

VALIDATIE WATERWIJZER LANDBOUW

VERGELIJKING MODELRESULTATEN

GROENMONITOR, GRAM EN HELP



RAPPORT

2021

48

VALIDATIE WATERWIJZER LANDBOUW

VERGELIJKING MODELRESULTATEN GROENMONITOR, GRAM EN HELP

RAPPORT

2021

48

ISBN 978.90.5773.953.8



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Martin Mulder (Wageningen Environmental Research)
Wouter Meijninger (Wageningen Environmental Research)
Mirjam Hack-ten Broeke (Wageningen Environmental Research)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
Chris van Rens (Waterschap Aa en Maas)
Frank van der Bolt (Waterschap Aa en Maas)
Rob Ruijtenberg (STOWA)

Onderzoek mede mogelijk gemaakt door: Waterschap Aa en Maas en STOWA.

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau bv
STOWA STOWA 2021-48
ISBN 978.90.5773.953.8

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

WOORD VOORAF

Het onderzoeksproject 'Validatie Waterwijzer Landbouw; vergelijking modelresultaten Groenmonitor, GRAM en HELP' is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in nauwe samenwerking met waterschap Aa en Maas. Het project werd gefinancierd door STOWA en waterschap Aa en Maas.

TEN GELEIDE

WATERWIJZER LANDBOUW GOED IN STAAT DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS TE SIMULEREN

Dit rapport bevat de resultaten van de studie 'Validatie van de Waterwijzer Landbouw (WWL)'. Hierin zijn de met het instrument berekende modelresultaten gelegd naast resultaten uit de Groenmonitor, GRAM en de HELP-tabellen. Hieruit blijkt dat zowel op perceelsniveau als op regionale schaal het instrument goed in staat is de mate van droogtestress en zuurstofstress in gewassen te simuleren. De validatie richtte zich op de droge omstandigheden die zich hebben voorgedaan in de jaren 2018-2020 en op de wateroverlast die zich heeft voorgedaan in 2016.

De Waterwijzer Landbouw is een instrument voor het bepalen van het effect van veranderingen in hydrologische condities op gewasopbrengsten. Deze veranderingen kunnen worden veroorzaakt door waterbeheer, herinrichtingsprojecten, (drink)waterwinningen, maar ook door het klimaat. De eerste versie werd gelanceerd in 2018. Sindsdien wordt het instrument verder doorontwikkeld.

Uit de validatie blijkt dat op perceelsniveau het WWL-modelinstrumentarium (SWAP-WOFOST) goed in staat de momenten waarop het erg droog was, te simuleren voor de zandgronden. De met WWL berekende resultaten kwamen goed overeen met de Groenmonitor. Deze geeft de actuele vegetatiekaart, ofwel: groenindex van Nederland weer, die verkregen is uit satellietbeelden. De Groenmonitor is een indicator voor de hoeveelheid groene biomassa en op basis ervan kan bepaald worden hoe hard planten groeien.

Ook op regionale schaal komen de droogtestressberekeningen voor de zomer van 2018 goed overeen en is reductie zichtbaar in zowel de groenindex als het met WWL regionaal gesimuleerde oogstbare product. Indien de juiste hydrologische informatie bekend is, is het WWL-modelinstrumentarium in staat binnen de regio patronen van droogte te simuleren.

Een validatie op basis van gewasopbrengsten bleek niet mogelijk, omdat deze gegevens niet beschikbaar zijn. De onderzoekers bevelen derhalve aan om hiervoor op zoek te gaan naar goede datasets van gewasgegevens. Dat maakt deze validatie wel mogelijk.

Er is tevens een vergelijking gemaakt tussen de langjarig gemiddelde gewasopbrengsten zoals die zijn berekend met de WWL-tabel en met de zogenoemde HELP-tabellen. Doel van deze tabellen, voor het eerst uitgebracht door Dienst Landelijk Gebied in 1987, is om de landbouwkundige effecten van waterhuishoudkundige maatregelen in landinrichtingsprojecten te bepalen. De beide uitkomsten komen redelijk goed met elkaar overeen ondanks de verschillen in aanpak en uitgangspunten. Een nadere analyse zal worden opgepakt in een vervolgstudie.

Het voornemen is om verdere validatiestudies op lokale schaal uit te voeren met de recente data van proefboerderijen en andere datasets vanuit de praktijk. Omdat de WWL veelal op regionale schaal wordt toegepast, is ook het voornemen om de Groenindex te aggregeren naar BOFEKGtcombinaties en zo een verdere validatie te doen.

Amersfoort, november 2021

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

Het Waterwijzer Landbouw (WWL) instrumentarium is inzetbaar voor het bepalen van het effect van hydrologische omstandigheden op landbouwproductie. Het is voor gebruikers belangrijk dat helder is wanneer het instrumentarium inzetbaar is en hoe betrouwbaar de resultaten zijn. Om te bepalen hoe goed het modelinstrumentarium aansluit bij de realiteit is daarom validatie nodig.

In deze studie richten we ons op validatie van het WWL-instrumentarium op regionale schaal en bovendien enkele specifieke percelen in het stroomgebied van de Raam. Hierbij maken we gebruik van satellietbeelden die de groenindex meten. Voor een validatie van de WWL-resultaten is het nodig om gegevens te gebruiken van situaties waarbij alleen of voornamelijk hydrologie de oorzaak is van verminderde gewasgroei. We richten ons daarom op de droge omstandigheden die zich hebben voorgedaan in de jaren 2018 – 2020 en op de wateroverlast die zich heeft voorgedaan in 2016. De validatie is uitgevoerd voor zowel de WWL-tabel als de maatwerktool WWL-regionaal. Informatie over landgebruik, bodem en hydrologie zijn ontleend aan het Grondwatermodel Aa en Maas (GRAM). Naast de validatie van WWL met de gegevens van de Groenmonitor is ook een vergelijking gemaakt met resultaten van GRAM en de aloude HELP-tabel.

Op perceelsniveau zien we gedurende de periode 2018 – 2019 dat het WWL-modelinstrumentarium goed in staat is om momenten waarop ongunstige omstandigheden optreden te simuleren. De resultaten van de berekende transpiratiereductie en van de stagnatie in de ontwikkeling van het oogstbare product komen overeen met momenten waarop een aanhoudende reductie in de groenindex is waargenomen. Ook de momenten waarop een herstel van de groenindex zichtbaar is (als gevolg van neerslag) komen overeen met herstel van de gewasgroei in de simulatieresultaten. De groenindex is geen directe maat voor biomassa, gewasgroei of oogstbaar product. Omdat informatie over gewasopbrengsten ontbreken kon geen validatie van de berekende gewasproductie (biomassa) worden uitgevoerd. Het betreft hier dus een vergelijking van de timing van veranderingen.

De onzekerheid waar in de praktijk is berekend maakt dat de resultaten van het WWL-modelinstrumentarium en de Groenmonitor niet altijd overeen komen. Dat geldt ook voor de regionale validatie die zich richt op de zomer van 2018. Voor de locaties binnen de regio waarvan wordt aangenomen dat ze worden berekend is de reductie in de groenindex groter dan de gesimuleerde droogtestress. Voor niet-beregende locaties komt de gesimuleerde reductie in oogstbaar product als gevolg van droogtestress goed overeen met de reductie van de groenindex. Indien de juiste hydrologische informatie bekend is, is het WWL-modelinstrumentarium in staat om binnen de regio patronen van droogte te simuleren.

Voor de wateroverlast in het stroomgebied van de Raam als gevolg van extreme neerslag in juni 2016 komen de patronen van reductie in de groenindex goed overeen met patronen van extreme neerslag en locaties waar wateroverlast is gerapporteerd. Deze patronen van wateroverlast konden niet worden gesimuleerd met het WWL-modelinstrumentarium omdat de zeer lokale extreme buien ontbreken in de metingen van het gebruikte weerstation.

Om te analyseren hoe verschillende beoordelingssystemen zich tot elkaar verhouden zijn de modelresultaten van de WWL-tabel vergeleken met de modelresultaten van GRAM en de HELP-tabel. Bij de vergelijking met GRAM worden de modelresultaten vergeleken voor de periode 2017 tot en met 2020. Hierbij is het alleen mogelijk om de gesimuleerde opbrengstderving als gevolg van droogtestress te vergelijken. Opbrengstderving als gevolg van indirecte effecten of als gevolg van zuurstofstress (natschade) wordt niet door GRAM gekwantificeerd. De modelresultaten met betrekking tot droogtestress zijn vergelijkbaar met elkaar. Kleine verschillen in modelresultaten mogen verwacht worden vanwege verschillen in de modelconcepten en -schematisering tussen beide modellen.

De vergelijking met modelresultaten van de HELP-tabel hebben betrekking op een langjarig gemiddelde periode. De modelresultaten van de WWL-tabel zijn hierbij afgeleid voor de periode 1991 – 2020. Op voorhand is het belangrijk om te beseffen dat vanwege de vele verschillen in aanpak en uitgangspunten tussen beide methoden verschillen in modelresultaten zijn te verwachten. Het is zeer lastig (dan wel onmogelijk) om een goede verklaring voor deze verschillen te vinden.

Voor de locaties waar natschade wordt gesimuleerd komen de modelresultaten van WWL en HELP redelijk met elkaar overeen. Wel wordt door WWL meer opbrengstderving als gevolg van te natte omstandigheden berekend. Opbrengstderving als gevolg van droogtestress komen zowel bij de WWL-tabel als de HELP-tabel vrijwel in het gehele stroomgebied voor. De modelresultaten van beide modellen zijn min of meer vergelijkbaar wanneer de resultaten worden uitgesplitst naar grondwatertrappen.

Op basis van dit onderzoek concluderen we dat het voor een nadere modelvalidatie belangrijk is om nauwkeuriger te weten waar er wordt berekend. De recent ontwikkelde beregeningskaart voor Nederland kan bij dit laatste wellicht bruikbaar blijken. Voor het kunnen simuleren van de effecten van lokale extreme neerslag is het nuttig als WWL gebruik kan maken van radarbeelden als neerslagdata.

Om inzicht te verschaffen in de verschillen tussen HELP en de WWL-tabel is een nadere analyse van de berekeningen uit deze studie wenselijk.

Voor een verdere validatie van het WWL-modelinstrumentarium bevelen we voor de lokale schaal een verdere inventarisatie aan van recente data en mogelijk nieuwe locaties. We denken daarbij aan nieuwe data van proefbedrijven en mogelijk ook andere datasets vanuit de praktijk. De voorkeur gaat uit naar gegevens die onder gecontroleerde omstandigheden zijn verzameld. Data afkomstig van rassenproeven kunnen mogelijk worden ingezet voor het valideren van de potentiële gewasopbrengst.

Naast validatie op perceelniveau blijft ook verdere validatie op regionale schaal een wens omdat immers WWL veelal op regionale schaal wordt toegepast. Het is wenselijk om daarvoor de groenindex (NDVI-data) te aggregeren naar BOFEK-Gt-combinaties en daarmee naar nationale schaal.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

VALIDATIE WATERWIJZER LANDBOUW VERGELIJKING MODELRESULTATEN GROENMONITOR, GRAM EN HELP

INHOUD

	WOORD VOORAF	
	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel	2
1.3	WWL-producten	2
1.4	Aanpak en leeswijzer	3
2	GROENMONITOR	4
2.1	Website	4
2.2	NDVI groenindex	5
2.3	Satelliet bronnen	5
2.4	Toepassingen van de Groenmonitor	6
3	STROOMGEBIED DE RAAM	10
3.1	Landgebruik	10
3.2	Beregeningslocaties	12
3.3	Bodemtype	13
3.4	Grondwaterverloop	14
3.5	Meteorologie	16

4	RESULTATEN OP LOKALE SCHAAL	19
4.1	Werkwijze vergelijking	19
4.2	Resultaten grasland	21
4.2.1	Grasland zonder berekening	21
4.2.2	Grasland met berekening	25
4.3	Resultaten snijmais	29
4.3.1	Snijmais zonder berekening	29
4.3.2	Snijmais met berekening	32
4.4	Resumé	39
5	WATEROVERLAST EN DROOGTESTRESS OP REGIONALE SCHAAL	40
5.1	Wateroverlast in 2016	40
5.2	Droogtestress in 2018	43
5.3	Resumé	46
6	VERGELIJKING VAN SIMULATIE RELATIEVE GEWASOPBRENGST	47
6.1	Simulatie van de relatieve gewasopbrengst in 2017 – 2020	47
6.2	Simulatie van langjarig gemiddelde relatieve gewasopbrengst	50
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	55
7.1	Validatie Waterwijzer Landbouw met data van de Groenmonitor	55
7.2	Vergelijken WWL-tabel met GRAM	56
7.3	Vergelijken WWL-tabel met de HELP-tabel	56
7.4	Aanbevelingen	57
	LITERATUUR	58
BIJLAGE A	RESULTATEN GRASLAND EN SNIJMAIS	60
BIJLAGE B	DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS BEREKEND MET WWL-TABEL	67

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

Waterwijzer Landbouw (WWL) is een systeem dat inzetbaar is voor het bepalen van het effect op landbouwproductie door veranderingen in hydrologische omstandigheden. Deze veranderingen kunnen veroorzaakt worden door bijvoorbeeld waterbeheer, herinrichtingsprojecten, (drink)waterwinningen, maar ook door het klimaat. Het modelinstrumentarium geeft klimaatbestendige relaties tussen waterhuishoudkundige condities en gewasopbrengsten waarbij indirecte effecten, droogte-, zuurstof- en zoutstress worden onderscheiden.

De basis van WWL zijn de modellen SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant; Van Dam et al., 2008; Kroes et al., 2017) en WOFOST (WOrld FOod STudies; Van den Boogaard et al., 2011). Validatie van deze modellen heeft tot nu toe alleen plaats gevonden aan de hand van gegevens van experimenten op proefbedrijven en enkele praktijksituaties, dus op perceelschaal (Hack-ten Broeke et al., 2013; Kroes et al., 2015). Op basis van die beperkte validatie en enkele plausibiliteitstoetsen (Knotters et al., 2017; Heinen et al., 2017) is het WWL instrumentarium uitgerold (Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018).

Na de oplevering in 2018 heeft de ontwikkeling van WWL niet stilgestaan. Zo is het modelinstrumentarium in een aantal pilotgebieden toegepast om ervaring op te doen. Mede op basis hiervan zijn problemen geconstateerd en zijn er modelverbeteringen doorgevoerd die vooral betrekking hebben op de simulatie van te weinig droogtestress op zandgronden (Mulder et al., 2019; 2021). Problemen die worden ondervonden met betrekking tot simulatie van teveel droogtestress bij bodemeenheden met klei in het bodemprofiel zijn echter nog niet opgelost. De zoektocht naar een degelijke oplossing voor dit probleem wordt in 2021 voortgezet. Informatie en 'waarschuwingen' over waar je op moet letten bij het toepassen van WWL zijn te vinden op de website van Waterwijzer Landbouw¹.

Om te bepalen hoe goed het WWL modelinstrumentarium aansluit bij de praktijk is validatie nodig. In deze studie richten we ons vooral op validatie op regionale schaal en ook enkele specifieke percelen waarbij we gebruik maken van satellietbeelden die de groenindex (ook wel bekend als NDVI) meten, met name de gegevens van de Groenmonitor (www.groenmonitor.nl) voor de recente droge jaren. De validatie is gericht op zowel de WWL-tabel als de maatwerktol WWL-regionaal. Beide zijn opties binnen WWL. Daarbij passen we de basismodellen SWAP-WOFOST toe. Tegelijkertijd beschouwen we het modelinstrumentarium dat in gebruik is bij waterschap Aa en Maas, namelijk GRAM (Grondwatermodel Aa en Maas) dat bestaat uit de gekoppelde modellen MetaSWAP-WOFOST-MODFLOW.

Het is voor alle gebruikers belangrijk dat helder is wanneer het instrumentarium zinvol inzetbaar is en hoe de verschillende beoordelingssystemen zich tot elkaar verhouden. Naast de validatie van WWL met de gegevens van de Groenmonitor is daarom ook een vergelijking gemaakt met resultaten zoals die gegenereerd worden door GRAM en de aloude HELP-tabel.

¹ <https://waterwijzerlandbouw.wur.nl>

1.2 DOEL

Het hoofddoel van dit project is het met de beschikbare data valideren van de rekenresultaten van de (agro-)hydrologische modellen. Daarbij nemen we SWAP-WOFOST in beschouwing zoals gebruikt in de WWL op lokale en regionale schaal en maken we ook de vergelijking met MetaSWAP-WOFOST-MODFLOW gebruikt in GRAM op regionale schaal.

Op basis van deze bevindingen zal worden geprobeerd een uitspraak te doen over de bruikbaarheid van deze tools voor het berekenen van effecten van hydrologische maatregelen en veranderend klimaat op landbouwkundige gewasopbrengsten.

1.3 WWL-PRODUCTEN

Waterwijzer Landbouw bestaat uit verschillende producten of methodieken, die verschillen in gebruikersgemak voor toepassing maar ook in het detailniveau en onderscheidingsvermogen van de resultaten. Voor een uitgebreide beschrijving verwijzen we naar het rapport 'Opties binnen Waterwijzer Landbouw in 2020. Van WWL-tabel 2.0.0 tot maatwerk met WWL-regionaal' (Mulder et al., 2021). Alle producten zijn te vinden op de website van Waterwijzer Landbouw¹.

De WWL-metarelaties van Waterwijzer Landbouw kunnen relatief eenvoudig worden benaderd met de WWL-tabel. Hiermee is het mogelijk om relatief snel inzicht te krijgen hoe de gewasopbrengst gedurende de klimaatperiodes 1981-2020 en 2036-2065 reageert op hydrologische omstandigheden voor een groot aantal gewassen onder uiteenlopende bodemkundige en meteorologische condities. De hydrologische condities worden gekarakteriseerd door de GHG en GLG.

Om meer grip te krijgen op de modelresultaten is het mogelijk om over te gaan op een maatwerktocpassing met WWL-maatwerk. Voor een specifieke situatie kan het modelinstrumentarium (SWAP-WOFOST) opnieuw worden gedraaid. Door modelinstellingen aan te passen is het mogelijk om beter aan te sluiten op de lokale omstandigheden. Zo kan er gebruik worden gemaakt van lokale meteogegevens, bodemfysica en het grondwaterstandsverloop en kan het modelinstrumentarium worden gedraaid voor een andere periode.

Maatwerk op het niveau van stroomgebieden is mogelijk met WWL-regionaal. Hierbij wordt informatie gebruikt over het landgebruik, bodemtype en een gedetailleerd grondwaterstandsverloop. Hiermee is het bijvoorbeeld mogelijk om aan te sluiten op informatie afkomstig van regionale hydrologische modelberekeningen (zoals bijvoorbeeld 14-daagse grondwaterstandsgegevens). In deze studie wordt deze informatie ontleend aan GRAM.

Doordat het modelinstrumentarium modeluitvoer op dagbasis levert is het mogelijk om de grondwaterstandsverloop en/of vochtcondities te toetsen aan eventuele metingen die zijn gedaan in het veld. Daarnaast is het mogelijk om analyses te doen binnen het groeiseizoen zoals het effect van een korte periode met extreme neerslag of een langdurige droge periode op de gewasontwikkeling.

1.4 AANPAK EN LEESWIJZER

In deze studie worden resultaten van WWL (zowel WWL-tabel als WWL-regionaal) vergeleken met informatie over de toestand van gewassen op basis van groenindex (NDVI)-beelden van de Groenmonitor. De Groenmonitor bevat alleen beelden waaruit de actuele gewastoeestand kan worden afgeleid. Om iets te kunnen zeggen over beïnvloeding van de gewasontwikkeling als gevolg van ongunstige omstandigheden zal er dus een inschatting gemaakt moeten worden van wat de groenindex zou zijn geweest onder optimale omstandigheden (soort potentiële NDVI). In hoofdstuk 2 wordt een toelichting gegeven op wat de Groenmonitor precies is en wat voor soort analysemogelijkheden er zijn.

Voor de validatie hebben we gegevens nodig waarbij alleen of in ieder geval in hoge mate hoofdzakelijk de hydrologie van invloed is op de gewasgroei. In de droge zomers van 2018 – 2020 lijkt dat het geval, dus daarom richten we ons voor de vergelijking tussen WWL-resultaten en Groenmonitor vooral op die jaren.

De vergelijking met de Groenmonitor voeren we uit in het stroomgebied van de Raam. Als basis voor de WWL (en tevens ook de HELP-tabel) ontlelen we de hydrologische omstandigheden uit GRAM. Een beknopte beschrijving van de benodigde gegevens is gegeven in hoofdstuk 3.

De modelresultaten van WWL-regionaal worden in hoofdstuk 4 in eerste instantie vergeleken met NDVI metingen op enkele percelen. Op deze manier kunnen we in detail naar zowel de data van de Groenmonitor als naar de modelresultaten van WWL kijken. Hierbij richten we ons op percelen met gras en snijmais gedurende de periode 2017 – 2020. Bij deze analyse wordt de gesimuleerde gewasontwikkeling (oogstbare product) en de gesimuleerde transpiratiereductie uitgezet tegenover de reductie in de groenindex.

Vervolgens gaan we in hoofdstuk 5 in op de modelresultaten van WWL-regionaal op regionale schaal en de vergelijking met wederom de Groenmonitor. We focussen ons daarbij op een extreem natte periode (2016) en een extreem droge periode (2018).

In hoofdstuk 6 wordt meer aandacht besteed aan de onderlinge vergelijking van de simulatie van relatieve gewasopbrengst. Een vergelijking met de Groenmonitor is dan niet meer mogelijk. In dit geval worden de modelresultaten van de WWL-tabel vergeleken met modelresultaten van GRAM en de HELP-tabel. In de afgelopen jaren wordt door gebruikers vaak gevraagd hoe de WWL zich verhoudt tot de oude HELP-methodiek. Daarom maken we hier de vergelijking. Ook gaan we in op de verschillen tussen de methoden.

Tot slot worden de bevindingen en aanbevelingen van deze studie samengevat in hoofdstuk 7.

