



Klimaatrobuust waterbeheer Friese zandgronden

Resultaten modelberekeningen en praktijkproeven watervasthoudende maatregelen

I.E. Hoving, J. Schaap, J.H. Medenblik, P.M.F. van der Maas en S. de Vries

Openbaar
Rapport 1427



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Klimaatrobuust waterbeheer Friese zandgronden

Resultaten modelberekeningen en praktijkproeven watervasthoudende maatregelen

I.E. Hoving¹, J. Schaap², J.H. Medenblik³, P.M.F. van der Maas³ en S. de Vries³

1 Wageningen Livestock Research

2 Badus Bodem & Water

3 Hogeschool Van Hall Larenstein

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, Hogeschool Van Hall-Larenstein, Antea Group, Royal Haskoning DHV en Badus Bodem & Water en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en gefinancierd door Provincie Fryslân, Wetterskip Fryslân, Staatsbosbeheer en de agrarische gebiedscollectieven Noardlike Fryske Wâlden en Elan, in het kader het PPS-project 'Klimaatrobuust waterbeheer voor de Friese zandgebieden – op zoek naar de juiste balans' (LWV20260).

Wageningen Livestock Research

Wageningen, april 2024

Rapport 1427

Samenvatting NL Het Nederlandse klimaat verandert; de winters worden natter en de zomers worden droger. Hoe kan met regionaal waterbeheer worden ingespeeld op de toenemende droogte in het groeiseizoen? Aan de hand van modelberekeningen is onderzocht wat het effect is van watervasthoudende maatregelen op gebiedsniveau, op landbouw en natuur in het oostelijke zandgebied van Friesland. Daarnaast is aan de hand van praktijkproeven de effectiviteit van watervasthoudende maatregelen onderzocht op zeven agrarische bedrijven. Uit het modelonderzoek bleek dat door het nemen van maatregelen op regionale schaal bij het huidige klimaat voor landbouw de natschade meer toenam dan de droogteschade afnam, waardoor netto de totale schade licht steeg. Bij het toekomstig klimaat (Gh-2050) namen zonder maatregelen zowel de nat- als droogteschade toe ten opzichte van de huidige referentiesituatie, waarbij de droogteschade relatief meer toenam dan de natschade. Bij watermaatregelen op lokale schaal (praktijkproeven) nam, in tegenstelling tot maatregelen op regionale schaal, de droogteschade meer af dan de natschade toenam. Bedrijfsspecifieke maatregelen lijken daarmee doelgerichter dan algemene, regionale maatregelen. Daarbij toont het onderzoek aan dat hoe meer agrariërs watervasthoudende maatregelen uitvoeren, hoe beter men erin slaagt om de lage grondwaterstand in de zomer structureel te verhogen. Verwacht wordt dat een grootschalige aanpak van water vasthouden loont, indien dit lokaal op basis van maatwerk wordt uitgevoerd. Voor water vasthouden zijn de laag gelegen veen- en moerige gronden (veelal beekdalen) de beperkende factor door de extra vernatting die hier optreedt. Voor deze bodems is het belangrijk om verschillende opgaven te combineren: waterberging, beekherstel, natuurontwikkeling, waterberging en lagere uitstoot broeikasgassen door vermindering veenafbraak. Een robuust en toekomstgericht waterbeheer vraagt om keuzes met betrekking tot deze lage delen van het zandgebied.

Summary UK The Dutch climate is changing; winters are becoming wetter and summers are becoming drier. How can water management at regional level respond to the increasing drought in the growing season? Model calculations were used to study the effect of water retention measures at regional level on agriculture and nature in the eastern sandy area of Friesland. In addition, the effectiveness of water retention measures was evaluated in field experiments on seven dairy farms. Model results showed that in the current climate, the increase in wet damage was larger than the decrease in drought damage following regional water retention measures, resulting in a slight net increase in total damage. For the future Dutch climate (Gh-2050), both wet and drought damage increased compared to the current reference situation, with drought damage increasing relatively more than wet damage. In contrast to measures on a regional scale, water measures taken on farm scale in field experiments reduced drought damage to a larger extent than the increase in wet damage. Farm-scale measures therefore appear to be more effective than regional measures. Results also showed that the more farmers implement water retention measures, the better they will succeed in structurally raising the low groundwater level in the summer. It is expected that a large-scale approach to water conservation will pay off, if its implementation is locally tailored. The low-lying peat and bog parts (watershed areas) are the limiting factor for water retention due to the extra wetting occurring in this areas. For these soils it is important to combine different tasks: water storage, stream restoration, nature development, water storage and lower greenhouse gas emissions by reducing peat oxidation. Robust and future-oriented water management requires choices regarding the low parts of the sandy area.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/654999> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

Foto omslag: Van Hall Larenstein



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2024

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1427

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	10
2 Achtergrond	11
2.1 Waterbeheer en klimaatverandering	11
2.2 Klimaatscenario's voor Nederland	11
2.3 Gevolgen van klimaatverandering voor de melkveehouderij	13
2.4 Zandgebieden in het oosten van Friesland en water vasthouden	14
3 Studiegebied en praktijkproeven	16
3.1 Onderzoeksgebied Friese zandgronden	16
3.2 Praktijkproeven	19
4 Scenario-analyse water vasthouden	22
4.1 Modellen (grondwater, landbouw en natuur)	22
4.2 Maatregelen: regionaal en lokaal (scenario's)	24
5 Resultaten	26
5.1 Berekeningen grondwatermodel	26
5.1.1 Klimaatverandering	27
5.1.2 Effecten maatregelen water vasthouden	28
5.2 Scenarioberekeningen Water Wijzer Landbouw (WWL)	29
5.2.1 Regionaal	29
5.2.2 Lokaal	33
5.3 Scenarioberekeningen Water Wijzer Natuur (WWN)	35
5.4 Praktijkproeven	38
6 Implementatie water vasthouden	42
7 Discussie	44
7.1 Scenarioberekeningen Water Wijzer Landbouw	44
7.2 Scenarioberekeningen Water Wijzer Natuur	45
7.3 Evaluaties praktijkproeven	46
7.4 Samenwerking voor meer water vasthouden in de praktijk	46
8 Conclusies en aanbevelingen	48
8.1 Conclusies	48
8.2 Aanbevelingen	50
Literatuur	51
Bijlage 1 Resultaten WWL per bodemtype	53



Woord vooraf

In de Publiek Private Samenwerking (PPS) 'Klimaatrobuust waterbeheer voor Friese zandgebieden – op zoek naar de juiste balans' (LWV20260) is kennis gegenereerd die nodig is om het waterbeheer op de zandgronden van Noordoost en Zuidoost Friesland klimaatadaptiever te maken. De uitdaging daarbij is om ten tijde van neerslagoverschot (vooral tijdens het winterhalfjaar) meer water vast te houden, zodanig dat een optimale balans wordt gevonden tussen het voorkómen van wateroverlast en het verminderen van droogteschade tijdens het groeiseizoen voor de landbouw en het verminderen van verdroging van de natuur. Met dit project is inzicht verkregen in de integrale effecten op landbouw en natuur van verschillende watermaatregelen om op gebiedsniveau meer water langer vast te houden. Dit inzicht hebben beleidsmakers en grondgebruikers nodig om gezamenlijk optimale keuzes te maken m.b.t. de implementatie van hydrologische maatregelen in het kader van klimaatadaptatie.

Het consortium in het project bestond uit Noardlike Fryske Wâlden, Elan ZO Friesland, Wetterskip Fryslân, Provincie Fryslân, Staatsbosbeheer, Antea Group B.V., Hogeschool Van Hall Larenstein, Badus Bodem & Water en Wageningen Livestock Research. Verder is veelvuldig gebruik gemaakt van resultaten uit de Strategische Grondwaterstudie Fryslân die door Royal Haskoning DHV zijn berekend.

In het voorliggende rapport zijn de resultaten van grootschalige modelverkenningen en metingen in praktijkproeven op perceelsniveau uitgewerkt. We hopen dat de verworven kennis bijdraagt aan het klimaatbestendiger maken van landbouw en natuur van de (Friese) zandgebieden.

Ir. F.A.J. Gort
Afdelingshoofd Dierhouderijsystemen

Het project is uitgevoerd door:

Noardlike Fryske Wâlden	Jelle Pilat
Elan Zuidoost Friesland	Jetty Haaijer
Wetterskip Fryslân	Joca Jansen
Provincie Fryslân	Baukje Dijkstra
Staatsbosbeheer	Jacob Hanenburg en Jeffrey Huizenga
Antea Group B.V.	Remco Dost
Hogeschool Van Hall Larenstein	Johan Medenblik, Sytse de Vries, Peter van der Maas, Jesse Wagenaar
Badus Bodem & Water	Joris Schaap
Wageningen Livestock Research	Idse Hoving



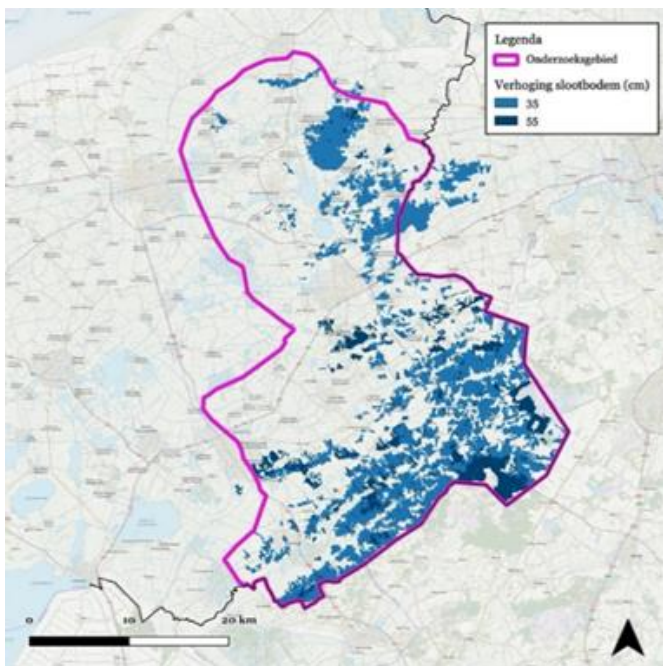
Samenvatting

In het PPS-project 'Klimaatrobuust waterbeheer voor Friese zandgebieden – op zoek naar de juiste balans' is onderzoek gedaan naar een klimaatrobuustere inrichting van het watersysteem voor de zandgronden in het oosten van Friesland. Het doel van het project was om inzicht te verschaffen in het effect van watervasthoudende maatregelen op gebiedsniveau, op landbouw en natuur in het oostelijke zandgebied van Friesland voor het huidige en toekomstige klimaat. Het inzicht werd verkregen door enerzijds regionale modelverkenningen uit te voeren en anderzijds metingen te verrichten in vijf praktijkproeven op perceelsniveau die reeds gestart waren. Dit inzicht kan bestuursorganen, agrarische sector en natuurbeheerders ondersteunen bij het maken van keuzes voor een klimaatrobuust waterbeheer. De achterliggende gedachte was dat watervasthoudende maatregelen zowel de landbouw als de natuur klimaatbestendiger zouden kunnen maken, oftewel minder gevoelig voor droogte. De kern van dat adaptieve waterbeheer is het conserveren van regenwater, zodat minder snel droogte optreedt. Water vasthouden kan echter ook tot vernatting leiden, wat nadelig kan zijn voor de landbouw.

Aanpak

Het onderzoek is gestart met een modelverkenning van de huidige hydrologische situatie van het zandgebied van Noordoost- en Zuidoost Friesland. Vervolgens zijn de effecten van klimaatverandering op de hydrologische situatie in beeld gebracht en zijn de effecten van watervasthoudende maatregelen op het grondwatersysteem bepaald, voor zowel de referentiesituatie als het klimaatscenario Gh-2050. Voor de betreffende maatregelen is voor de landbouw de verandering van droog- en natschade bepaald, op regionale en lokale schaal en voor het huidige en toekomstige klimaat. Voor natuur is de doelrealisatie van vochtige natuurbeheertypen bepaald. Voor de praktijkproeven met watervasthoudende maatregelen, die in het studiegebied zijn uitgevoerd, zijn monitoringsdata uitgewerkt. Tot slot is aangegeven op welke wijze water vasthouden geïmplementeerd zou kunnen worden.

Voor de modelverkenningen is gebruik gemaakt van de Strategische Grondwaterstudie Friesland (2019), die is uitgevoerd door Royal Haskoning DHV met het regionale hydrologische model MIPWA3 in opdracht van provincie Friesland. Deze berekeningen zijn in het kader van het PPS-project opnieuw uitgevoerd met een verkleind grid van 100x100 m. Hierdoor kon een betere vergelijking gemaakt worden met de resultaten van de proefpercelen uit de praktijkproeven. Zie voor het onderzoeksgebied Figuur 1.



Figuur 1 Onderzoekgebied verkenning hydrologische berekeningen Noordoost- en Zuidoost Friesland.

Aansluitend op de grondwaterstudie zijn berekeningen uitgevoerd met Water Wijzer Landbouw (WWL) om de hydrologische effecten te vertalen naar effecten op de productie van gras (82 % van het onderzoeksgebied) en snijmaïs. Op basis van de hydrologische maatregelpakketten uit de Strategische Grondwaterstudie Friesland is met WWL de directe en indirecte gewasschade berekend op regionale schaal (Friese zandgebied) en lokaal voor vier praktijkproeven.

De doorgerekende maatregelpakketten waren:

1. Water vasthouden door slootbodempverhoging en peilverhoging in watervoerende sloten op regionale schaal (WATCON-1)
2. WATCON-1 in combinatie met het vervangen van conventionele drainage door peilgestuurde drainage (COMBI-2R)
3. Lokale maatregelen voor vier van de zeven uitgevoerde praktijkproeven (COMBI-2L):
 - Stuwen plaatsen en verhoging (winter)slootpeilen
 - Toepassen peilgestuurde of ondiepe en intensievere drainage
 - Verondiepen of dempen van watergangen

De volgende klimaatscenario's zijn berekend:

1. Huidig klimaat (2001-2010)
2. Toekomstig klimaat (Gh-2050 volgens het KNMI-klimaatscenario 2014)

Met de Water Wijzer Natuur (WWN) is onderzocht hoe het gesteld is met de huidige hydrologische condities van de grondwaterafhankelijke vochtige natuurbeheertypen binnen het zandgebied van de provincie Fryslân. Evenals voor de berekeningen van de gewasschade met WWL zijn voor WWN de resultaten van de grondwaterstudie gebruikt. De vochtige natuurbeheertypen zijn ontleend aan de ambitietypen uit de provinciale Natuurbeheerplankaart 2021.

In het kader van de uitvoering van het Vierde Waterhuishoudingsplan van de provincie Fryslân zijn op de Friese zandgronden in de periode 2016–2021 verschillende praktijkproeven op het gebied van water vasthouden uitgevoerd. De monitoringsdata zijn uitgewerkt en in het voorliggende rapport staan de belangrijkste resultaten.

Resultaten

De resultaten van de grondwaterstudie laten zien dat alleen het implementeren van maatregelen op grote schaal een substantieel verhogend effect had op de grondwaterstand. Door op grootschalige wijze water vast te houden werd volgens de modelberekeningen de stijghoogte van het diepere grondwater verhoogd, waardoor ook de Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (in de zomer) structureel werd verhoogd. Lokale maatregelen hadden vooral effect bij aanvoer van zoet water vanuit het IJsselmeer (via opmalingen). Zonder de mogelijkheid van wateraanvoer bleef het effect beperkt tot een verhoging van de grondwaterstand in het voorjaar en tijdens nattere zomers.

Het algemene beeld is dat door generieke watermaatregelen op regionale schaal (WATCON-1 en COMBI-2R) de natschade meer toenam dan de droogteschade afnam, waardoor netto de totale schade licht steeg. Tussen de beide maatregelpakketten was het verschil klein. Een belangrijke nuancering is dat in verhouding de natschade vooral toenam op de veen- en moerige gronden die slechts 18% van het totale landbouwareaal uitmaken. Het betrof hier vooral grasland, aangezien snijmaïs op de relatief drogere zandgronden werd geteeld.

Bij watermaatregelen op lokale schaal (praktijkproeven) nam volgens de modelberekeningen, in tegenstelling tot maatregelen op regionale schaal, de droogteschade meer af dan de natschade toenam. Bedrijfsspecifieke maatregelen lijken daarmee dus doelgerichter dan algemene, regionale maatregelen.

Voor het klimaatscenario Gh voor 2050 (KNMI, 2014) nam ten opzichte van de huidige referentiesituatie zowel de nat- als droogteschade toe, waarbij de droogteschade relatief meer toenam dan de natschade.

Met de Water Wijzer Natuur (WWN) is onderzocht hoe het gesteld is met de huidige hydrologische condities van de grondwaterafhankelijke natuurbeheertypen binnen het zandgebied van de provincie Fryslân. Voor een selectie van grondwaterafhankelijke natuurbeheertypen werd een doelrealisatie van deze grondwaterafhankelijke natuurbeheertypen berekend van 40,7%. De watermaatregelen volgens het scenario

COMBI-2R gaven voor het huidige klimaat een stijging van de doelrealisatie van slechts 3%. De geringe stijging kwam vooral door het relatief beperkte areaal aan natuur in de beekdalen, waar volgens het grondwatermodel het grootste effect van de maatregelen berekend werd. Vooral de doelrealisatie van de natuurbeheertypen vochtige heide, nat schraalland, vochtig hooiland en hoog- en laagveenbos verbeterden door de doorgerekende maatregelen. Voor de grotere natuurgebieden zonder waterlopen, met hoogveen, zilt- en overstromingsgrasland en vochtig weidevogelgrasland, werd nauwelijks een effect berekend. Onzeker was daarbij in welke mate droogtestress voor de specifieke natuurgebieden met het regionale grondwatermodel goed benaderd werd. Verdere beperkingen van de gehanteerde methode waren dat aan alle natuurtypen een gelijke waarde was toegekend en de veronderstelling dat de natuurtypen niet veranderden door de maatregelen.

In de praktijkproeven zonder wateraanvoer kon door het verhogen van slootpeilen de grondwaterstand in het voorjaar, maar ook tijdens nattere zomers, verhoogd worden. Hierdoor werd droogteschade in het groeiseizoen langer tegengegaan. Ondanks deze peilverhoging zakte de grondwaterstand in droge(re) zomers ver onder maaiveld. In de praktijkproeven met wateraanvoer werd door de inzet van ondiepe en intensieve drainage (onderwaterdrainage) de grondwaterstand veel stabiel. De grondwaterstand steeg in de winter minder hoog dan in situaties zonder drainage en in de zomer daalde de grondwaterstand minder diep door infiltratie van oppervlaktewater via de drainagebuizen.

Conclusies

Het toekomstbestendig maken van het zandgebied vraagt om een gebiedsgerichte aanpak, waarbij water wordt vastgehouden op de hogere flanken van het zandgebied. Wanneer bovenstrooms water wordt vastgehouden snijdt het mes aan twee kanten; het verlaagt de beregeningsbehoefte en er wordt minder water onttrokken. Verwacht wordt dat een grootschalige aanpak van water vasthouden loont, indien dit lokaal op basis van maatwerk wordt uitgevoerd. Middels een lokale watersysteemanalyse is plaats voor nuancering en neemt de droogteschade af, terwijl vernatting minder sterk doorwerkt.

Voor water vasthouden zijn de laag gelegen delen de beperkende factor door de extra vernatting die hier optreedt. In het verleden is het waterbeheer afgestemd op deze laagste delen. Voor de toekomst vraagt dit om andere keuzes, bijvoorbeeld door de bestemming te veranderen ('Water en bodem sturend') of door in deze gebieden vernatting te vergoeden, temeer hier kansen liggen voor het realiseren van diensten in de vorm van waterberging, beekherstel/natuurontwikkeling en verminderen uitstoot broeikasgassen (reductie veenafbraak). De sleutel voor water vasthouden in het zandgebied ligt bij de laaggelegen veen- en moerige gronden. Een robuust en toekomstgericht waterbeheer vraagt om keuzes met betrekking tot deze lage delen.

De vraag is echter, hoe ver je regionaal moet opschalen en hoe de regionale aanpak georganiseerd moet worden. Een suggestie is om de benodigde watertransitie vorm te geven in (of als een vervolg op) ruimtelijke gebiedsontwikkelingen. De watertransitie kan tevens de uitgangssituatie voor natuur versterken. Als het gaat om het coördineren van de samenwerking tussen agrariërs dan lijken de agrarische collectieven (NFW en ELAN) daarin een natuurlijke rol te hebben.

1 Inleiding

Het waterbeheer in Nederland is traditioneel gericht op het snel afvoeren van regenwater en het optimaliseren van waterpeilen door het tegengaan van natschade. De basis van dit beheer is ontstaan ten behoeve van schaalvergroting en toenemende mechanisatie in de landbouw. Het snel afvoeren van water en beheersbare (lage) waterpeilen zorgen ervoor dat agrariërs aan het eind van de winter/begin voorjaar geen wateroverlast ondervinden, waardoor de draagkracht van het land optimaal is voor zware landbouwmachines en het groeiseizoen zo lang mogelijk is.

Door klimaatverandering neemt aan de ene kant de kans op wateroverlast toe door extra neerslag en neerslagpieken in het groeiseizoen, maar wordt aan de andere kant het risico op droogte tijdens het groeiseizoen groter (IPCC, 2021). Deze veranderingen van het klimaat dwingt waterbeheerders en agrariërs om andere vormen van waterbeheer te vinden. Daarbij dient niet alleen te worden gefocust op het voorkomen van natschade, maar ook op het verminderen van droogteschade tijdens het groeiseizoen. Vanuit natuurbeheer is door de focus op afvoer van water verdroging al heel lang als knelpunt in beeld. Vermindering van de afvoer in natte periodes biedt dan ook kansen voor (klimaat)robuustere natuurgebieden.

Volgens recente afspraken dienen volgens het Rijk 'bodem en water sturend' te zijn in de ruimtelijke planvorming (Kamerbrief 2022; [pdf \(overheid.nl\)](#)), om een veerkrachtig en duurzaam bodem- en watersysteem te behouden en waar nodig te herstellen. De uitdaging is om op gebiedsniveau maatregelen te nemen die landbouw en natuur meer klimaatrobuust maken en aan het principe 'bodem en water sturend' tegemoetkomen. Hiertoe zal vooral in het winterhalfjaar, ten tijde van een neerslagoverschot, meer water vastgehouden moeten worden, zodanig dat een optimale balans wordt gevonden tussen het voorkomen van wateroverlast en het verminderen van droogteschade, zowel voor landbouw als natuur.

Er zijn verschillende methoden beschikbaar om meer water langer vast te houden, zoals het plaatsen van stuwen, het verhogen van slootpeilen en het verondiepen van sloten en beken, eventueel in combinatie met peilgestuurde drainage. Deze methoden zijn op een aantal melkveebedrijven in Noordoost (NO) en Zuidoost (ZO) Friesland getest op perceelsniveau. De vraag is echter wat de effecten van de verschillende maatregelen (zullen) zijn op gebiedsniveau, voor landbouw (economische waarden) en natuur (ecologische waarden). De centrale vraag daarbij is welke hydrologische maatregelen (type, schaalgrootte) de meeste potentie bieden en hoe de verschillende stakeholders, zoals agrarische ondernemers, waterschap, provincie en terreinbeheerders, het beste kunnen samenwerken bij het nemen van dergelijke maatregelen.

Het doel van het project was om voor het oostelijke zandgebied van Friesland inzicht te verschaffen in de integrale effecten van klimaatverandering op de melkveehouderij (gras en snijmaïs) en natuur en van verschillende maatregelen om op gebiedsniveau meer water langer vast te houden. Door een koppeling te maken tussen modelonderzoek aan de ene kant en praktijkervaring met water vasthouden aan de andere kant is brede kennis vergaard over water vasthouden op de Friese zandgronden. Dit inzicht hebben stakeholders nodig om gezamenlijk optimale keuzes te maken m.b.t. de implementatie van hydrologische maatregelen in het kader van klimaatadaptatie.

Voorafgaand aan de huidige studie zijn in het kader van de Strategische Grondwaterstudie Fryslân (Provinsje Fryslân, 2019) effecten van klimaatverandering op de grondwaterstand en verschillende maatregelen modelmatig verkend op de schaal van de gehele provincie. In het huidige onderzoek is voor de Friese zandgronden een verfijning gemaakt van het bestaande Friese grondwatermodel en vervolgens is de verandering in droogte- en natschade berekend met de Water Wijzer Landbouw (WWL; Stowa, 2018a) en de veranderingen in de doelrealisatie van natuurdoeltypen met Water Wijzer Natuur (WWN; Stowa, 2018b). De resultaten van de praktijkproeven zijn gekoppeld aan de modelberekeningen om deze zo te kunnen extrapoleren naar een grotere schaal. Nieuw is dat hydrologie, landbouw en natuur in ruimtelijke samenhang zijn onderzocht.

