen/Downloads/04-A-01%20Bijlage%201%20Concept%20waterakkoord%20Drenthe%202018%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Elin%20Thomassen/Downloads/04-A-01%20Bijlage%201%20Concept%20waterakkoord%20Drenthe%202018%20(2).pdf)
- Waterschap Vechtstromen. (2015). Waterbeheerplan 2016-2021. Almelo: Waterschap Vechtstromen.
- Waterschap Vechtstromen. (2019). Hydrologisch handboek. Almelo: Expertisecentrum Vechtstromen.
- waterschap Vechtstromen. (2020, april 1). Iets lagere (grond)waterstanden dan gemiddeld. Opgeroepen op april 23, 2020, van waterschap Vechtstromen: <https://www.vechtstromen.nl/@42240/lagere-grond/>
- Waterschap Vechtstromen. (sd). Grafieken. Opgeroepen op Februari 28, 2020, van www.waterschapvechtstromen.nl: <https://www.vechtstromen.nl/over/klimaat/droogte-watertekort/grafieken/>
- Waterschap Vechtstromen. (sd). Nieuw onderhoudsbeleid. Opgeroepen op maart 2020, van Waterschap Vechtstromen: <https://www.vechtstromen.nl/over/beheer-onderhoud/onderhoud/nieuw/>
- waterschap Vechtstromen. (sd). Over ons. Opgeroepen op maart 2020, van waterschap Vechtstromen: <https://www.vechtstromen.nl/over/>
- waterschap Vechtstromen. (sd). Watervdeling in tijden van schaarste. Opgeroepen op maart 18, 2020, van waterschap Vechtstromen: <https://www.vechtstromen.nl/over/klimaat/droogte-watertekort/watervdeling/>
- Waterschap Velt en Vecht. (2011). Waterakkoord Twenthekanalen Overijsselsche Vecht.
- Werkgroep Handboek snijmaïs. (2019). Handboek Snijmaïs. Wageningen: Wageningen Livestock Research.

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum. (1988). Cultuur technisch vademecum. Utrecht: Cultuurtechnische vereniging.

WUR. (sd). Proeftuin Agroecologie en Technologie. Opgeroepen op mei 14, 2020, van WUR: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/plant-research/Open-teelten/Landbouw-van-de-toekomst/proeftuin-agroecologie.htm>

Zanderink, K. (2020, februari 18). (T. Lichtenberg, L. Siepel, & E. Thomassen, Interviewers)

Zwart, K., Kikkert, A., Wolfs, A., Termorshuizen, A., & van den Burgt, G. (2013). Tien vragen en antwoorden over organische stof. Wijster: HLB. Opgeroepen op mei 13, 2020