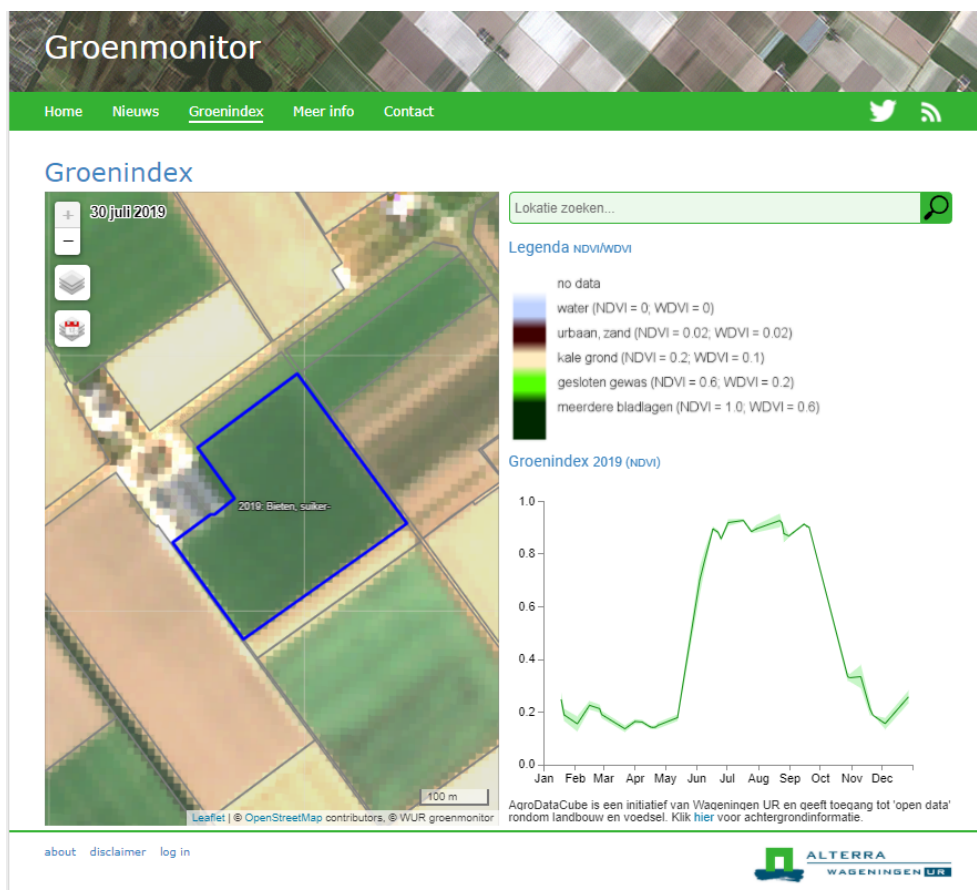
2

GROENMONITOR

2.1 WEBSITE

De Groenmonitor² website geeft de actuele vegetatiekaart van Nederland weer, welke verkregen is uit satellietbeelden. Voor onbewolkte (gedeeltes van) satellietbeelden wordt de groenindex berekend. Hierbij wordt niet alleen de NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) berekend, maar ook de WdVI (Weighted Difference Vegetation Index). De groenindex is een indicator van de hoeveelheid groene biomassa met een waarde tussen de 0 en 1. Groenindex waarden kunnen vertaald worden naar landbouwkundige processen of natuurontwikkeling over de seizoenen. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om per perceel de gewasontwikkeling te volgen zoals in Figuur 2.1 is weergegeven.

FIGUUR 2.1 SCREENSHOT GROENMONITOR WEBSITE. IN DIT GEVAL EEN SUIKERBIETEN PERCEEL WAARVAN HET NDVI VERLOOP IS TE ZIEN IN HET RECHTER FIGUUR IN 2019



² <https://www.groenmonitor.nl>

2.2 NDVI GROENINDEX

Planten, of beter gezegd groene biomassa, absorberen grotendeels het rode zonlicht (Red) middels fotosynthese en reflecteren het merendeel van het nabij-infrarode (NIR) licht. Bij kale bodems (rotsen, zand, geploegd land) is dit verschil veel kleiner. Dit principe wordt gebruikt om een groenindex te berekenen. De meest bekende is de NDVI:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

De NDVI groenindex is een ratio tussen de reflecties van het rode en het NIR licht met waarden tussen 0 en 1, waarbij open water een NDVI groenindex heeft van nul en kale bodems een waarde van ongeveer 0.1. De eerste vegetatie (bijv. grassprietjes die boven de grond komen) geeft waarden van 0.3. Bij 0.6 á 0.7 is het gewas gesloten en een gewas met meerdere bladlagen geeft waarden tot bijna 1.

2.3 SATELLIET BRONNEN

De Groenmonitor maakt gebruik van verschillende satellietbronnen, zie Tabel 2.1. Toen de website in 2012 door WENR werd opgezet, werd voornamelijk gebruik gemaakt van de beelden uit het Nationale Satelliet Dataportaal³ (NSD). In de periode 2013-2016 waren dat voornamelijk beelden van de Disaster Monitoring Constellation (DMC). Naast DMC-beelden werd ook gebruik gemaakt van Landsat beelden. De afgeleide RGB (zogenaamde foto's die natuurlijk getrouwe kleuren tonen van het oppervlak) en NDVI beelden hebben een ruimtelijke resolutie van 25m. In de loop van 2015 en 2016 kwamen langzaam aan beelden van Sentinel-2 beschikbaar en is het NSD gestopt met de inkoop van DMC beelden. Sinds 2018 maakt de Groenmonitor voornamelijk gebruik van Sentinel-2 beelden, aangevuld met Landsat-8. Omdat Sentinel-2 een veel hogere ruimtelijke resolutie heeft, worden de RGB en NDVI/WDVI beelden nu op 10m en 25m afgeleid.

TABEL 2.1

SATELLIETBRONNEN GROENMONITOR

Periode	Satellietbronnen	Resolutie, Product-Level
2013 - 2016	DMC	22m, Level-1 TOA, RGNIR
	Landsat-5 (1984)	30m, Level-1 TOA, RGBNIR
	Landsat-7 (1999)	
	Landsat-8 (2013)	
2017 → heden	Sentinel-2A (2015)	10m, Level-2 BOA, RGBNIR
	Sentinel-2B (2017)	30m, Level-2 BOA, RGBNIR
	Landsat-8 (2013)	

TOA: Top Of Atmosphere: reflectie gemeten aan de top van de atmosfeer

BOA: Bottom Of Atmosphere: reflectie gemeten aan het oppervlak (atmosferische effecten zijn verwijderd)

Vanaf 2017 worden Sentinel-2 en Landsat-7 en 8 satellietbeelden standaard en near real-time verwerkt. Voor de ontsluiting heeft WENR een WMS/WCS web service voor het bekijken van de 10m resolutie RGB, NDVI en WDVI beelden (zie kader hieronder). Onder andere de Groenmonitor website maakt hiervan gebruik. Tevens worden de beelden ontsloten via de AgroDataCube⁴ (ADC), maar dan als perceel gemiddelde informatie (dat wil zeggen tijdseries van NDVI en WDVI). Voor elke satellietopname wordt per BRP perceel (BRP = BasisRegistratiePercelen) het NDVI en WDVI gemiddelde berekend, met de bijbehorende standaardafwijking.

³ <https://www.spaceoffice.nl/nl/satellietdataportaal>

⁴ <https://agrodatacube.wur.nl>

Verwerking en ontsluiting van Sentinel-2 en Landsat-7 en 8 satellietbeelden:

1. Het atmosferisch gecorrigeerde Level-2A product van zowel Sentinel als Landsat wordt gedownload.
2. Wolken en schaduwen worden gedetecteerd en gemaskeerd op basis van een AI-algoritme. Hierna volgt altijd nog een manuele screening op kwaliteit en indien nodig een manuele wolken/schaduw maskering (soms nodig bij sluierbewolking).
3. Van Sentinel-2 beelden wordt een RGB beeld (zogenaamde 'foto') afgeleid waar landoppervlak in natuurgetrouwe kleuren zichtbaar is (10m resolutie, UTM31N).
4. Van Sentinel-2 beelden wordt een NDVI en WDI beeld afgeleid op basis van band 4 (Rood) en band 8 (NIR) (10m resolutie, UTM31N).
5. De 10m beelden (RGB, NDVI en WDI) worden in de WMS en WCS webservices gezet.
6. De NDVI en WDI beelden van Sentinel-2 (10m) worden geresampled en geherprojecteerd naar 25m resolutie, in nationale Rijksdriehoekstelsel (RD) projectie.
7. Landsat beelden worden gekalibreerd naar het kortst voorafgaande Sentinel-2 beeld (omdat de atmosferisch gecorrigeerde L2A producten van beide satellieten in de praktijk toch niet exact overeen blijken te komen).
8. Van Landsat beelden wordt een NDVI en WDI beeld afgeleid o.b.v. band 4 (Rood) en band 5 (NIR) en geherprojecteerd naar 25m resolutie, RD projectie.
9. Van de consistente reeks van NDVI en WDI groenindex beelden wordt het gemiddelde en de standaardafwijking berekend per beeld en per BRP-perceel aan de AgroDataCube toegevoegd. Waarbij alleen de 'pure' pixels worden meegenomen, dat wil zeggen pixels die 100% binnenin een perceel vallen.

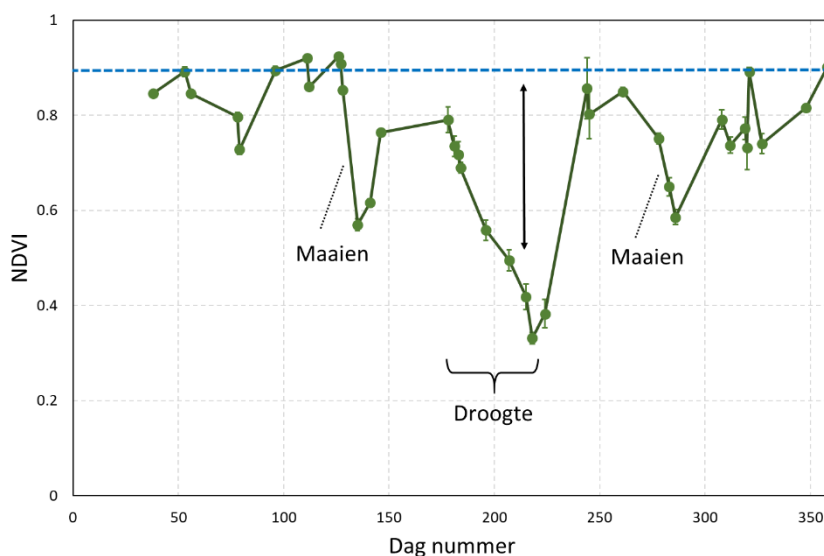
2.4 TOEPASSINGEN VAN DE GROENMONITOR

De verandering van de groenindex (NDVI) door het jaar heen laat zien hoe het groeiseizoen verloopt en wat de invloed is van weersomstandigheden en menselijke activiteiten op de groei van het gewas. Hieronder worden een aantal praktijkvoorbeelden getoond waarin dat is te zien, en waarmee tevens wordt aangetoond dat de Groenmonitor zeer geschikt is voor allerlei toepassingen. Deze praktijkvoorbeelden zijn niet gekoppeld aan de validatie of het studiegebied de Raam.

Figuur 2.2 toont de NDVI-tijdserie van een grasland perceel (de groene bolletjes tonen de perceelgemiddelde NDVI, de foutenbalkjes geven de standaard deviatie aan). Als (productie) grasland goed voorzien is van water en nutriënten, geen last heeft van ziektes en de boer geen managementactiviteiten (zoals maaien en scheuren) uitvoert, dan zal gras een behoorlijk constante NDVI hebben gedurende het jaar van rond de 0.9 (de blauwe stippellijn). In de praktijk is dat niet altijd het geval. In de meeste gevallen wordt gras regelmatig gemaaid. Dit zogenaamde 'haaiantand-patroon' is zichtbaar als een plotseling snelle daling van de NDVI gevolgd door een langzaam herstel.

FIGUUR 2.2

VOORBEELD VAN NDVI-TIJDSERIE VAN EEN GRASLANDPERCEEL MET MAAIACTIVITEITEN EN DROOGTESTRESS, GROENE BOLLETJES TONEN DE PERCEELGEMIDDELDE NDVI-WAARDE EN DE FOUTENBALKJES GEVEN DE STANDAARD DEVIATIE AAN

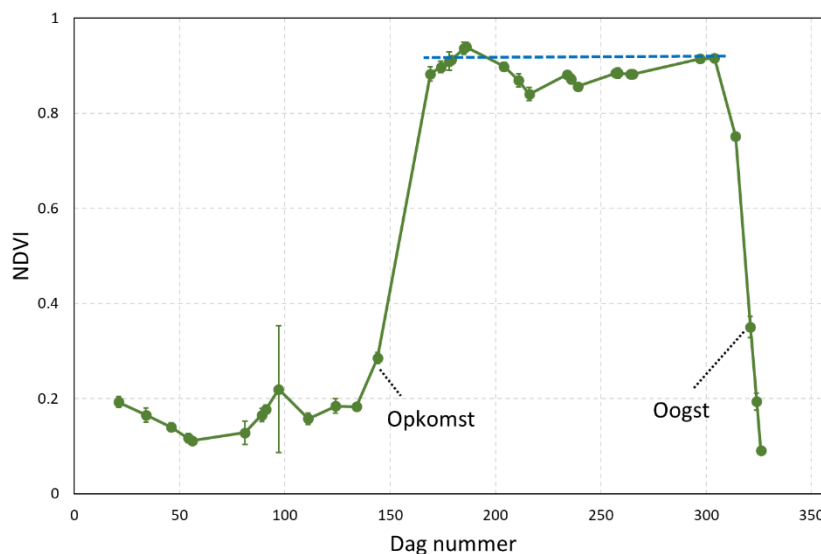


Daarnaast komen ook in Nederland regelmatig periodes van droogte voor (zomers van 2018 en 2019), waarbij met name voor zandgronden, gras behoorlijk last kan hebben van droogtestress. Dat effect is duidelijk terug te zien in het NDVI-signaal. Met name als de droogte significant is en enige tijd (weken) duurt, dan zal de NDVI langzaam afnemen totdat er weer voldoende vocht in de bodem is en het gras zich kan herstellen. Zo'n periode van droogte en bijbehorende stress is goed zichtbaar in de Figuur 22 over de periode dag nummer 175 t/m 225: de NDVI neemt langzaam af tot een waarde van circa 0.3, waarna het langzaam weer herstelt omdat er voldoende regen is gevallen.

Ook bij andere landbouwgewassen is de invloed van het weer en management duidelijk zichtbaar in het NDVI-signaal. Figuur 23 laat de NDVI-tijdserie zien van een suikerbieten-perceel. In eerste instantie is het perceel kaal (NDVI rond 0.2), totdat rond dag nummer 150 het gewas langzaam opkomt. Zodra het gewas (bovengronds) is volgroeid bereikt het een waarde van circa 0.9. Het is te zien dat de hoge NDVI waarden aanhouden totdat het gewas rond dag 325 wordt geoogst. Omdat de NDVI gedurende het groeiseizoen behoorlijk stabiel is gebleven kunnen we afleiden dat de gewasontwikkeling onder gunstige omstandigheden heeft plaatsgevonden.

FIGUUR 2.3

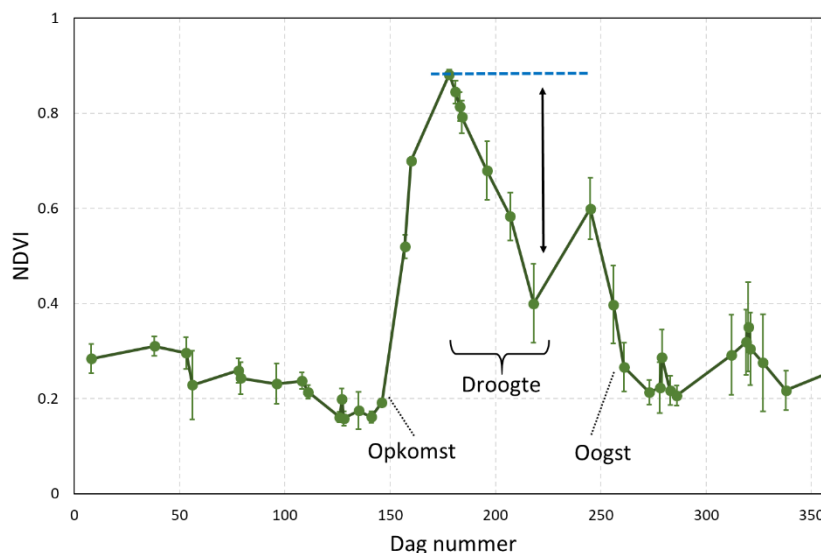
VOORBEELD NDVI-TIJDSERIE VAN EEN SUIKERBIETENPERCEEL ONDER GUNSTIGE OMSTANDIGHEDEN, GROENE BOLLETJES TONEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE EN DE FOUTENBALKJES GEVEN DE STANDAARD DEVIATIE AAN



Figuur 2.4 laat een voorbeeld zien waarbij duidelijk geen sprake is van gunstige omstandigheden. In dit geval betreft het een maisperceel van 2018, dat volgens schema rond dag nummer 150 opkomt en zich goed ontwikkelt tot circa dag 175 (de NDVI nadert de waarde van 0.9). De zomer van 2018 staat bekend als een zeer droge. Ook dit perceel ontkwam daar niet aan. Vanaf het moment dat het gewas zijn maximale NDVI bereikt begint de NDVI langzaam en gestaag af te nemen tot een waarde van 0.4, waarna het zich nog enigszins kan herstellen maar niet voldoende, totdat rond dag 250 het gewas wordt geoogst.

FIGUUR 2.4

VOORBEELD NDVI-TIJDSERIE VAN EEN MAISPERCEEL MET DROOGTESTRESS, GROENE BOLLETJES TONEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE EN DE FOUTENBALKJES GEVEN DE STANDAARD DEVIATIE AAN

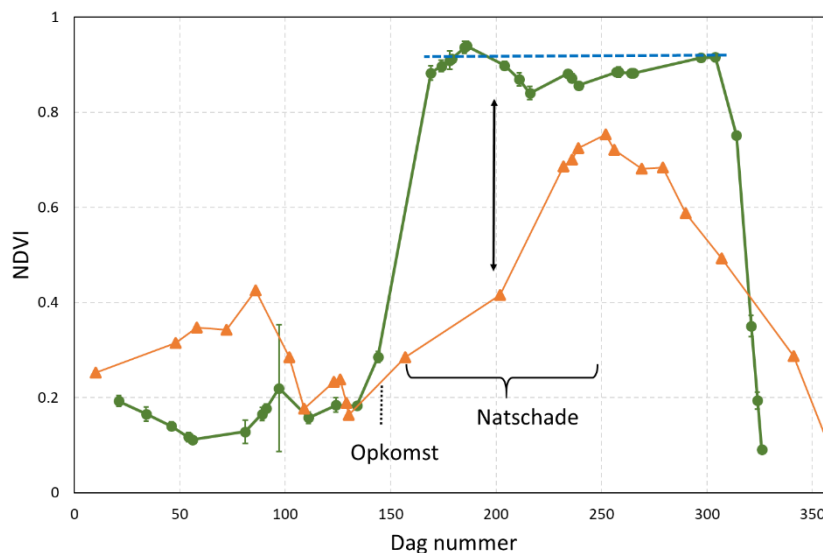


Een gewas kan ook stress ondervinden als gevolg van wateroverlast, dat vervolgens ook is terug te zien in het NDVI-sigitaal. Dat is te zien in Figuur 2.5. In een korte periode viel er extreem veel neerslag (met name in het beheergebied van waterschap Aa en Maas). Dit leidde tot veel overlast waarbij veel percelen last hadden van overtollig water, op het moment dat veel gewassen opkwamen. Voor percelen waar de wateroverlast extreem was, had dit als gevolg

dat het gewas een behoorlijke achterstand opliep en eigenlijk niet meer goed kon herstellen, zoals het suikerbietenperceel in Figuur 2.5 (oranje curve). Ter vergelijking is een NDVI-tijdserie getoond van een bietenperceel onder gunstige omstandigheden (groene curve).

FIGUUR 2.5

VOORBEELD NDVI-TIJDSERIE VAN EEN BIETENPERCEEL MET WATEROVERLAST (ORANJE) EN EEN BIETEN PERCEEL ONDER GUNSTIGE OMSTANDIGHEDEN (GROEN), GROENE BOLLETJES EN ORANJE DRIEHOEKJES TONEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE EN DE FOUTENBALKJES GEVEN DE STANDAARD DEVIATIE AAN



Bovenstaande figuren zijn voorbeelden die laten zien dat de NDVI-informatie van de Groenmonitor voor allerlei toepassingen gebruikt kan worden. Een aantal voorbeelden daarvan zijn:

- Monitoren van (landbouw)gewassen: Monitoren van opkomst en oogst (bijvoorbeeld bouwland monitoring⁵). Wanneer de opkomst- en oogstmomenten van alle gewassen en percelen in Nederland bekend zijn is het mogelijk om ruimtelijke en statistische analyses te maken. In welke gebieden zijn de gewassen eerder opgekomen? Is de opkomst of oogst eerder of later dan gemiddeld?
- Monitoren van graslanden: Detectie van maaien en scheuren. Wanneer en hoe vaak wordt een graslandperceel gemaaid? Een overzicht van welke graslanden wanneer en hoe vaak gemaaid worden kan helpen bij het in kaart brengen van natuurlijke en productiegraslanden. Daarnaast kan het helpen bij de controle van Agrarisch Natuur- en Landschapsbeheer (ANLb) beheerpakketten zoals uitgesteld maaibeheer.
- Precisielandbouw: De 10m resolutie beelden zijn zeer bruikbaar voor het in kaart brengen van locatie-specifieke behoeftes binnen percelen. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om van het NDVI-beeld een taakkaart af te leiden ten behoeve van loofddoding bij aardappelen (bijvoorbeeld Akkerweb⁶).
- Monitoren van nat/droogte schade van (landbouw)gewassen: Als gevolg van verkeerd management, het weer (droogte, wateroverlast), plagen (ziektes, ongedierte zoals muizen/ganzen) kan het gewas schade ondervinden dat terug is te zien in de NDVI van het gewas.