2 Achtergrond

2.1 Waterbeheer en klimaatverandering

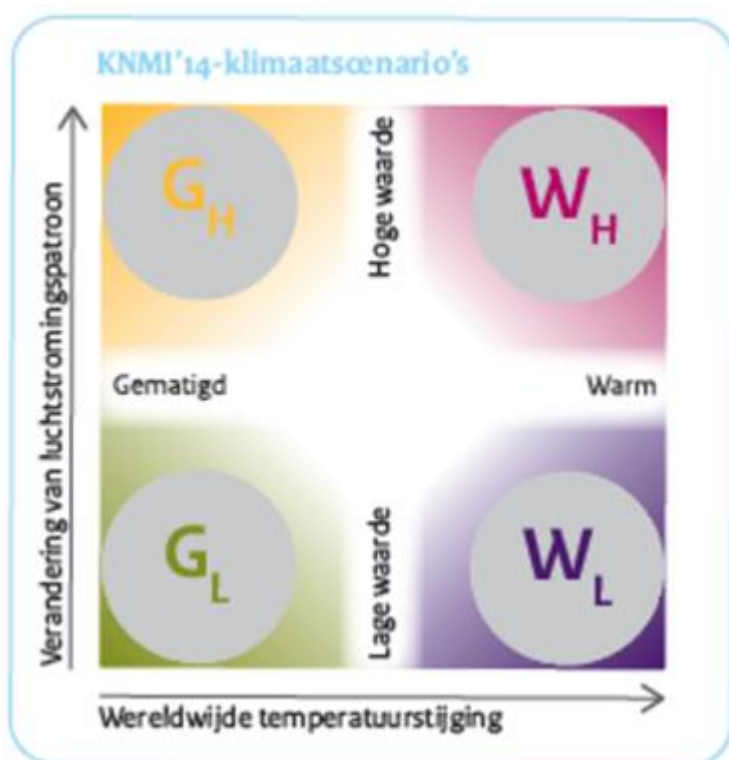
De gevolgen van klimaatverandering worden wereldwijd sneller zichtbaar dan verwacht (IPCC, 2021). Het KNMI vertegenwoordigt Nederland in het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) en geeft aan dat het klimaat verandert en het weer extremer wordt. De klimaatverandering dwingt tot duurzame keuzes op het gebied van milieu, veiligheid, economie, gezondheid en leefbaarheid, waarbij water een speerpunt in het Nederlandse klimaatbeleid is (KNMI - Klimaatverandering). De Nederlandse Deltawet moet ervoor zorgen dat Nederland wordt beschermd tegen de zeespiegelstijging en dat de zoetwatervoorziening op peil wordt gehouden. Volgens de Kamerbrief van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat van 25 november 2022 (Nr. 592) moeten hierbij water en bodem sturend zijn in de ruimtelijke ordening. Dit is een aanvulling op de systematiek van het Nationaal Programma Landelijk gebied (NPLG). De klimaatscenario's en concrete incidenten als gevolg van hevige regenval én hitte en droogte geven in het beleid aanleiding om meer rekening te houden met extremen.

Vanuit de landbouw is behoefte aan inzicht in de gevolgen van droogte en mogelijke adaptatiemaatregelen. Deze fundamentele vragen voor zowel ecologie als landbouw zijn ook herkenbaar voor de zandgebieden in het oosten van Friesland. Het is zoeken naar een nieuwe balans. De kern is het langer vasthouden van water. Dit maakt de afweging tussen het accepteren van een hoger risico op wateroverlast en minder droogte nog lastiger. In een studie van Geertsema et al. (2011) waren veel stakeholders nog niet bezig met klimaatverandering of de mogelijke consequenties. Dertien jaar verder lijkt dit besef er wel te zijn door de droge jaren 2018 en 2019 en de extreme weersituaties (hoge neerslagpieken en hitte).

2.2 Klimaatscenario's voor Nederland

In Nederland levert het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) de klimaatscenario's die zijn gebaseerd op dezelfde bronnen als die van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), het klimaatpanel van de Verenigde Naties. De klimaatscenario's kunnen worden gezien als een vertaling van de mondiale IPCC-scenario's naar Nederland en kennen daarmee een vergelijkbare publicatiecyclus van circa zes jaar. Voor het modelonderzoek, dat in het voorliggende rapport staat uitgewerkt, is gebruik gemaakt van de KNMI'14-scenario's (herzien in 2015; KNMI, 2015). De nieuwste KNMI-klimaatscenario's zijn in oktober 2023 beschikbaar gekomen, maar hier kon vanwege de beëindiging van het project eind 2023 geen gebruik meer van gemaakt worden. In het algemeen kan worden gesteld dat de nieuwe klimaatscenario's "droger uitvallen" dan de KNMI-scenario's uit 2014. De in dit rapport berekende droogteschade is dus naar verwachting een onderschatting ten opzichte van de nieuwe klimaatscenario's.

De KNMI'14 scenario's beschrijven het verwachte klimaat voor de tijdshorizons 2050 (2036-2065) en 2085 (2071-2100) voor vier verschillende scenario's. De scenario's variëren in de mate van globale temperatuurstijging (1 graad (G) en 2 graden (W)), en de mate van verandering van de windstroom (klein (L) en grote verandering (H)), die de neerslagverdeling over het jaar beïnvloedt. In Figuur 2.1 staan de KNMI'14-scenario's schematisch weergegeven en in Tabel 1 staan details over neerslag, verdamping en temperatuur. Gedetailleerde omschrijvingen van deze klimaatscenario's zijn beschikbaar op de website van het KNMI (<http://www.klimaatscenarios.nl>).



Figuur 2.1 Schematische weergave KNMI'14-scenario's (herzien in 2015; KNMI, 2015).

Tabel 1 Verandering klimaat bij het klimaatscenario Gh-2050 (KNMI 2014) ten opzichte van referentie (tijdreeks 1981–2010).

	Over het gehele jaar	Zomer (juni t/m augustus)
Neerslag	+2,5%	-8%
Verdamping	+ 5%	+7%
Temperatuur	+ 1,4°C	+ 1,4°C

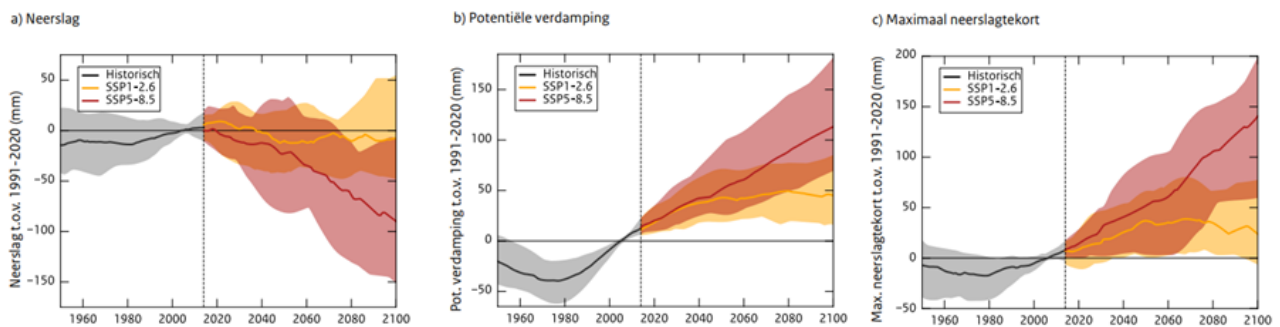
De klimaatscenario's beschrijven het verwachte gemiddelde weer en de kans op extreem weer op langere termijn. De hoofdlijn van alle scenario's is dat:

- de gemiddelde temperatuur zal stijgen,
- de gemiddelde neerslag op jaarbasis zal toenemen,
- de CO₂ concentratie in de lucht zal stijgen, en
- de frequentie en intensiteit van weersextremen zullen toenemen, zoals langdurige droogte en extreme neerslag, vanwege veranderingen in bewolking, luchtvochtigheid en wind.

Het KNMI Klimaat signaal '21 (KNMI, 2021) geeft aan dat het klimaat sneller verandert dan eerder gedacht werd, wat zich in Nederland heeft geuit in meer hitte, droogte en extreme neerslag, en minder vaak voorkomen van strenge vorst. Sinds 1965 is de voorjaarsdroogte significant toegenomen. De zomers van 2018, 2020 en 2022 staan in de top-10 van droogste jaren in Nederland sinds 1906 (KNMI, o.b.v. SPEI-6 waarde).

Het ontstaan van droogte wordt beïnvloed door veranderingen in neerslag en potentiële verdamping, en door watergebruik en efficiëntie daarvan (De Vries et al., 2023). De potentiële verdamping is in de afgelopen decennia toegenomen in het Nederlandse binnenland door een toename in gemiddelde temperatuur en zonneshijn, wat aantoonbaar is veroorzaakt door klimaatverandering (KNMI, 2021). Dit betekent dat de kans op droogte in het groeiseizoen in het binnenland ook in de toekomst verder zal toenemen vanwege klimaatverandering (Figuur 2.2b en 2.2c). Voor wat betreft neerslag in het groeiseizoen (Figuur 2.2a) is het onzekerder of de trend zich doorzet omdat het niet zonder meer toegeschreven kan worden aan

klimaatverandering (de trend overstijgt niet de grote natuurlijke variatie in neerslag in de tijd (van jaar-op-jaar) en ruimte). Bovendien hangt de hoeveelheid water die door de bodem wordt opgenomen en beschikbaar komt voor landbouw of natuur zowel af van de hoeveelheid neerslag als van de intensiteit van de neerslag: een enkele stortbui is minder effectief dan een langere periode met zachte regen. Naast een grotere kans op droogte in het voorjaar en in de zomer, neemt de kans op extreme buien, valwinden en hitte toe, en zal de zeespiegel verder stijgen.



Figuur 2.2 Projecties voor veranderingen in (a) neerslag in het groeiseizoen (mm), (b) potentiële verdamping in het groeiseizoen (mm), en (c) maximaal neerslagtekort in het groeiseizoen (mm) in de stroomgebieden van de Rijn en Maas, inclusief Nederland (bron: KNMI Klimaatsignaal '21; SSP (Shared Socioeconomic Pathways) projecties betreffen scenario's voor concentraties van broeikasgasen en aerosolen in de atmosfeer o.b.v. verschillende sociaaleconomische, technologische en demografische ontwikkelingen).

2.3 Gevolgen van klimaatverandering voor de melkveehouderij

In het kader van het project Klimaatbestendige Melkveehouderij in de Achterhoek (KLIMEA) is een literatuurstudie verricht om potentiële gevolgen van klimaatverandering en maatregelen voor klimaatadaptatie in beeld te brengen voor de melkveehouderij in de Achterhoek (De Vries et al., 2023). Er werden 59 adaptatiemaatregelen gevonden die toegepast kunnen worden op melkveebedrijven in de Achterhoek, om nadelige gevolgen van klimaatverandering voor ruwvoerproductie en diergezondheid en -welzijn van melkvee te voorkomen of te verminderen. De maatregelen hebben betrekking op waterbeheer, bodembeheer, gras en weidengang, teeltmanagement, gewaskeuze, ruwvoermanagement, rantsoen, diermanagement en huisvesting. In Tabel 2 staan de potentiële maatregelen die betrekking hebben op ruwvoerproductie. Deze kunnen ook voor de Friese zandgebieden relevant zijn. Door melkveehouders en andere stakeholders is beschouwd in hoeverre de gevonden maatregelen zinvol en toepasbaar zijn voor melkveebedrijven in de Achterhoek.

In KLIMEA is tevens door enkele melkveehouders en andere stakeholders beschouwd in hoeverre de gevonden maatregelen zinvol en toepasbaar zijn voor melkveebedrijven in de Achterhoek. Daaruit bleek dat veruit de meeste adaptatiemaatregelen (78%) al door (één of meerdere) melkveehouders werden toegepast op het bedrijf. Voor ongeveer een derde van de maatregelen werd aangegeven dat de maatregel zinvol en inpasbaar zouden zijn op bedrijven. Dit waren vooral maatregelen die gerelateerd zijn aan bodembeheer, weidemanagement en in- en uitkuilmanagement. Maatregelen die nog niet door melkveehouders werden toegepast, maar wel potentieel interessant bevonden werden, betroffen met name technieken om water langer vast te kunnen houden op het bedrijf (bv. sub-irrigatie, regelbare drainage, dynamisch peilbeheer), nieuwe voedergewassen, en maatregelen om hittestress te verminderen (andere beweidingsregimes en stalmaatregelen, bv. koelen, vernevelen). Uit een enquête onderzoek in KLIMEA onder een groter aantal melkveehouders (165 respondenten) bleek verder dat vooral perspectief wordt gezien in bodemverbetering, graslandbeheer en beregening om het bedrijf droogtebestendiger te maken (Van Binsbergen et al., 2023). Voor wat betreft waterbeheer zagen respondenten het meest perspectief in boerenstuwten (71%) en ballen in duikers (60%).

Tabel 2 Potentiële maatregelen om nadelige gevolgen van langdurige droogte, vernatting en hitte voor ruwvoerproductie te verminderen (De Vries et al., 2023).

Water	Bodem	Gras en weidegang	Teeltmaatregelen en gewaskeuze
Egaliseren of bol leggen van percelen	Bodemverdichting en structuurbederf voorkomen	Grasgroei monitoren	Groenbemester/vanggewas tijdig vernietigen
'Boeren' stuwen	Storende lagen opheffen	Tijdig uitscharen/opstallen bij lage grasgroei	Aanpassen teelttechniek
Ondiepe nauwere drainage	Bodemstructuur verbeteren	Voldoende stoppellengte aanhouden	Toepassen vanggewassen, onderzaai, strokenteelt
Regelbare drainage	Compactie bouwvoor vergroten na grondbewerking	Gebruik van droogteresistente grassen en kruiden	Gewasdiversificatie en -rotatie
Dynamisch slootpeilbeheer	Bodemchemie op peil houden	Geen zodenbemesting in droge grond	Adequate gewasbescherming
Beregening	Organische stof opbouwen en behouden	Drijfmest vroeg uitrijden	Adequate bemesting
Sub-irrigatie			Andere voedergewassen, met
Extra wateraanvoer			- efficiënter watergebruik,
'Boeren'-berging			- grotere droogresistentie,
			- vroegere lentegroei, of
			- langer doorgroeien najaar

2.4 Zandgebieden in het oosten van Friesland en water vasthouden

De zandgronden in het oosten van Friesland kennen een maaiveldhoogte tot ca. 10 m + NAP, wat richting het westen en het noorden geleidelijk afloopt naar laagveengebied in het midden van de provincie. Hier zijn de laagste gelegen delen tot ruim -2,0 m NAP. Dit hoogteverschil maakt dat de Friese zandgronden infiltratiegebieden zijn, waarin de verschillen tussen de hoogste (GHG) en laagste grondwaterstanden (GLG) 1 m of meer kan bedragen. Op veel plaatsen is keileem aanwezig in de ondergrond, waarop grondwater stagneert in natte periodes. Doordat keileem soms ontbreekt, en doordat de hoogte hiervan niet altijd het maaiveld volgt, kunnen lokaal natte omstandigheden optreden, terwijl het grondwater op andere plaatsen nooit in de buurt van het maaiveld komt. Het gebied is dus zeer heterogeen. Grondwaterafhankelijke natuurgebieden liggen in het algemeen lager op de helling dan de landbouwgebieden. In de zomer voert Wetterskip Fryslân met behulp van speciale opvoergemalen water uit het IJsselmeer aan naar een groot deel van de hogere zandgronden, om watertekorten te compenseren.

De verwachting is dat klimaatverandering zal leiden tot nattere winters en drogere zomers, wat in de Friese zandgebieden zal leiden tot verhoging van de GHG en verlaging van de GLG. De behoefte aan waterafvoer in de winter en het risico op droogteschade in de zomer zal dus toenemen, zowel in landbouw- als natuurgebieden. Dit wordt nog versterkt door de veenweideproblematiek die speelt in het midden van de provincie. Zonder beleidswijzigingen zal bodemdaling in de veengebieden in combinatie met peilverlagingen verder doorgaan. Hierdoor wordt het peilverschil tussen het veengebied en het aanliggende zandgebied groter. Dit veroorzaakt een toenemende infiltratie op de hogere zandgronden. Een toenemende aanvoer van water in de zomer kan in sommige delen van het zandgebied droogteschade beperken in landbouwgebieden, maar voor natuurgebieden biedt dit water meestal geen oplossing omdat de grondwaterstand dan al is verlaagd en het aangevoerde water niet de juiste chemische samenstelling en kwaliteit heeft.

In de periode 2017-2019 is de Strategische Grondwaterstudie Fryslân uitgevoerd (Provinsje Fryslân, 2019). Deze studie is uitgevoerd door Royal Haskoning DHV in opdracht van provincie Fryslân in samenwerking met drinkwaterbedrijf Vitens en Wetterskip Fryslân. Met behulp van het verbeterde regionale grondwatermodel MIPWA zijn voor het Friese zandgebied scenario's voor het vasthouden van water en voor het beperken van de wateraanvoer doorgerekend. Uit deze modelstudies kwam naar voren dat (een combinatie van) slootbodempverhoging en/of waterpeilverhoging effectief is om water in het gebied vast te houden.

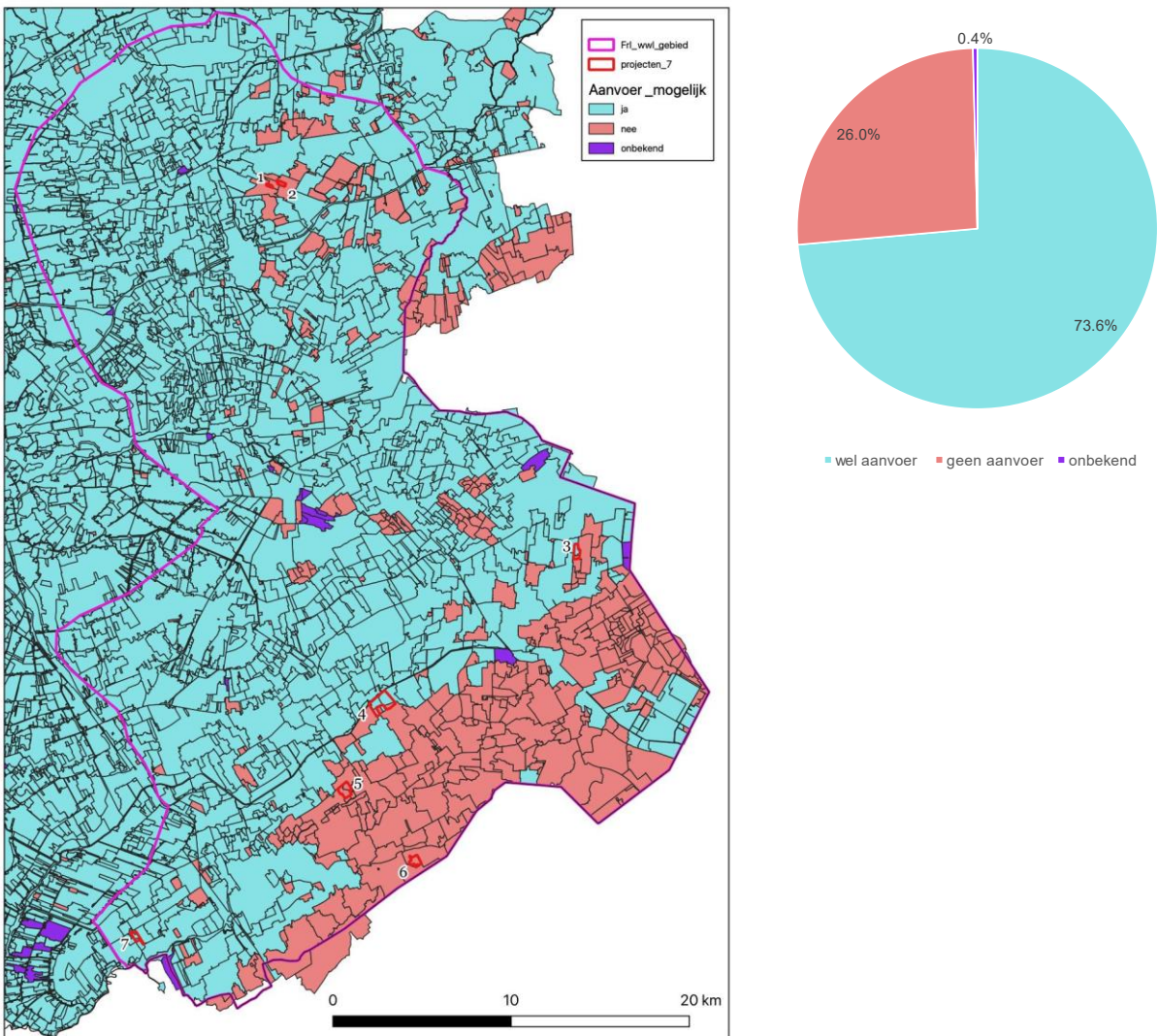
Ondiepe drainage met korte afstand tussen de drains en peilgestuurde drainage lijken effectief om negatieve effecten van hogere grondwaterstanden in natte periodes te voorkomen. Volgens de Strategische Grondwaterstudie Fryslân versterken de verschillende maatregelen elkaar, zodat een combinatie van maatregelen het grootste effect heeft. Daarbij lijkt een combinatie van maatregelen de daling van grondwaterstanden door autonome ontwikkelingen deels gecompenseerd te kunnen worden. De grootste kansen voor het vasthouden van water lijken volgens de Strategische Grondwaterstudie Fryslân te liggen in gebieden waar de GHG relatief diep onder het maaiveld ligt, terwijl er veel ontwateringsmiddelen (drains) en afwateringsmiddelen (diepe sloten, lage peilen) aanwezig zijn.

In het provinciaal Waterhuishoudingsplan 2016 – 2021 van de provincie Fryslân en in het Waterbeheerplan van Wetterskip Fryslân is aangegeven dat provincie en waterschap het vasthouden van water op de hogere zandgronden willen stimuleren. Daartoe is vanaf 2018 op het zandgebied van Fryslân bij een tiental agrarische bedrijven gestart met de uitvoering van praktijkproeven voor water vasthouden. Voor een deel van deze praktijkproeven wordt het effect onderzocht van verschillende maatregelen om meer regenwater vast te houden (beschreven in paragraaf 3.2)

3 Studiegebied en praktijkproeven

3.1 Onderzoeksgebied Friese zandgronden

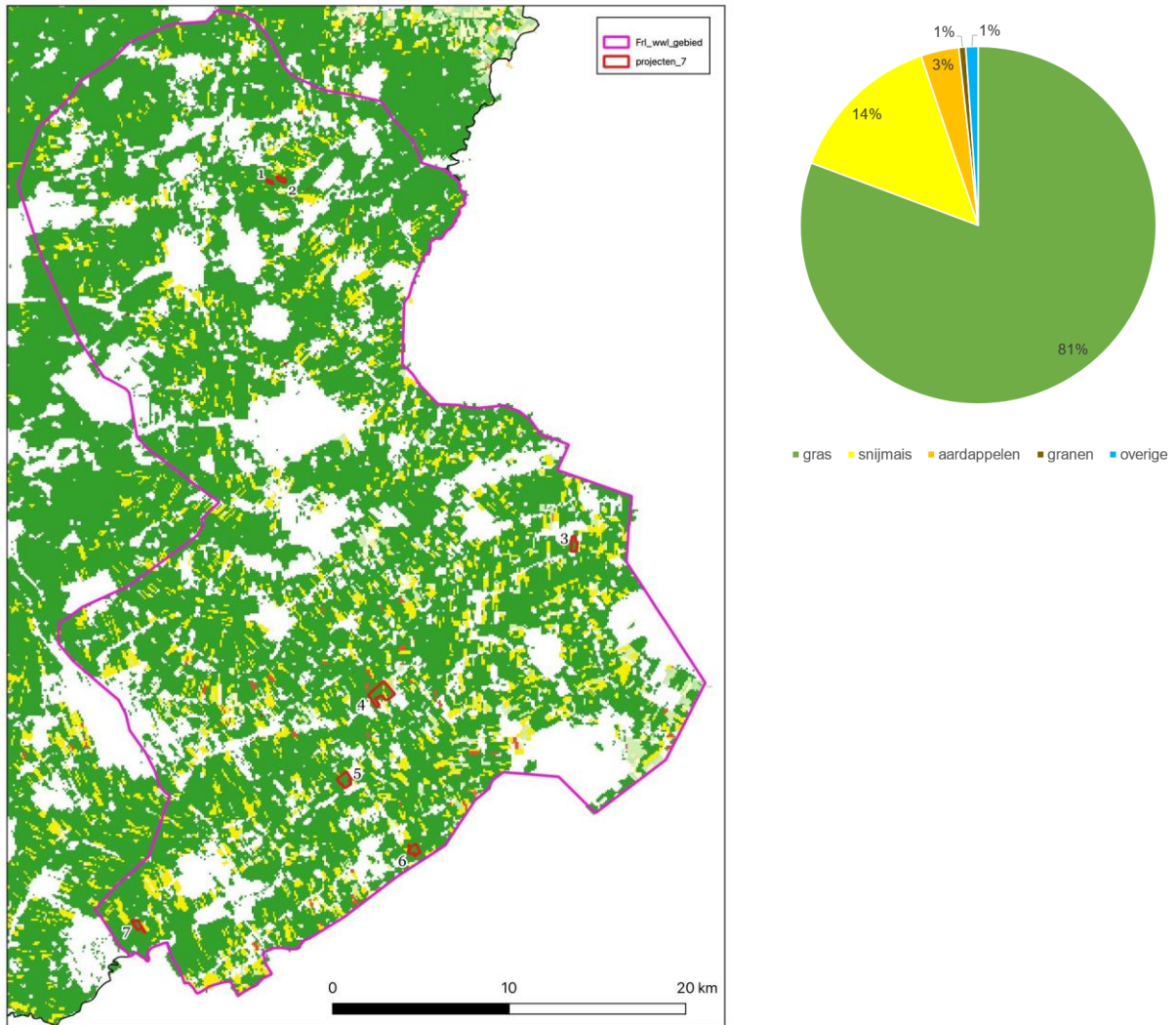
Wel of geen aanvoer van oppervlaktewater is zeer bepalend voor het effect van maatregelen om de waterbeschikbaarheid van landbouwgewassen en de natuur te vergroten. Voor het onderzoeksgebied staat in Figuur 3.1 waar wel en geen wateraanvoer plaatsvindt. Rood betekent geen aanvoer. In het blauw gearceerde gebied vindt in principe wateraanvoer plaats, maar is dat niet gegarandeerd, bijvoorbeeld voor de hogere gronden (flanken van een beekdal) binnen een peilvak. Uit deze informatie blijkt dat in theorie in ongeveer driekwart van het onderzoeksgebied wateraanvoer mogelijk is.



Figuur 3.1 Links: onderzoeksgebied Friese zandgebieden (paarse kader) met wateraanvoer (blauw) en zonder wateraanvoer (rood). Voor de paarse percelen is dit onbekend en rood omljnd met cijfers betreft de praktijkproeven. Rechts: areaalverdeling met en zonder wateraanvoer.

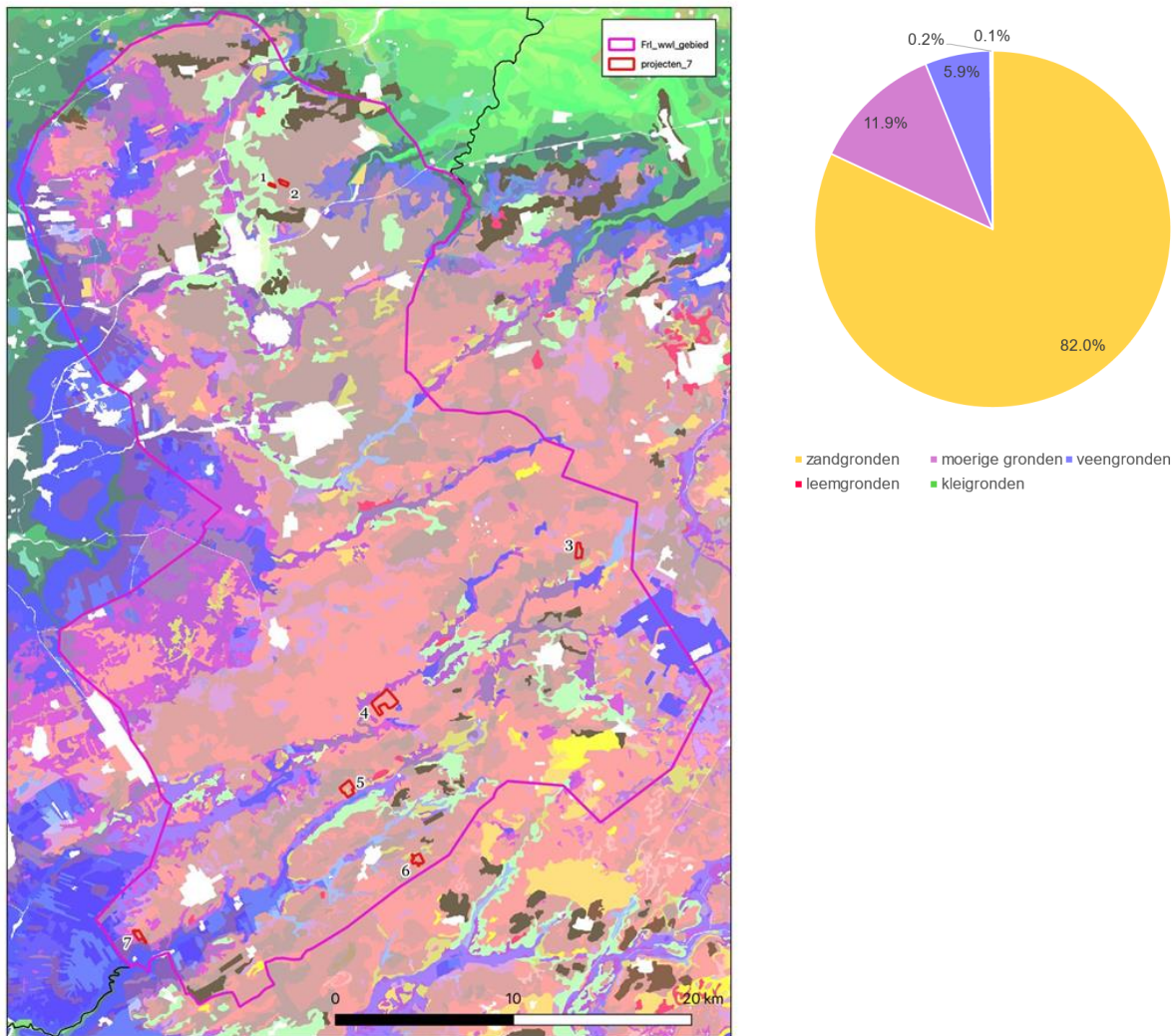
Verdeling gewassen

Het gewastype is een tweede factor die bepalend is voor het effect van watervasthoudende maatregelen. Voor wat betreft het landbouwkundig gebruik van de grond betreft het onderzoeksgebied vooral de teelt van gras en snijmais ten behoeve van melkveehouderij. In Figuur 3.2 staat de verdeling van landbouwgewassen, waarbij het areaal gras 81%, snijmais 14%, aardappelen 3%, granen 1% en overige 1% van het totale landbouwareaal bedraagt. Het grondgebruik in het onderzoeksgebied bestaat dus overwegend uit gras.



Figuur 3.2 Links: onderzoeksgebied Friese zandgronden (paarse kader) met gewastype (gras, groen; snijmais, geel; aardappelen, oranje; granen, paars; overig, blauw) en rood omlijnd met cijfers betreft de praktijkproeven. Rechts: areaalverdeling gewastypen.

Het bodemtype is een derde factor die bepalend is voor het effect van watervasthoudende maatregelen. In Figuur 3.3 staat de verdeling van bodemtypen in het zandgebied, waarbij het areaal zandgronden 82 %, moerige gronden 11,9 %, veengronden 5,9 %, leemgronden 0,2 % en kleigronden 0,1 % bedraagt. Met 82% bestaat het grootste deel van het onderzoeksgebied uit zandbodems en voor bijna 18% uit veen- en moerige bodems. Deze veen- en moerige bodems liggen voor een belangrijk deel in de beekdalen, ongeveer de helft daarvan is in gebruik als landbouwgrond de rest heeft een natuurfunctie.



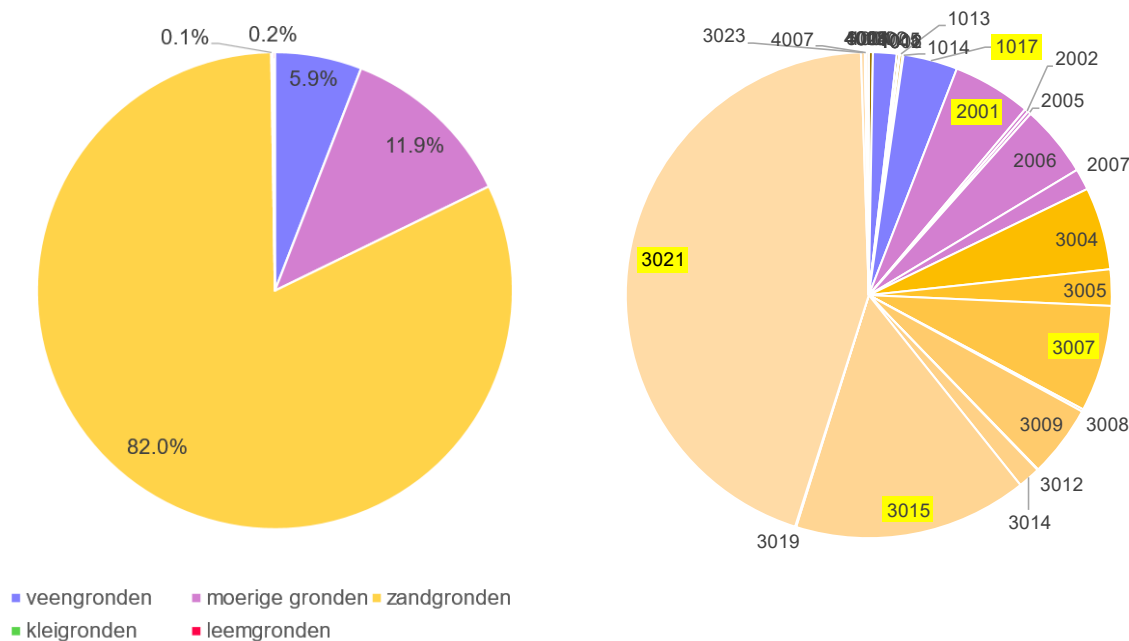
Figuur 3.3 Links: onderzoeksgebied Friese zandgronden (paarse kader) met bodemtype (zand, geel en roze; moerig, paars; veen, blauw; leem, rood; klei, groen). Rechts: areaalverdeling bodemtypen.

Voor de zand-, moerige en veengronden, die het grootste deel van het areaal van het onderzoeksgebied beslaan, staan de betreffende bodemtypen volgens de *BodemFysische EenhedenKaart (BOFEK; Wosten et al., 2012)* in Tabel 3.

Tabel 3 De meest voorkomende bodemtypen met codes uit de *BodemFysische EenhedenKaart (BOFEK; Wosten et al., 2012)* uit het onderzoeksgebied Friese zandgebied.

BOFEK	Beschrijving	Aandeel
1017	Dunne veengronden: kleiige bovengrond op veen op zand	3.6%
2001	Moerige gronden met zanddek	5.2%
3007	Zwak lemige zandgronden met cultuurdek	7.1%
3015	Zwak lemige zandgronden III	15.6%
3021	Sterk lemige zandgronden III	44.6%
Overig		23.9%

De areaalverdeling van de belangrijkste bodemtypen uit Figuur 3.3 en het onderscheid volgens de codes uit de *BodemFysische EenhedenKaart (BOFEK; Wosten et al., 2012)* uit Tabel 3 staan in Figuur 3.4.



Figuur 3.4 Links: areaalverdeling bodemtype (zand, geel; moerig, paars; veen, blauw; leem, rood; klei, groen) van het onderzoeksgebied Friese zandgebied. Rechts: areaalverdeling bodemtypen met onderscheid van codes uit de *BodemFysische EenhedenKaart (BOFEK; Wosten et al., 2012)*. De belangrijkste bodemtypes zijn geel gemarkeerd.

3.2 Praktijkproeven

In het kader van de uitvoering van het Vierde Waterhuishoudingsplan van de provincie Fryslân zijn op de Friese zandgronden in de periode 2016–2021 verschillende praktijkproeven op het gebied van water vasthouden uitgevoerd. Deze proeven zijn uitgevoerd in samenwerking met Wetterskip Fryslân, gebiedscollectief Noardlike Fryske Wâlden (Noordoost Friesland), gebiedscollectief ELAN (Zuidoost Friesland) en de betreffende agrariërs. De proeven hadden allemaal betrekking op grasland.

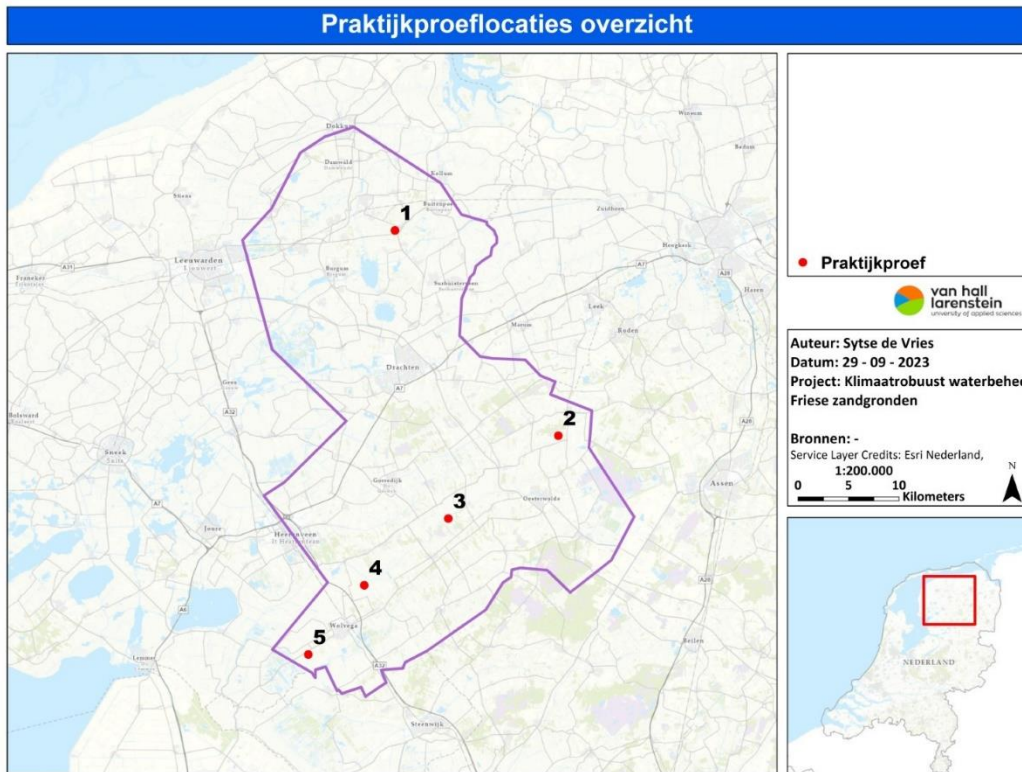
Op basis van een bodem- en waterplan, welke kennis- en adviesbureau *Aequator Groene ruimte* samen met het Wetterskip Fryslân heeft opgesteld, zijn per agrarisch bedrijf maatregelen geïmplementeerd en uitgevoerd. In de meeste gevallen betrof het een pakket aan maatregelen. Daarbij ging het om maatregelen, zoals bijvoorbeeld het plaatsen van stuwen, het verondiepen van slootbodems en de aanleg van peilgestuurde drainage. Binnen het bodem- en waterplan is dus gekeken naar de specifieke hydrologische en bodemkundige omstandigheden bij de verschillende agrarische bedrijven. Ook zijn bij verschillende bedrijven hydrologische meetnetten ingericht (metingen grond- en oppervlaktewater). Er zijn geen grasopbrengsten bepaald. Voor een drietal praktijkproeven zijn de grasopbrengsten gesimuleerd met de internet applicatie *GrasSignaal* van Wageningen Livestock Research om het effect van maatregelen te kwantificeren.

Voor het PPS-project, waarvan de resultaten in het voorliggende rapport staan beschreven, zijn de monitoringsresultaten uitgewerkt voor vijf van de zeven praktijkproeven. De betreffende praktijkproeven waren geselecteerd op basis van de beschikbaarheid van de data (o.a. lengte van de tijdsreeks; minimaal twee jaar) en de betrouwbaarheid van de data. Een uitgebreide beschrijving van de resultaten staat in het achtergrondrapport "*Evaluatie praktijkproeven water vasthouden Friese zandgebieden*" (De Vries en Medenblik, 2024). In paragraaf 5.3 staat een synthese van de evaluaties. Een overzicht van de betreffende praktijkproeven staat in Tabel 4.

Tabel 4 Overzicht evaluatie praktijkproeven water vasthouden Friese zandgronden.

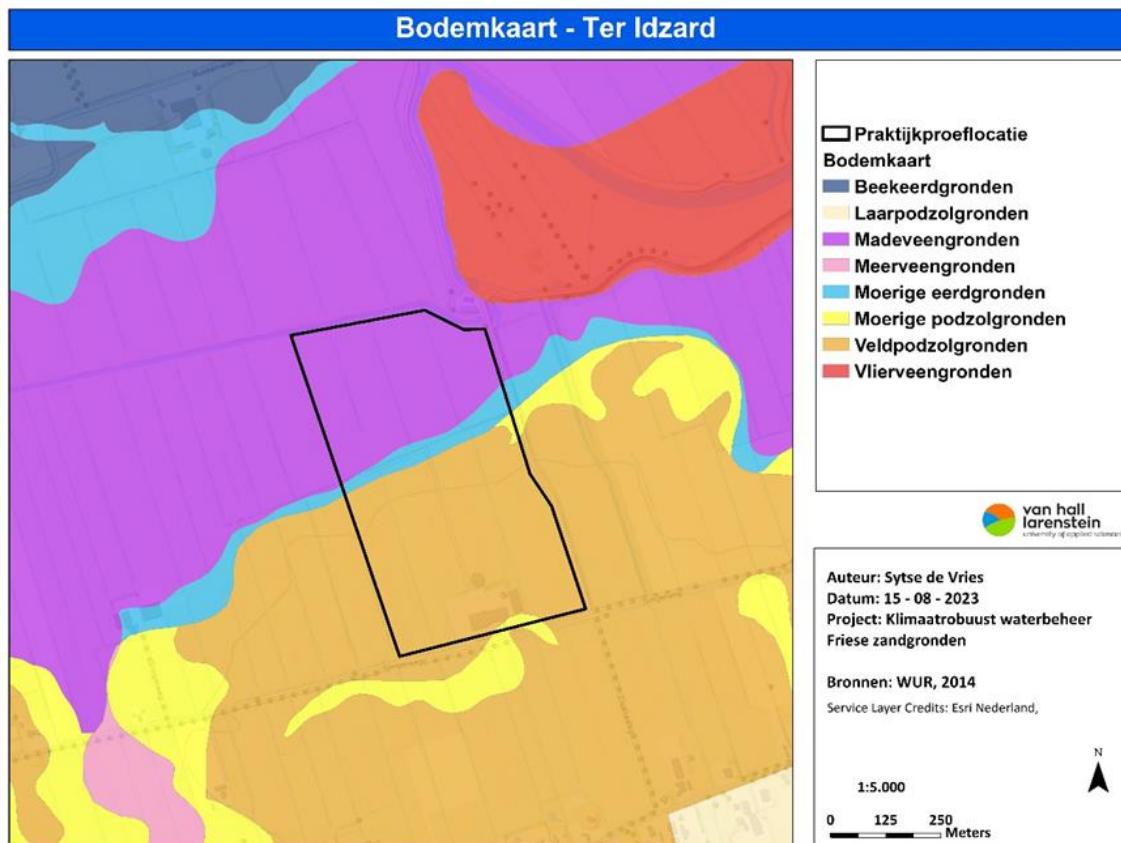
Gebied	Maatregel	Metingen
1. Kootstertille/Twijzel	Bocht(en) op duiker(s)	GWS en slootpeil
2. Haule	Peilgestuurde drainage, verondieping sloot, peilverhoging door plaatsen stuw	GWS en peil in verzamelput
3. Nijberkoop	Onderwaterdrainage, peilverhoging sloot door plaatsen stuwen	GWS en slootpeil
4. Ter Idzard	Onderwaterdrainage, peilverhoging sloot door plaatsen stuw, toedienen organische stof	GWS en slootpeil
5. Oldetrijne	Peilgestuurde drainage, peilverhoging sloot door plaatsen stuwen	GWS en slootpeil

In Figuur 3.5 staan de locaties van de vijf geëvalueerde praktijkproeven.



Figuur 3.5 Overzicht geëvalueerde praktijkproeven met water vasthouden.

De bodem- en waterconditie van de vijf geanalyseerde praktijkproeven was verschillend. Twee van de betreffende praktijkproeven lagen gedeeltelijk in het beekdal van de Tsjonger en deels op de hoger gelegen flanken van het beekdal. De laag gelegen percelen in het beekdal bestaan uit moerige- of veenbodems. Hier is wateraanvoer mogelijk. De hoger gelegen flanken bestaan uit Veldpodzolgronden. Ter illustratie is in Figuur 3.6 de bodemkaart van de praktijkproef in Ter Idzard weergegeven.



Figuur 3.6 Bodemkaart praktijkproef Ter Idzard. Te zien is dat deze praktijkproef deels in het beekdal van de Tsjonger is gelokaliseerd (voornamelijk Madeveengrond) en deels op de hoger gelegen flanken (Veldpodzolgrond). In het laaggelegen deel (beekdal) is wateraanvoer mogelijk, op de hogere delen niet.

De overige drie van de vijf praktijkproeven bevonden zich op de hoger gelegen zandgronden op een Laar- of Veldpodzolgrond. Bij één van deze hoger gelegen praktijkproeven (Oldetrijne) was wateraanvoer mogelijk middels een opvoergemaal vanuit de rivier De Lende. Bij de andere twee praktijkproeven was geen wateraanvoer mogelijk.

De kenmerken van de vijf praktijkproeven staan in Tabel 5.

Tabel 5 Kenmerken praktijkproeven water vasthouden Friese zandgronden.

Nummer	Naam praktijkproef	Hogere gronden	Beekdal	Wateraanvoer
1.	Twijzel - Kootstertille	Ja	Nee	Nee
2.	Haule	Ja	Nee	Nee
3.	Nijeberkoop	Ja (deels)	Ja (deels)	Ja (deels)
4.	Ter Idzard	Ja (deels)	Ja (deels)	Ja (deels)
5.	Oldetrijne	Ja	Nee	Ja

4 Scenario-analyse water vasthouden

4.1 Modellen (grondwater, landbouw en natuur)

Strategische Grondwaterstudie Fryslân

Voor de regionale modelverkenningen is gebruik gemaakt van de Strategische Grondwaterstudie Fryslân, die is uitgevoerd door Royal Haskoning DHV in opdracht van provincie Fryslân (Provinsje Fryslân, 2019). De scenario's uit de grondwaterstudie zijn in 2022 opnieuw doorgerekend, maar dan op basis van een verfijnd grid van 100 x 100 m (was 250 x 250 m). Dit komt neer op een 2,5-voudige detaillering van het bestaande modelinstrumentarium. Meer informatie over de modellering door Royal Haskoning DHV is te vinden in het achtergrondrapport: *"Waterconservering zuidoost Friesland"* (Van der Wal, 2023).

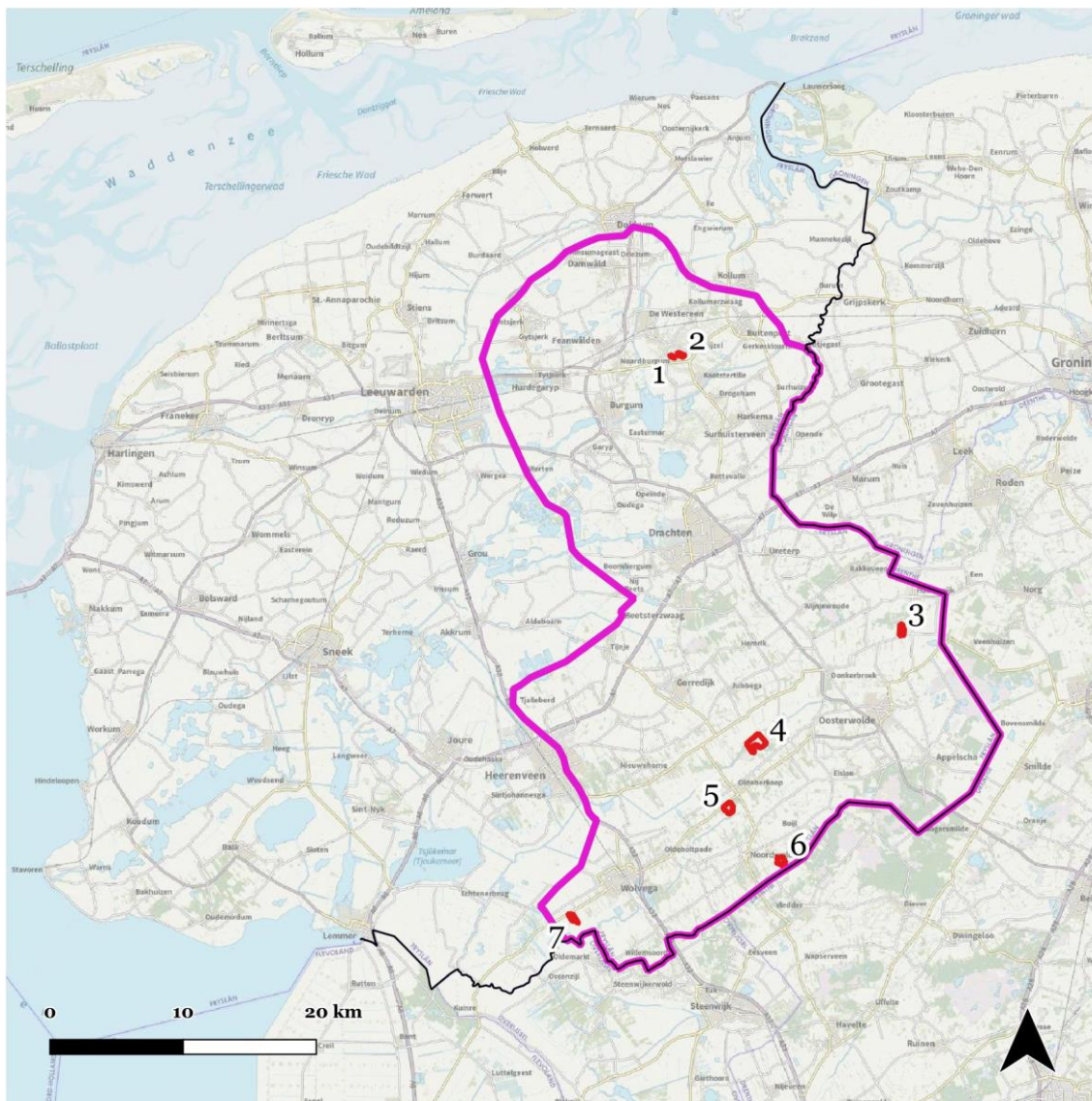
Niet alleen de effecten van watervasthoudende maatregelen zijn onderzocht, maar ook de invloed van klimaatverandering. Samengevat bestond het modelonderzoek uit de volgende drie onderdelen:

1. Inzicht in de huidige hydrologische situatie (GHG, GLG, kwel/infiltratie);
2. Bepalen van de effecten van maatregelen om water vast te houden;
3. Inzicht in invloed van klimaatverandering op het grondwatersysteem.

Bovenstaande onderdelen zijn doorgerekend op zowel regionale schaal voor het hele zandgebied in het zuidoosten van Fryslân als op lokale schaal voor een zevental uitgevoerde praktijkproeven (zie Figuur 4.1). Deze doorgerekende praktijkproeven zijn voor een groot deel overlappend met de geëvalueerde praktijkproeven (5 van de 7, zie paragraaf 3.2: tabel 4 en Figuur 3.5).

De grondwatereffectkaarten op 100 m x 100 m vormden het uitgangspunt voor het berekenen van de effecten op agrarisch gebruik en op natuurwaarden. De effecten op de agrarische productie zijn berekend met de Water Wijzer Landbouw (<https://waterwijzerlandbouw.wur.nl/>). De effecten op de natuur zijn bepaald door de haalbaarheid van bestaande doelen ten aanzien van de na te streven natuurbeheertypen of habitattypen te toetsen met de Water Wijzer Natuur (<https://www.kwrwater.nl/tools-producten/waterwijzer-natuur/>). Deze beide modellen worden beschouwd als 'state of the art' modellen voor verkenning van de effecten van hydrologische condities op respectievelijk landbouw en natuur. Beide modellen vormen een hybride tussen de deterministische modellen benodigd voor verkenningen van effecten van systeemveranderingen, en de statische modelleertechnieken die tot voor kort gebruikt werden. Hiermee is het beste van beide technieken verenigd.