5 <https://www.groenmonitor.nl/news/bouwland-monitoring-service>

6 <https://akkerweb.eu/nl-nl/Applicaties/Teler-en-veehouder/satelliet>

3

STROOMGEBIED DE RAAM

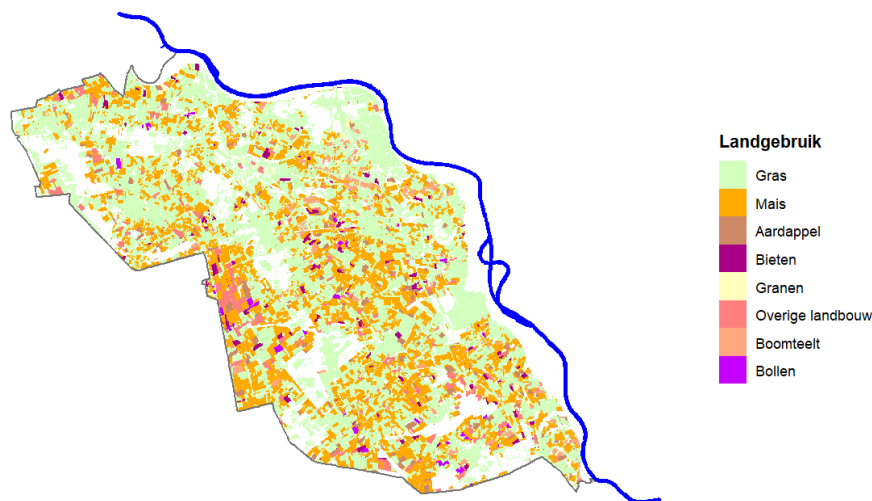
In deze studie worden resultaten van WWL (zowel WWL-tabel als WWL-regionaal) vergeleken met NDVI-beelden van de Groenmonitor. Daarnaast wordt ook een vergelijking gemaakt met resultaten verkregen met GRAM en met de HELP-tabel. Zowel voor het toepassen van WWL als HELP is informatie nodig over landgebruik, beregeningslocaties, bodemtype, grondwaterverloop en meteorologie. Deze studie richt zich op het stroomgebied van de Raam waarbij deze informatie ontleend wordt aan GRAM. Hieronder zal kort ingegaan worden op de bovengenoemde invoergegevens voor het bepalen van de relatieve gewasopbrengst. In eerste instantie wordt de uitgangssituatie beschreven van GRAM. Daar waar nodig wordt een toelichting gegeven hoe de invoergegevens worden gebruikt in WWL of de HELP. De verschillen tussen de WWL en de HELP worden besproken bij de vergelijking in hoofdstuk 6.

3.1 LANDGEBRUIK

Het agrarisch landgebruik in het stroomgebied van de Raam bestaat hoofdzakelijk uit gras (54%) en mais (34%), zie Figuur 3.1. Daarnaast zijn er nog enkele percelen met consumptieaardappelen (3%), bieten (2%), granen (2%), bollen (< 1%), boomteelt (< 1%) en overige landbouwgewassen (4%).

FIGUUR 3.1

LANDGEBRUIK (WWL) IN HET STROOMGEBIED VAN DE RAAM



Voor een beperkt aantal gewassen zijn de gewasparameters bekend die nodig zijn voor de modelberekeningen. MetaSWAP werkt daarom met gidsgewassen: een gewas dat representatief wordt geacht voor een grotere groep gewassen (zie Tabel 3.1). Zo wordt de categorie overige landbouw bijvoorbeeld gesimuleerd met het gidsgewas aardappel.

TABEL 3.1

VERTALING LANDGEBRUIKSVORMEN

GRAM	Gidsgewas
Gras	Gras (maaaien) ¹
Mais	Snijmais ¹
Aardappelen	Consumptieaardappelen ¹
Bieten	Suikerbieten ¹
Granen	Zomergerst ¹
Overige landbouw	Aardappelen ¹
Bollen	Bollen
Boomteelt	Boomteelt
Fruïtkwekerijen	Aardappelen ¹

¹ gesimuleerd met WOFOST

Een groot deel van de landbouwkundige gewassen kan worden gesimuleerd met het dynamische gewasgroeimodel WOFOST. Uitzondering hierop zijn bollen en boomteelt. Deze gewassen worden gesimuleerd met een statische gewasgroeimodule. Dat houdt in dat de gewasontwikkeling wordt opgelegd en, in tegenstelling tot dynamische gewasgroei, niet wordt beïnvloed door ongunstige omstandigheden zoals bijvoorbeeld droogtestress.

Waterwijzer Landbouw

Voor het toepassen van de WWL (alle WWL-producten) moeten de gewassen zoals die in GRAM zijn gebruikt worden 'vertaald'. Voor de meeste landgebruiksvormen betreft het een voor de hand liggende vertaling, zie Tabel 3.2. Een uitzondering hierop is de categorie overige landbouwgewassen. Voor deze categorie wordt de relatieve gewasopbrengst bepaald met zaai-uien.

TABEL 3.2

VERTALING LANDGEBRUIK (WWL)

Model	WWL
Gras	Gras (maaaien)
Mais	Snijmais
Aardappelen	Consumptieaardappelen
Bieten	Suikerbieten
Granen	Zomergerst
Overige landbouw	Zaai-uien
Bollen	Tulp
Boomteelt	Appelbomen
Fruïtkwekerijen	Appelbomen

HELP

Een vergelijkbare actie moet gedaan worden voor het toepassen van de HELP-tabel, zie Tabel 3.3. Voor het landgebruik gras is ervoor gekozen om de relatieve gewasopbrengst te bepalen met gras zonder kosten van herinzaai. Voor fruïtkwekerijen wordt in HELP boomteelt gehanteerd. De categorie overige landbouw is vertaald naar grove zomergroenten. Vertaling van overige landgebruiksvormen spreken voor zich.

TABEL 3.3

VERTALING LANDGEBRUIK (HELP-TABEL)

Model	HELP
Gras	Gras (zonder herinzaai)
Mais	Snijmais
Aardappelen	Aardappelen
Bieten	Suikerbieten
Granen	Granen
Overige landbouw	Grove zomergroenten
Bollen	Bloembollen
Boomteelt	Boomteelt
Fruitlekerijen	Boomteelt

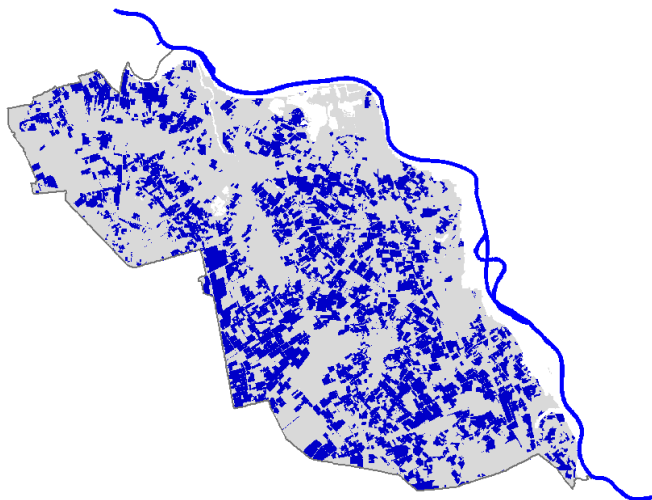
3.2 BEREGENINGSLOCATIES

Welke percelen worden beregend is niet in bestanden vastgelegd. Daarom heeft waterschap Aa en Maas op basis van de door de boeren opgegeven hoeveelheden beregening in 2019 en de locaties van putten een inschatting gemaakt welke percelen worden beregend, zie Figuur 3.2. Daarbij zijn deze opgaves via het puttenbestand en informatie van het kadaster gekoppeld aan de percelen. Het betreft een benadering die niet geheel zal kloppen met de werkelijkheid.

Voor het toepassen van WWL of HELP is het alleen van belang of er beregend wordt of niet. Bij beide methoden wordt er vanuit gegaan dat er geen restrictie is op de hoeveelheid beregening (er wordt bijvoorbeeld geen rekening gehouden met een beregeningsverbod). Wel wordt er rekening mee gehouden dat niet alle droogtestress kan worden voorkomen, omdat in de praktijk volledig optimale beregening niet waarschijnlijk is. Niet alle percelen kunnen tegelijk beregend worden en de beregeningsgift wordt niet altijd precies afgestemd op de watervraag van het gewas.

FIGUUR 3.2

PERCELEN MET BEREGENING IN HET STROOMGEBIED VAN DE RAAM



Waterwijzer Landbouw

In de WWL (alle producten) wordt enige mate van droogtestress toegestaan voordat wordt beregend. Indien de transpiratiereductie over een dag meer dan 15% is, wordt er een beregeningsgift gesimuleerd van 20 mm. Na een beregeningsgift wordt er gedurende een periode van 7 dagen geen volgende beregening toegestaan.

HELP

Als een perceel is wordt berekend, wordt in de HELP-tabel de droogteschade eenvoudigweg met 80% gereduceerd.

3.3 BODEMTYPE

GRAM maakt gebruik van bodemeenheden welke gebaseerd zijn op de Bodemkaart van Nederland⁷ (2020; schaal 1:50.000). Zodoende kan er gebruik worden gemaakt van 368 unieke bodemprofielschetsen met beschrijvingen van het bodemprofiel tot 1.2 m-mv (De Vries, 1999). De bodemprofielen zijn opgebouwd uit bodemhorizonten. Per bodemhorizont zijn bodemfysische bouwstenen van de Staringreeks (Heinen et al., 2020) beschikbaar. In Figuur 3.3 zijn de bodemeenheden weergegeven voor het stroomgebied van de Raam. In totaal komen er 85 verschillende bodemeenheden voor bestaande uit voornamelijk zandgronden (85%). In het noorden van het stroomgebied komen langs de Maas kleigronden voor (14%) en op enkele plekken komen nog veen en moerige gronden voor (1%).

Waterwijzer Landbouw

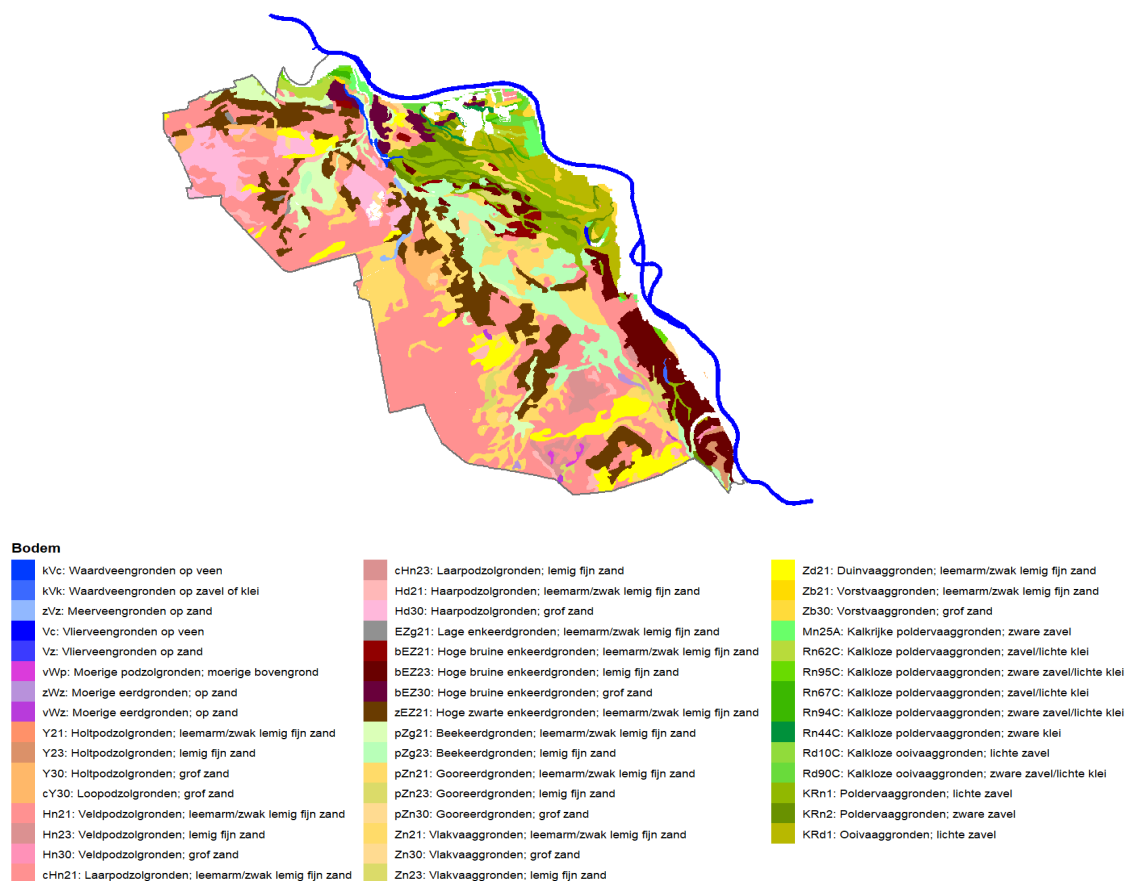
De in de WWL-tabel gebruikte WWL-metarelaties (versie 3.0.0) zijn afgeleid voor clusters van de bovengenoemde bodemeenheden: BOFEK 2020 (Heinen et al., 2021). Op basis van acht fysische kengetallen zijn de 368 bodemprofielen geclusterd waarbij bodemprofielen in hetzelfde cluster vergelijkbare fysische eigenschappen bezitten. BOFEK 2020 onderscheidt 79 bodemclusters. Per bodemcluster wordt het naar areaal gewogen dominante bodemprofiel gebruikt voor het afleiden van WWL-metarelaties. In het stroomgebied van de Raam komen 35 verschillende BOFEK-eenheden voor.

Bij het toepassen van WWL-regionaal wordt aangesloten op de bodemschematisering van GRAM.

⁷ <https://basisregistratieondergrond.nl/inhoud-bro/registratieobjecten/modellen/bodemkaart-sgm>

FIGUUR 3.3

BODEMEENHEDEN IN HET STROOMGEBIED VAN DE RAAM (BODEMKAART VAN NEDERLAND SCHAAL 1:50.000), OMWILLE VAN HET AANTAL BODEMEENHEDEN IS DE LEGENDA ENIGSZINS VERSIMPELD



HELP

Bij de HELP methodiek worden 72 verschillende bodemeenheden onderscheiden voor heel Nederland. Op basis van de beschrijving van de bodemeenheden van de Bodemkaart van Nederland kan een koppeling worden gemaakt naar één van de 72 bodemeenheden van de HELP-tabel⁸. De HELP-bodemeenheden kunnen niet 1:1 worden herleid naar de BOFEK-bodemeenheden. In het stroomgebied van de Raam komen 31 verschillende HELP-bodemeenheden voor.

3.4 GRONDWATERVERLOOP

Met GRAM is een simulatie uitgevoerd voor de periode 2002 tot en met 2020. Voor deze periode zijn de grondwaterstandskarakteristieken GHG en GLG afgeleid, zie Figuur 3.4. Langs de noordoostkant van het studiegebied is de hydrologische situatie relatief droog met grondwaterstanden dieper dan 2 m-mv hetgeen veroorzaakt wordt door de drainerende werking van de Maas. Andere locaties in het studiegebied waar voornamelijk diepe grondwaterstanden voorkomen (> 2m-mv) gaan veelal gepaard met bos als landgebruik en zijn derhalve van minder belang in deze studie. In het stroomgebied de Raam komen ook relatief natte omstandigheden voor, deze bevinden zich met name in het beekdal van de Raam met uitschieters van Gt I en II, zie Figuur 3.5.

⁸ Hoewel er 72 verschillende HELP-bodemeenheden beschikbaar zijn, worden slechts 50 unieke HELP-bodemeenheden gekoppeld indien alle bodemeenheden van de Bodemkaart van Nederland worden vertaald.

Waterwijzer Landbouw

De WWL-tabel kan gebruik maken van verschillende versies van de WWL-metarelaties. In deze studie gebruiken we WWL-metarelaties versie 3.0.0. Resultaten van de WWL-metarelaties worden opgevraagd op basis van grondwaterstandskarakteristieken GHG en GLG.

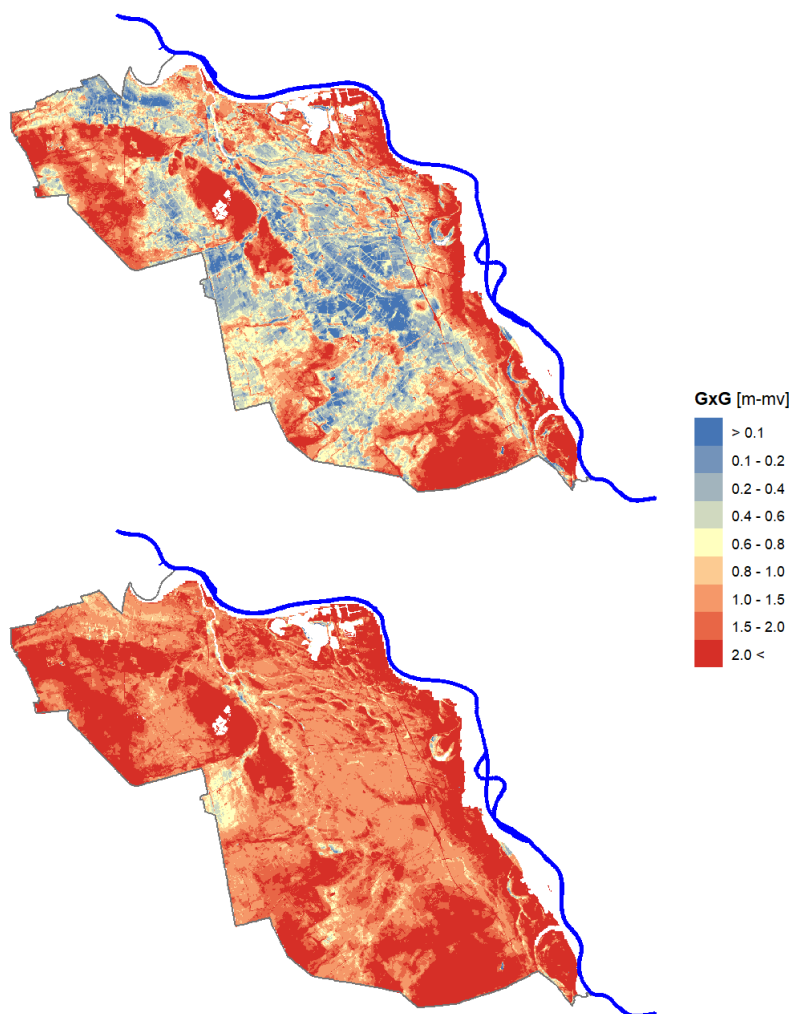
Bij WWL-regionaal wordt gebruik gemaakt van het grondwaterstandsverloop. In deze studie is gekozen om de grondwaterstand op de 14^{de} en 28^{ste} van de maand als onderrand op te leggen in de vorm van een drukhoogte⁹.

HELP

De HELP-tabel wordt net als de WWL-tabel aangestuurd met grondwaterstandskarakteristieken GHG en GLG.

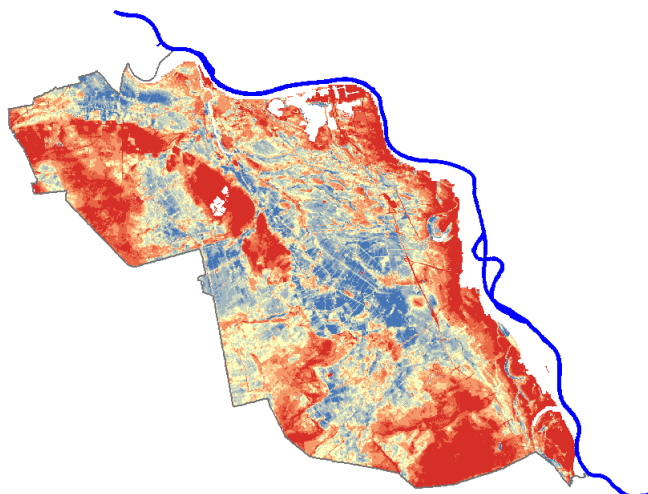
FIGUUR 3.4

GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN GHG (BOVEN) EN GLG (ONDER) BEPAALD OVER DE PERIODE 2002 – 2020 (BRON: GRAM)



9 De met GRAM gesimuleerde grondwaterstandsverloop kan op verschillende manieren worden verdisconteerd als onderrandvoorwaarde, denk bijvoorbeeld aan een drukhoogte of een stijghoogte waarbij de onderrandvoorwaarde dagelijks of om de circa 14 dagen wordt voorgeschreven. Omwille van de hoeveelheid dataverwerking is in deze studie gekozen voor een 14 daagse onderrandvoorwaarde in de vorm van een drukhoogte. Een gedetailleerdere onderrandvoorwaarde zal naar verwachting de resultaten nauwelijks beïnvloeden (zie ook Mulder et al., 2021).