In Figuur 4.1 staan de modelgrenzen voor WVN en WWL, inclusief zeven praktijkproeven waarop lokale schaal watervasthoudende maatregelen zijn uitgevoerd.



Figuur 4.1 Modelgrenzen Brede Grondwaterstudie Fryslân (Provinsje Fryslân, 2019) inclusief zeven praktijkproeven waar op lokale schaal watervasthoudende maatregelen zijn uitgevoerd. 1. en 2. beide Kootstertille/Twijzel, 3. Haule, 4. Nijeberkoop, 5. Oldeberkoop, 6. Noordwolde Zuid en 7. Oldetrije.

Waterwijzer Landbouw

De Waterwijzer Landbouw (WWL) is een instrument voor het bepalen van het effect van veranderingen in hydrologische condities op gewasopbrengsten (STOWA, 2018a). Deze veranderingen kunnen worden veroorzaakt door waterbeheer, herinrichtingsprojecten, (drink)waterwinningen, maar ook door het klimaat. Gewassen en de agrarische bedrijfsvoering stellen specifieke eisen aan de waterhuishouding. De WWL geeft een reproduceerbare inschatting van het effect, in termen van indirecte en directe effecten waarbij de directe effecten verder zijn uitgesplit naar aandeel in droogte- zuurstof- en/of zoutstress. Indirecte effecten zijn bijvoorbeeld uitgestelde zaai- of oogsttijdstippen als gevolg van verminderde draagkracht van de bodem bij te natte omstandigheden, of vertraagde gewasopkomst in het geval van een koud voorjaar. Van de Waterwijzer Landbouw (WWL) bestaan twee varianten. De eerste is een vereenvoudigd instrument, de WWL-Tabel. De tweede betreft diverse modelkoppelingen, die maatwerkberekeningen mogelijk maken. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in WWL-regionaal en WWL-maatwerk. WWL-regionaal (versie 1.0.10) is gebruikt voor de regionale effectberekeningen (Friese zandgebied) en WWL-maatwerk (versie 2.0.4) is gebruikt voor het simuleren van de lokale praktijkproeven.

Water Wijzer Natuur (WWN) is de ecologische evenknie van WWL en vormt een instrument dat de effecten van klimaatverandering, stikstofdepositie en waterbeheer op de terrestrische vegetatie van natuurgebieden berekent (STOWA, 2018b). De vegetatie in natuurgebieden stelt specifieke eisen aan de waterhuishouding, vooral aan de grondwaterstand.

Voor het toetsen van natuurdoelen bevat WWN het instrument Waternood, met functies die de zogenaamde doelrealisatie van vegetatietypen beschrijven in afhankelijkheid van de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en de droogtestress (DS). In WWN zijn drie functionaliteiten toegevoegd:

- De WWN berekent het 'doelgat': de grondwaterstandsverhoging of – verlaging die minimaal nodig is om een doelrealisatie van 100% te bereiken.
- Tevens berekent het de 'maximaal haalbare totale doelrealisatie': wat er binnen een kaartvlak met een natuurdoel maximaal gerealiseerd kan worden, gegeven de variatie aan maaiveldhoogte binnen dat kaartvlak. Zo wordt rekening gehouden met de heterogeniteit aan vochtcondities ten gevolge van hoogteverschillen binnen kaartvlakken.
- Ook wordt de gebruiker de mogelijkheid geboden te rekenen met twee klimaatrobuuste vochtmaten uit het voorspelling gedeelte van de WWN, zuurstofstress en droogtestress.

Kritische GLG-waarden worden afgeleid uit de minimaal vereiste en de maximaal toelaatbare droogtestress (DS), waarbij rekening wordt gehouden met de bodemtextuur en de meteorologische verschillen binnen Nederland. Bij een aantal vegetatietypen die zeer gevoelig zijn voor grondwaterstandsfluctuaties worden directe eisen gesteld aan de GLG op basis van empirische gegevens. De doelrealisatie (uitgedrukt als percentage) van een vegetatiedoel wordt voor ieder van deze grootheden vastgesteld aan de hand van trapeziumvormige functies (zie STOWA, 2018b). Vermenigvuldiging van de doelrealisatie voor GVG, DS en GLG resulteert in de totale doelrealisatie.

Voor deze studie is Water Wijzer Natuur (versie 3.0.5) gebruikt, met het toetsen op abiotische randvoorwaarden volgens Waternood. De resultaten (2022) van het verbeterde grondwatermodel uit de Grondwaterstudie Fryslân hebben gediend als invoer voor de scenario's. De vochtige natuurbeheertypen zijn ontleend aan de ambitietypen uit de provinciale Natuurbeheerplankaart 2021.

4.2 Maatregelen: regionaal en lokaal (scenario's)

Op basis van de hydrologische scenario's uit de Strategische Grondwaterstudie Fryslân is met WWL de directe en indirecte gewasschade berekend op regionale schaal (Friese zandgebied) en voor zeven praktijkproeven.

De doorgerekende maatregelpakketten waren:

1. Water vasthouden door slootboderverhoging in droogvallende sloten en peilverhoging in watervoerende sloten op regionale schaal (WATCON-1)
2. Combinatie WATCON-1 met het vervangen van conventionele drainage door peilgestuurde drainage (COMBI-2R)
3. Maatregelen van lokale, uitgevoerde praktijkproeven (COMBI-2L):
 - Stuwen plaatsen
 - Aanpassing (winter)slootpeilen (vergelijkbaar met WATCON-1)
 - Peilgestuurde of ondiepe, intensievere drainage (vergelijkbaar met COMBI-2R)
 - Verondiepen of dempen van watergangen (vergelijkbaar met WATCON-1)

De volgende klimaatscenario's zijn berekend:

1. Huidig klimaat (2001-2010)
2. Toekomstig klimaat Gh-2050 (matige temperatuurstijging en grote verandering van de windstroom; Gh-2050, KNMI-klimaatscenario 2014). Gekozen is voor het Gh klimaatscenario om aan te sluiten bij de grondwaterstudie Fryslân.

In Tabel 6 staan de berekende scenario's voor het huidige (Referentie) en toekomstige klimaat (Gh-2050) en of ze op lokale en/of regionale schaal zijn berekend. Voor Gh-2050 zijn wederom de weerjaren 2001-2010 doorgerekend, maar dan met hogere temperaturen en aangepaste neerslag- en verdampinghoeveelheden volgens het betreffende klimaatscenario.

Tabel 6 *Berekende scenario's voor het huidige (Referentie) en toekomstige klimaat (Gh-2050), op lokale (L) en/of regionale schaal (R).*

Scenario	Referentie	Gh-2050
Autonoom	L + R	L + R
WATCON-1	L + R	L + R
COMBI-2R	L + R	L + R
COMBI-2L	L	L

R: Friese zandgebied

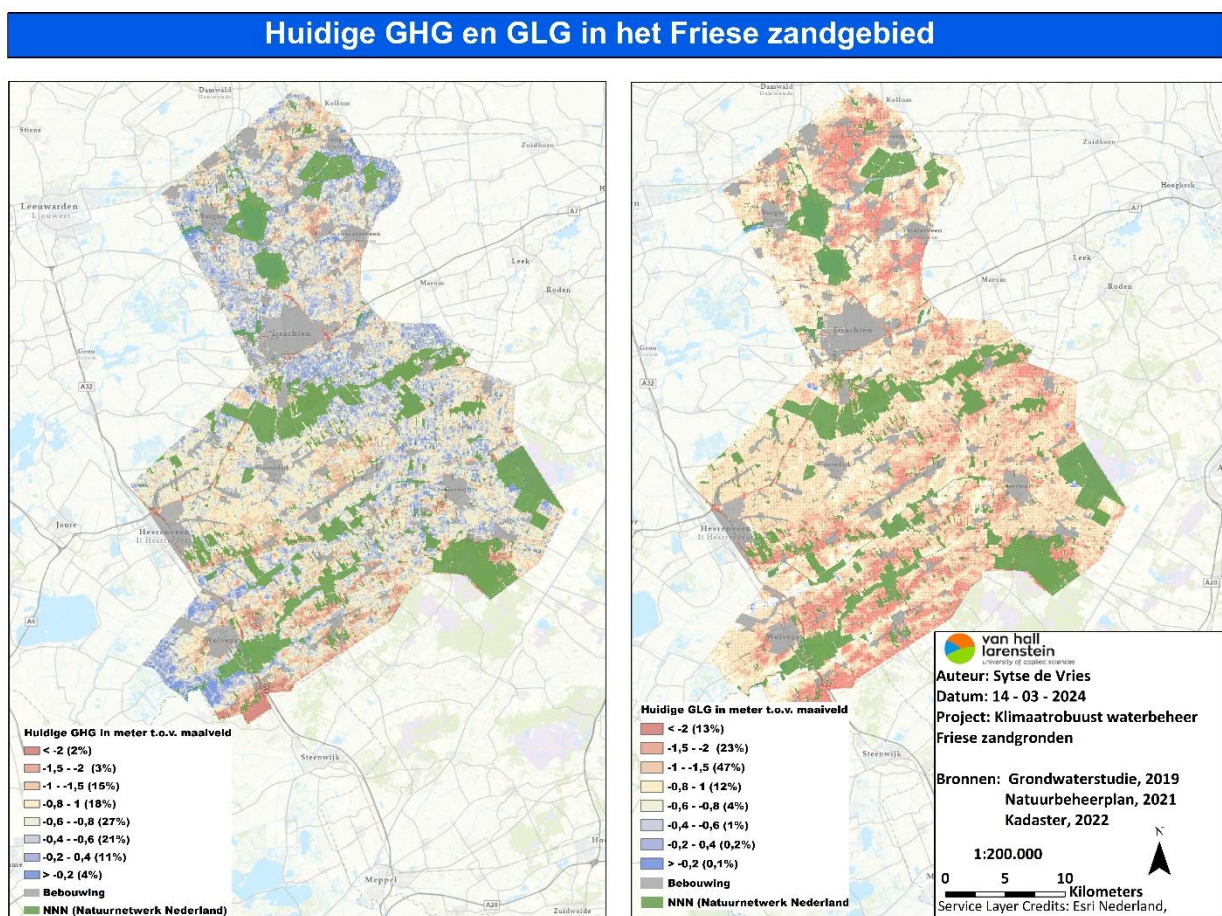
L: Lokaal (7 praktijkproeven).

5 Resultaten

5.1 Berekeningen grondwatermodel

Zoals aangegeven in paragraaf 4.1 zijn met behulp van een grondwatermodel verschillende scenario's doorgerekend. De resultaten staan uitgebreid beschreven in het achtergrondrapport "Waterconservering zuidoost Fryslân" van Royal Haskoning DHV (Van der Wal, 2023).

In de eerste plaats is het huidige grondwatersysteem (Referentie) in beeld gebracht. Dit is onder andere gedaan door de Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) en Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG) te berekenen. De resultaten hiervan staan in Figuur 5.1 voor het deel dat in landbouwkundig gebruik is. Natuurgebieden en stedelijke gebieden zijn hier buiten beschouwing gelaten.



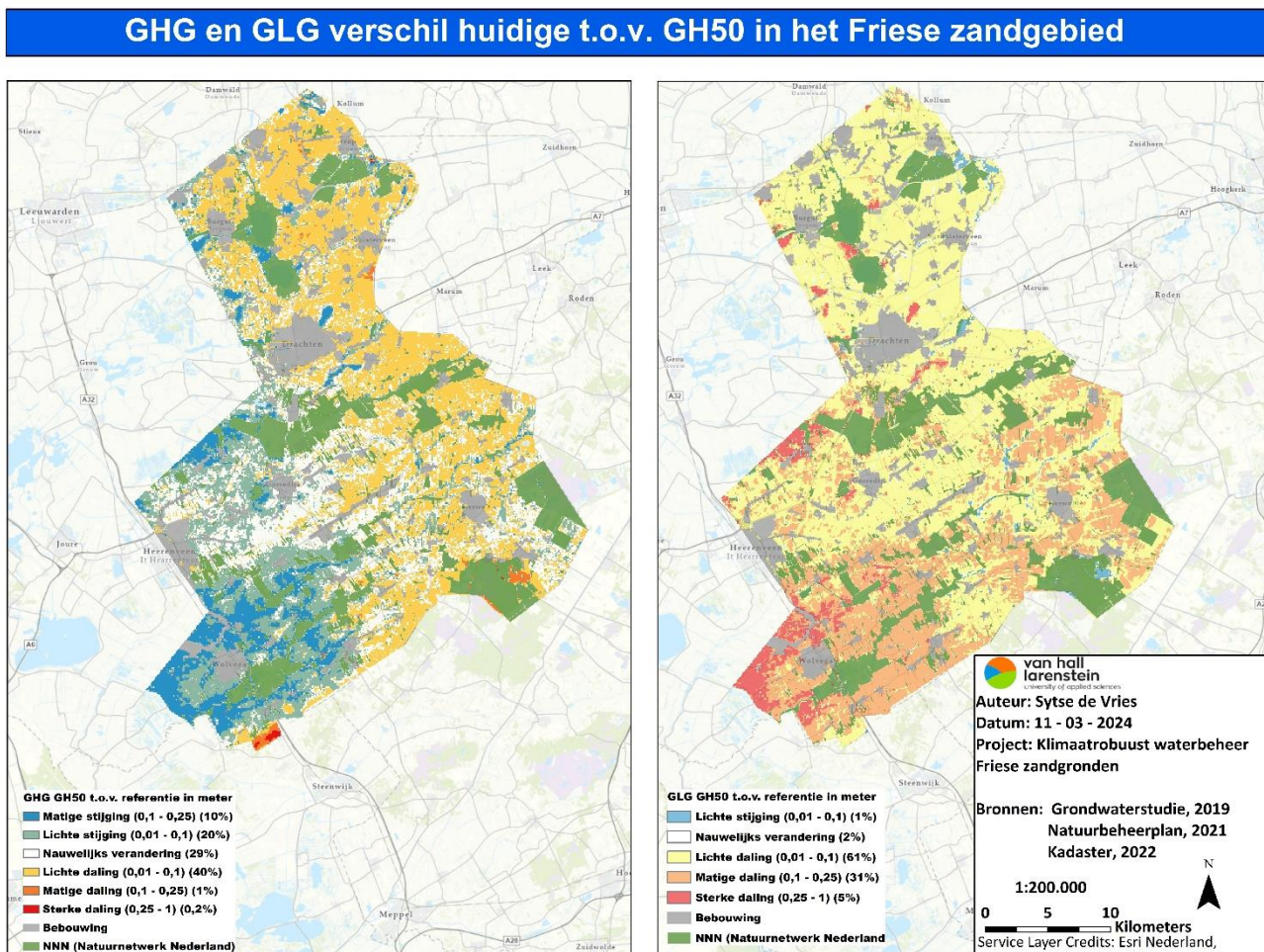
Figuur 5.1 GHG (links) en GLG (rechts) voor de referentiesituatie (huidig klimaat).

Binnen het zandgebied dat in landbouwkundig gebruik is, heeft 15% van het areaal een GHG die kleiner is dan 0,4 m beneden maaiveld. Dit is met name het geval in het noordelijk zandgebied en in de beekdalén. In deze gebieden stijgt het grondwater in de herfst/winter dus tot vlak onder maaiveld. 24% van het areaal heeft een GHG dieper dan 1 m beneden maaiveld. Dit betreft vooral de hogere zandruggen in het gebied.

De GLG is in het zandgebied van Fryslân bijna altijd lager dan 0,6 tot 0,8 m beneden maaiveld. 83% van het areaal heeft een GLG lager dan 1 m beneden maaiveld en 13% van het areaal heeft zelfs een GLG lager dan 2 m beneden maaiveld.

5.1.1 Klimaatverandering

Nadat de referentiesituatie in beeld is gebracht, is onderzocht wat de effecten van klimaatverandering zijn op het grondwatersysteem. Dit is gedaan volgens het KNMI-klimaatsscenario Gh-2050. De resultaten voor het landbouwgebied binnen het zandgebied zijn weergegeven in Figuur 5.2.



Figuur 5.2 Verandering GHG (links) en GLG (rechts) als gevolg van de autonome ontwikkeling op basis van het KNMI-klimaatsscenario Gh-2050 uit 2014.

Opvallend is de duidelijke tweedeling in de verandering van de GHG. Met name in het zuidwesten van het zandgebied steeg de GHG bij een Gh-2050 klimaatsscenario licht tot matig (tot 25 cm) ten opzichte van de huidige referentiesituatie. Dit betrof 30% van het totale Friese zandgebied. In veel gevallen ging het hier om veen- en moerige bodems. In het oosten en noorden van het zandgebied daalde juist de GHG, omdat het in het Gh-2050 klimaatsscenario over het gehele jaar droger wordt. Deze daling kan ook worden veroorzaakt door daling van de stijghoogte in het veenweidegebied door veenafbraak, waardoor het zandgebied meer grondwater 'verliest' aan het veenweidegebied door extra wegzijging. Dit betrof ruim 40% van het in landbouwkundig gebruik zijnde deel van het zandgebied.

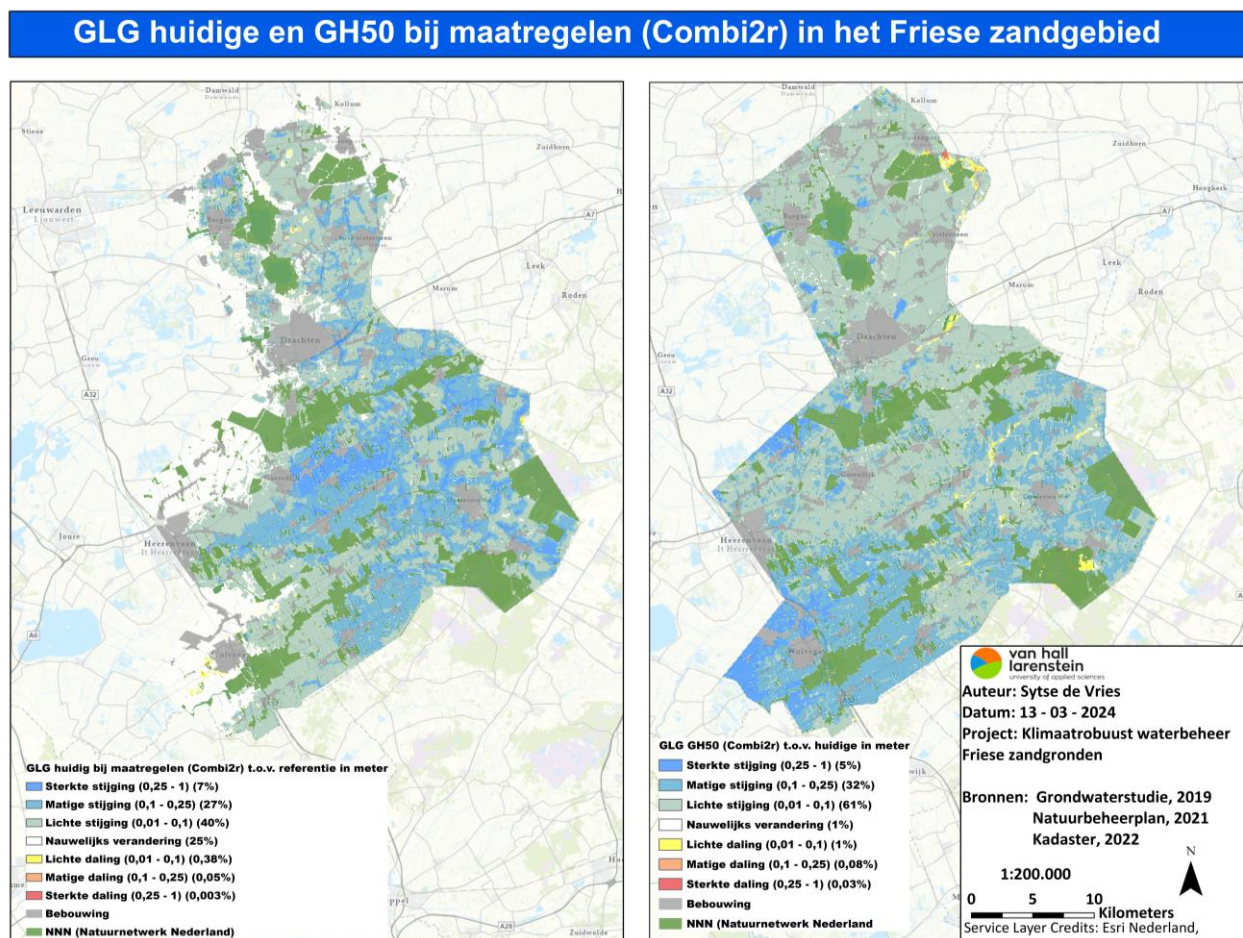
De GLG daalde in vrijwel het gehele zandgebied (97%) voor het Gh-2050 klimaatsscenario ten opzichte van de huidige referentiesituatie. De drogere zomers veroorzaakten een daling van de grondwaterstand. Opmerkelijk is dat vooral in het zuidwesten van het Friese zandgebied de GLG matig tot sterk ging dalen (tot 1 meter). Dit heeft zeer waarschijnlijk te maken met de daling van het veen als gevolg van veenafbraak. In het oostelijk deel van het zandgebied was sprake van een matige daling van de GLG.

Op basis van bovenstaande kan worden geconcludeerd dat, voor wat betreft de klimaatverandering, de daling van de grondwaterstand (GLG) in de zomer en deels ook in de winter (GHG) een belangrijke opgave is voor het deel dat in landbouwkundig gebruik is. Voor het zuidwestelijke deel van het zandgebied is ook de

stijging van de GHG een belangrijke klimaatopgave voor de landbouw. Het gaat hier voornamelijk om veen- en moerige bodems.

5.1.2 Effecten maatregelen water vasthouden

Tenslotte is berekend wat de effecten op het grondwatersysteem van het Friese zandgebied zijn, indien op regionale schaal water wordt vastgehouden. Dit is gesimuleerd via het zogenaamde COMBI-2R scenario. COMBI-2R staat voor een combinatie van maatregelen op regionale schaal. Bij dit pakket aan maatregelen zijn de bodems van droogvallende waterlopen verhoogd, is het peil van waterlopen die jaarrond watervoerend zijn verhoogd en is conventionele drainage vervangen door peilgestuurde drainage. De effecten van deze maatregelen op de in de landbouwkundig gebruik zijnde gebieden staan in Figuur 5.3. De kaart aan de linkerkzijde geeft de GLG-verandering weer ten opzichte van de referentiesituatie en de kaart aan de rechterzijde laat de GLG-verandering zien voor het Gh-2050 klimaatscenario ten opzichte van de huidige referentiesituatie.



Figuur 5.3 Verandering GLG door het uitvoeren van het maatregelenpakket water vasthouden (COMBI-2R) ten opzichte van referentiesituatie (links) en bij KNMI-klimaatscenario Gh-2050 (rechts) ten opzichte van de huidige referentiesituatie.

Ten opzichte van de referentiesituatie zorgde COMBI-2R in 73 % van het in landbouwkundig gebruik zijnde gebied voor een lichte tot sterke stijging van de GLG. Een stijging van de GLG betekent dat de grondwaterstand in de zomer minder diep uitzakt dan in de referentiesituatie. Voor een kwart van het zandgebied dat in landbouwkundig gebruik is, werden geen of nauwelijks effecten op de grondwaterstand gevonden. Een verklaring hiervoor kan zijn dat deze gebieden niet gedraineerd zijn (dus geen vervanging van drainage berekend) of dat hier weinig tot geen waterlopen aanwezig zijn, waardoor geen verschil berekend werd door slootbodemp- of slootpeilverhoging.

Het uitvoeren van COMBI-2R voor het klimaatscenario Gh-2050 zorgde in 97% van het in landbouwkundig gebruik zijnde gebied voor een lichte tot sterke stijging van de GLG ten opzichte van de huidige

referentiesituatie. Met name in het zuidwesten (veen- en moerige bodems) werd een sterke stijging van de GLG berekend.

In het scenario Gh-2050 is niet alleen de ontwikkeling van klimaatverandering meegenomen, maar ook de ontwikkeling van veenafbraak en de daarmee gepaard gaande maaiveldaling in het veenweidegebied ten westen van het Friese zandgebied. In het scenario COMBI-2R vond door peilverhoging en aanpassing van de drainagesystemen minder veenafbraak (en dus maaiveldaling) plaats, waardoor ook de GLG minder daalde dan voor de autonome ontwikkeling.