FIGUUR 3.5 GRONDWATERTRAPPEN BEPAALD OVER DE PERIODE 2002 – 2020 (BRON: GRAM)

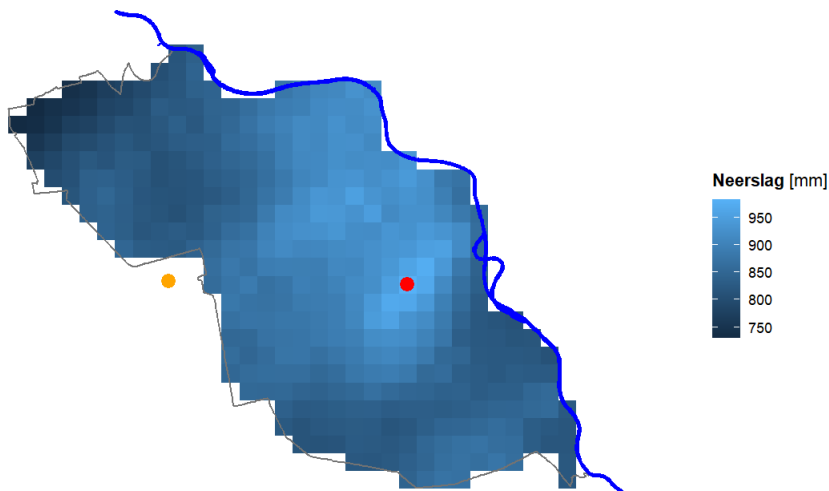


3.5 METEOROLOGIE

De in GRAM gebruikte meteorologische condities zijn, met uitzondering van neerslag, afkomstig van verschillende weerstations. Straling, temperatuur, luchtvochtigheid en wind worden met behulp van Thiessen-polygonen toegekend aan elke locatie in het model (met een resolutie van 1 km). Dat wil zeggen dat aan elke locatie in het modelgebied de meteorologische condities worden toegekend van het dichtstbijzijnde weerstation. Voor het stroomgebied van de Raam komt het erop neer dat de meteorologische condities afkomstig zijn van het weerstation Volkel.

Voor het toekennen van de hoeveelheid neerslag aan elke rekeneenheid van GRAM wordt gebruik gemaakt van neerslaggegevens afkomstig van weerstations in combinatie met radarbeelden. Dit zorgt ervoor dat de hoeveelheid neerslag voor elke locatie verschilt, zie Figuur 3.6. De radarbeelden zijn gekalibreerd met behulp van de door de neerslagstations gemeten dagelijkse neerslaghoeveelheden. De radarbeelden bevatten onzekerheden die met name bij extreme gebeurtenissen groot (tot tientallen mm) kunnen zijn. Dat impliceert dat met name bij potentiële wateroverlastsituaties met schade aan de gewassen tot gevolg rekening moet worden gehouden met niet altijd/overall even goede simulatieresultaten.

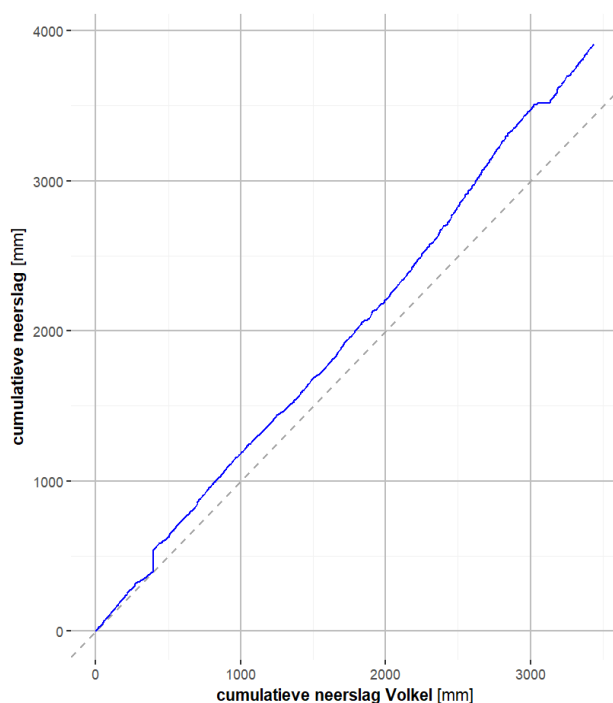
FIGUUR 3.6 RUIMTELIJKE VERDELING VAN DE NEERSLAG IN 2016 MET EEN RESOLUTIE VAN 1 KM; IN ORANJE IS DE LOCATIE VAN HET WEERSTATION VOLKEL WEERGEGEVEN EN IN ROOD DE LOCATIE MET DE MEESTE HOEVEELHEID NEERSLAG



Waterwijzer Landbouw

Bij het toepassen van WWL-regionaal wordt gebruik gemaakt van het weerstation Volkel ten behoeve van de meteorologische condities, en zo ook voor de neerslaggegevens. Lokaal kunnen de neerslaghoeveelheden behoorlijk afwijken. In Figuur 3.7 is de cumulatieve neerslag van de locatie met de hoogste neerslaghoeveelheid in het stroomgebied van de Raam (rode punt in Figuur 3.6) uitgezet tegenover neerslaghoeveelheden van het weerstation Volkel. In totaal valt er op deze locatie circa 475 mm meer neerslag dan is gemeten bij het weerstation. Twee momenten vallen op in Figuur 3.7 waarbij er aanzienlijk meer (verticale verschuiving) en minder (horizontale verschuiving) neerslag is gevallen ten opzichte van het weerstation. Zo valt er ter plaatste van het rode punt op 2 juni 2016 125 mm neerslag terwijl er op deze dag geen neerslag wordt geregistreerd bij het weerstation. Op 26 juni 2020 wordt er op het weerstation meer neerslag gemeten dan ter plaatse van het rode punt (86 om 4 mm). In beide gevallen gaat het om zomerse buien die zeer lokaal kunnen optreden.

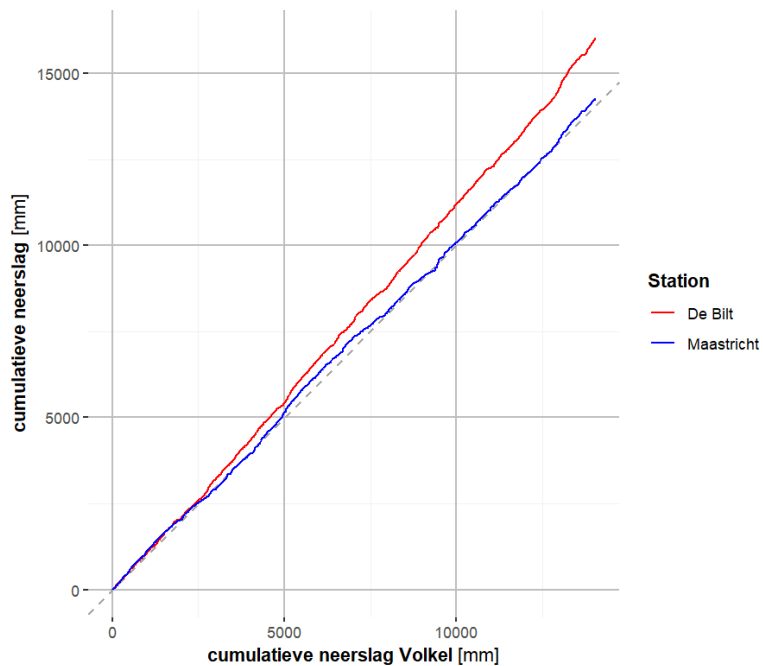
FIGUUR 3.7 CUMULATIEVE NEERSLAG BEPAALD OVER DE PERIODE 2016 – 2020 TER PLAATSE VAN DE LOCATIE WAAR IN 2016 DE MEESTE NEERSLAG IS GEVALLEN UITGEZET TEGEN HET WEERSTATION VOLKEL



Bij het toepassen van de WWL-tabel kan gekozen worden uit vijf verschillende weerstations: De Kooy, De Bilt, Eelde, Vlissingen en Maastricht. De Bilt en Maastricht zijn voor de hand liggende keuzes voor de Raam. Geografisch gezien ligt het weerstation van De Bilt het dichtste bij het studiegebied (circa 60 km tegenover 85 km voor Maastricht), maar qua hoeveelheid gemeten neerslag lijkt Maastricht beter overeen te komen met Volkel, zie Figuur 3.8. Bij de toepassing van de WWL-tabel is daarom gekozen om de meteorologische condities van het weerstation Maastricht te gebruiken.

FIGUUR 3.8

CUMULATIEVE NEERSLAG BEPAALD OVER DE PERIODE 2002 – 2020 VAN HET WEERSTATION DE BILT EN MAASTRICHT UITGEZET TEGEN HET WEERSTATION VOLKEL



HELP

De HELP-tabel onderscheidt in Nederland vier verschillende klimaatzones op basis van neerslagoverschot, zie Figuur 3.9.

FIGUUR 3.9

KLIMAATZONES IN NEDERLAND VOLGENS HELP-METHODIEK (BAKEL ET AL., 2009)



De dervingfracties voor droogteschade van HELP-tabellen zijn afgeleid voor zone C. Voor het bepalen van de droogteschade in overige zones wordt de schade van zone C vermenigvuldigd met een waarde van 1.3 voor zone A, 1.1 voor zone B en 0.9 voor zone D. Voor het bepalen van de dervingfractie van wateroverlast wordt geen gebruik gemaakt van deze factoren.

Bij het toepassen van de HELP als nabewerking op regionale hydrologische modellen wordt meestal geen gebruik gemaakt van de verschillende klimaatzones. Zo ook in deze studie niet.

4

RESULTATEN OP LOKALE SCHAAL

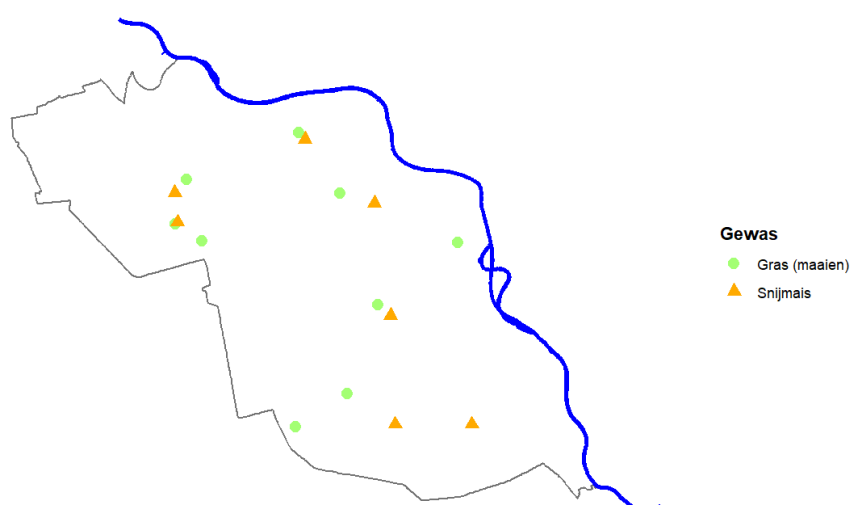
De relatieve gewasopbrengst gesimuleerd met het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST wordt in eerste instantie vergeleken met NDVI metingen op enkele percelen waarbij we ingaan op situaties met en zonder beregening. Eerst wordt kort de werkwijze van de vergelijking beschreven, daarna worden de resultaten gepresenteerd.

4.1 WERKWIJZE VERGELIJKING

In totaal zijn er voor deze studie 16 percelen geselecteerd waarbij rekening gehouden is met de aanwezigheid van bodemvochtmetingen op of naast het perceel dan wel grondwaterstandsmetingen in de buurt van het perceel (zie Figuur 4.1). Bij de vergelijking richten we ons op de periode 2017 tot en met 2020 en op de gewassen gras en snijmais. Daarnaast is geprobeerd om rekening te houden met variatie in de hydrologische omstandigheden (van Gt V tot Gt VII).

FIGUUR 4.1

SELECTIE PERCELEN IN HET STROOMGEBIED VAN DE RAAM VOOR DE VERGELIJKING MET DE GROENMONITOR



Met behulp van WWL-regionaal worden voor de geselecteerde percelen SWAP-WOFOST modellen gedraaid. Hierbij zijn de modelinstellingen grotendeels gebaseerd op de aansturing van het modelinstrumentarium zoals deze is gehanteerd bij het afleiden van de WWL-metarelaties 3.0.0 (zie website van Waterwijzer Landbouw¹ voor meer informatie). Uitzondering hierop is de bodemschematisering die net als bij het regionale model GRAM gebaseerd is op de Bodemkaart van Nederland. Als onderrand zijn de gesimuleerde grondwaterstanden op de 14^{de} en 28^{ste} dag van de maand opgelegd in de vorm van een drukhoogte. De meteorologische condities zijn afkomstig van het nabij gelegen weerstation Volkel.

Bij regionale modellering wordt vaak geen rekening gehouden met gewasrotatie. Ook in deze studie wordt gedurende de gehele simulatieperiode één enkel gewas verondersteld. Vaak komt dit niet overeen met de praktijksituatie. De vergelijking met de Groenmonitor kan alleen worden gemaakt indien zowel in de praktijk als in het model hetzelfde gewas wordt gehanteerd.

Het is belangrijk om te realiseren dat de Groenmonitor alleen beelden van de groenindex bevat waaruit de actuele gewastoestand kan worden afgeleid. Om te kunnen beoordelen of een gewas door ongunstige omstandigheden is beïnvloed moet er een inschatting worden gemaakt van de groenindex onder optimale omstandigheden. Een dergelijke inschatting kan gemaakt worden door NDVI-beelden te gebruiken van andere (meer gunstige) weerjaren of NDVI-data van andere locaties waarvan bekend is dat er geen stress is. Aan het gebruik van andere weerjaren als referentie voor het bepalen van de reductie in groenindex kleven een aantal nadelen. Temperatuur speelt bij snijmais bijvoorbeeld een belangrijke rol in het moment van gewasopkomst. Dit kan ertoe leiden dat de NDVI-tijdserie verschuift per jaar. Een vertraging in de gewasopkomst als gevolg van een koud voorjaar komt tot uiting als een reductie van de groenindex indien de referentie deze vertraging niet heeft. De reductie in de groenindex zegt in dat geval niets over beïnvloeding van ongunstige hydrologische omstandigheden. Bij grasland zorgen maaimomenten of momenten dat begrazing plaatsvindt voor een reductie van de groenindex. Zie hiervoor ook de voorbeelden in hoofdstuk 2.

In deze studie is er daarom voor gekozen om naar een specifieke periode in het jaar te kijken waarin we kunnen veronderstellen dat de NDVI redelijk stabiel is, dus een constante vaste waarde heeft. In deze studie nemen we als vaste waarde, de optimale groenindex, het 90% percentiel van de NDVI-beelden. Dit komt overeen met een NDVI waarde van 0.9 voor zowel grasland als snijmais. In droge jaren gaan we ervan uit dat deze waarde overeenkomt met een situatie die optimaal van vocht (alsmede nutriënten) is voorzien. We noemen dit 'potentieel' in de navolgende figuren. Bij grasland kijken we naar de periode van begin april tot eind oktober (oogstperiode). Bij snijmais is deze periode aanzienlijk korter, namelijk van half juli tot half augustus (zie bv Figuur 2.3, 2.4 en 2.5). Dit vanwege de latere opkomst van het gewas en de eerdere afrijping van het gewas mais.

Aan de hand van de reductie in de groenindex ten opzichte van de potentiële waarde is het goed mogelijk om perioden van ongunstige omstandigheden te identificeren. Bij grasland kan bijvoorbeeld een maaisnede tijdelijk leiden tot een reductie in de groenindex. Maar is er sprake van reductie in opeenvolgende beelden van de NDVI, dan duidt dit op ongunstige omstandigheden. Vooral in geval van langdurige droogte zal dit goed tot uiting komen. Als er na een droge periode weer neerslag valt zal het gewas zich weer herstellen wat zal leiden tot een toename van de groenindex (zie bv Figuur 2.2).

Hoewel het mogelijk is om perioden van ongunstige omstandigheden te identificeren is het lastig om op basis hiervan een inschatting te maken van de reductie in het oogstbare product aan het einde van het groeiseizoen. De validatiestudie zal zich daarom vooral richten op de momenten waarop er reductie zichtbaar is in de groenindex dan wel een reductie zichtbaar is als gevolg van de gesimuleerde gewasopbrengst en transpiratiereductie. Het gaat in dit geval dus om een vergelijking van de timing van veranderingen en eigenlijk om verschillende grootheden. De groenindex is immers geen directe maat voor biomassa, gewasgroei of oogstbaar product.

4.2 RESULTATEN GRASLAND

Voor 9 percelen worden resultaten getoond met grasland als dominant gewas, zie Tabel 4.1. Op twee percelen zijn bodemvochtmetingen beschikbaar en van vier percelen wordt verondersteld dat er berekening plaatsvindt.

TABEL 4.1 PERCELEN MET GRAS; IN HET GROEN IS AANGEGEVEN VOOR WELKE JAREN EEN VERGELIJKING GEMAAKT KAN WORDEN MET DE GROENMONITOR

Perceel	Gt	2017	2018	2019	2020
G1 ²	VII				
G2	V				
G3	V				
G4	VII				
G5	VII				
G6 ^{1,2}	V				
G7 ¹	V				
G8 ¹	VII				
G9 ¹	VII				

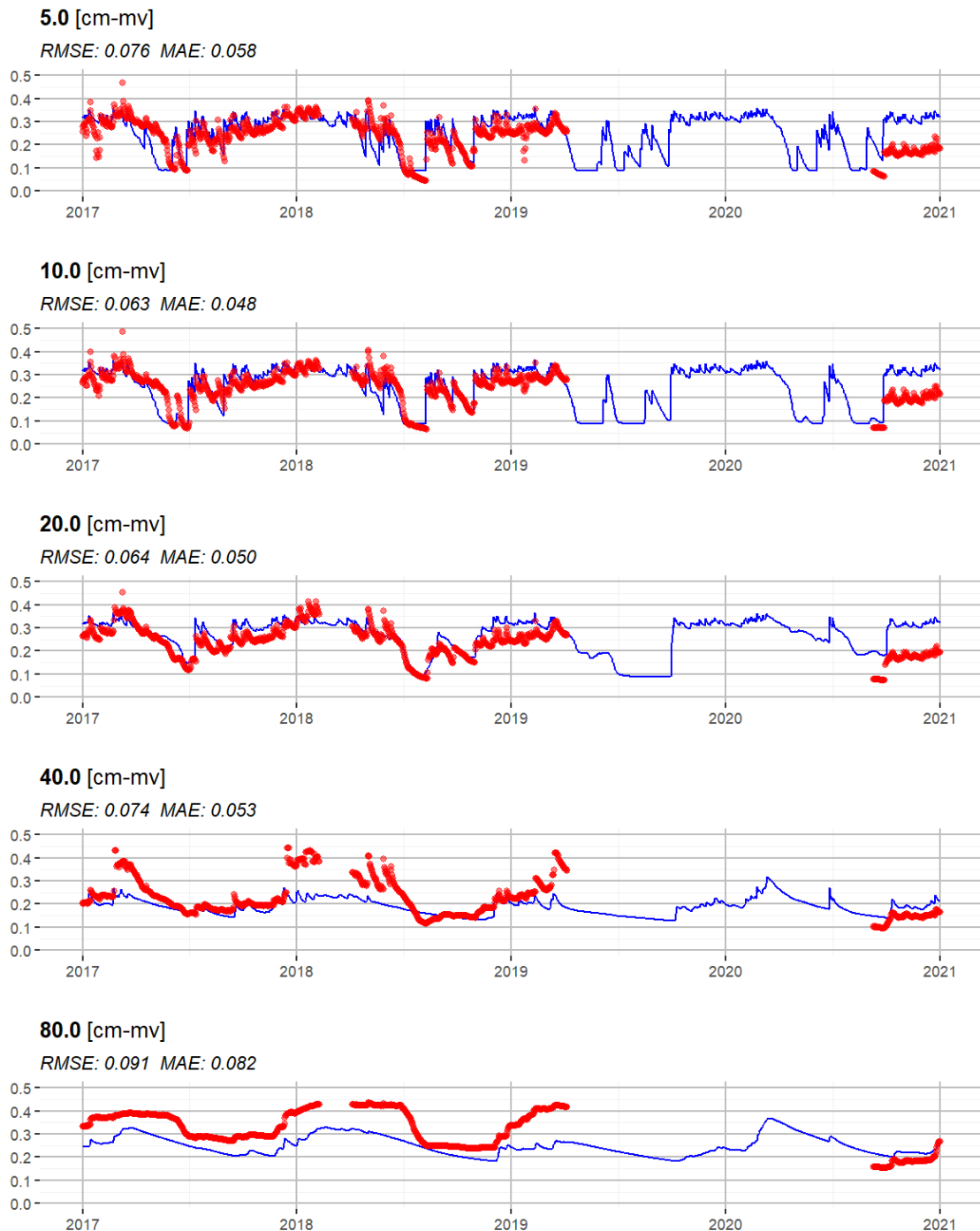
¹ percelen met berekening

² metingen van bodemvocht aanwezig

4.2.1 GRASLAND ZONDER BEREKENING

In eerste instantie richten we ons op een perceel (G1) zonder berekening met een relatief diepe grondwaterstand (Gt VII). De gesimuleerde grondwaterstand lijkt te droog te zijn in vergelijking met een nabij gelegen peilbuis (REFV012_3; persoonlijke communicatie waterschap). Het gesimuleerde bodemvocht laat vooral boven in het bodemprofiel (op 5, 10 en 20 cm-mv) een goede overeenkomst zien met de beschikbare metingen, zie Figuur 4.2. De bodemvochtmetingen op een diepte van 40 en 80 cm-mv laten meer dynamiek zien. Vanwege de verzadigingsgraad van $0.36 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ kan deze dynamiek nooit berekend worden door het model.

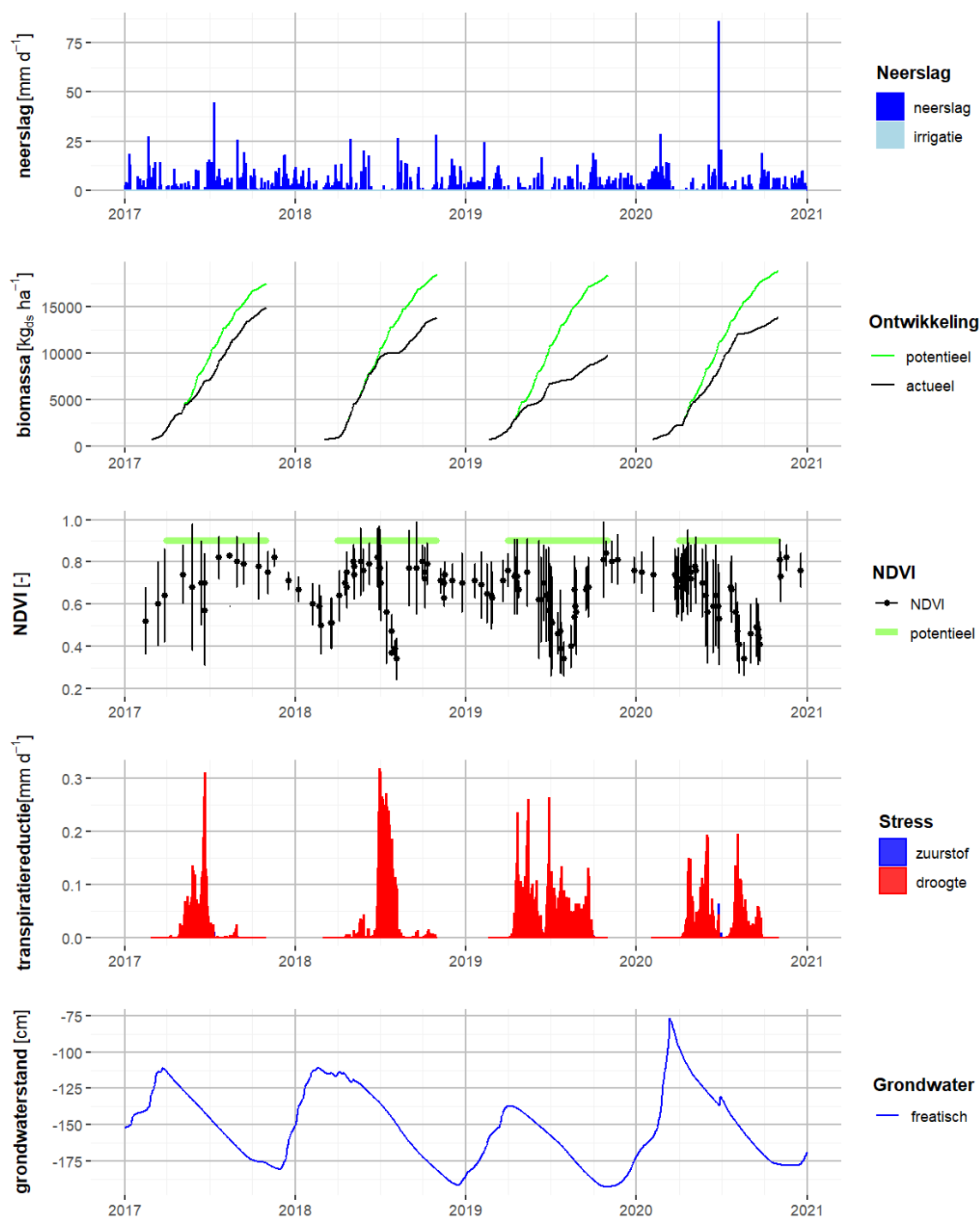
FIGUUR 4.2 GESIMULEERDE (BLAUW) EN GEMETEN (ROOD) VOCHTGEHALTE OP VERSCHILLENDE DIEPTEN IN HET BODEMPROFIEL (CM3 CM-3) VOOR PERCEEL G1 VOOR DE PERIODE 2017 - 2021; MEETLOCATIE BOV0004



De reductie van de groenindex voor dit perceel is in Figuur 4.3 uitgezet tegenover de gesimuleerde reductie in oogstbaar product en de gesimuleerde transpiratiereductie. Ter informatie is ook de neerslag (en indien van toepassing de met SWAP-WOFOST gesimuleerde irrigatie) en het gesimuleerde grondwaterstandsverloop in de figuur weergegeven. De NDVI-tijdserie laat duidelijk ongunstige omstandigheden zien in de droge weerjaren van 2018, 2019 en 2020. De aanhoudende reductie van de groenindex (vanaf juni 2018 en 2019 en juli 2020) komt goed overeen met een stagnatie in de gewasontwikkeling als gevolg van droogtestress. In 2019 wordt de grootste reductie in het oogstbare product berekend. In dit jaar lijkt de

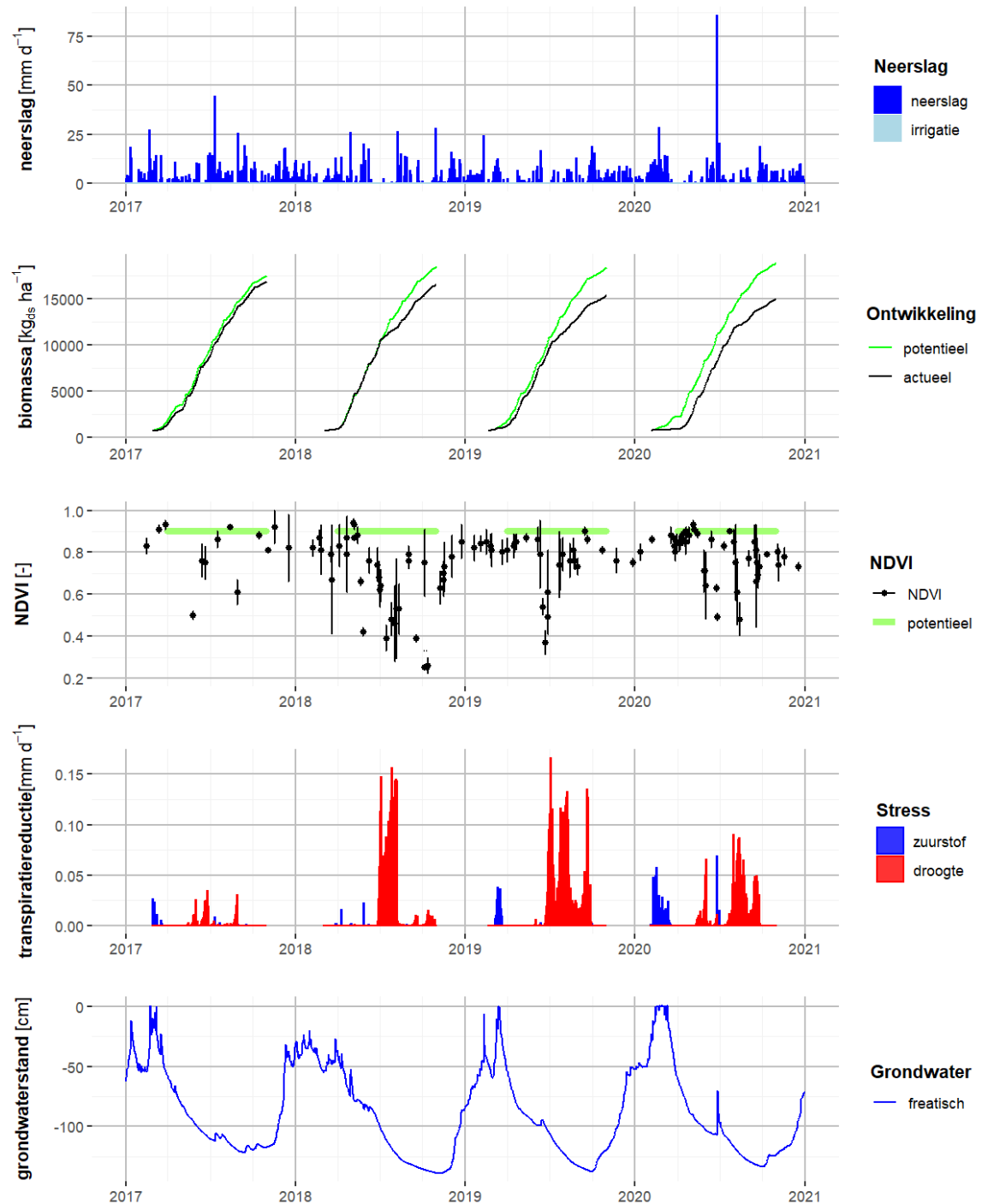
grondwaterstand niet helemaal hersteld te zijn van de droogte ondervonden in 2018. Bij de NDVI-data lijkt dit minder tot uiting te komen. In 2020 zijn er twee droge perioden zichtbaar in april/mei en juli/augustus. Rond juni is er sprake van een nattere periode. Gedurende deze periode is er een licht herstel zichtbaar in de NDVI-data en wordt er door het model ook geen transpiratiereductie als gevolg van droogtestress gesimuleerd.

FIGUUR 4.3 INFORMATIE OVER NEERSLAG EN GESIMULEERDE IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL G1 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



Bij perceel G2 (Figuur 4.4) zijn de hydrologische omstandigheden iets natter. De gesimuleerde grondwaterstand komt goed overeen met een nabij gelegen peilbuis (B46C0254). Voor dit perceel zijn geen metingen beschikbaar van het bodemvocht. In Figuur 4.4 is de vergelijking met de NDVI-beelden van de Groenmonitor weergegeven.

FIGUUR 4.4 INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL G2 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



Ten opzichte van perceel G1 wordt er minder reductie in het oogstbare product gesimuleerd. In de droge weerjaren (2018 – 2020) lijkt ook de aanhoudende reductie van de groenindex minder extreem te zijn ten opzichte van perceel G1. In het voorjaar van 2020 is er sprake van zeer natte omstandigheden met grondwaterstanden tot aan het maaiveld. Dit gaat gepaard met veel zuurstofstress en een gewasontwikkeling die achterblijft ten opzichte van de potentiële gewasontwikkeling. Deze reductie komt niet tot uiting bij de NDVI-data.

De resultaten voor percelen G3 tot en met G5 zijn weergegeven in Bijlage A en zijn min of meer vergelijkbaar met de resultaten van perceel G1. De gesimuleerde grondwaterstanden komen goed overeen met de nabijgelegen peilbuizen (respectievelijk TOVE001, B46D1507 en B46C0039). Voor perceel G3 en G5 is er ook sprake van andere gewassen waardoor de vergelijking van de modelresultaten met de Groenmonitor niet voor alle jaren kan worden gemaakt.

4.2.2 GRASLAND MET BEREGENING

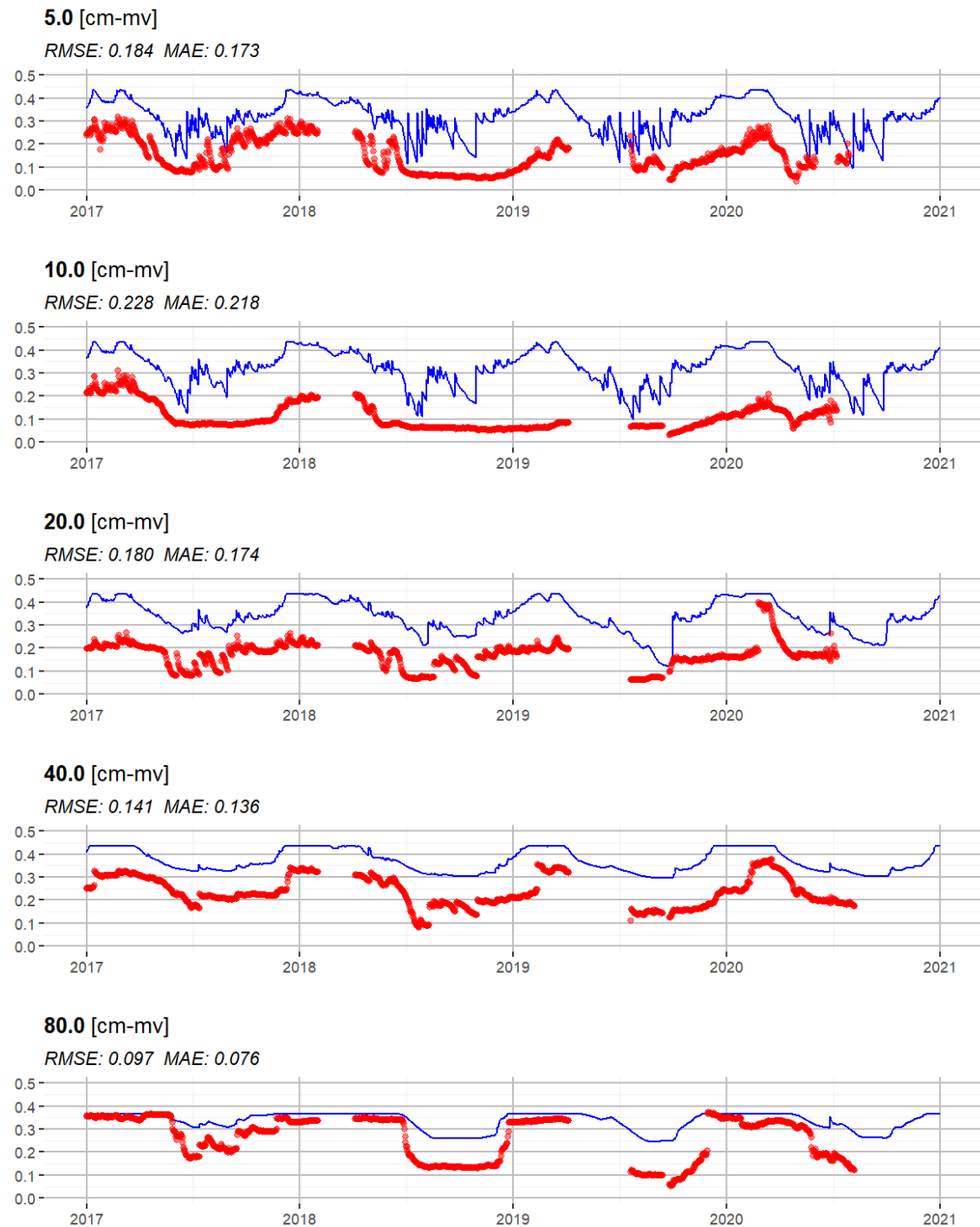
Bij de percelen G6 tot en met G9 wordt er van uit gegaan dat er beregening plaatsvindt. Modelmatig wordt er geen rekening gehouden met restricties rondom beregening zoals in de vorm van een beregeningsverbod. Er is in het stroomgebied van de Raam geen sprake geweest van een beregeningsverbod. Of in de praktijk gedurende de droge perioden ook daadwerkelijk overgegaan is op beregening is onbekend. Een dergelijk besluit hangt niet alleen af van de gewastoestand maar betreft ook een kostenoverweging en een prioritering omdat niet alle gewassen/percelen tegelijkertijd kunnen worden beregend. Modelmatig wordt alleen gekeken naar de gesimuleerde gewastoestand.

Voor perceel G6 zijn metingen van het bodemvocht op verschillende diepten beschikbaar, zie Figuur 4.5. De afwijking tussen het gemeten en gesimuleerde bodemvocht is systematisch groot wat mede te maken kan hebben met de locatie van het meetpunt tussen twee percelen in. De dynamiek van de meting is herkenbaar in de simulatieresultaten.

In Figuur 4.6 wordt een vergelijking gemaakt met de NDVI-tijdseries. Gedurende de zomer van 2018 is er geen sterke en aanhoudende reductie van de groenindex zichtbaar hetgeen duidt op gunstige omstandigheden. Dit kan duiden op beregening. Of er daadwerkelijk is beregend is niet bekend. In tegenstelling tot de modelsimulatie laten de metingen van het bodemvocht geen grote fluctuaties zien bovenin het bodemprofiel (wat wel is te verwachten in geval van beregening). Maar dat kan ook te maken hebben met de locatie van het meetpunt. In de zomer van 2019 en 2020 is er waarschijnlijk als gevolg van droogtestress een aanhoudende reductie van de groenindex zichtbaar. Ook hier lijkt er geen sprake te zijn geweest van beregening.

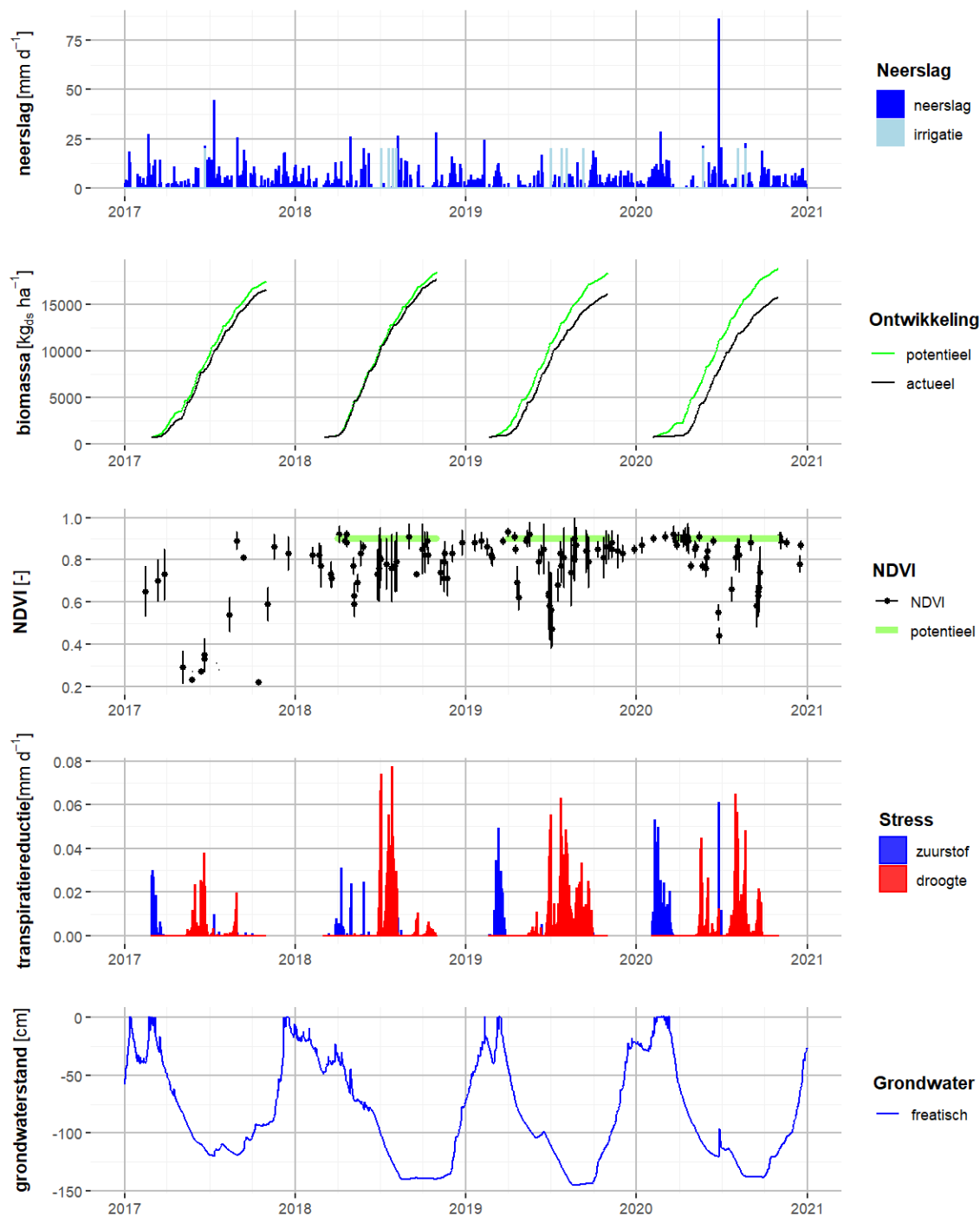
Modelmatig wordt er in het voorjaar een reductie in het oogstbare product gesimuleerd, vooral in 2019 en 2020. Dit wordt veroorzaakt doordat in deze periode de gesimuleerde grondwaterstanden tot aan het maaiveld staan met veel zuurstofstress tot gevolg.

FIGUUR 4.5 GESIMULEERDE (BLAUW) EN GEMETEN (ROOD) VOCHTGEHALTE OP VERSCHILLENDE DIEPTEN IN HET BODEMPROFIEL (CM3 CM-3) VOOR PERCEEL G6 VOOR DE PERIODE 2017 - 2021; MEETLOCATIE BOV0003



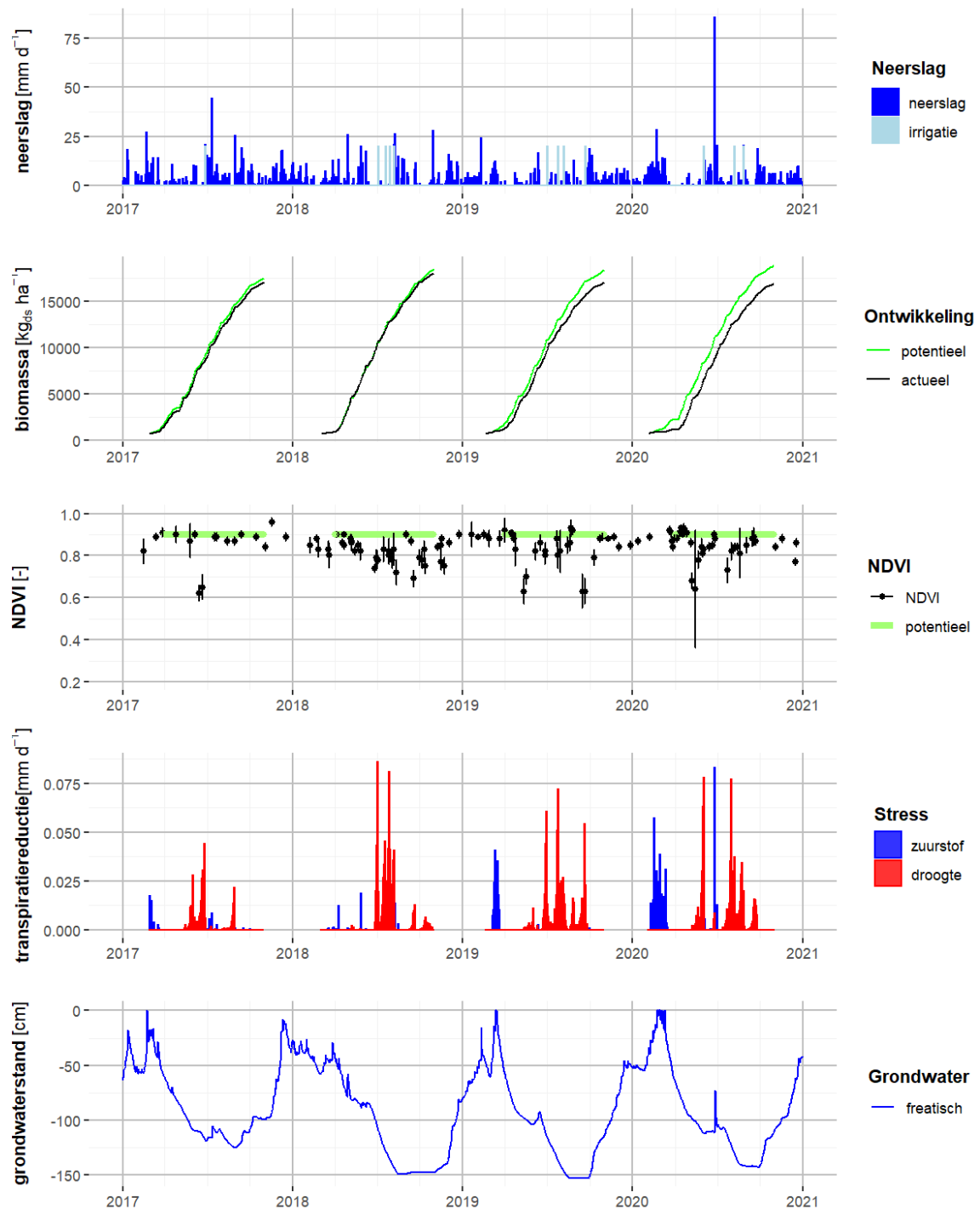
FIGUUR 4.6

INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELDE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL G6 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



Bij perceel G7 lijken de omstandigheden gunstig te zijn. De NDVI-beelden laten nauwelijks een aanhoudende reductie zien van de groenindex, zie Figuur 4.7. De reductie die te zien is lijkt eerder het gevolg te zijn van maaimoment gezien het snelle herstel van de groenindex (er is geen informatie beschikbaar wanneer in de praktijk maaimomenten hebben plaatsgevonden). Ook de modelsimulatie berekent niet veel transpiratiereductie of een reductie in het oogstbare product. De reductie die berekend wordt is met name het gevolg van te natte omstandigheden in het voorjaar als gevolg van te hoge grondwaterstanden.