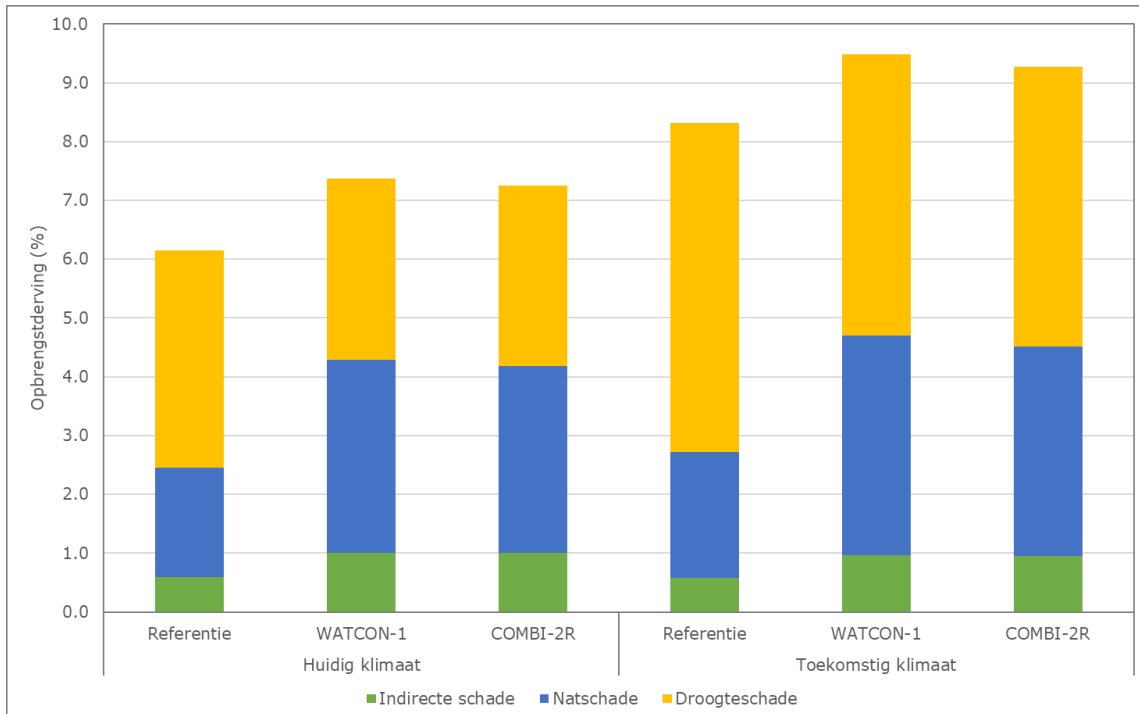
De deelgebieden die in de referentiesituatie nog een sterke stijging van de GLG lieten zien, lieten bij het Gh-2050 klimaatscenario een lichte stijging zien. Dit werd veroorzaakt doordat watervasthoudende maatregelen deels teniet werden gedaan door de effecten van klimaatverandering (lagere GLG door drogere zomers).

5.2 Scenarioberekeningen Water Wijzer Landbouw (WWL)

5.2.1 Regionaal

Resultaten gehele Friese zandgebied

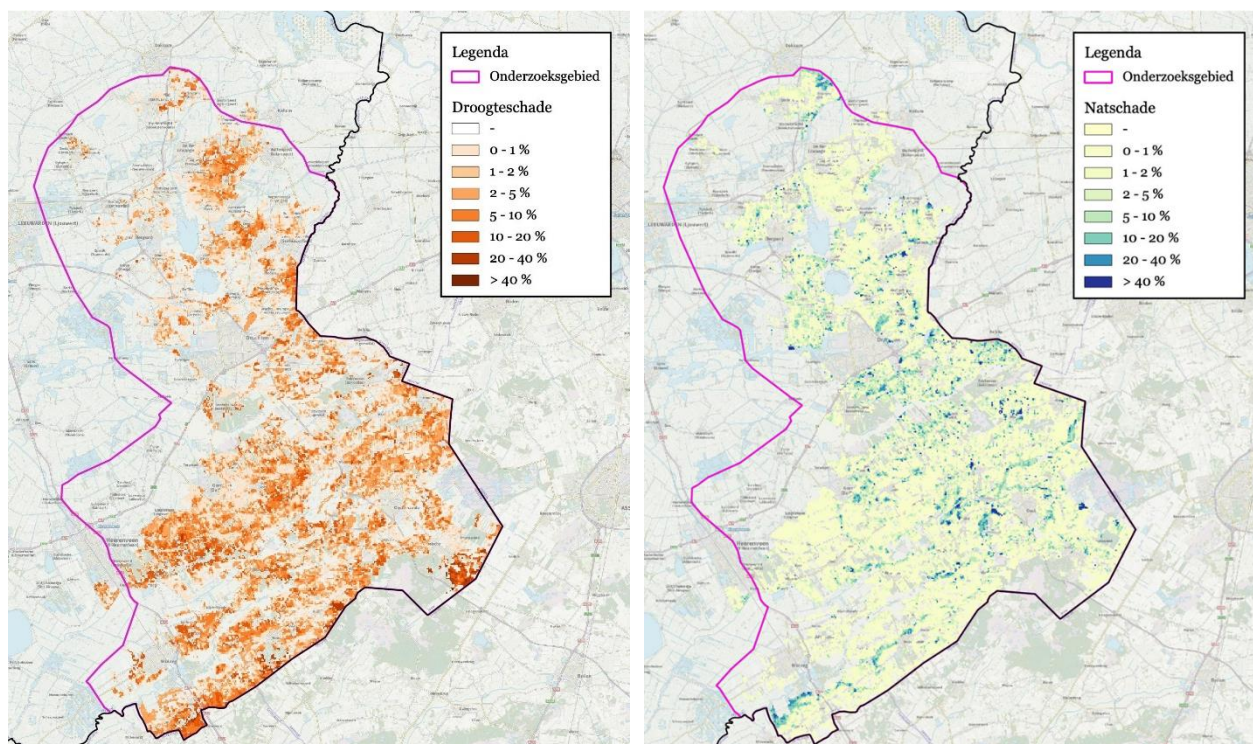
Voor een algemeen beeld van de WWL-resultaten voor het gehele Friese zandgebied, staan de resultaten voor de scenario's Referentie, WATCON-1 en COMBI-2R voor het huidige en voor het toekomstige klimaat (Gh-2050, KNMI-klimaatscenario 2014) in Figuur 5.4. De resultaten betreffen het percentage opbrengstderving voor alle gewassen ten opzichte van de potentiële gewasproductie door droogte- en natschade (groeireductie door respectievelijk droogte- of zuurstofstress) en indirecte schade (beperkingen landgebruik door vernatting of uitstel groeiseizoen door te koude omstandigheden). De berekeningen hadden alleen betrekking op gebieden met een landbouwkundige functie, volgens de Basisregistratie Gewaspercelen (BRP). Bij berekeningen met de Water Wijzer Landbouw zijn natuurgebieden (NatuurNetwerk Nederland) vanzelfsprekend niet in meegenomen.



Figuur 5.4 Gemiddelde resultaten voor het gehele Friese zandgebied betreffende droogte- en natschade (groeireductie door respectievelijk droogte of vernatting) en indirecte schade (beperkingen landgebruik door vernatting) voor de scenario's Referentie, WATCON-1 en COMBI-2R berekend met de Water Wijzer Landbouw (WWL) voor het huidige klimaat (kolommen 1-3) en het Gh-klimaatscenario (KNMI, 2015; kolommen 4-6) exclusief de natuurgebieden (NNN=natuurnetwerk Nederland).

De watervasthoudende maatregelpakketten op regionale schaal WATCON-1 en COMBI-2R lieten ten opzichte van de Referentie een toename van het aandeel natschade zien (respectievelijk 1,4 en 1,3 %) en slechts een geringe afname van de droogteschade (beide scenario's 0,6 %). De totale schade nam toe met 1,3 % voor WATCON-1 en 1,2 % voor COMBI-2R. Tussen WATCON-1 en COMBI-2R was het verschil dus relatief klein. Voor het klimaatscenario Gh-2050 (KNMI, 2015) nam ten opzichte van de huidige referentiesituatie zowel de nat- als droogteschade toe. De natschade nam voor de Referentie toe van 1,9 % voor het huidige klimaat tot 2,1 % voor Gh-2050. De droogteschade nam respectievelijk toe van 3,7 % tot 5,6 %.

De weergegeven resultaten in Figuur 5.4 betreffen gemiddelden. De variatie in het percentage droogte- en natschade voor het gehele onderzoeksgebied in de referentiesituatie voor het huidige klimaat staat in Figuur 5.5. Voor het overgrote deel van het onderzoeksgebied varieerde het gemiddelde percentage droogteschade tussen 0 en 20%. Op enkele plaatsen in het zuiden en zuidoosten van het gebied kwamen ook hogere percentages voor. Het gemiddelde percentage natschade varieerde voor het overgrote deel van het gebied eveneens tussen 0 en 20% tot lokaal 40% in de beekdalen.

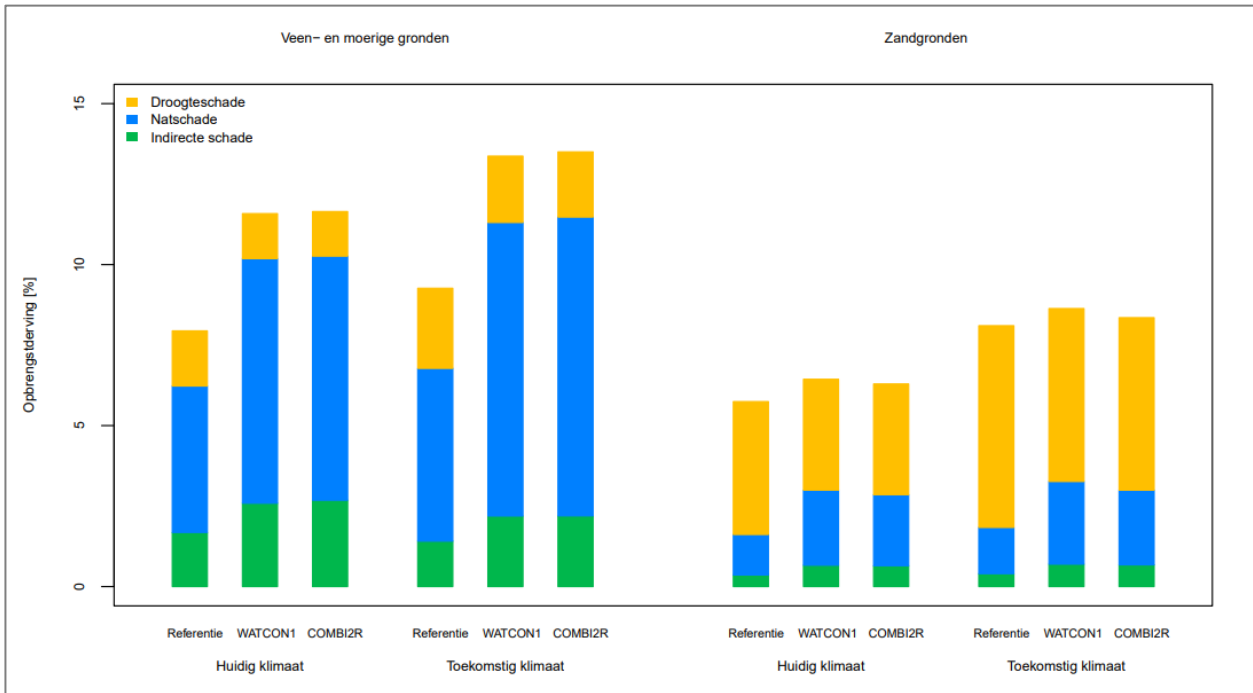


Figuur 5.5 Variatie in percentage droogteschade (links) en natschade (rechts) berekend met de Water Wijzer Landbouw (WWL) voor het gehele onderzoeksgebied uit de Strategische Grondwaterstudie Fryslân (ref).

Onderscheid hogere zandgronden en lagere beekdalen

De resultaten betreffen de gemiddelde schade over het hele onderzoeksgebied, dus zowel hogere zandgronden als ook lagere beekdalen. In de beekdalen komen relatief veel veen- en moerige bodems voor.

In Figuur 5.6 is onderscheid gemaakt tussen de resultaten voor de hogere zandgronden en de laaggelegen beekdalen. De staafdiagrammen laten zien dat veen- en moerige bodems gevoeliger voor natschade zijn dan de zandbodems. De toename van natschade bij regionale watermaatregelen in het gehele onderzoeksgebied wordt dus vooral veroorzaakt door de veen- en moerige bodems (in de beekdalen).



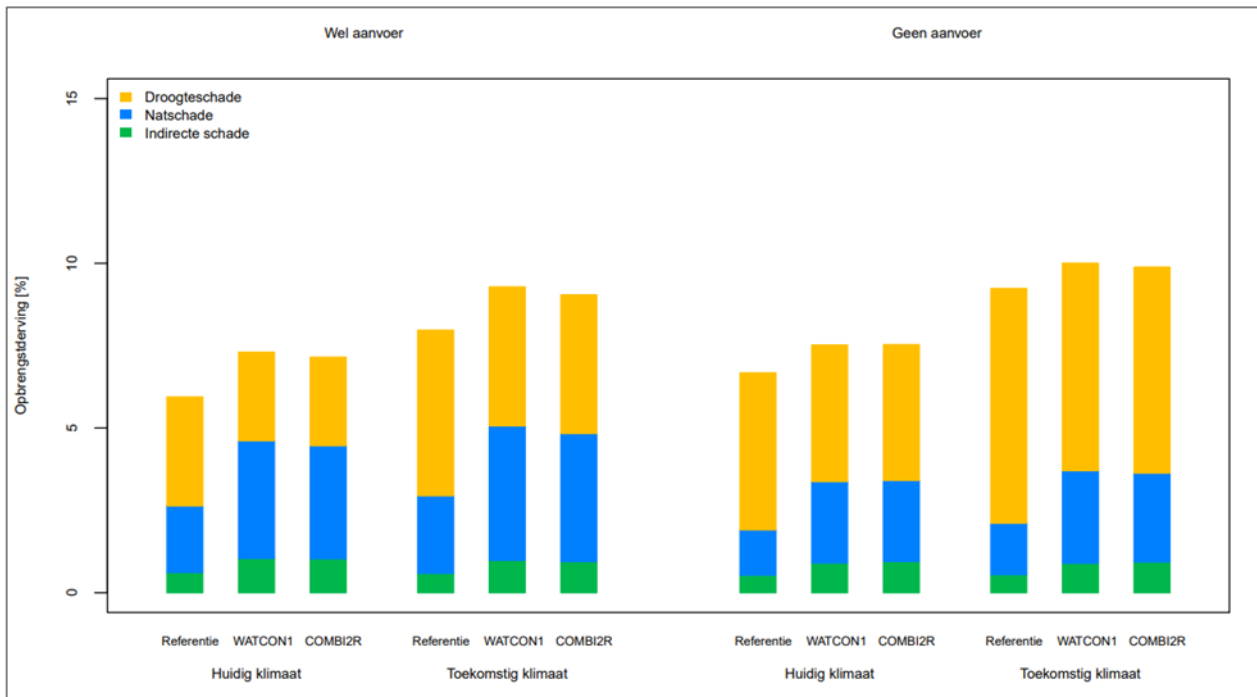
Figuur 5.6 Gemiddelde resultaten voor veen- en moerige bodems in met name lage beekdalen (links) en hogere zandgronden (rechts) betreffende landbouwkundige droogte- en natschade (groeireductie door respectievelijk droogte of vernatting) en indirecte schade (beperkingen landgebruik door vernatting) voor de scenario's Referentie, WATCON-1 en COMBI-2R berekend met de Water Wijzer Landbouw (WWL) voor het huidige klimaat (kolommen 1-3) en het Gh-klimaatscenario (KNMI, 2015; kolommen 4-6) (exclusief natuurgebieden).

Het onderscheiden van beekdalen met veen- en moerige grond en hogere zandgronden geeft een genuanceerder beeld van de nat- en droogteschade. Door de waterhuishoudkundige ingrepen (peilverhoging en slootbodempverhoging) kregen de beekdalen relatief meer natschade. Op de zandgronden trad dat effect ook op, maar veel minder sterk. De droogteschade nam (licht) af door de watermaatregelen. De totale schade van de zandgronden nam desondanks licht toe in de scenario's WATCON-1 en COMBI-2R in de referentiesituatie. Bij het Gh klimaatscenario voor 2050 bleef de totale schade ongeveer gelijk.

Wanneer verder nog onderscheid gemaakt wordt in bodemtypen volgens Tabel 2 (Hoofdstuk 2) dan hebben de regionale watermaatregelen op de meest droogtegevoelige grond (3007 zwak lemig zand met cultuurdek) de grootste reductie van droogteschade tot gevolg. De totale schade daalde licht ten opzichte van de Referentie, voor zowel het huidige klimaat als het klimaatscenario. Zie voor de resultaten van de vijf bodemtypen Bijlage 1.

Onderscheid wel en geen wateraanvoer

Het maken van onderscheid tussen gebieden met en zonder wateraanvoer gaf een vergelijkbaar beeld van de resultaten als voor de situatie waarbij onderscheid gemaakt wordt voor lage beekdalen en hoge zandgronden. Voor gebieden met wateraanvoer was het aandeel natschade groter dan de droogteschade en voor gebieden zonder wateraanvoer was de droogteschade groter dan de natschade. De resultaten staan in Figuur 5.7. Dit wordt veroorzaakt doordat juist in de beekdalen (met veen en moerige bodems) veelal sprake is van wateraanvoer. Indirect is hier dus weer het effect van de verschillende bodemtypen te zien. Watervasthoudende maatregelen gaven voor zowel het huidige als het toekomstige klimaatscenario een toename aan schade, waarbij de toename aan natschade de afname aan droogteschade overtrof.

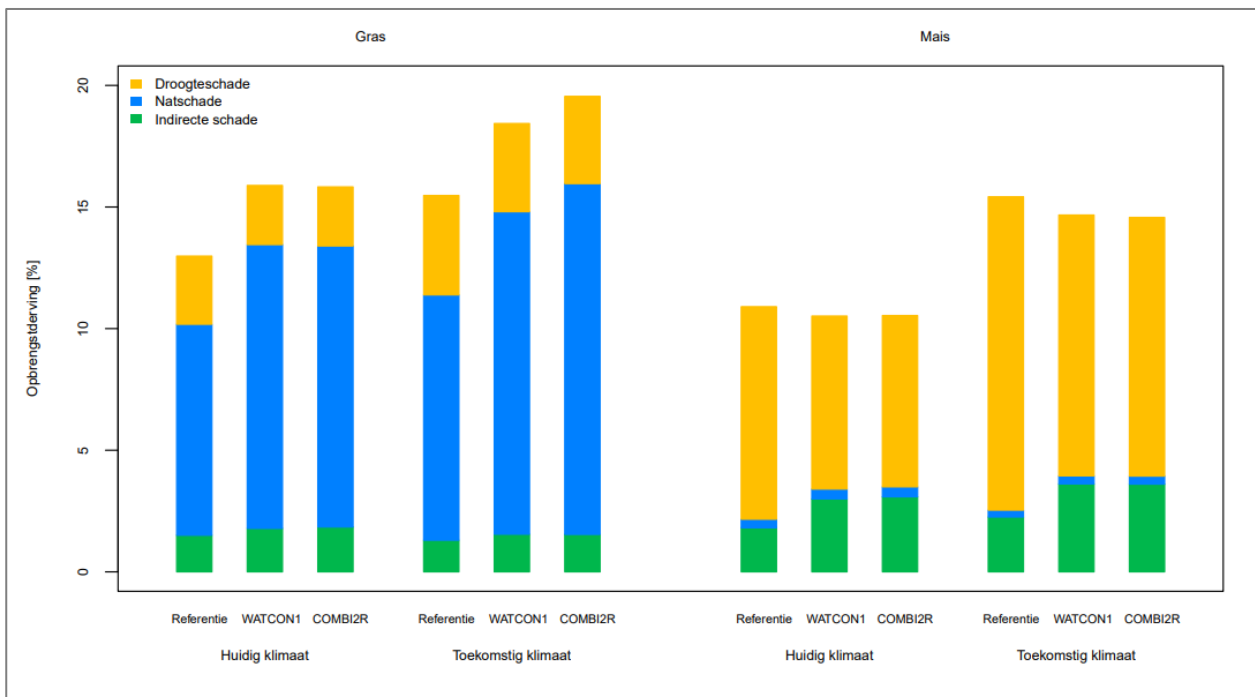


Figuur 5.7 Gemiddelde resultaten voor gebieden met (links) en zonder (rechts) wateraanvoer betreffende landbouwkundige droogte- en natschade (groeireductie door respectievelijk droogte of vernatting) en indirecte schade (beperkingen landgebruik door vernatting) voor de scenario's Referentie, WATCON-1 en COMBI-2R berekend met de Water Wijzer Landbouw (WWL) voor het huidige klimaat (kolommen 1-3) en het Gh-klimaatscenario (KNMI, 2015; kolommen 4-6) (exclusief natuurgebieden).

Onderscheid gewassen

De schades die optraden door droogte of vernatting waren niet alleen afhankelijk van bodemtype of wel/geen wateraanvoer, maar ook van het gewastype. Akkerbouwgewassen zijn over het algemeen meer gevoelig voor vernatting dan gras. Ook de gevoeligheid voor droogte kan verschillen. Zo is snijmaïs een C4 gewas ¹⁾, waardoor het efficiënter met water omgaat dan C3 gewassen, zoals aardappels, suikerbieten, granen en gras. Daarentegen heeft droogte op het moment van bloei en korrelvulling een sterk negatief effect op de opbrengst en voederwaarde van snijmaïs. Met de allocatie van teelten in het landschap, is geen rekening gehouden met de gevoeligheid voor droogte en vernatting van gewassen, waardoor binnen het onderzoeksgebied een verdere nuancering in schades te maken is. De belangrijkste teelten zijn gras en snijmaïs (95% totale oppervlakte). In Figuur 5.8 is voor de berekende schades door watermaatregelen en verandering van het klimaat onderscheid gemaakt voor beide gewassen.

1) C4-planten voeren voor de Calvin cyclus, waarbij een verbinding met drie koolstofatomen wordt gevormd (C3-planten), een tussenstap uit die leidt tot een verbinding met vier koolstofatomen (Furbank and William, 1995) (Wang et al., 2012). Doordat C4-planten fotorespiratie vermijden is het C4-metabolisme voornamelijk een aanpassing aan droogte. C4-planten zijn hierdoor beter aangepast aan een warm klimaat dan C3-planten die vooral in gematigde streken voorkomt. Zowel het gebruik van water als stikstof is efficiënter. Een verhoogde CO₂ concentratie verhoogt de fotosynthese snelheid in C3 soorten maar in C4 soorten is dat effect minder aanwezig (Hopkins and Del Prado, 2007; Izaurralde et al., 2011; Gauly et al., 2013).

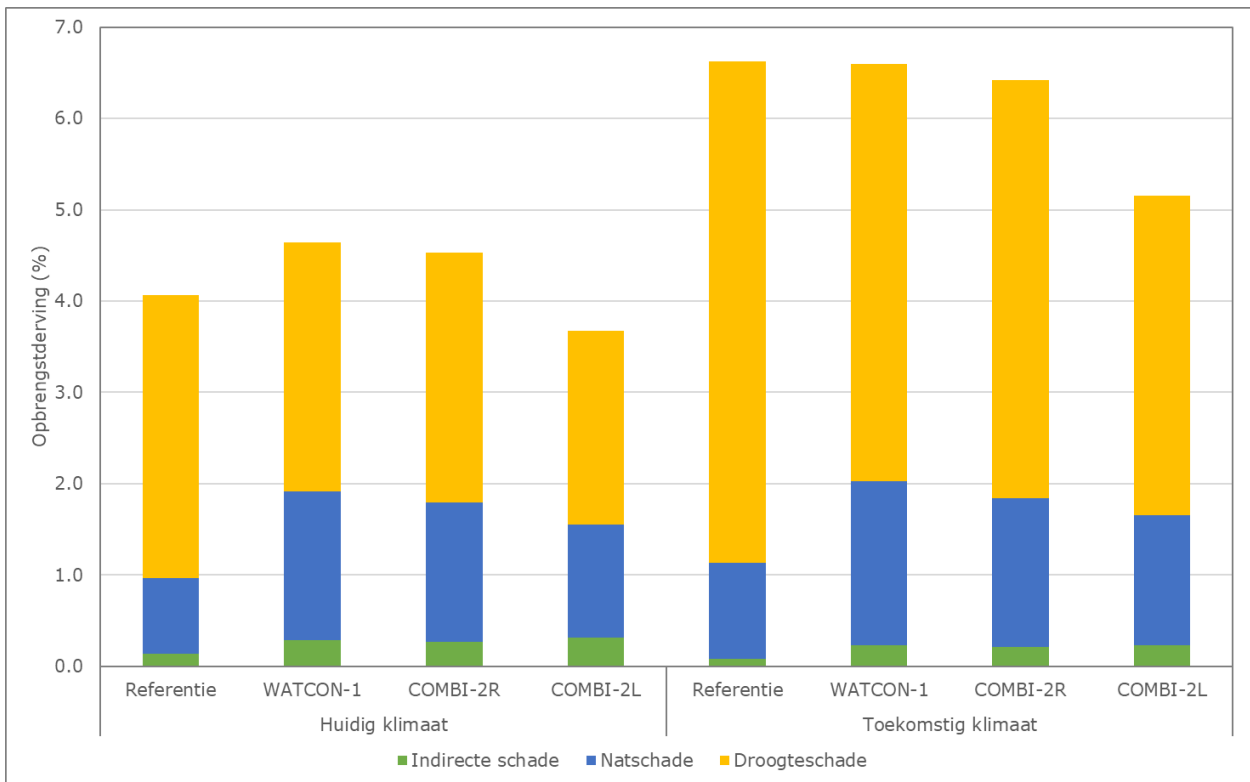


Figuur 5.8 Gemiddelde resultaten voor gras (links) en snijmaïs (rechts) betreffende landbouwkundige droogte- en natschade (groei-reductie door respectievelijk droogte of vernatting) en indirecte schade (beperkingen landgebruik door vernatting) voor de scenario's Referentie, WATCON-1 en COMBI-2R berekend met de Water Wijzer Landbouw (WWL) voor het huidige klimaat (kolommen 1-3) en het Gh-klimaatscenario (KNMI, 2015; kolommen 4-6) (exclusief natuurgebieden).

De schade door vernatting vond vooral plaats op het grasareaal en door watervasthoudende maatregelen nam deze natschade toe. De schade door droogte nam nauwelijks af, waardoor de totale schade groter werd. Ook dit was het indirecte effect van de beekdalen met veen- en moerige bodems, waar voornamelijk gras wordt verbouwd. Snijmaïs wordt vooral op de hogere zandgronden verbouwd. Voor de teelt van snijmaïs nam de indirecte schade toe door vernatting, als gevolg van uitstel van zaai- en oogstbelemmeringen in de oogst. De natschade (groei-reductie door zuurstofstress) nam niet of nauwelijks toe. De totale schade door watermaatregelen daalde gering.