FIGUUR 4.7 INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL G7 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



De resultaten voor perceel G8 en G9 zijn min of meer vergelijkbaar met de resultaten van perceel G6. Voor deze percelen zijn de hydrologische omstandigheden aan de droge kant (Gt VII) en is er een aanhoudende reductie te zien van de groenindex, zie Bijlage A. Modelmatig worden deze percelen berekend, maar in de praktijk is er op basis van de NDVI-beelden te concluderen dat dit in onvoldoende mate of in zijn geheel niet heeft plaatsgevonden.

4.3 RESULTATEN SNIJMAIS

Voor 7 percelen worden resultaten getoond met snijmais als dominant gewas, zie Tabel 4.2. Op vier percelen zijn bodemvochtmetingen beschikbaar en van vijf percelen wordt verondersteld dat er berekening heeft plaatsgevonden.

TABEL 42 PERCELEN MET SNIJMAIS; IN HET ORANJE IS AANGEGEVEN VOOR WELKE JAREN EEN VERGELIJKING GEMAAKT KAN WORDEN MET DE GROENMONITOR

Perceel	Gt	2017	2018	2019	2020
S1 ²	V				
S2	VII				
S3 ^{1,2}	V				
S4 ^{1,2}	VII				
S5 ^{1,2}	VII				
S6 ¹	VI				
S7 ¹	VII				

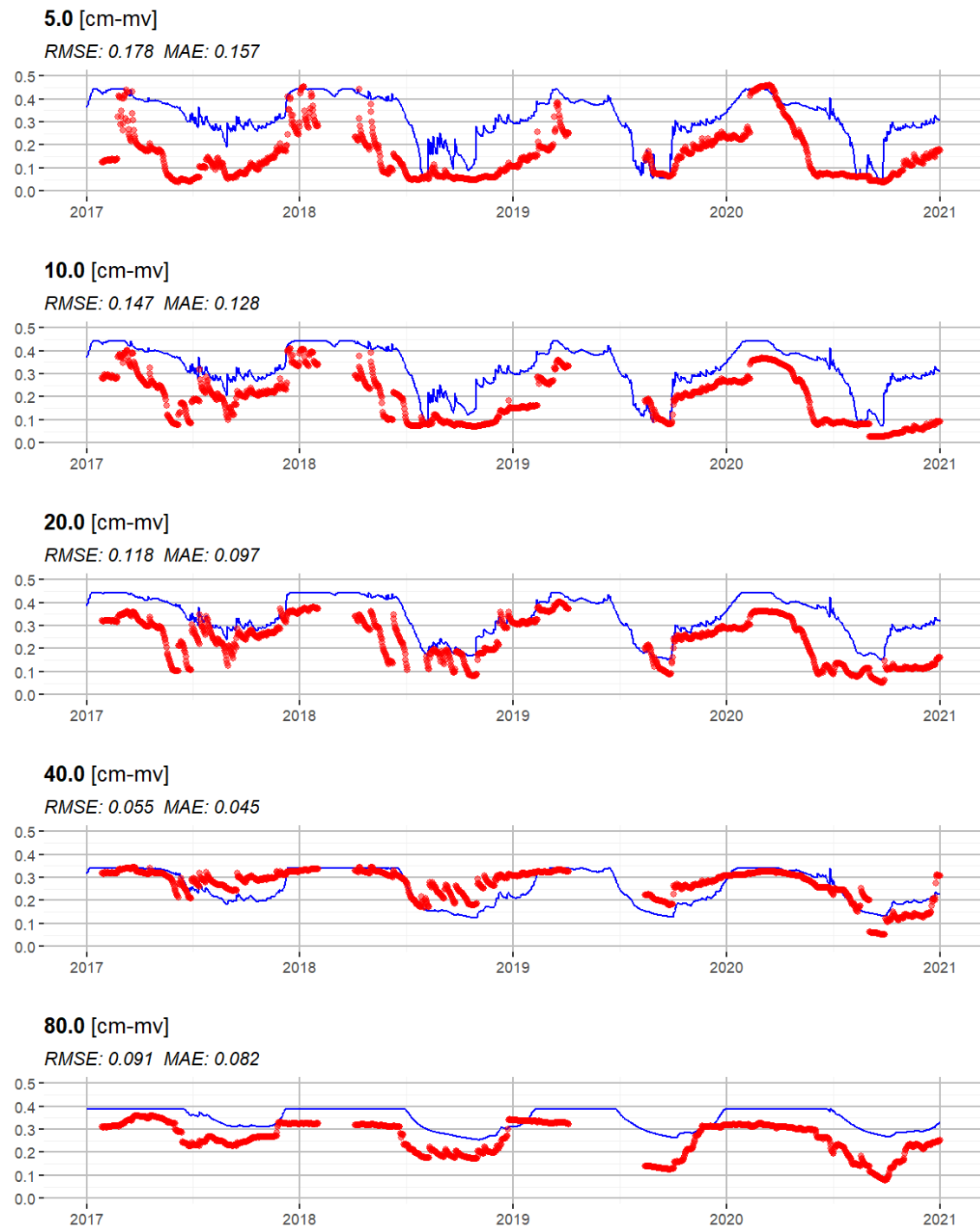
¹ percelen met berekening

² metingen van bodemvocht aanwezig

4.3.1 SNIJMAIS ZONDER BEREKENING

Er zijn twee percelen waar snijmais het dominante gewas is en waarvan berekening geen sprake is. Voor perceel S1 zijn metingen beschikbaar van het bodemvocht welke zijn weergegeven in Figuur 4.8. De metingen van het bodemvocht op een diepte van 40 en 80 cm-mv worden door het model goed gesimuleerd. Voor de metingen die bovenin het bodemprofiel liggen valt op dat de vochtcondities in de winter van 2018/2019 aanzienlijk lager liggen ten opzichte van het model. De NDVI-beelden die beschikbaar zijn in deze periode duiden op de aanwezigheid van een wintergewas (zie Figuur 4.9) wat dit verschil kan verklaren. Daarnaast valt op dat in de jaren 2017, 2018 en 2020 de vochtcondities eerder in het groeiseizoen omlaag gaan dan door het model wordt gesimuleerd. Op een diepte van 40 en 80 cm-mv is dit niet zichtbaar. Mogelijk dat voorbereidende grondbewerkingen hierbij een rol spelen.

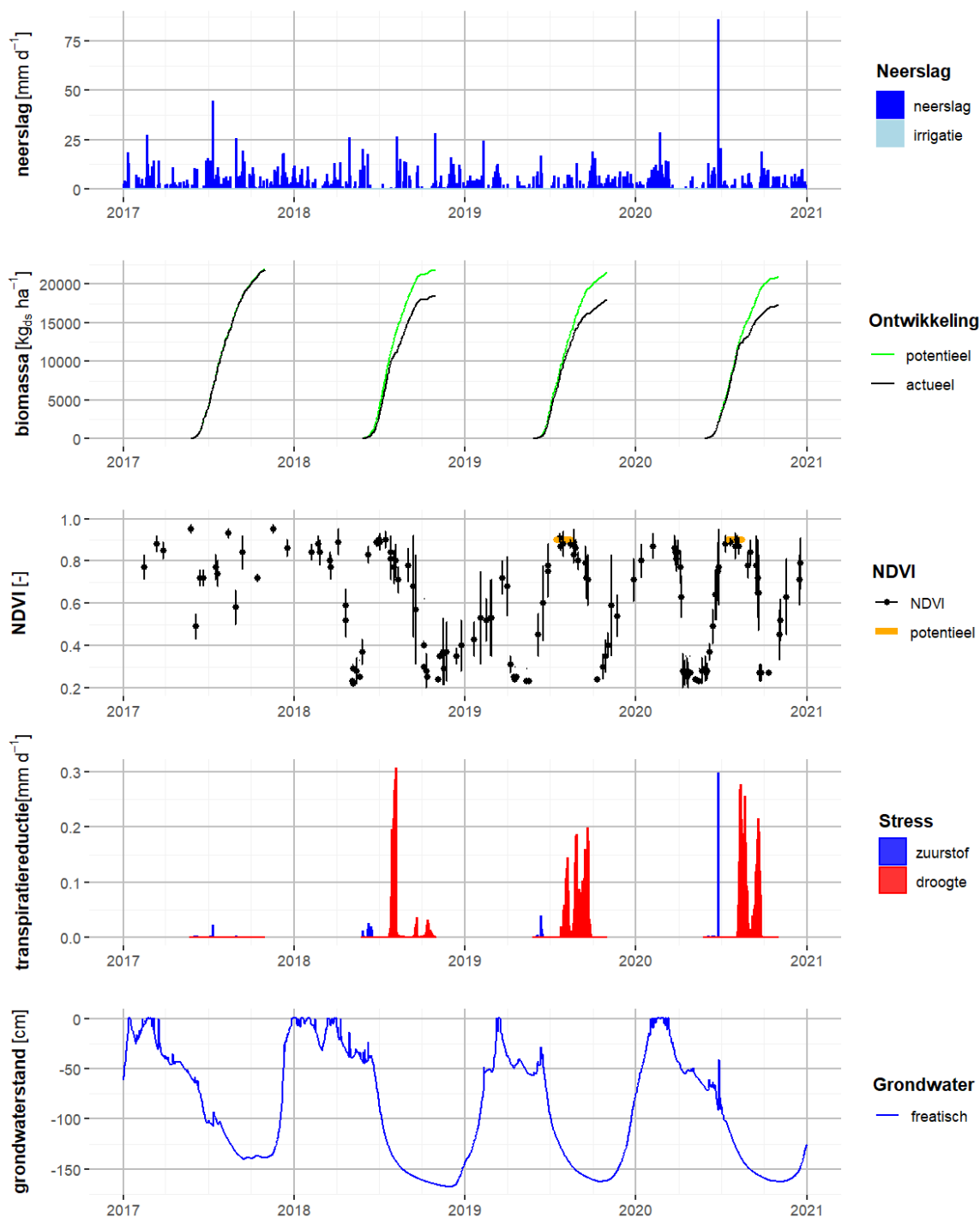
FIGUUR 4.8 GESIMULEERDE (BLAUW) EN GEMETEN (ROOD) VOCHTGEHALTE OP VERSCHILLENDE DIEPTEN IN HET BODEMPROFIEL (CM3 CM-3) VOOR PERCEEL S1 VOOR DE PERIODE 2017 - 2021; MEETLOCATIE BOV0013



Op basis van de NDVI-data kan geconcludeerd worden dat er sprake is van gunstige omstandigheden voor snijmais in 2019 en 2020 (Figuur 4.9; in de jaren 2017 – 2018 stond er een ander gewas). Gedurende de periode van half juli tot en met half augustus is er nauwelijks een reductie van de groenindex zichtbaar. Ook het model laat in deze periode relatief weinig transpiratiereductie zien als gevolg van droogtestress. Na half augustus neemt de droogtestress toe en is er ook een afname te zien in de groenindex. Het is niet bekend of deze afname van de groenindex wordt veroorzaakt door ongunstige omstandigheden, afrijping van het gewas of een combinatie van beide.

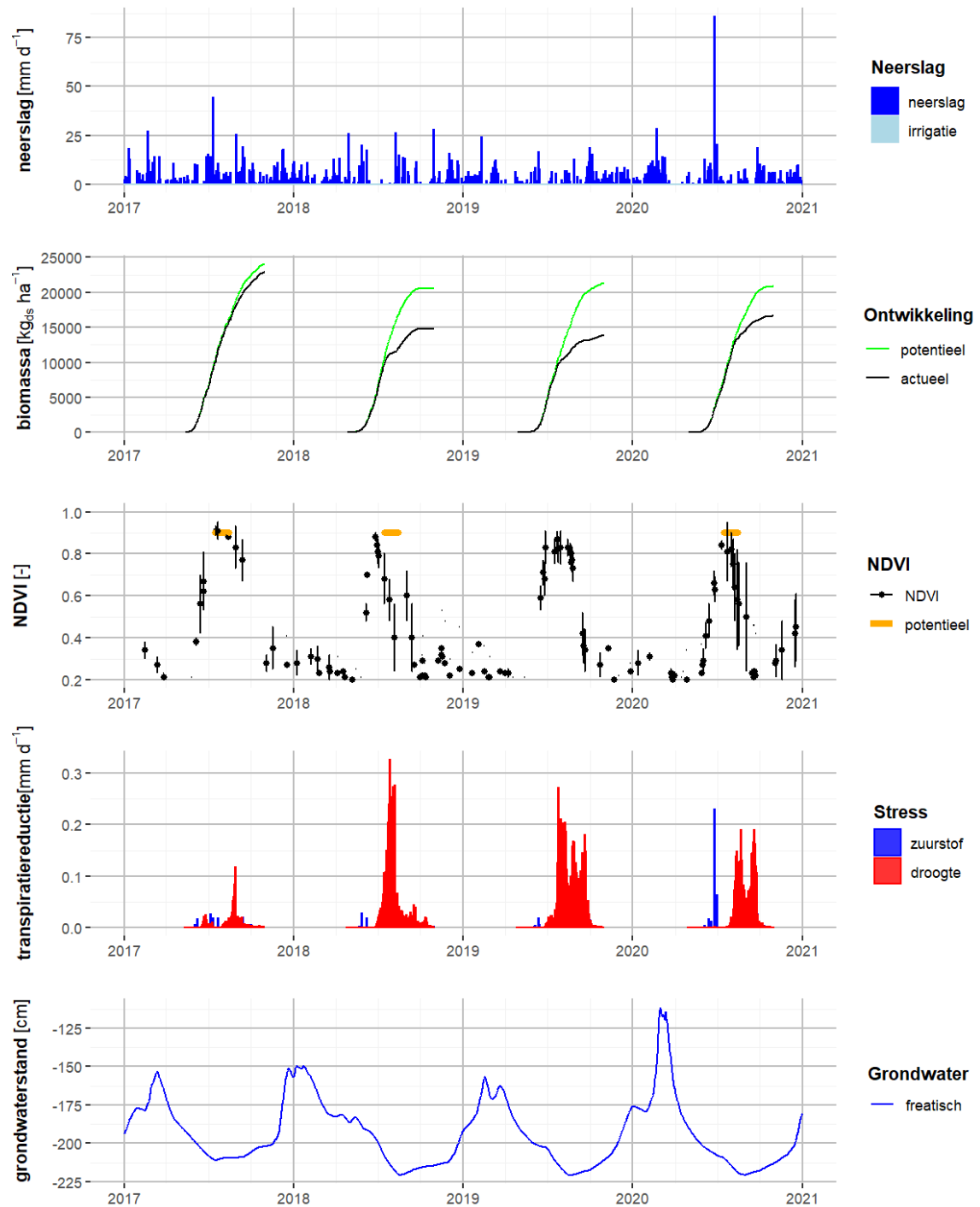
FIGUUR 4.9

INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL S1 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



Op perceel S2 zijn geen bodemvochtmetingen beschikbaar. De hydrologische omstandigheden ter plaatse van dit perceel zijn droger ten opzichte van perceel S1 (Gt VII i.p.v. Gt V). Op de NDVI-beelden is geen reductie van de groenindex te zien in 2017. Deze reductie is duidelijk wel zichtbaar in de jaren 2018 en 2020, waarbij in 2020 de afname van de groenindex ook het gevolg kan zijn geweest van het afrijpen van het gewas. De modelsimulatie laat een vergelijkbaar beeld zien.

FIGUUR 4.10 INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL S2 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)

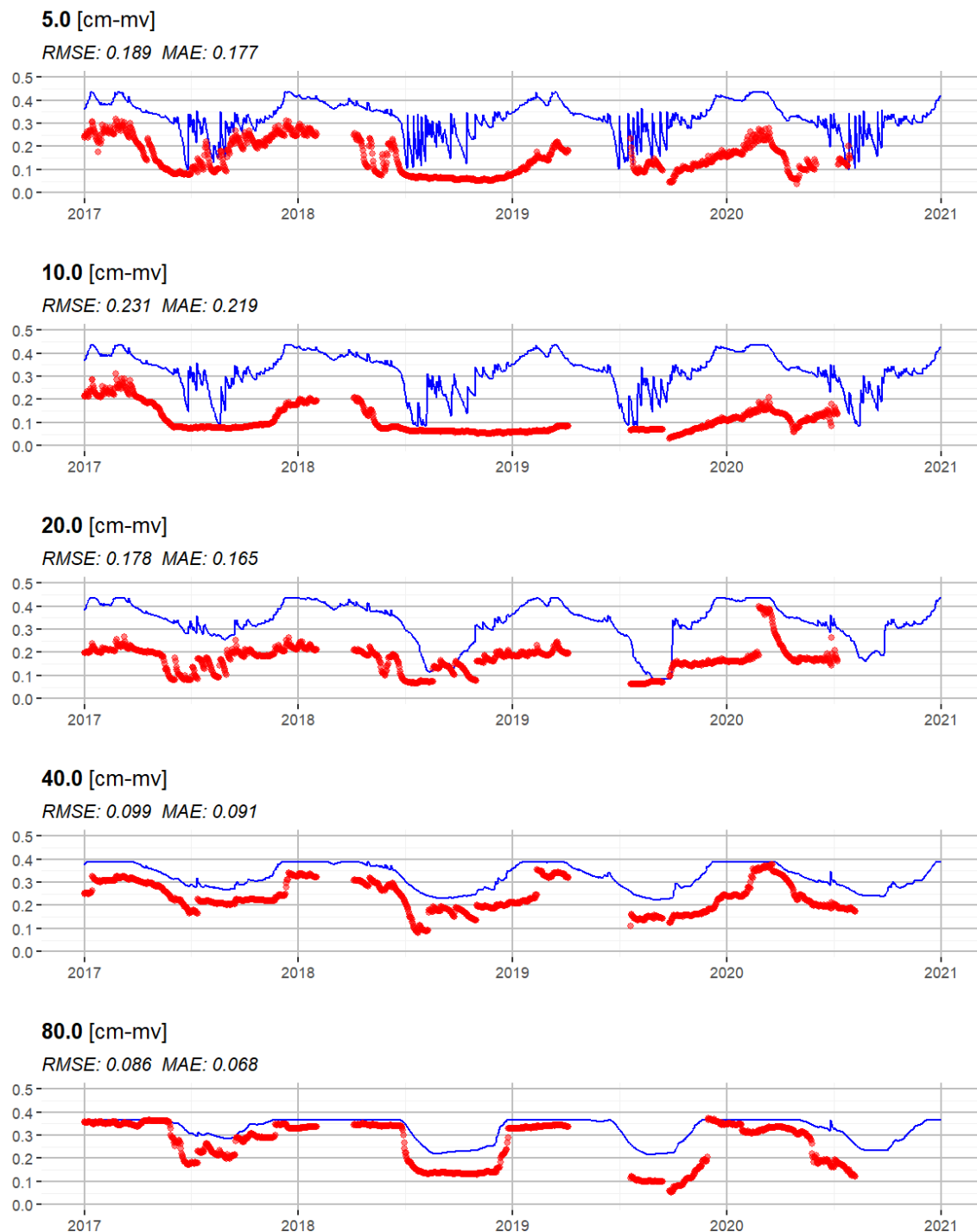


4.3.2 SNIJMAIS MET BEREGENING

Bij de percelen S3 tot en met S7 wordt er van uit gegaan dat er beregening plaatsvindt. Op perceel S3 zijn metingen van het bodemvocht op verschillende diepten beschikbaar, zie Figuur 4.11. De afwijking tussen het gemeten en gesimuleerde bodemvocht is groot wat waarschijnlijk te maken heeft met de locatie van het meetpunt die tussen twee percelen in ligt. Het betreft in dit geval dezelfde meetlocatie als weergegeven in Figuur 4.5 (BOVO003).

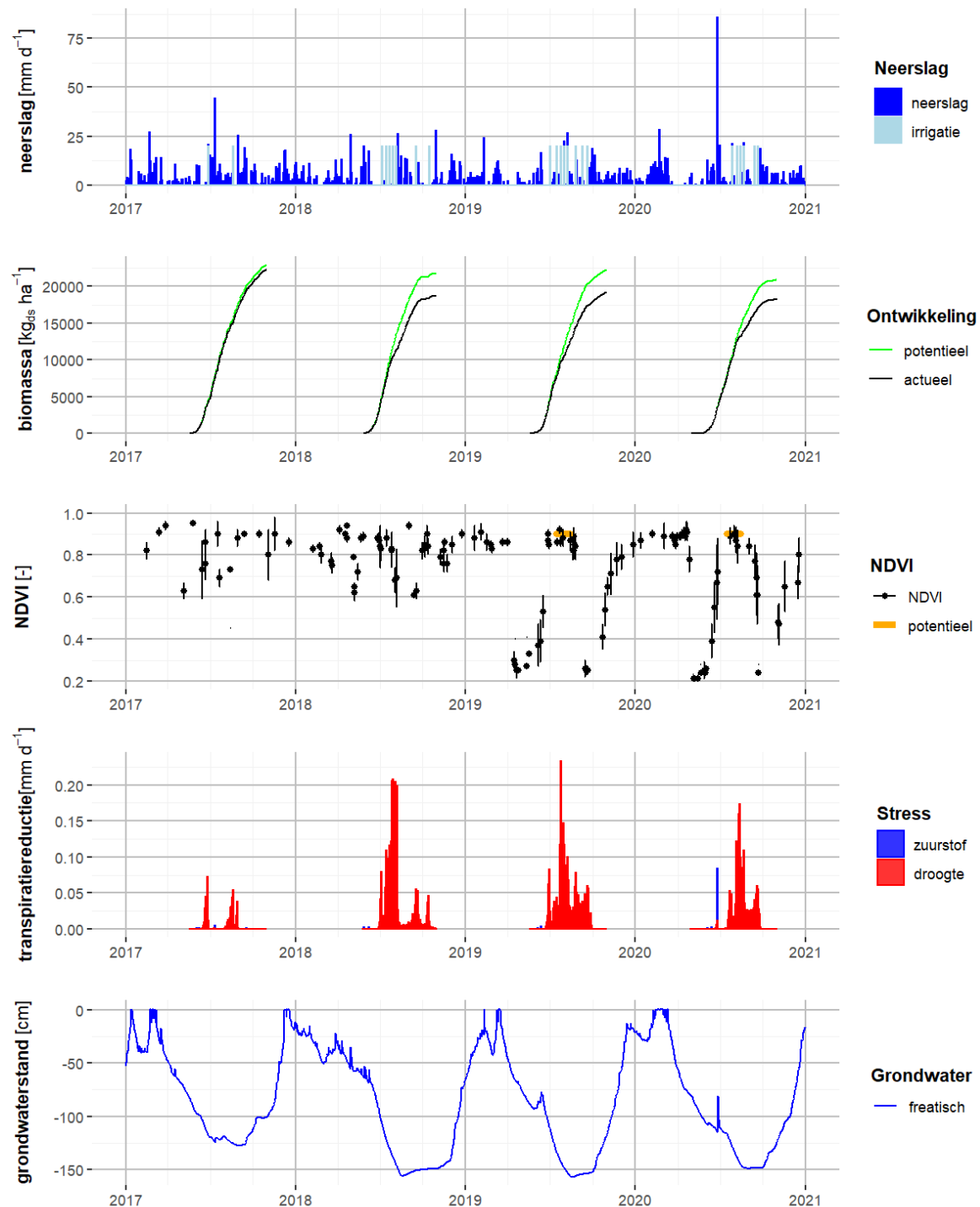
Zoals eerder is aangegeven valt er uit de bodemvochtmetingen alleen niet te concluderen of er in de praktijk daadwerkelijk beregening heeft plaatsgevonden (geen grote fluctuaties in het gemeten bodemvocht bovenin het bodemprofiel).

FIGUUR 4.11 GESIMULEERDE (BLAUW) EN GEMETEN (ROOD) VOCHTGEHALTE OP VERSCHILLENDE DIEPTEN IN HET BODEMPROFIEL (CM3 CM-3) VOOR PERCEEL S3 VOOR DE PERIODE 2017 - 2021; MEETLOCATIE BOV0003



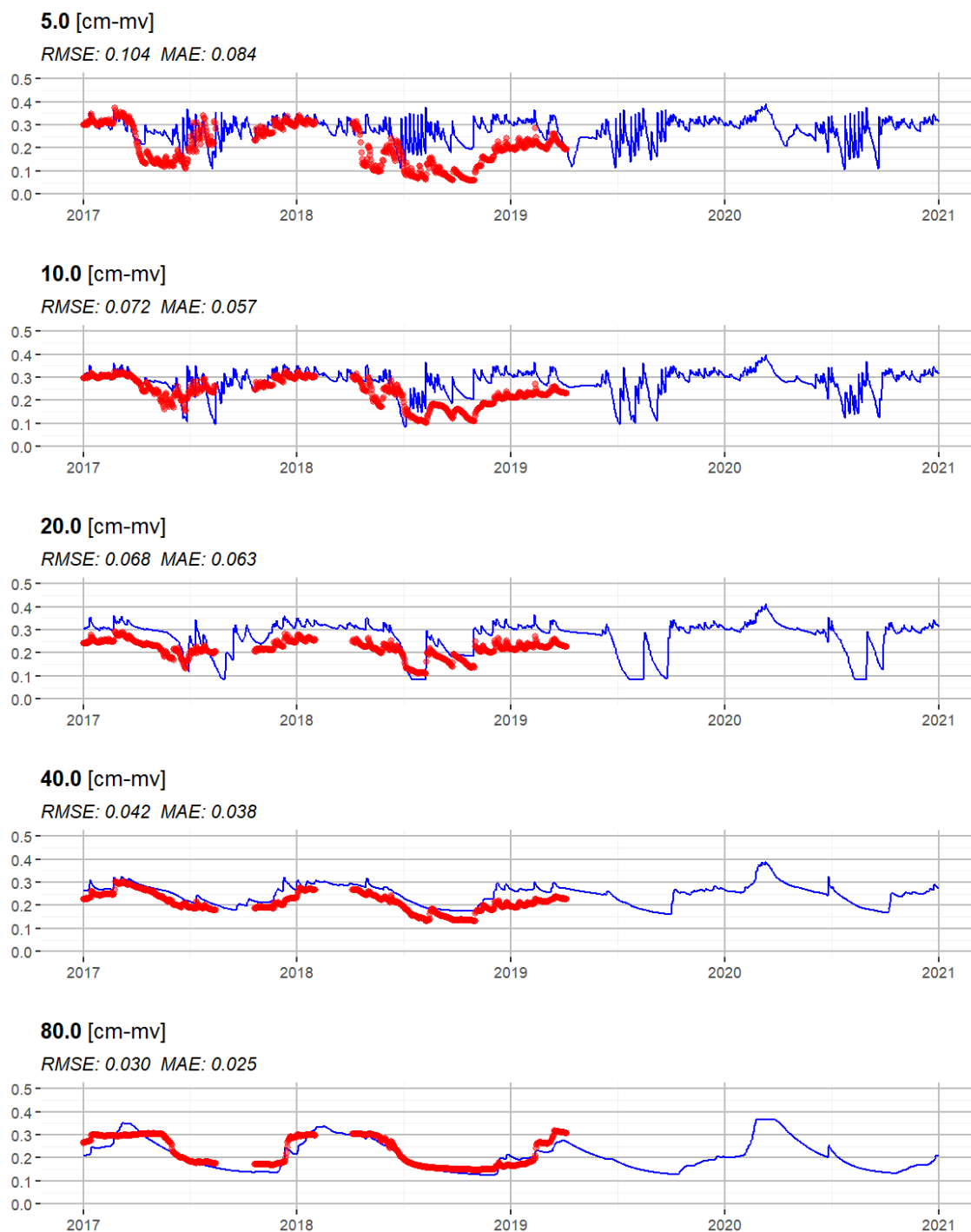
Of er in de praktijk daadwerkelijk is overgegaan op beregening is dus onbekend. Wel laten de NDVI-data in Figuur 4.12 zien dat de omstandigheden in 2019 en 2020 gunstig zijn geweest. In de modelsimulatie wordt in deze jaren, ondanks de beregeningsgiften, een kleine reductie in het oogstbare product gesimuleerd als gevolg van droogtestress. Zoals reeds aangegeven wordt modelmatig bij het instellen van de beregening een lichte vorm van droogtestress toegestaan. Voor dit perceel lijkt de mate van droogtestress overschat te worden.

FIGUUR 4.12 INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL S3 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



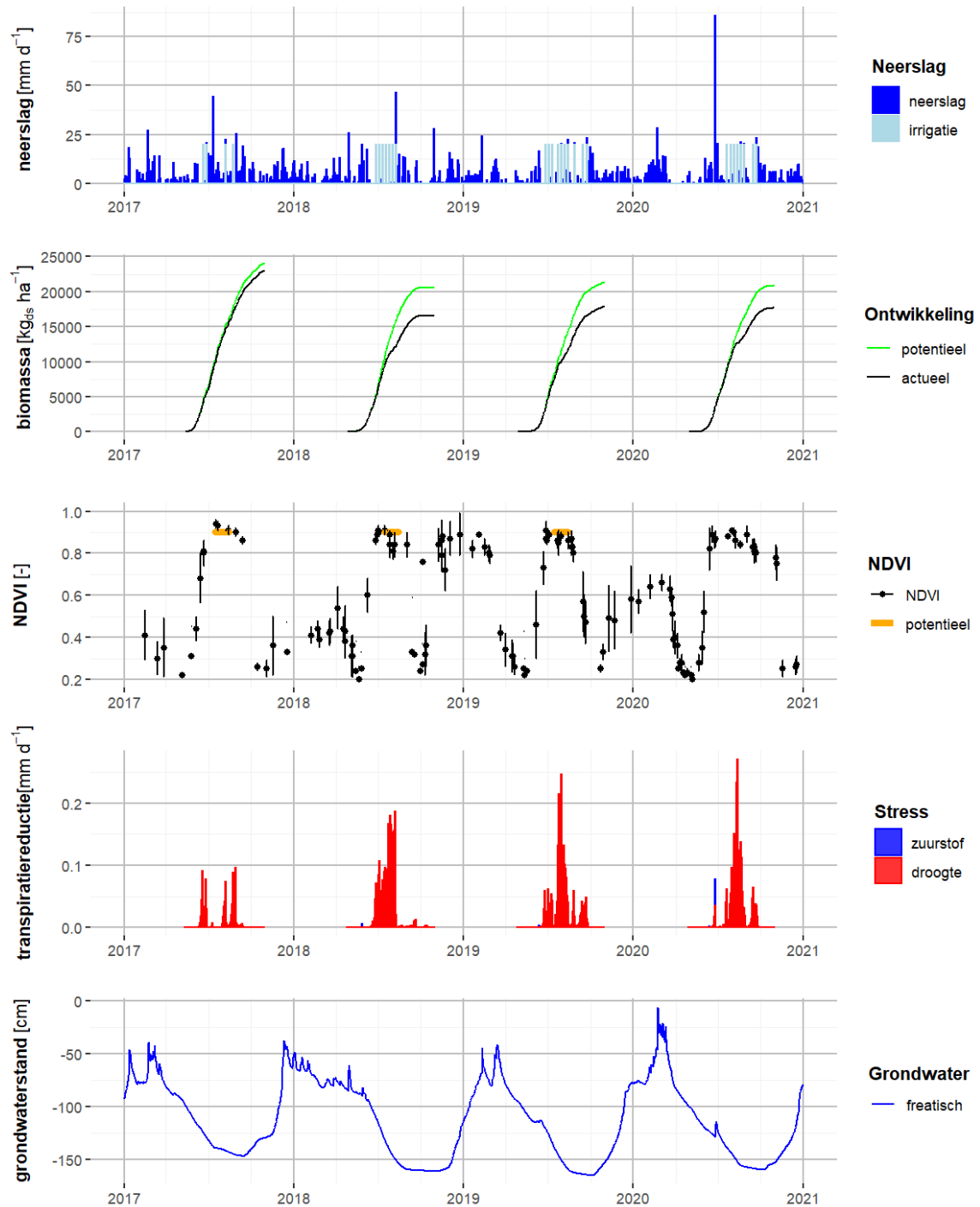
In Figuur 4.13 zijn de metingen van het bodemvochtgehalte weergegeven voor perceel S4. Er zijn metingen beschikbaar voor de eerste twee jaar van de simulatieperiode. Hierin is te zien dat de metingen van het bodemvocht goed gesimuleerd worden door het model ondanks dat er geen kalibratie heeft plaatsgevonden. In de winter van 2018/2019 simuleert het model iets nattere omstandigheden in de bovenste 10 cm van het bodemprofiel. Ook hier lijkt er in deze periode sprake te zijn van een wintergewas, zie NDVI-beelden weergegeven in Figuur 4.14.

FIGUUR 4.13 GESIMULEERDE (BLAUW) EN GEMETEN (ROOD) VOCHTGEHALTE OP VERSCHILLENDE DIEPTEN IN HET BODEMPROFIEL (CM³ CM⁻³) VOOR PERCEEL S4 VOOR DE PERIODE 2017 - 2021; MEETLOCATIE BOV0011



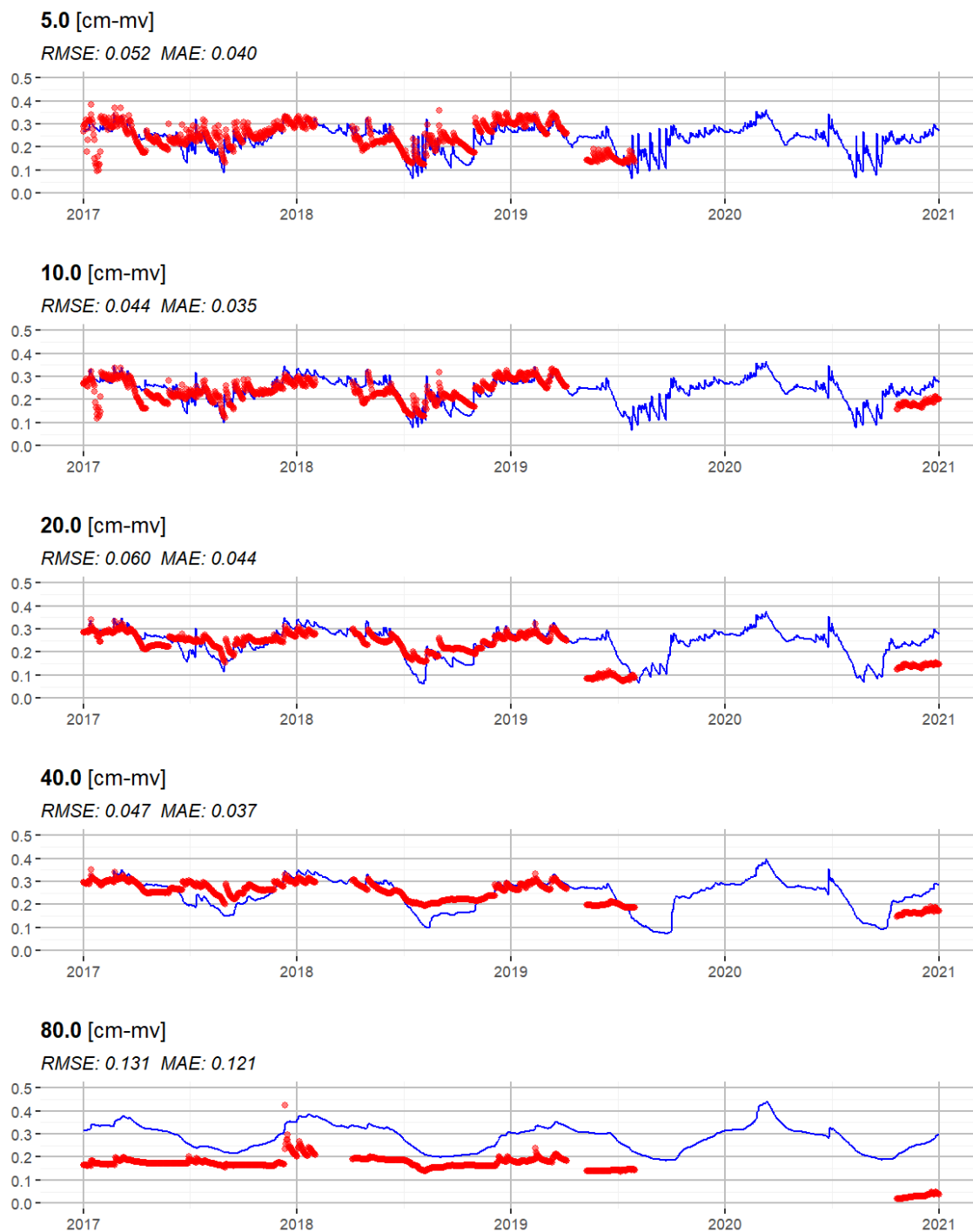
De modelsimulatie laat voor 2017 nauwelijks een reductie zien in het oogstbare product. Voor de jaren 2018 en 2019 wordt er wel een kleine reductie berekend ondanks dat beregening plaatsvindt. Op basis van de NDVI-beelden lijken de omstandigheden gunstiger te zijn geweest. Wel lijkt in de zomer van 2018 de groenindex licht af te nemen.

FIGUUR 4.14 INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL S4 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



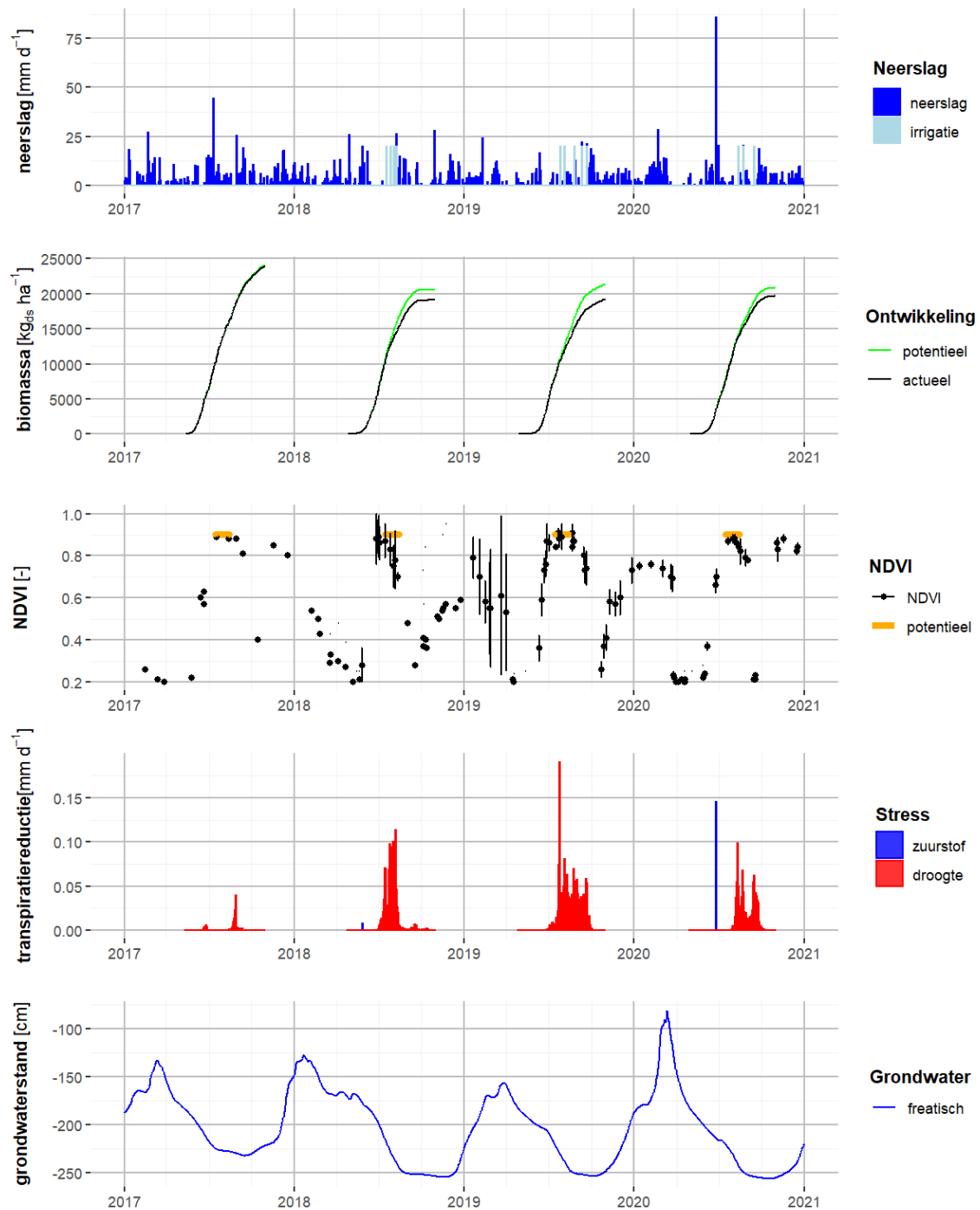
Ook voor perceel S5 zijn metingen van het bodemvocht beschikbaar, zie Figuur 4.15. De modelresultaten laten in het bovenste gedeelte van het bodemprofiel een goede overeenkomst zien met de metingen. Op een diepte van 80 cm-mv is de overeenkomst duidelijk minder. Op basis van deze metingen laat de ondergrond vooral in de zomermaanden een vrij droog beeld zien terwijl de vochtcondities in de bovengrond gedurende deze periode meer fluctuaties laten zien als gevolg van beregening.