5.2.2 Lokaal

Voor een algemeen beeld van de WWL-resultaten voor zeven lokale praktijkproeven (uitsluitend grasland), staan de resultaten voor de scenario's Referentie, WATCON-1, COMBI-2R en COMBI-2L voor het huidige en toekomstige klimaat (Gh-2050) in Figuur 5.9. De resultaten betreffen het percentage opbrengstderving welke zijn berekend op basis van gegevens uit het grondwatermodel. De berekende opbrengstderving is ten opzichte van de potentiële gewasproductie door droogte- en natschade (groei-reductie door respectievelijk droogte of vernatting) en indirecte schade (beperkingen landgebruik door vernatting). De berekeningen hadden alleen betrekking op gebieden met een landbouwkundige functie.

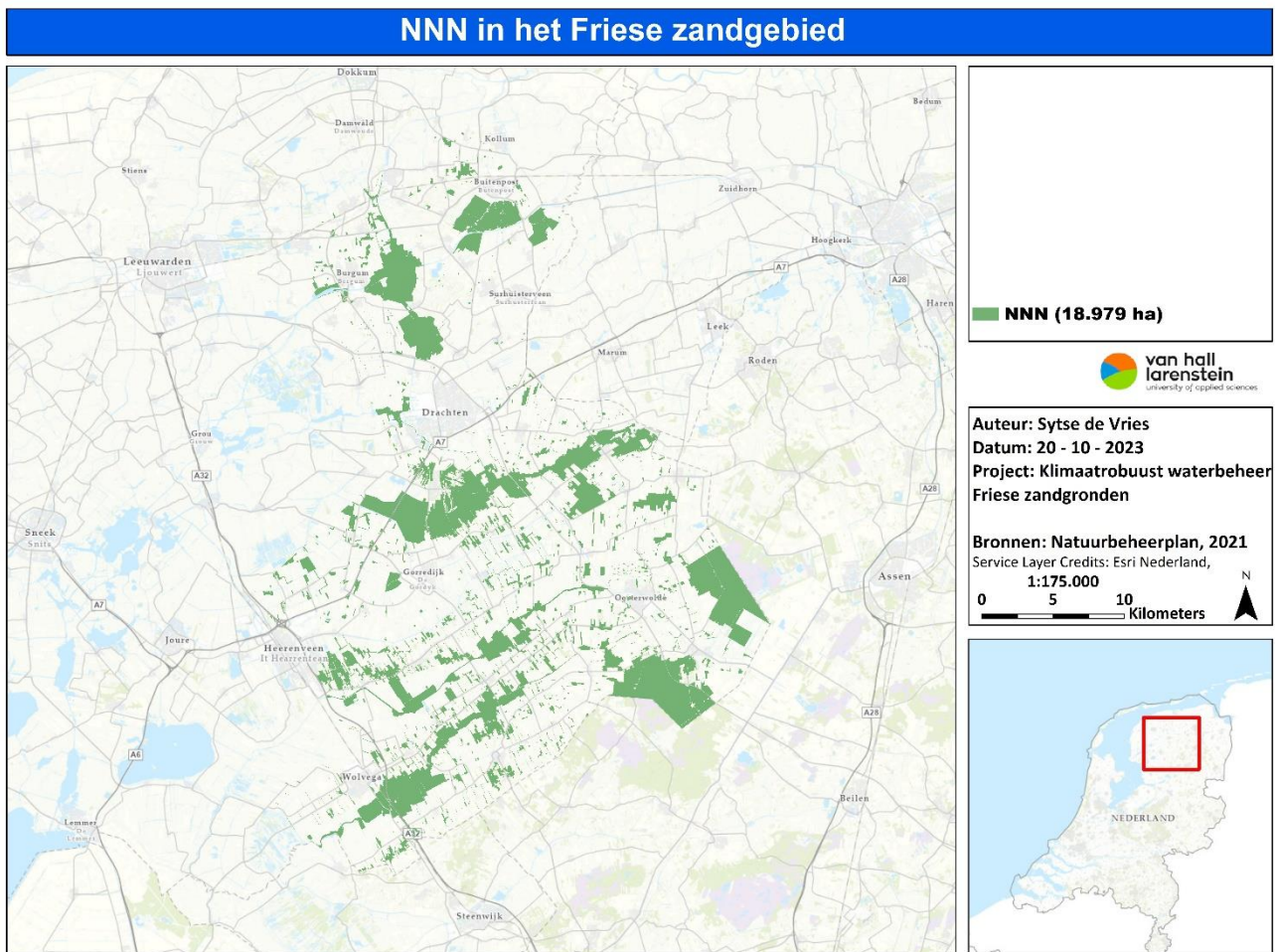


Figuur 5.9 Gemiddelde resultaten voor de lokale praktijkproeven (grasland) betreffende droogte- en natschade (groei-reductie door respectievelijk droogte of vernatting) en indirecte schade (beperkingen landgebruik door vernatting) voor de scenario's Referentie, WATCON-1, COMBI-2R, COMBI-2L berekend met de Water Wijzer Landbouw (WWL) voor het huidige klimaat (kolommen 1-4) en het GH- klimaatscenario (KNMI, 2015; kolommen 5-8).

Op lokale schaal (COMBI-2L) was het algemene beeld dat door de watermaatregelen de schade in het algemeen lager is en dat de droogteschade meer afnam dan de natschade toenam, waardoor de totale schade daalde. Dit was zowel het geval voor het huidige als het toekomstige klimaatscenario. Gemiddeld was de totale schade relatief beperkt tot minder dan 5 % voor het huidige klimaat en minder dan 7 % voor het toekomstige klimaat. De verschillen tussen de bedrijven waren groot. Bij drie bedrijven zorgde de lokale maatregelen voor een afname van de totale schade tot meer dan 50%, bij de andere bedrijven trad nauwelijks verandering op. De effecten van watervasthoudende maatregelen zijn sterk afhankelijk van maatwerk en de landschappelijke ligging van de bedrijven, met name wat betreft aanvoermogelijkheden van water. In dat laatste geval valt er meer te sturen op gunstige hydrologische condities. Bij praktijkproeven waar wateraanvoer mogelijk was, werden de hoogste grondwaterstanden vaak in de zomer gemeten. Dit is een tegennatuurlijke situatie, maar zorgt wel voor (soms forse) afname van droogteschade in de zomer.

5.3 Scenarioberekeningen Water Wijzer Natuur (WWN)

Het Friese deel van het Natuurnetwerk Nederland (NNN) heeft een oppervlak van ongeveer 60.000 hectare. Van deze 60.000 hectare ligt bijna 19.000 hectare in het Friese zandgebied. In Figuur 5.10 staan de betreffende natuurgebieden die binnen het onderzochte zandgebied voorkomen.



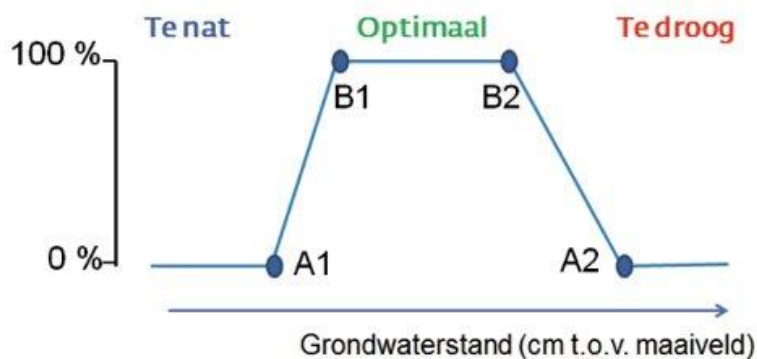
Figuur 5.10 Het Friese deel van het Natuurnetwerk Nederland (NNN) binnen het zandgebied van zuidoost Fryslân.

Van het totale oppervlak van het Friese NNN bestaat ongeveer 25% (15.000 hectare) uit grondwaterafhankelijke natuur, zoals hoogvenen, blauwgraslanden, natte heide en vochtig hooiland. Van deze 15.000 hectare is ruim 9.000 hectare verdroogd (bron: Regionaal Waterprogramma, provincie Fryslân, 2022). Dit zijn de zogenaamde TOP-lijstgebieden. Een derde deel (4925 hectare) van deze grondwaterafhankelijke vegetaties ligt binnen het zandgebied van Fryslân. Verdroging wil zeggen dat voor deze gebieden de grondwatercondities ontoereikend zijn voor de beoogde natuurbeheertypen.

Met behulp van de Water Wijzer Natuur (STOWA, 2018b) is onderzocht hoe het in de huidige situatie is gesteld met de hydrologische condities van de grondwaterafhankelijke natuurbeheertypen binnen het zandgebied van de provincie Fryslân. Hiervoor zijn de ambitietypen uit de provinciale Natuurbeheerplankaart van 2021 gebruikt. Naast de huidige situatie is ook het scenario COMBI-2R bij het huidige klimaat doorgerekend.

Toelichting

Bepaalde vegetatietypen (plantengemeenschappen) stellen specifieke eisen aan de grondwatercondities. Bij deze vegetaties dient de gemiddelde grondwaterstand in het voorjaar bijvoorbeeld niet te laag te zijn en mag het grondwater in de zomer niet te ver uitzakken. Ook stellen deze vegetaties vaak specifieke eisen aan de kwaliteit van het grondwater, zoals bijvoorbeeld de aanwezigheid van kalkrijke kwel bij Dotterbloemhooilanden. Deze plantengemeenschappen worden grondwaterafhankelijke vegetatietypen genoemd. De Water Wijzer Natuur (WWN) is een instrument waarmee de effecten van waterbeheer en klimaatveranderingen op terrestrische vegetaties van natuurgebieden kan worden berekend. Met behulp van de Water Wijzer Natuur kan worden onderzocht hoe groot het verschil is tussen de optimale grondwaterdynamiek en de actuele grondwaterdynamiek. Hoe kleiner het verschil tussen de optimale en de actuele grondwatersituatie hoe groter de 'doelrealisatie' is en hoe kleiner het 'doelgat' is. In Figuur 5.11 is schematisch weergegeven hoe de actuele grondwatersituatie zich verhoudt tot de "doelrealisatie".



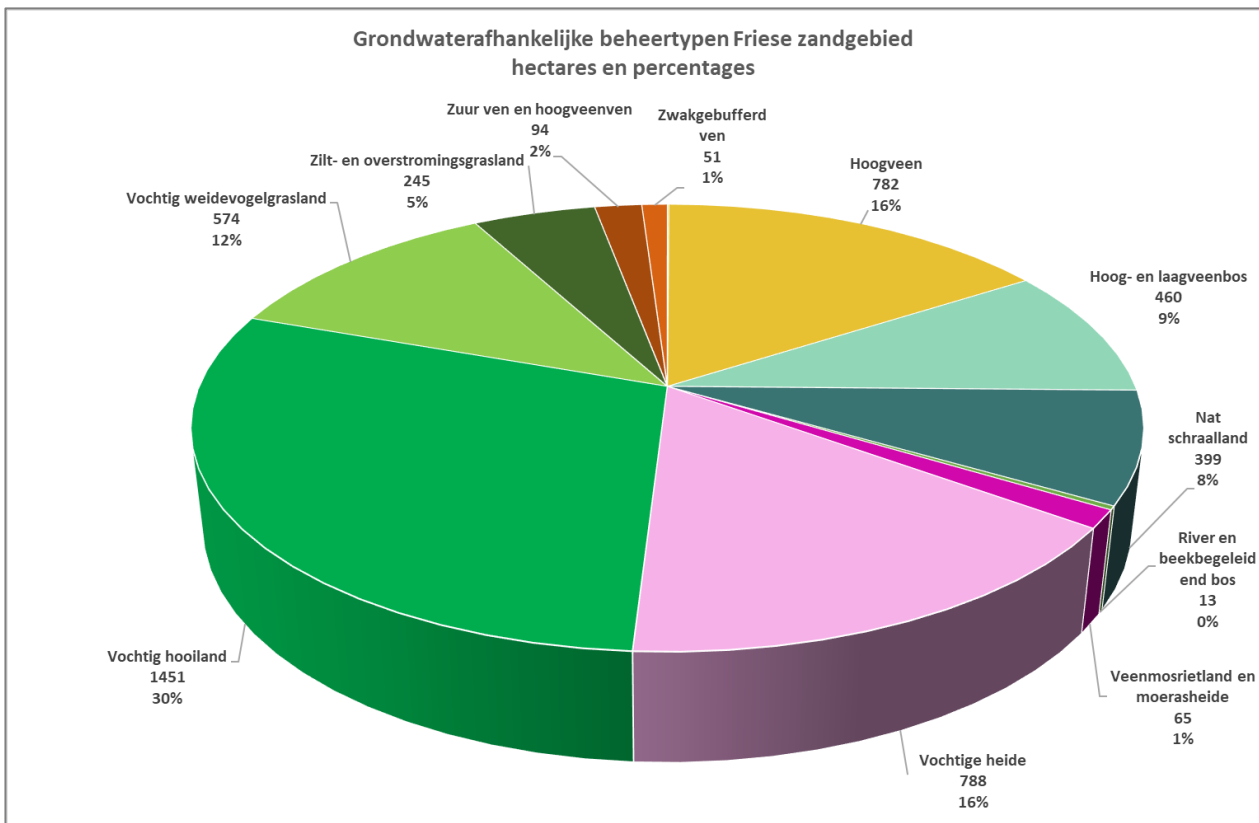
Figuur 5.11 Relatie grondwaterstand en in welke mate aan de specifieke eisen van een vegetatietype wordt voldaan ('doelrealisatie').

Als eerste stap in de toepassing van WWN is op basis van voorkomen en droogtegevoeligheid een selectie gemaakt van de (grond)waterafhankelijke natuurbeheertypen binnen het oostelijke zandgebied van Fryslân. De onderzochte natuurbeheertypen staan in Tabel 7.

Tabel 7 Geselecteerde grondwaterafhankelijke natuurbeheertypen binnen het oostelijke zandgebied Fryslân.

Grondwaterafhankelijke natuurbeheertypen	
Gemaaid rietland	Veenmosrietland en moerasheide
Hoogveen	Vochtige heide
Hoog- en Laagveenbos	Vochtig hooiland
Moeras	Vochtig weidevogelgrasland
Nat schraalland	Zilt- en overstromingsgrasland
Rivier- en beekbegeleidend bos	Zuur ven en hoogveenven
Trilvenen	Zwakgebufferd ven

Van deze geselecteerde (grond)waterafhankelijke beheertypen beslaat 'Vochtig hooiland' het grootste deel van het oppervlak: 1.451 ha = 30%. De natuurbeheertypen 'Hoogveen' en 'Vochtige heide' omvatten elk 16% van het totale oppervlak aan (grond)waterafhankelijke beheertypen. Een overzicht van oppervlaktes en percentages van de betreffende beheertypen is weergegeven in de cirkeldiagram in Figuur 5.12.

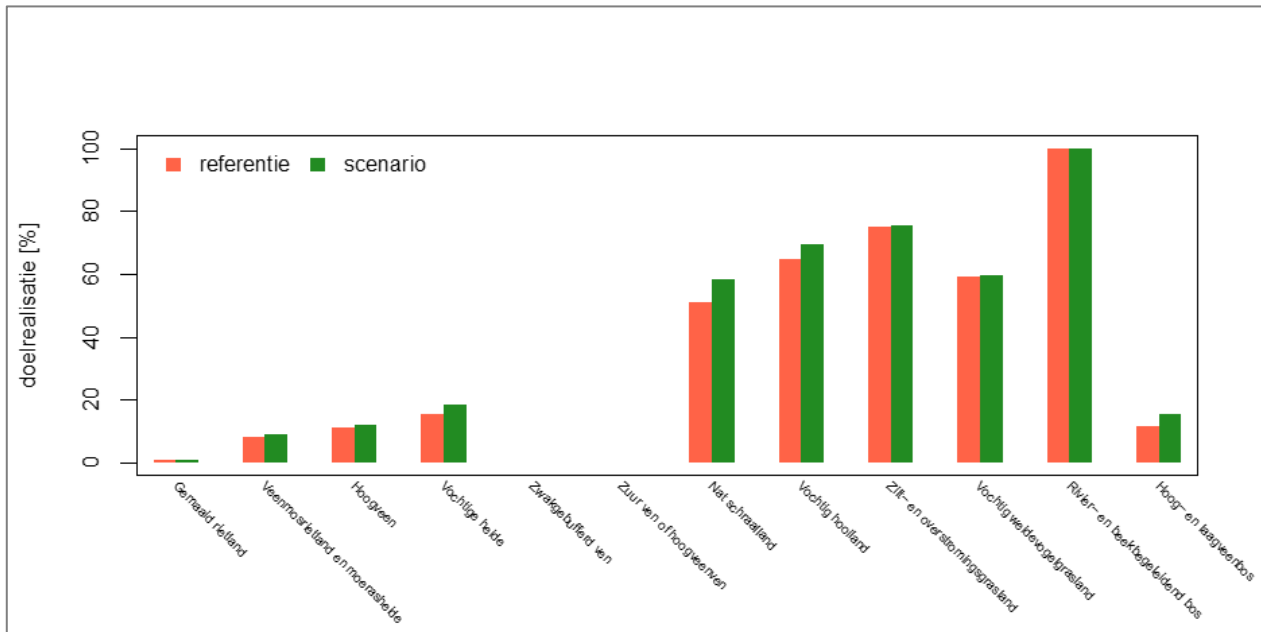


Figuur 5.12 Oppervlaktes en percentages van de (grond)waterafhankelijke natuurbeheertypen van het Friese zandgebied.

Vervolgens is met WWN berekend wat de huidige doelrealisatie is van deze grondwaterafhankelijke natuurbeheertypen, op basis van de berekende grondwaterstanden uit het grondwatermodel (zie hoofdstuk 3 Methodiek). Hieruit bleek dat in de huidige situatie de gemiddelde doelrealisatie van de grondwaterafhankelijke natuurbeheertypen 40,7% is. Dit betekent dat het verschil tussen de optimale condities en de huidige condities bijna 60% was. Het berekende areaal gemiddelde doelrealisatie betrof de referentiesituatie.

Door slootbodems en slootpeilen te verhogen en door conventionele drainages in aanliggend landbouwgebied te vervangen door peilgestuurde drainages wordt getracht de grondwatercondities voor de verdroogde natuur te verbeteren. Deze combinatie van maatregelen is doorgerekend met het grondwatermodel volgens het scenario COMBI-2R in het huidige klimaat (zie hoofdstuk 3 Methodiek). De maatregelen deden de gemiddelde doelrealisatie van de grondwaterafhankelijke natuurbeheertypen met 3% toenemen, tot in totaal 43,7 %.

In Figuur 5.13 staat het resultaat van de veranderde doelrealisatie ten opzichte van de huidige situatie, uitgesplitst naar de verschillende natuurtypen. Daaruit bleek dat vooral de doelrealisatie van de natuurbeheertypen vochtige heide, nat schraalland, vochtig hooiland en hoog- en laagveenbos verbeterden als gevolg van de doorgerekende maatregelen. Dit kwam vooral door de ligging van deze natuurtypen: deze lagen voornamelijk in of nabij de lager gelegen beekdalen. Deze dalen profiteerden het meest van de waterhuishoudkundige maatregelen, met hogere grondwaterstanden in het scenario COMBI-2R. Daarbij dient te worden opgemerkt dat vochtige heide, nat schraalland en vochtig hooiland samen meer dan 54% van de oppervlakte van (grond)waterafhankelijke natuurbeheertypen bedekte. Dat is dus een substantieel aandeel. Grotere, aaneengesloten natuurgebieden als het Fochteloërveen profiteerden weinig van de maatregelen. Dit kwam omdat in deze gebieden niet of nauwelijks sloten aanwezig waren. Hier zijn daarom dan ook geen maatregelen gesimuleerd, waardoor met het grondwatermodel nauwelijks grondwatereffecten werden berekend op dit veensysteem. Dit is terug te zien in de lage doelrealisatie voor hoogveen. Dit geldt ook voor de natuurtypen zilt- en overstromingsgrasland en vochtig weidevogelgrasland. Verder werd met WWN geen doelrealisatie van de natuurtypen met vennen berekend (niet duidelijk is waarom). Dit betrof overigens een relatief klein areaal.

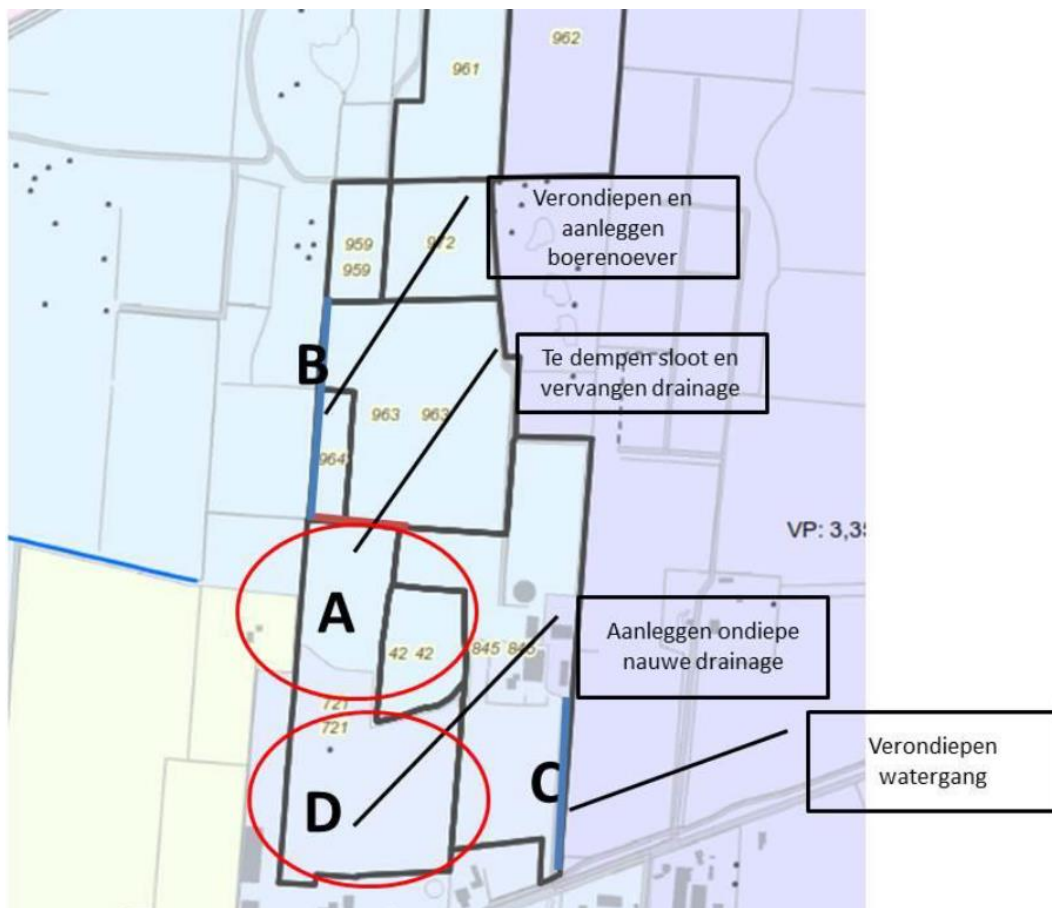


Figuur 5.13 Berekende verandering doelrealisatie met de Water Wijzer Natuur (WWN) voor scenario COMBI-2R: een combinatie van de maatregelen slootbodempverhoging, peilverhoging sloten en vervanging conventionele drainage door peilgestuurde drainage.

5.4 Praktijkproeven

Voor de praktijkproeven op het zandgebied in het oosten van Friesland zijn meerdere typen maatregelen getroffen om water vast te houden, de grondwaterstand te reguleren en de landbouwkundige productie te verhogen. In de gebieden is met maatwerkoplossingen getracht het lokale waterbeheer af te stemmen op de gebruiksfuncties van de percelen. De monitoringsdata tonen aan dat dit in veel gevallen gelukt is, vooral voor wat betreft de percelen met wateraanvoer (stabiel waterpeil: lager in de winter, hoger in de zomer).

Ter illustratie staat in Figuur 5.14 een kaart met het maatregelenpakket van de praktijkproef in Haule.



Figuur 5.14 Kaart met maatregelen praktijkproef Haule.

In het onderstaande volgt een samenvatting van de belangrijkste resultaten. In het achtergrondrapport "Evaluatie praktijkproeven water vasthouden Friese zandgebieden" (De Vries en Medenblik, 2024) staat een uitgebreide analyse van de praktijkproeven. Het achtergrondrapport is evenals het voorliggende rapport een resultaat van het PPS-project 'Klimaatrobuust waterbeheer voor Friese zandgebieden – op zoek naar de juiste balans'.

Praktijkproeven zonder wateraanvoer:

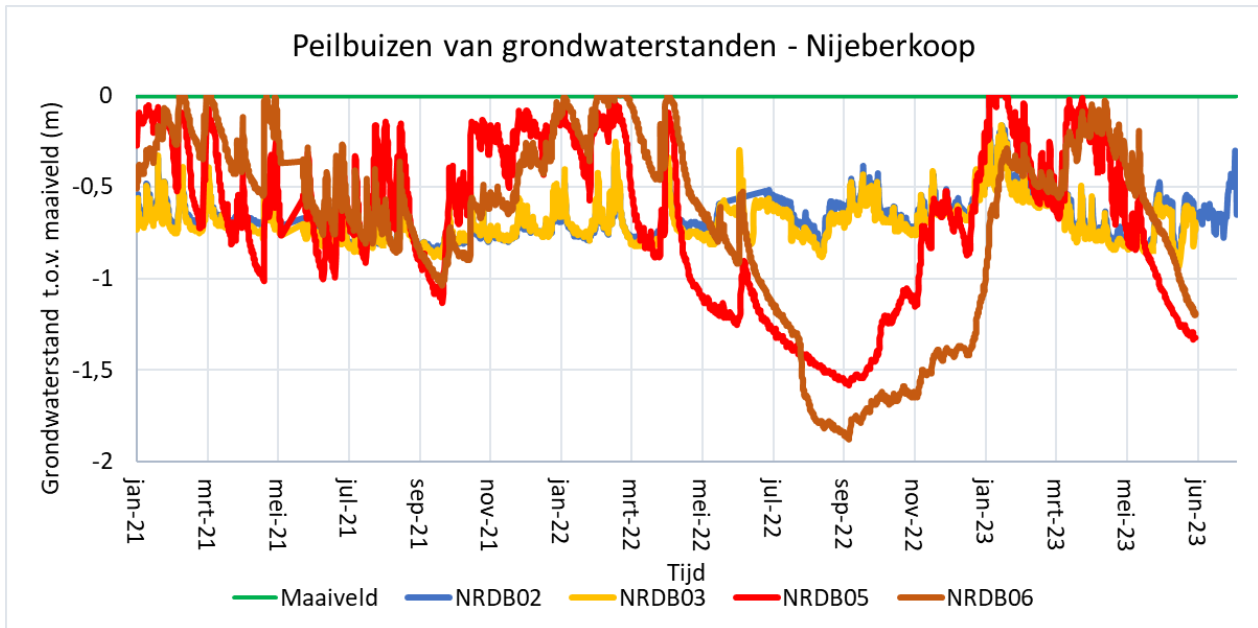
- Hoge zandgronden waar geen wateraanvoer mogelijk is, zijn neerslagafhankelijk. De mogelijkheden voor water vasthouden wordt vooral bepaald door de hoeveelheid neerslag die valt.
- Aangetoond is dat met het verhogen van de slootpeilen de grondwaterstand in het voorjaar, maar ook tijdens nattere zomers, verhoogd kon worden doordat water werd vastgehouden. Hierdoor kon droogteschade in het groeiseizoen langer worden tegengegaan.
- Ondanks deze peilverhoging kon de grondwaterstand in vooral droge zomers ver onder maaiveld uitzakken, vanwege het ontbreken van wateraanvoer via het oppervlaktewater.

Praktijkproeven met wateraanvoer:

- Door de inzet van ondiepe en intensieve drainage (onderwaterdrainage) werd de grondwaterstand in gebieden met wateraanvoer veel stabiel. De grondwaterstand steeg in de winter minder hoog dan in situaties zonder drainage. In de zomer daalde de grondwaterstand minder diep door infiltratie van oppervlaktewater via de drainagebuizen.

Ter illustratie staan in Figuur 5.15 de resultaten van de grondwaterstandmetingen van de praktijkproef Nijeberkoop. Deze praktijkproef lag gedeeltelijk in het dal van de Tsjonger en deels op de aanliggende hoger gelegen flanken. De grondwatermeetpunten NRDB02 en 03 lagen in het Tsjongerdal, terwijl de meetpunten NRDB05 en 06 op de hoger gelegen flanken waren gesitueerd. Daarbij was NRDB06 in het noorden van het natuurgebied Diaconievane geplaatst. Duidelijk is te zien dat de fluctuatie van NRDB05 en NRDB06 (flanken) veel groter was dan die van NRDB02 en NRDB03 (Tsjongerdal).

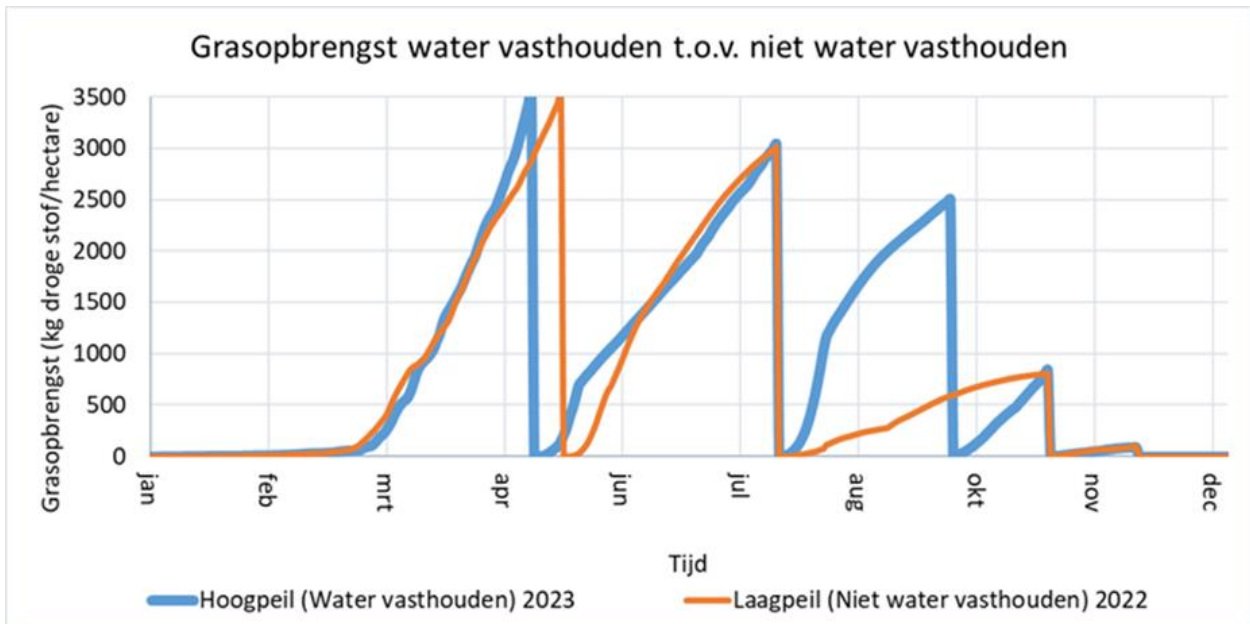
De aanwezigheid van ondiepe en intensieve buisdrainage, in combinatie met wateraanvoer in het Tsjongerdal, zorgde ervoor dat de grondwaterstand in de zomer minder diep uitzakte. In de herfst/winter voerden de drainbuizen het neerslagoverschot af, waardoor de grondwaterstand minder hoog opliep dan in gebieden zonder buisdrainage, zoals bij grondwatermeetpunt NRDB06 (natuurgebied Diaconievene). Bij de meetpunten op de flanken, zonder wateraanvoer, is te zien dat de grondwaterstand met name tijdens de droge zomer van 2022 1,5 tot bijna 2 m onder maaiveld kon dalen.



Figuur 5.15 Gemeten grondwaterstanden bij praktijkproef Nijeberkoop. De twee grondwatermeetpunten NRDB02 en 03 bevinden zich in het dal van de Tsjonger, terwijl de grondwatermeetpunten NRDB05 en 06 op de aanliggende hoger gelegen flank zijn gelokaliseerd.

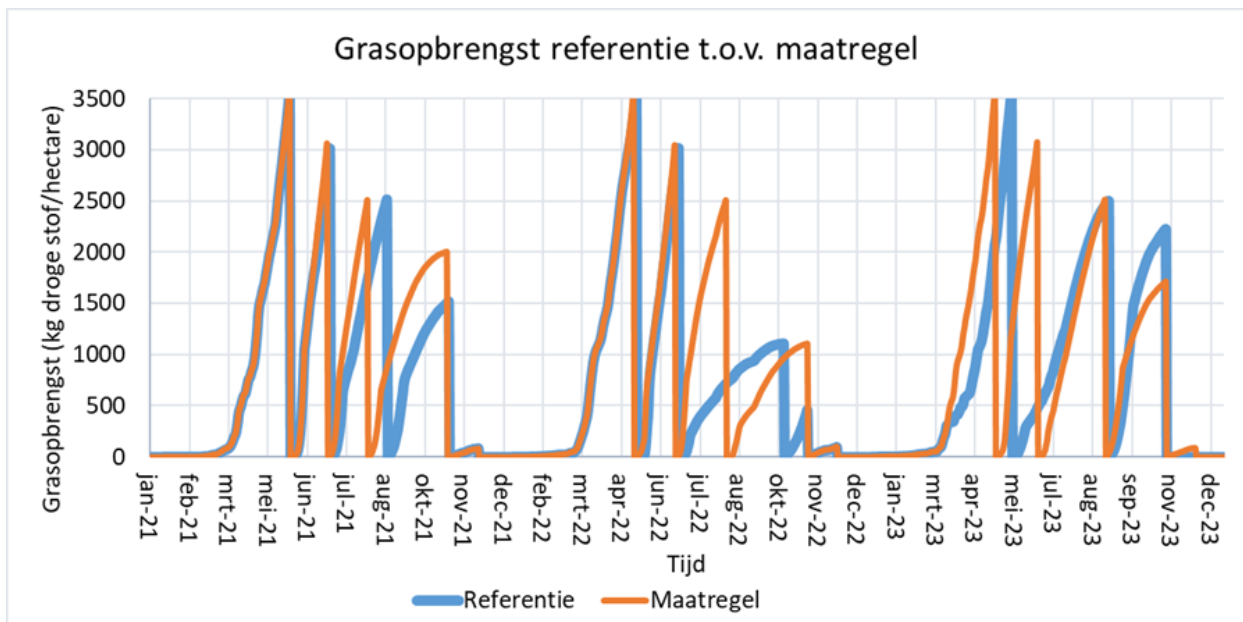
Berekeningen grasopbrengst

De grasopbrengst is berekend met het programma GrasSignaal. Met dit programma wordt op basis van onder andere grondwaterstanden en bodemtype de grasopbrengst van een perceel berekend. De berekeningen voor drie praktijkproeven lieten een wisselend beeld zien. Bij de praktijkproeven zonder wateraanvoermogelijkheden werd niet altijd een hogere grasopbrengst berekend (zoals bij de proef in Twijzel). Wel werd een opmerkelijk verschil berekend in grasopbrengst voor de praktijkproef in Haule. In de winter en voorjaar van 2022 werd een laag peil gehanteerd in de verzamelput van de peilgestuurde drainage. Hierdoor was de grondwaterstand in dat jaar relatief laag. In 2023 werd in de winter en in het voorjaar een hoog peil aangehouden in de verzamelput van de peilgestuurde drainage. Hierdoor was de grondwaterstand in het vroege voorjaar van 2023 hoger dan in 2022. Dit werd mede veroorzaakt door het nattere vroege voorjaar van 2023. De berekende grasopbrengst was voor 2023 duidelijk hoger dan voor 2022 (9.931 kg droge stof per ha versus 7.363 kg droge stof per ha). Zie Figuur 5.16 voor het verloop van de grasopbrengsten in meerdere sneden voor 2022 en 2023.



Figuur 5.17 Berekende grasopbrengst (meerdere sneden) locatie Haule voor 2022 en 2023.

De praktijkproef Oldetrijne met wateraanvoer liet een behoorlijk effect van waterinfiltratie op de grasopbrengst zien (Figuur 5.17). Hier werd met drainagebuizen oppervlaktewater in de bodem geïnfilteerd om zo de grondwaterstand op een voldoende hoog niveau te houden (subirrigatie). Vooral tijdens droge perioden werd voor de situatie met subirrigatie een hogere grasopbrengst berekend dan voor de referentiesituatie zonder subirrigatie. In de praktijk werd ook daadwerkelijk profijt ondervonden van waterinfiltratie.



Figuur 5.18 Berekende grasopbrengst in Oldetrijne voor referentie en praktijkproef ("Maatregel" van 2021 t/m 2023).

6 Implementatie water vasthouden

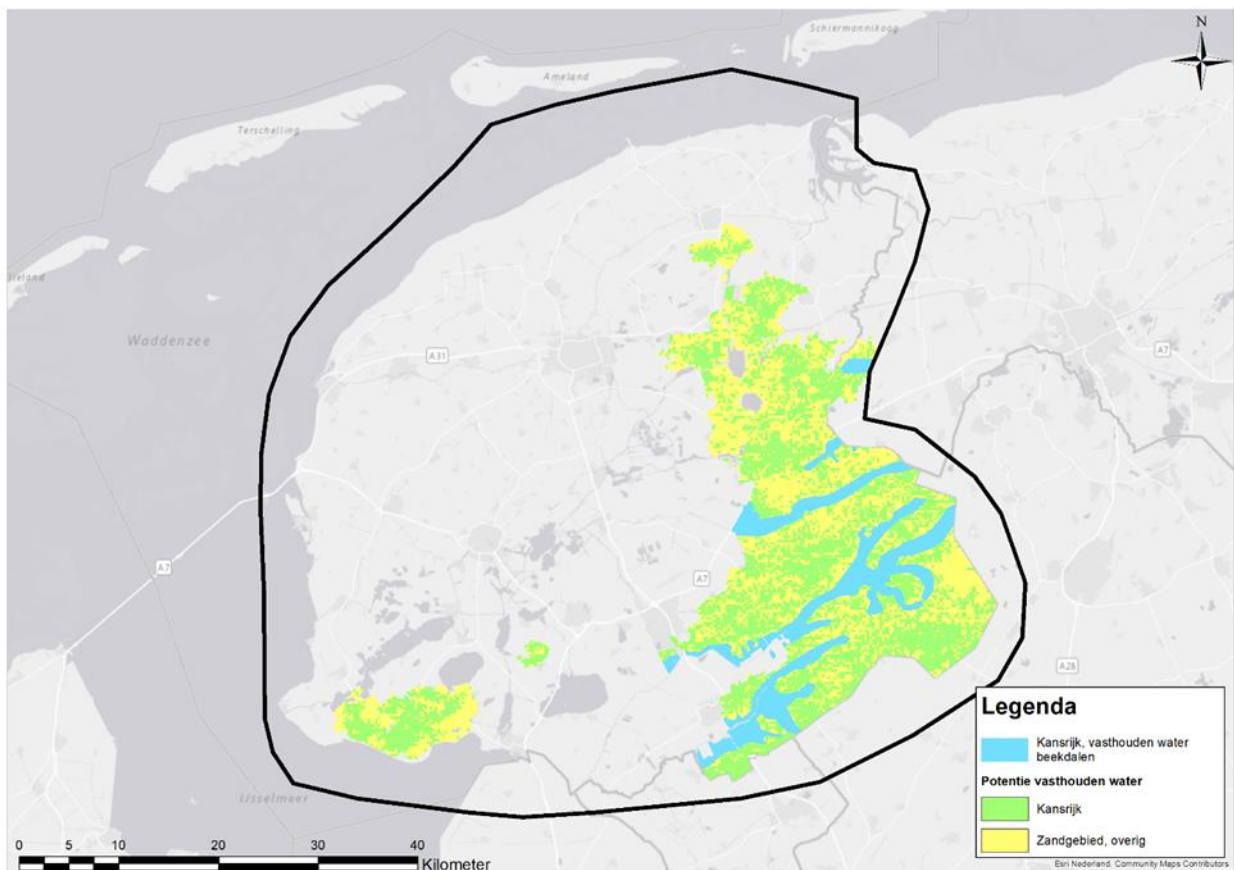
Het kunnen beperken van opbrengstderving van gewassen door klimaatverandering in de landbouw, hangt af van bodemtype (zand, moerige bodems of veen), de schaal van maatregelen (bedrijfsniveau versus gebiedsniveau) en vooral of er wel of geen sprake is van wateraanvoer. Uit de modelberekeningen (paragraaf 5.1) bleek dat het generiek verhogen van slootpeilen de totale opbrengstderving groter werd; de extra natschade was groter dan het kunnen beperken van droogteschade. De extra natschade trad op bij de laaggelegen veen- en moerige gronden (18% van het areaal). De laagste delen zijn daarmee de beperkende factor. In het verleden is het waterbeheer afgestemd op deze lage delen. Voor de toekomst vraagt dit echter om andere keuzes, bijvoorbeeld door de bestemming te veranderen ('Water en bodem sturend') of door in deze gebieden vernatting te vergoeden, temeer hier kansen liggen voor het realiseren van diensten in de vorm van waterberging, beekherstel/natuurontwikkeling en verminderen uitstoot broeikasgassen (reductie veenafbraak). De sleutel voor water vasthouden in het zandgebied ligt bij de laaggelegen veen- en moerige gronden. Een robuust en toekomstgericht waterbeheer vraagt om keuzes met betrekking tot deze lage delen.

Middels een lokale watersysteemanalyse is plaats voor nuancering en neemt door het nemen van maatregelen de droogteschade af, terwijl vernatting minder sterk doorwerkt. Toch is aan vernatting niet te ontkomen, als over een gehele regio maatregelen worden uitgevoerd. Er zijn dan drie opties, namelijk (1) omgaan met vernatting door bijvoorbeeld intensievere en ondiepe buisdrainage toe te passen, waardoor minder last van hoge grondwaterstanden wordt ondervonden, (2) een zogenaamde "blauwe dienst" afsluiten met de desbetreffende agrariër, waarbij vernatting of overstroming wordt geaccepteerd tegen een vergoeding en (3) landbouwpercelen opgeven en zoeken naar een andere bestemming.

Verwacht wordt dat een grootschalige aanpak van water vasthouden loont, indien dit lokaal op basis van maatwerk wordt uitgevoerd. Het maatwerk zou op bedrijfsschaal moeten plaatsvinden. Uit de resultaten van de praktijkproeven bleek namelijk dat maatregelen op bedrijfsschaal kunnen resulteren in een netto beperking van opbrengstderving. In dat geval wordt synergie bereikt tussen private en publieke belangen. De vragen daarbij zijn (1) hoever je regionaal moet opschalen voor optimale effecten en (2) hoe de regionale aanpak georganiseerd dient te worden.

Het organiseren van een regionale aanpak is besproken met agrarische leden van de collectieven Noordlike Fryske Wâlden en ELAN en vertegenwoordigers van Wetterskip Fryslân, provincie Fryslân en LTO-NOORD. Uit de gesprekken met de boeren bleek dat zij in het algemeen behoefte hebben aan ondersteuning in het implementeren van watervasthoudende maatregelen en coördinatie door waterschap en provincie. Ook deze overheden en LTO-NOORD zijn van mening dat in de komende jaren water vasthouden op de Friese zandgronden op een meer structurele en programmatische wijze zou moeten worden opgepakt, met coördinatie door regionale overheden (Provincie Fryslân, Wetterskip Fryslân). Een gedegen, maar tevens praktische organisatie wordt van belang geacht. Ook communicatie rondom dit onderwerp wordt belangrijk gevonden, om draagvlak te creëren voor watervasthoudende maatregelen die zowel het agrarische (bedrijfs)belang (maatwerk op bedrijfsschaal) alsook het publieke belang dienen (effectiviteit groter bij grootschalige implementatie).

Met een gebiedsgerichte aanpak kan water worden vastgehouden op de hogere flanken van het zandgebied. Bij het bovenstreams vastgehouden van water snijdt het mes aan twee kanten; het verlaagt de beregeningsbehoefte en er wordt minder water met beregening onttrokken. Deelgebieden binnen het zandgebied met veel ont- en afwateringsmiddelen en relatief diepe grondwaterstanden zijn kansrijk om watervasthoudende maatregelen uit te voeren. Deze uitgangspunten sluiten goed aan bij de eerder gepresenteerde "*Kansenkaart water vasthouden zandgebied*" in de *Grondwateratlas van Fryslân* (Provincie Fryslân, 2019). Deze kaart is als illustratie toegevoegd (Figuur 6.1)



Figuur 6.1 Kanskaart water vasthouden zandgebied uit de Grondwateratlas van Fryslân (Provincie Fryslân, 2019). In deze kanskaart is onderscheid gemaakt tussen de beekdalen (veelal veen- en moerige bodems) en de overige zandbodems. Deelgebieden met relatief veel ont- en afwateringsmiddelen in combinatie met diepe grondwaterstanden zijn als "kansrijk" weergegeven.

Aanbevolen wordt om voor het uitvoeren van maatregelen ten behoeve van water vasthouden aan te sluiten bij lopende gebiedsprocessen (gebiedsontwikkelingen). Hier zou een extra wateropgave aan toegevoegd kunnen worden. Dit sluit aan bij het Friese Programma Landelijk Gebied (FPLG), waarin geïnventariseerd wordt welke extra opgaven dienen te worden ingebracht bij de gebiedsontwikkelingen. Waar dergelijke gebiedsprocessen niet lopen, zou dit alsnog georganiseerd kunnen worden. Mogelijk is hier een rol weggelegd voor de gebiedscollectieven. Dat past ook bij het uitgangspunt maatwerk in Publiek-Private samenwerking.

In het algemeen heeft een meer programmatische aanpak voor water vasthouden op de Friese zandgebieden de voorkeur.

7 Discussie

7.1 Scenarioberekeningen Water Wijzer Landbouw

De watervasthoudende maatregelpakketten Watcon1 en Combi2R gaven ten opzichte van de Referentie een toename van het aandeel natschade (verminderde grasgroei en benadeling graslandgebruik) en slechts een geringe afname van de droogteschade (verminderde grasgroei). De totale schade nam hierdoor toe. Tussen Watcon1 en Combi2R was het verschil relatief klein. Veen- en moerige bodems blijken gevoeliger te zijn voor natschade dan de zandbodems, waardoor de totale schade hier het meest toenam. Bij een klimaatscenario Gh voor 2050 nam ten opzichte van de huidige referentiesituatie zowel de nat- als droogteschade toe, waarbij de droogteschade relatief meer toenam dan de natschade. Voor gebieden met wateraanvoer (vooral de beekdalen) was het aandeel natschade groter dan de droogteschade. Voor gebieden zonder wateraanvoer (vooral de hogere zandgronden) was de droogteschade groter dan de natschade. Doordat in de beekdalen vooral gras wordt geteeld, vond schade door vernatting (groei-reductie en benadeling graslandgebruik) logischerwijs vooral plaats op het grasareaal. Snijmaïs wordt vooral op de relatief drogere zandgronden geteeld, waardoor de totale schade door de maatregelen gering daalde. Voor de volledigheid staat in Tabel 8 per BOFEK-code (Wösten et al., 2013) een beschrijving van de bodem en het aandeel gras en snijmaïs in procenten van het betreffende areaal van het bodemtype in het onderzoeksgebied.

Tabel 8 BOFEK-code (Wösten et al., 2013), beschrijving bodemtype met het aandeel gras en snijmaïs (%) voor het betreffende bodemtype in het onderzoeksgebied Friese zandgebieden.

BOFEK-code	Beschrijving	Aandeel gras (%)	Aandeel maïs (%)
1017	Dunne veengronden: kleiige bovengrond op veen op zand	95%	4%
2001	Moerige gronden met zanddek	87%	10%
3007	Zwak lemige zandgronden met cultuurdek	78%	17%
3015	Zwak lemige zandgronden III	76%	17%
3021	Sterk lemige zandgronden III	84%	13%

Voor gebieden met wateraanvoer wordt uitgegaan dat de wateraanvoer vanuit het IJsselmeer gegarandeerd is. Op termijn hoeft dit echter niet het geval te zijn en kan door droogte de wateraanvoer gedurende de zomer stoppen en is vervolgens het effect van de watervasthoudende maatregelen kleiner. Overigens is het aanvoeren van water wat anders dan water vasthouden.

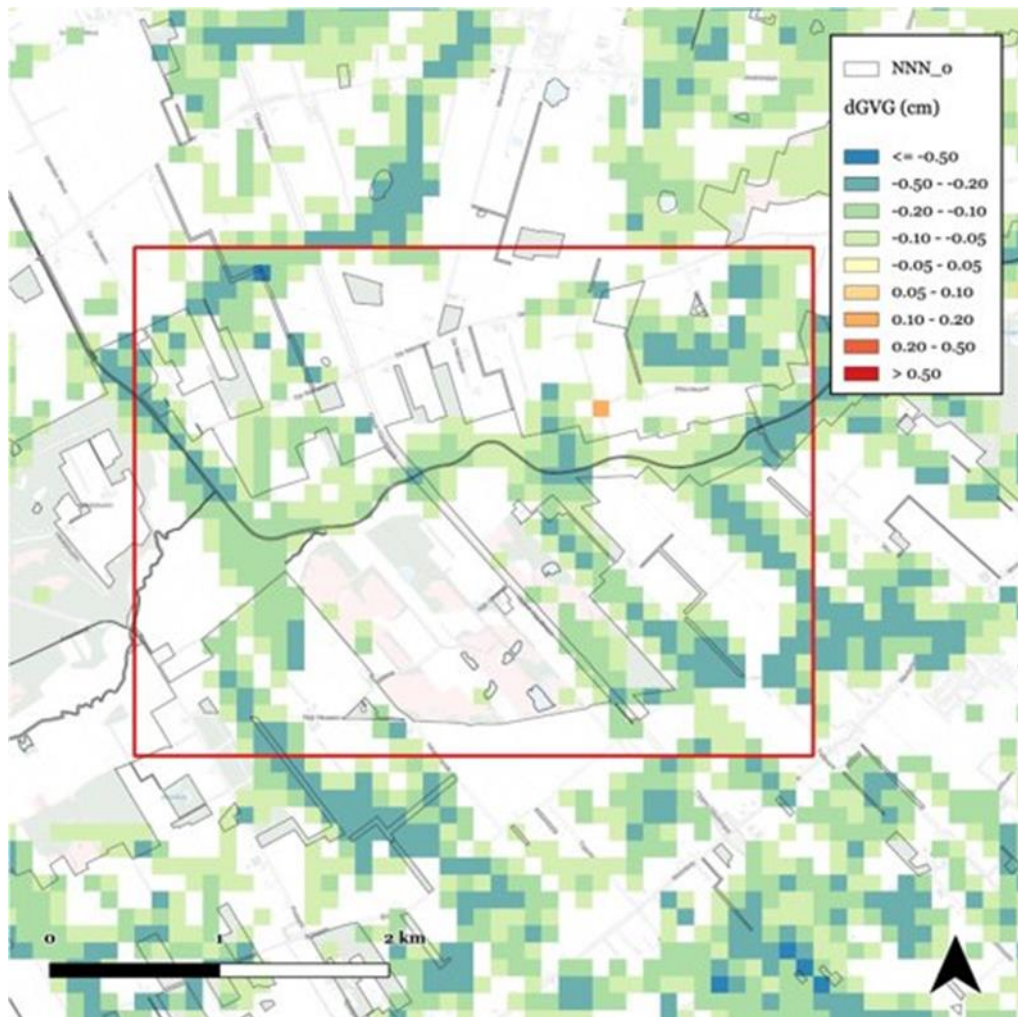
Niet onderzocht is hoe goed het regionale grondwatermodel de werkelijke freatische (oppervlakkige) grondwaterstanden berekent. Dit maakt dat de effecten op de grondwaterstand met voorzichtigheid geïnterpreteerd moeten worden. Volgens de scenarioberekeningen waren de effecten van de maatregelen op de grondwaterstand beperkt en daarmee ook op het voorkómen van droogteschade voor de landbouw en vermindering verdroging van de grondwaterafhankelijke natuur. Het is mogelijk dat het grondwatermodel de absolute grondwaterstanden structureel te laag berekende, omdat de ervaring leert dat vaker de weerstand in het topsysteem te laag wordt ingeschat. Vooral de GHG wordt dan te laag berekend. Wellicht vallen dan de effecten van scenario's te droog uit, omdat het grondwater niet in de buurt van de wortelzone komt; een hangwaterprofiel blijft een hangwaterprofiel en wordt geen contactprofiel.

Het effect van klimaatverandering is doorgerekend met het KNMI'14 Gh-scenario. Het meer extremere scenario Wh blijkt ondertussen realistischer geworden te zijn. Mogelijk dat volgens de meest recente KNMI'23 scenario's de weerextremen nog meer toenemen (langere droogtes, meer neerslag in kortere events). Door afronding van het onderzoek in 2023 konden effecten van de meest recente klimaatscenario's niet meer meegenomen worden.

In de modelstudie lag de focus op het verhogen van de grondwaterstand. Niet onderzocht is of water vasthouden een verlaging van de piekafvoer tot gevolg kan hebben. Water vasthouden zou bij neerslagpieken wateroverlast kunnen verminderen.

7.2 Scenarioberekeningen Water Wijzer Natuur

De verbetering van de doelrealisatie grondwaterafhankelijke natuur als gevolg van het doorrekenen van het scenario COMBI2R was beperkt. Dit wordt waarschijnlijk verklaard door de beperkte verandering van berekende grondwaterstanden, waarvan ter illustratie de resultaten van een deelgebied (Natura2000-gebied Wijneterper Schar) in Figuur 7.1 staan. Het betreft het effect van het scenario COMBI2R op de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG). De grootste effecten op de GVG vonden volgens de berekening vooral plaats langs de waterlopen. In de grotere natuurgebieden, zonder waterlopen met maatregelen, waren de effecten zodoende beperkt.



Figuur 7.1 De berekende verandering van de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) voor het scenario COMBI2R in een deelgebied ten zuidoosten van Drachten, een combinatie van de maatregelen slootbodempverhoging, peilverhoging sloten en vervanging conventionele drainage door peilgestuurde drainage.

Het areaal gemiddelde doelrealisaties van 40,7 en 43,7 % zijn ogenschijnlijk laag, maar een optimale doelrealisatie van 100% is onrealistisch. Dit theoretische streefdoel is in de praktijk niet haalbaar, omdat lokaal grondwatercondities verschillend zijn, bijvoorbeeld vanwege maaiveldhoogteverschillen binnen een natuurbeheertype. Droogtestress kan ook verkeerd berekend zijn vanwege onjuistheden in de bodemschematisatie. Het valt ook niet uit te sluiten dat het regionale grondwatermodel de freatische grondwaterstanden te droog simuleert. Het is lastig om met een regionaal grondwatermodel de specifieke freatische grondwaterstanden en kwelinvloeden van een bepaald natuurgebied uit te rekenen, zeker bij een complexe geohydrologische ondergrond zoals bij keileem- of hoogveengebieden. Verder is het de vraag of de huidige ambitie voor wat betreft de natuurtypenindeling uit het Provinciaal Natuurbeheerplan overal actueel is.

Gekeken is naar een areaal gewogen gemiddelde doelrealisatie, waarbij de verschillende natuurtypen overal een gelijke waarde toegekend hebben gekregen. In werkelijkheid kunnen bepaalde natuurtypen een hogere ecologische waarde vertegenwoordigen, bijvoorbeeld omdat ze zeldzamer zijn of bedreigd worden. Daarnaast is niet gekeken naar een verschuiving van natuurtypen als gevolg van veranderende hydrologische en klimatologische condities. De gehanteerde methode ging ervan uit dat natuurtypen niet veranderden onder invloed van de maatregelen, deze zitten 'statisch' in het model. In werkelijkheid kunnen natuurtypen wel veranderen, bijvoorbeeld van droge heide naar vochtige heide onder invloed van vernatting.

7.3 Evaluaties praktijkproeven

De geëvalueerde meetperioden zijn nog erg kort (2 tot 3 jaar). Bovendien was de zomer van 2021 uitzonderlijk nat en zijn over de gehele meetperiode diverse storingen opgetreden bij de dataloggers. Ook is gebleken dat sommige grondwatermeetpunten regelmatig droogvielen in de zomer, waardoor de GLG niet kon worden vastgesteld. Langjarige metingen dienen meer duidelijkheid te geven over de effecten van water vasthoudmaatregelen.

Door de inzet van ondiepe en intensieve drainage (onderwaterdrainage) in combinatie met wateraanvoer wordt de grondwaterstand in gebieden veel stabielier. In droge zomers zakt de grondwaterstand hier minder diep uit. Dit systeem is daarmee wel afhankelijk van de aanvoer van voldoende zoet oppervlaktewater vanuit het IJsselmeer. Met het oog op klimaatverandering is deze inrichting kwetsbaar.

Doordat bij sommige praktijkproeven wateraanvoer mogelijk is, wordt de motivatie om in perioden van neerslagoverschot water vast te houden kleiner. Op basis van de meetreeksen kan worden geconcludeerd dat tijdens deze praktijkproef de grondwaterstand in deze wateraanvoergebieden tijdens perioden van neerslagoverschot (herfst/winter) juist lager wordt gehouden.

Ten aanzien van de grasopbrengst berekeningen is een duidelijk verschil vastgesteld tussen praktijkproeven met en zonder wateraanvoer. Daarbij dient echter te worden opgemerkt dat vooral tijdens de opstart van de praktijkproeven in 2020 en 2021 de aansturing van stuwen en peilgestuurde drainages nogal variabel was. Mogelijk is mede daardoor geen eenduidig beeld ontstaan in de effecten.

7.4 Samenwerking voor meer water vasthouden in de praktijk

Volgens de modelberekeningen kan door watervasthoudende maatregelen (COMBI-2R) op regionale schaal de GLG structureel worden verhoogd. Voor de landbouw nam echter bij dit scenario de natschade in de beekdalen meer toe dan dat de droogteschade op de hogere zandgronden afnam, waardoor de totale gewasschade licht steeg. Bedrijfsspecifieke maatregelen, waarbij rekening gehouden wordt met de kenmerken van het lokale bodem en watersysteem, kunnen echter een toename van gewasschade voorkomen en zijn zodoende effectiever. Het is daarom zaak om bedrijfsspecifieke maatregelen op grote schaal toe te passen. Vanuit het publieke belang is grootschalige implementatie nodig om effectief water vast te houden en vanuit de landbouw is maatwerk op bedrijfsschaal nodig om de natschade te beperken en droogteschade te verminderen.

Een effectieve implementatie van watervasthoudende maatregelen in de praktijk vereist daarom samenwerking en coördinatie. Vanaf juli 2023 is door Wetterskip Fryslân een subsidieregeling opengesteld voor agrariërs die voor hun eigen bedrijf maatregelen willen treffen.¹ Daarmee worden watervasthoudende maatregelen op bedrijfsschaal gestimuleerd. Het waterschap of provincie voert vooralsnog geen coördinatie op maatregelen binnen een bepaald gebied. Die coördinatie en een bepaalde mate van regie lijkt op basis van deze studie wel wenselijk.

Klimaatadaptatie vraagt om meer samenwerking op gebiedsschaal en dus ook om instemming van individuele ondernemers. Goede communicatie over klimaatverandering, risico's en oplossingen m.b.t. waterbeschikbaarheid lijkt daarbij essentieel. Aangezien watervasthoudende maatregelen in de lager gelegen beekdalen extra natschade tot gevolg had, betekent het nastreven van watervasthouden op gebiedsschaal (publiek belang), dat de bestaande melkveehouderij in de beekdalen onder druk komt te staan. Vanwege dit dilemma lijkt een gebiedsproces ten behoeve van klimaatrobuuste landbouw en natuurbehoud een goede mogelijkheid om de benodigde afstemming en samenwerking vorm te geven, zowel tussen boeren en grondeigenaren onderling, als tussen deze private partijen en overheden (provincie, waterschap). De agrarische collectieven (NFW en ELAN) lijken daarin een natuurlijke rol te hebben om de afstemming en samenwerking tussen agrariërs onderling te coördineren.

¹ <https://www.wetterskipfryslan.nl/news/we-geven-subsidie-om-water-vast-te-houden-op-de-zandgronden>

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Het grootste deel van het onderzoeksgebied (zandgebied in het oosten van Fryslân) bestaat uit een zandbodem (82%). Veen- en moerige bodems beslaan bijna 18% van het oppervlak en deze bodemtypen liggen met name in de beekdalen. Het landbouwareaal in het onderzoeksgebied wordt vooral gebruikt voor ruwvoerwinning ten behoeve van de melkveehouderij. Ruim 80% werd gebruikt voor grasland en 14% voor snijmais. Binnen driekwart van het onderzoeksgebied is wateraanvoer mogelijk. De conclusies van het onderzoek naar de berekende hydrologische effecten voor landbouw en natuur en de resultaten van de praktijkproeven waren als volgt:

Berekeningen grondwatermodel

- De grootste klimaatopgave voor het Friese zandgebied bij een Gh-2050 klimaatscenario is de structurele daling van de grondwaterstanden in dit gebied.
- Door het uitvoeren van een combinatie van watervasthoudende maatregelen op regionale schaal (COMBI-2R) zou in de huidige situatie (referentie) in driekwart van het zandgebied de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) structureel verhoogd kunnen worden.
- Door klimaatverandering (Gh-2050) wordt een deel van dit effect tenietgedaan door de drogere zomers. Desondanks steeg de GLG licht (1–10 cm). Vooral voor de veen- en moerige bodems, in met name het zuidwesten van het zandgebied, werd door het uitvoeren van de watervasthoudende maatregelen een stijging van de GLG berekend van 10 tot meer dan 25 cm.

Landbouw (Water Wijzer Landbouw)

- Door watermaatregelen op regionale schaal (WATCON1 en COMBI2R) werd de grondwaterstand structureel verhoogd. Doordat min of meer uniforme maatregelen zijn doorgerekend over het hele onderzoeksgebied, nam de natschade meer toe dan dat de droogteschade afnam. De totale schade steeg daardoor licht. Tussen de beide maatregelpakketten was het verschil klein. Het effect hing vooral af van in hoeverre de stijghoogte van het diepere grondwater werd verhoogd.
- Op lokale schaal (praktijkproeven) werd de grondwaterstand alleen gedurende het gehele groeiseizoen verhoogd indien sprake was van wateraanvoer (vanuit het IJsselmeer). De totale schade nam hierdoor af, doordat de droogteschade meer afnam dan de natschade toenam. Zonder wateraanvoer bleef het effect beperkt tot een tijdelijke verhoging van de grondwaterstand, vooral in het voorjaar en tijdens natte zomers. Waarschijnlijk kwam dit doordat de praktijkproeven op lokale schaal zijn uitgevoerd.
- Natschade trad vooral op bij veen- en moerige bodems. Dit zijn met name de beekdalen. Een nuancering hierbij is dat deze bodemtypen 18% van het totale onderzoeksgebied beslaan.
- Droogteschade trad vooral op bij hogere zandgronden (zonder wateraanvoer). De mate van droogteschade was sterk gerelateerd aan het vochtleverend vermogen van de grond.
- Bij een klimaatscenario Gh-2050 (gematigd scenario onder droge omstandigheden) nam ten opzichte van de huidige situatie (referentie) zowel de nat- als droogteschade toe. De droogteschade nam relatief meer toe dan de natschade.
- Natschade trad vooral op voor percelen die als grasland in gebruik zijn. Droogteschade trad vooral op voor snijmais. Voor grasland nam de totale schade toe, omdat veen- en moerige bodems voornamelijk worden gebruikt als grasland.
- De effectiviteit van de watermaatregelen werd verder vooral bepaald door het feit of er wel of geen sprake was van wateraanvoer. Indien er wel wateraanvoer was, daalde de grondwaterstand tijdens het groeiseizoen (voorjaar/zomer) nauwelijks.

- Voor een selectie van grondwaterafhankelijke natuurbeheertypen binnen het onderzoeksgebied was voor het huidige klimaat de doelrealisatie 40,7%.
- Voor de doorgerekende watermaatregelen volgens het scenario COMBI2R steeg de doelrealisatie met slechts 3% naar 43,7%. Dit kwam door het relatief beperkte areaal natuur langs de hoofdwaterlopen, waar de maatregelen het meeste effect hadden.
- Vooral de doelrealisatie van de natuurbeheertypen vochtige heide, nat schraalland, vochtig hooiland en hoog- en laagveenbos verbeterden als gevolg van de doorgerekende watermaatregelen.
- Voor de grotere natuurgebieden zonder waterlopen, zoals hoogveengebieden werd nauwelijks een effect berekend. Dit kwam doordat de maatregelen in de scenario's vooral een lokaal grondwatereffect veroorzaakten, zoals langs de hoofdwaterlopen.
- Onzeker is in welke mate droogtestress met het regionale grondwatermodel goed benaderd werd voor specifieke natuurgebieden, bijvoorbeeld met een veenbovenlaag.
- Verdere beperkingen van de gehanteerde methode waren dat aan alle natuurtypen een gelijke waarde is toegekend en de veronderstelling dat de natuurtypen niet veranderden door de maatregelen.

Praktijkproeven

Zonder wateraanvoer:

- Hoge zandgronden waar geen wateraanvoer mogelijk is, zijn neerslagafhankelijk. De mogelijkheid om water vast te houden wordt vooral bepaald door de hoeveelheid neerslag die valt.
- Aangehouden werd dat met het verhogen van de slootpeilen ten opzichte van de referentiesituatie de grondwaterstand in het voorjaar, maar ook tijdens nattere zomers, kon worden verhoogd door extra waterinfiltratie.
- Ondanks de slootpeilverhogingen zakte in droge zomers de grondwaterstand ver onder maaiveld, door het ontbreken van wateraanvoer vanuit het oppervlaktewater.

Met wateraanvoer:

- Door de inzet van ondiepe en intensieve buisdrainage (onderwaterdrains) werd de grondwaterstand in de gebieden met wateraanvoer veel stabiel; de grondwaterstand steeg in de winter minder hoog en daalde in de zomer minder diep door de nivellerende werking van de drains.

Berekeningen grasopbrengst:

- Voor één praktijkproef zonder wateraanvoer werd volgens de modelsimulatie de grasopbrengst niet verhoogd door watervasthoudende maatregelen ten opzichte van de referentie. Voor een andere praktijkproef zonder wateraanvoer werd een duidelijk verschil berekend indien een hoger peil werd aangehouden in de verzamelput van de peilgestuurde drainage. Door het hogere peil in combinatie met een natter voorjaar nam de grasopbrengst toe. Bij de praktijkproef met wateraanvoer werd ten tijde van droge perioden een hogere grasopbrengst berekend door extra waterinfiltratie via de drainages.

8.2 Aanbevelingen

- Uit het onderzoek kwam naar voren dat er duidelijk mogelijkheden zijn om water vast te houden in de Friese zandgebieden in het oosten van Fryslân en het verdient zodoende aanbeveling aan agrariërs, provincie en waterschap om hiermee aan de slag te gaan.
- Door de inzet van ondiepe en intensievere buisdrainage onder slootpeil (onderwaterdrains) werd de grondwaterstand in gebieden met wateraanvoer aanmerkelijk stabiel. De beschikbaarheid van voldoende, zoet IJsselmeerwater is daarbij cruciaal. Het verdient zodoende aanbeveling om te onderzoeken wat de effecten van watervasthoudende maatregelen zijn, indien geen wateraanvoer vanuit het IJsselmeer mogelijk zou zijn.
- De effecten van water vasthouden bij een toekomstig klimaat zijn berekend op basis van de KNMI klimaatscenario's uit 2014. In oktober 2023 zijn de nieuwste klimaatscenario's van het KNMI gepresenteerd. Deze nieuwe scenario's vallen in het algemeen droger uit dan de KNMI-scenario's uit 2014. Naar verwachting is de berekende droogteschade daarmee een onderschatting en verdient het aanbeveling om de effecten ook door te rekenen op basis van deze meest recente klimaatscenario's.
- Naast effecten op grondwaterstanden leeft ook de vraag wat de effecten van de watervasthoudende maatregelen zijn op de (grond)waterbalans. Ook is het nog de vraag in hoeverre water vasthouden de beregeningsbehoefte in de landbouw vermindert. Aanbevolen wordt om deze vragen aan de hand van modelberekeningen te beantwoorden.
- Het uitvoeren van maatregelen om water vast te houden op regionale schaal veroorzaakt veel natschade bij veen- en moerige bodems. Deze bodems liggen voor een belangrijk deel in de beekdalen. Het is daarom raadzaam om na te denken over de toekomstige inrichting van de beekdalen, temeer hier vaak al sprake is van meerdere opgaven, zoals waterberging, natuurinrichting, verminderen uitstoot broeikasgassen (door minder veenafbraak).
- Het voorliggende onderzoek is vooral gericht geweest op watervasthoudende maatregelen en de effecten op grondwaterstanden. In een eventueel vervolgonderzoek zouden bodemmaatregelen meegenomen moeten worden en zou in praktijkproeven meer aandacht moeten zijn voor de landbouwkundige gewasopbrengsten. Daarnaast wordt aanbevolen om voor een aantal praktijkproeven tijdreeksanalyses uit te voeren waarbij de klimatologische omstandigheden worden uitgefilterd.
- Het doorvoeren van maatregelen om water vast te houden via bedrijfsspecifieke maatregelen op gebiedsschaal (maatwerk op gebiedsschaal) vereist samenwerking, met goede communicatie, afstemming en coördinatie. Hoe deze sociaal-bestuurlijke component van klimaatadaptatie, d.w.z. samenwerking tussen boeren onderling, tussen agrariërs en Terrein Beherende Organisaties, en tussen deze belanghebbenden en overheden (waterschap, provincie) in de praktijk vorm moet krijgen, verdient meer aandacht. Aanbevolen wordt om de wateropgave waar mogelijk te integreren in gebiedsprocessen.

Literatuur

- Binsbergen, R. van, M. de Vries, F. Brinke, M. Plomp, J. Eekelder. 2024. Klimaatbestendigheid en adaptatiemaatregelen op melkveebedrijven in de Achterhoek. Resultaten van een enquête-onderzoek onder melkveehouders van Vereniging Vruchtbare Kringloop Oost. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport.
- Furbank R.T. and C.T. William C., 1995. Regulation of Photosynthesis in C3 and C4 Plants: A Molecular Approach. American Society of Plant Physiologists. The Plant Cell, Vol. 7, 797-807
- Gauly, M., Bollwein, H., Breves, G., Brugemann, K., Danicke, S., Das, G., Demeler, J., Hansen, H., Isselstein, J., König, S., Loholter, M., Martinsohn, M., Meyer, U., Potthoff, M., Sanker, C., Schroder, B., Wrage, N., Meibaum, B., von Samson-Himmelstjerna, G., Stinshoff, H., Wrenzycki, C., 2013. Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe - a review. Animal 7, 843-859.
- Geertsema, W., H. Runhaar, T. Spek, E. Steingröver, J.P.M. Witte, 2011. Klimaatadaptatie droge rurale zandgronden – Gelderland. Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat. Rapport KvK/034/2011 (<https://edepot.wur.nl/194887>).
- Hopkins, A. and A. Del Prado, 2007. Implications of Climate Change for Grassland in Europe: Impacts, Adaptations and Mitigation Options: A Review. Grass and Forage Science, 62, 118-126.
- IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.) (Ed.).
- Izaurrealde, R. C., A. M. Thomson, J. A. Morgan, P. A. Fay, H. W. Polley, and J. L. Hatfield, 2011. Climate impacts on agriculture: Implications for Forage and Rangeland Production. Agronomy Journal. Volume 103, Issue 2
- Kamerbrief van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022. 's-Gravenhage, Tweede Kamer. Vergaderjaar 2022–2023, 27 625, nr. 592
- KNMI, 2015. KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie. KNMI, De Bilt, p. 34.
- KNMI, 2021. KNMI Klimaatsignaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert. KNMI, De Bilt, p. 72.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 2020. Actieprogramma Klimaatadaptatie Landbouw.
- Provincie Fryslân, 2019. Grondwater Atlas van Fryslân. Samenvatting van de strategische grondwaterstudie: (<https://www.fryslan.frl/document.php?m=7&fileid=63479&f=21c9c0d86fff1772bb0de8f09db652e2&attachment=0>),
- Provincie Fryslân, 2022. Regionaal Waterprogramma 2022-2027. [Regionaal Waterprogramma 2022/2027 Fryslan](#)
- STOWA, 2018a. Waterwijzer Landbouw: instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie. STOWA, Amersfoort. Rapport 2018-48.

STOWA, 2018b. De Waterwijzer Natuur: instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op terrestrische natuur. STOWA, Amersfoort. Rapport 2018-44.

Vries, M. de, I.E. Hoving, I. van Dixhoorn, D. Ruijter, R. Zom, 2023. Maatregelen voor klimaatadaptatie in de melkveehouderij. Een literatuuronderzoek naar klimaatrisico's en mogelijkheden voor klimaatadaptatie van melkveebedrijven in de Achterhoek. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1442.

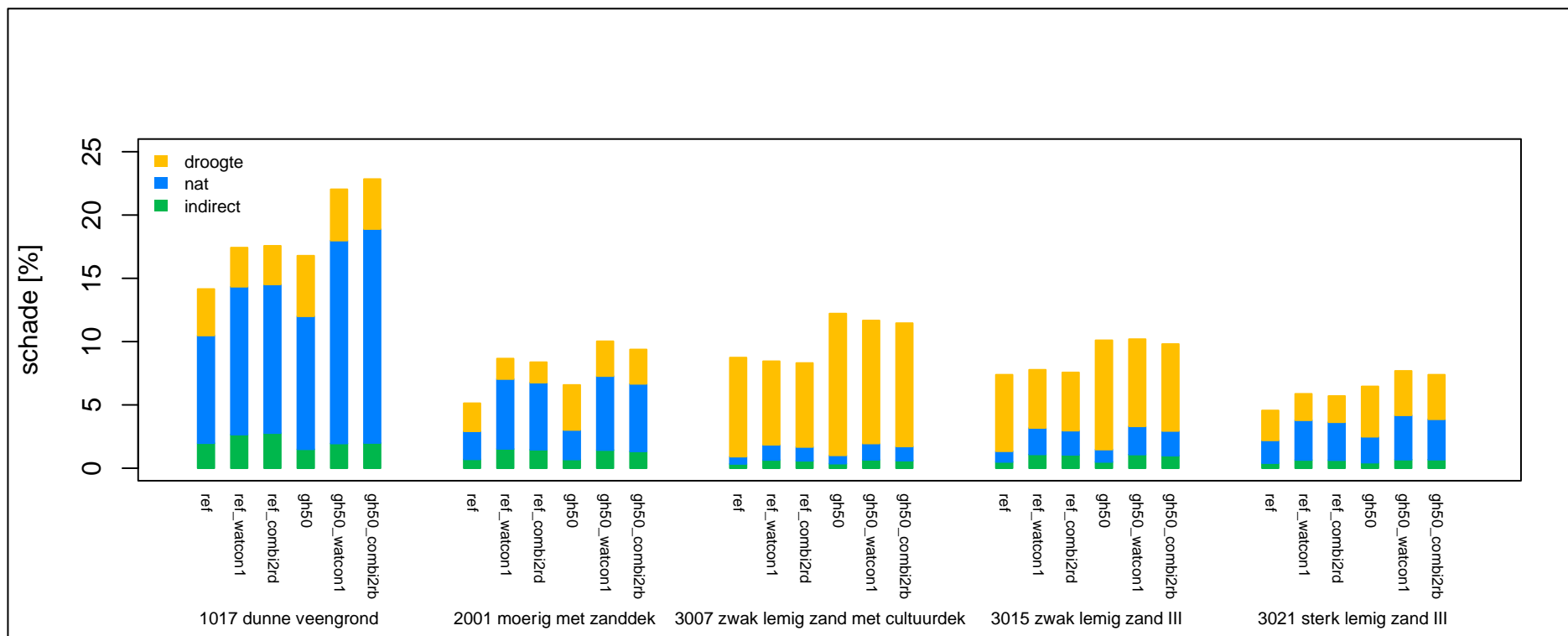
Vries, S. de en J. Medenblik, 2024. Evaluatie praktijkproeven water vasthouden Friese zandgebieden. Van Hall Larenstein, Leeuwarden. Achtergrondrapport.

Wal, B. van der, 2023. Waterconservering zuidoost Fryslân. Royal Haskoning DHV Nederland B.V., Amersfoort.

Wang, C., L. Guo, Y. Li and, Z. Wang, 1995. Systematic Comparison of C3 and C4 Plants Based on Metabolic Network Analysis. BMC Systems Biology 2012, 6(Suppl 2):S9

Wösten, Henk, Folkert de Vries, Tom Hoogland, Harry Massop, Ab Veldhuizen, Henk Vroon, Jan Wesseling, Joost Heijkers en Almer Bolman. 2012. BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Alterra, Wageningen. Alterra-rapport 2387.

Bijlage 1 Resultaten WWL per bodemtype



Figuur 1 Gemiddelde resultaten voor de bodemtypen 1017 dunne veengrond, 2001 moerig met zanddek, 3007 zwak lemig zand met cultuurdek, 3015 zwak lemig zand III en 3021 sterk lemig zand III betreffende droogte- en natschade (groei-reductie door respectievelijk droogte of vernatting) en indirecte schade (beperkingen landgebruik door vernatting) voor de scenario's Referentie, Watcon1 en Combi2R berekend met Water Wijzer Landbouw (WWL) voor het huidige klimaat (kolommen 1-3) en het Gh klimaatscenario (KNMI, 2014; kolommen 4-6) exclusief natuurgebieden.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