FIGUUR 4.15 GESIMULEERDE (BLAUW) EN GEMETEN (ROOD) VOCHTGEHALTE OP VERSCHILLENDE DIEPTEN IN HET BODEMPROFIEL (CM³ CM⁻³) VOOR PERCEEL S4 VOOR DE PERIODE 2017 - 2021; MEETLOCATIE BOV0007



Ook in de modelsimulatie vindt berekening plaats en wordt er over het algemeen weinig reductie berekend in het oogstbare product. Ook op basis van de NDVI-beelden lijkt het erop dat de omstandigheden gunstig waren. Al is er in de zomer van 2018 wel een kleine reductie in de groenindex zichtbaar. Mogelijk dat in de praktijk gedurende deze periode niet voldoende is berekend.

FIGUUR 4.16 INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL S5 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



De resultaten voor perceel S6 en S7 zijn min of meer vergelijkbaar met de resultaten van perceel S4. Modelmatig lijkt de gesimuleerde droogtestress op deze percelen te worden overschat in vergelijking met de NDVI-beelden van de Groenmonitor, zie Bijlage A.

4.4 RESUMÉ

Het vergelijken van modelresultaten van WWL (WWL-regionaal) met de NDVI-data van de Groenmonitor voor deze selectie van percelen betreft verschillende grootheden. Op basis van de NDVI-data alleen kan er geen inschatting gemaakt worden van de reductie in gewasopbrengst of het oogstbare product aan het einde van het groeiseizoen. Wel is het mogelijk om perioden van ongunstige omstandigheden te detecteren bijvoorbeeld als gevolg van droogtestress.

Voor wat betreft modelvalidatie trekken we op basis van de hiervoor beschreven voorbeelden de conclusie dat het WWL-modelinstrumentarium (SWAP-WOFOST) op perceelsniveau goed in staat is om deze momenten waarop ongunstige omstandigheden optreden te simuleren. De resultaten van de berekende transpiratiereductie en van de stagnatie in de ontwikkeling van het oogstbare product komen over het algemeen goed overeen met momenten waarop een aanhoudende reductie in de groenindex is waargenomen. De momenten waarop een herstel van de groenindex zichtbaar is (als gevolg van neerslag) komen overeen met herstel van de gewasgroei in de simulatieresultaten. Dit geeft aan dat het modelinstrumentarium bruikbaar is om transpiratiereductie en de bijbehorende reductie van gewasgroei op het juiste moment in het groeiseizoen te simuleren. Er zijn geen gewasopbrengsten gemeten, dus een validatie van de berekende gewasproductie (kg/ha) kon niet worden uitgevoerd.

Op een aantal percelen waarvan vermoed wordt dat deze worden berekend komen de resultaten van het WWL-modelinstrumentarium (SWAP-WOFOST) en de Groenmonitor minder goed overeen. De onzekerheid of er in de praktijk daadwerkelijk op deze percelen tot berekening is overgegaan, en zo ja wanneer dan, en hoeveel er is berekend speelt hier een belangrijke rol. In de hierboven beschreven voorbeelden lijken situaties voor te komen waar of meer of minder berekening wordt gesimuleerd dan in werkelijkheid heeft plaatsgevonden.

Voor een nadere modelvalidatie is het belangrijk om gewasopbrengsten te meten en ook om gegevens over berekening te verzamelen.

5

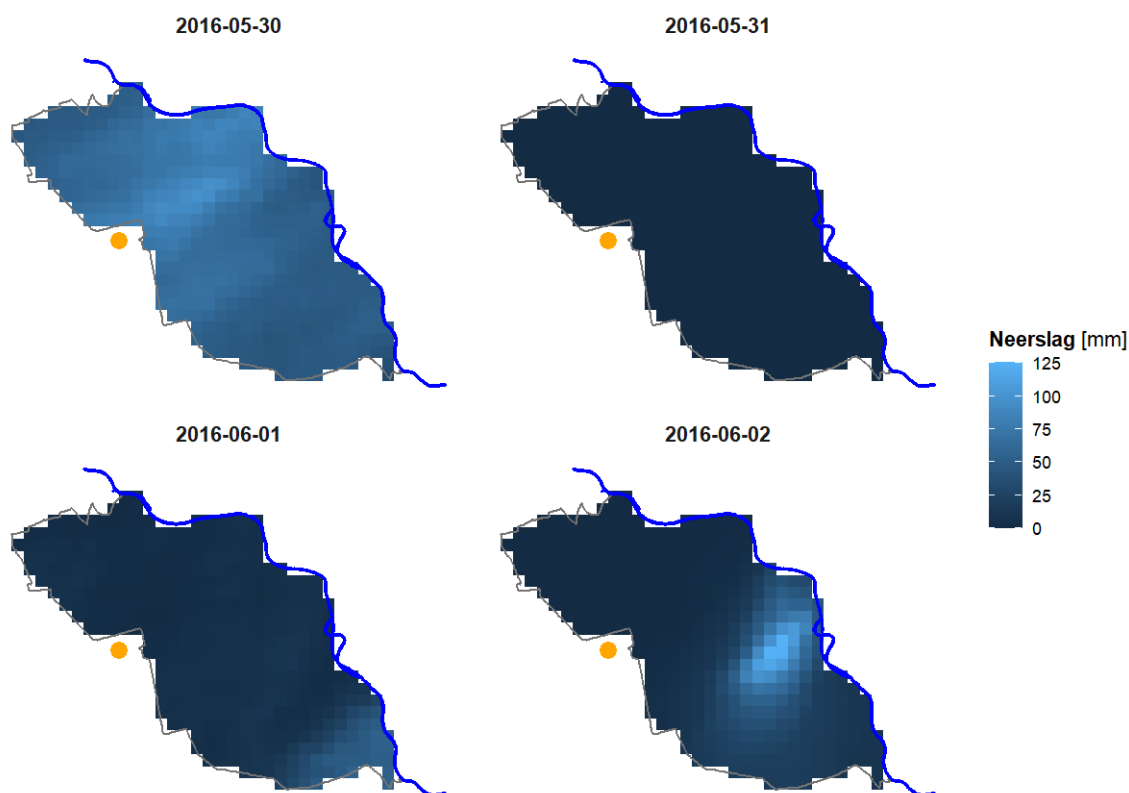
WATEROVERLAST EN DROOGTESTRESS OP REGIONALE SCHAAL

In dit hoofdstuk maken we een vergelijking met NDVI-beelden van de Groenmonitor voor het hele stroomgebied van de Raam. Opnieuw maken we gebruik van WWL-regionaal waarbij dezelfde werkwijze wordt gehanteerd als in hoofdstuk 4 beschreven is. Voor elke locatie (resolutie van 25 m) in het stroomgebied, met als dominant gewas gras of snijmais, wordt een SWAP-WOFOST model gedraaid. Voor deze vergelijking richten we ons op een tweetal perioden, namelijk de zeer natte periode in juni van 2016 en de zeer droge zomer van 2018.

5.1 WATEROVERLAST IN 2016

In de zomer van 2016 is er in korte tijd extreem veel neerslag gevallen in het stroomgebied van de Raam, zie Figuur 51. Het weerstation Volkel registreerde op 30 mei 68 mm neerslag. Dat is iets hoger dan de gemiddelde hoeveelheid neerslag over het gehele stroomgebied (61 mm) op basis van de radarbeelden. Lokaal valt er in het stroomgebied op deze dag maximaal 97 mm neerslag. Zoals eerder uitgelegd moet er bij dergelijke grote neerslaghoeveelheden rekening worden gehouden met grote onzekerheden in de hoeveelheid gevallen neerslag. De eerstvolgende neerslag valt op 1 juni. Gemiddeld valt er op deze dag 9 mm neerslag in het stroomgebied, maar de meeste neerslag valt in het zuidoosten met maxima van 55 mm. Het weerstation Volkel heeft 1 mm neerslag gemeten. Op 2 juni valt er lokaal zeer veel neerslag met een maximum van 125 mm. Gemiddeld valt er in het stroomgebied 17 mm maar bij Volkel wordt op deze dag geen neerslag geregistreerd. Als gevolg van deze extreme neerslag zijn er bij het waterschap meldingen binnengekomen van lokale wateroverlast.

FIGUUR 5.1 RUIMTELIJKE VERDELING VAN DE NEERSLAG IN DE PERIODE VAN 30 MEI TOT EN MET 2 JUNI 2016 MET EEN RESOLUTIE VAN 1 KM; IN HET ORANJE IS DE LOCATIE VAN HET WEERSTATION VOLKEL WEERGEGEVEN

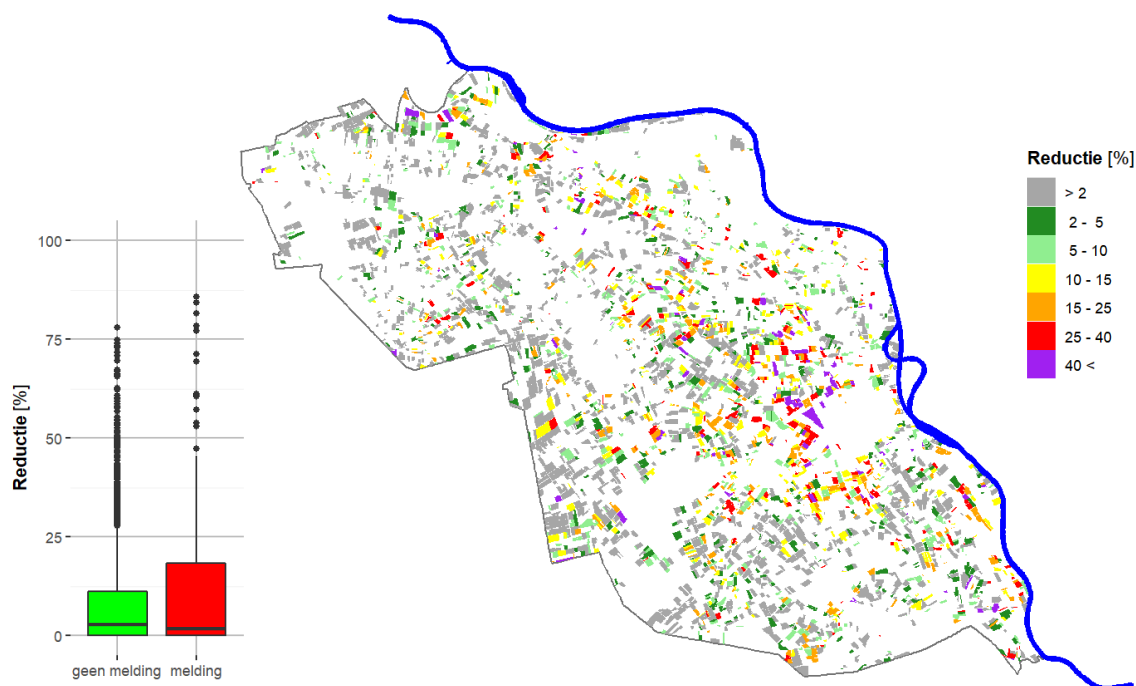


Groenmonitor

Met behulp van de groenmonitor is het mogelijk om momenten van wateroverlast zichtbaar te maken, vooral wanneer deze momenten optreden wanneer het gewas nog moet opkomen (zoals reeds beschreven in sectie 2.4). Het effect van die wateroverlast is pas na enige tijd te zien in de groenindex. Figuur 5.2 geeft de totale reductie van de NDVI door het optreden van wateroverlast weer op 20 juli. Dit is dus 48 dagen na de extreme neerslag van 2 juni. De reductie is ook hier uitgedrukt in percentage ten opzichte van het potentieel (NDVI 0.9 zoals is getoond in Figuur 2.5, reductie NDVI t.o.v. het potentieel). De analyse heeft in dit geval alleen betrekking op met percelen met akkerbouwmatige teelten namelijk (snij)mais, aardappelen en suikerbieten. Rond deze periode mag voor deze gewassen verwacht worden dat alle percelen onder gunstige omstandigheden volledig tot ontwikkeling zijn gekomen. De figuur laat zien dat er een redelijke overeenkomst is tussen de reductie in NDVI en de locaties waar wateroverlast is gerapporteerd. De patronen van de NDVI-reductie en de percelen (vanwege privacy niet zichtbaar in de figuur) komen tevens overeen met de neerslag die op 2 juni is gevallen (Figuur 5.1). Voor een aantal percelen waarbij een melding is gedaan wordt geen reductie in de NDVI waargenomen. Mogelijk is hier geen sprake van akkerbouwgewassen.

FIGUUR 5.2

REDUCTIE VAN DE GROENINDEX OP 2 JULI 2016 ALS GEVOLG VAN VERTRAGING IN GEWASOPKOMST VEROOorzaakt DOOR WATEROVERLAST BEPAALD MET DE GROENMONITOR; LINKS IS DE SPREIDING VAN DE REDUCTIE WEERGEGEVEN MET BOXPLOTS (MINIMUM, EERSTE KWARTIEL, MEDIAAN, DERDE KWARTIEL EN MAXIMUM; TUKEY, 1977) VOOR LOCATIES WAAR WEL EN GEEN WATEROVERLAST IS GERAPPORTEERD

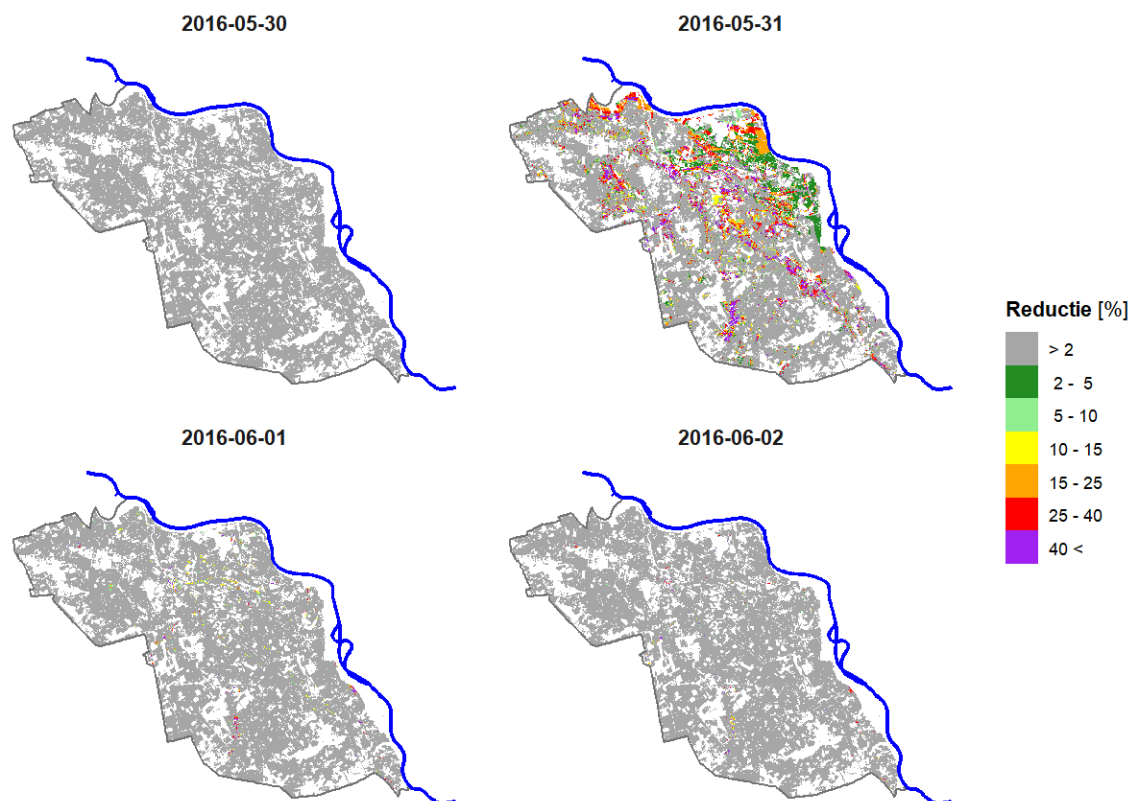


WWL-regionaal

Bij de toepassing van WWL-regionaal kijken we naar de gesimuleerde zuurstofstress gedurende de periode van 30 mei tot en met 2 juni, zie Figuur 5.3. De locaties waar zuurstofstress wordt gesimuleerd met het modelinstrumentarium komen niet overeen met de locaties waar meldingen van wateroverlast zijn binnengekomen of daar waar (op basis van de van radarinformatie afgeleide neerslagbeelden) de hoogste neerslagintensiteit heeft plaatsgevonden. Dit kan ook niet worden verwacht aangezien er gerekend wordt met neerslag gemeten ter plaatse van het weerstation Volkel. WWL-regionaal kan nog niet worden toegepast met neerslag afkomstig van radarbeelden. Voor het kunnen doorrekenen van de effecten van dergelijk extreme lokale buien is het dus aan te bevelen om het mogelijk te maken met radarbeelden te kunnen werken bij het toepassen van WWL-regionaal.

De meeste zuurstofstress wordt gesimuleerd daags na de natste dag in deze periode (geredeneerd vanuit Volkel). Op 30 mei zelf wordt geen zuurstofstress gesimuleerd. Dat er een vertraging zit in de simulatie van zuurstofstress duidt erop dat dit wordt veroorzaakt door een stijgende grondwaterstand.

FIGUUR 5.3 TRANSPIRATIEREDUCTIE ALS GEVOLG VAN ZUURSTOFSTRESS GESIMULEERD MET WWL-REGIONAAL



5.2 DROOGTESTRESS IN 2018

Voor de vergelijking van modelresultaten en groenindex bij droogtestress leggen we de focus op de droge zomer van 2018. Ter plaatse van het weerstation Volkel is op 8 juni 2018 een neerslaghoeveelheid van 17 mm geregistreerd. Daarna blijft het lange tijd droog tot 9 augustus 2018. Op die dag wordt er 26 mm neerslag gemeten. Tussendoor zijn er nog wel zes momenten met zeer lichte neerslag, maar dat stelt niet veel voor (in totaal minder dan 6 mm).

Vanaf het moment dat de droge periode begint is het eerste NDVI-beeld beschikbaar op 27 juni (19 dagen na de laatste neerslag). Vlak voor het einde van de droge periode is nog een NDVI-beeld beschikbaar op 6 augustus, 59 dagen na 8 juni. Zowel op 27 juni als op 6 augustus is het mogelijk om de reductie in groenindex als de reductie van het gesimuleerde oogstbare product te visualiseren, hetgeen gedaan is in Figuur 5.4.

FIGUUR 5.4 REDUCTIE IN NDVI (LINKS) EN GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (RECHTS) AAN HET BEGIN (BOVEN) EN HET EINDE (ONDER) VAN DE DROGE PERIODE IN 2018 VOOR ALLE PERCELEN MET GRAS OF SNIJMAIS ALS DOMINANT GEWAS



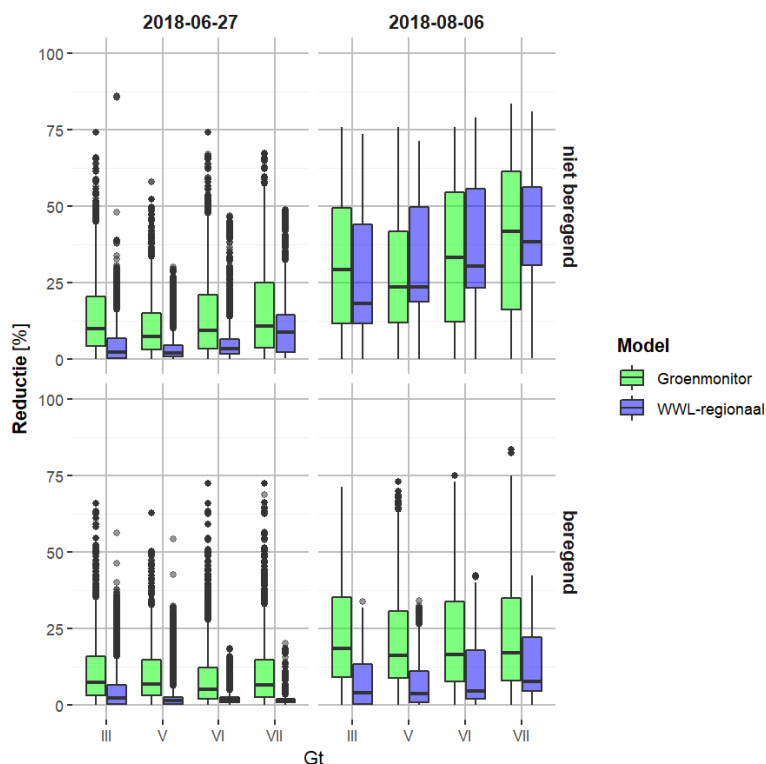
De reductie van de groenindex en de gesimuleerde reductie van het oogstbare product nemen flink toe vanaf 27 juni. Op 27 juni is ook al enige reductie van zowel de groenindex als het oogstbare product zichtbaar. Deze droogtestress is te verwachten aangezien er al 19 dagen zijn gepasseerd zonder grote neerslaghoeveelheden. De reductie in de groenindex is op veel locaties groter dan wordt gesimuleerd met de WWL. Dit heeft onder andere te maken met de periode in het groeiseizoen. Op 27 juni zijn percelen met snijmais namelijk nog niet volledig tot ontwikkeling gekomen en dan geeft de groenindex dus geen optimale situatie weer. Er is dan nog niet veel droogtestress. De resultaten van WWL en de groenindex komen op 6 augustus beter overeen.

Om beter te kunnen kwantificeren hoe het WWL-modelinstrumentarium presteert is in Figuur 5.5 de spreiding van reductie in groenindex en de reductie van het gesimuleerde oogstbare product gevisualiseerd, waarbij de resultaten worden uitgesplitst door rekening te houden met berekening (wel en niet-beregend) en de hydrologische condities (Gt III t/m VII). Ook hier is duidelijk te zien dat de reductie op 6 augustus flink is toegenomen ten opzichte van de situatie van 27 juni en dat op 27 juni ook al enige vorm van droogtestress zichtbaar is.

In de situatie zonder berekening (zie Figuur 5.5) komt de gesimuleerde droogtestress goed overeen met de reductie in NDVI. De droogtestress neemt voor Gt V en hoger toe naarmate de hydrologische condities droger worden. Voor de percelen die berekend worden blijft de gesimuleerde droogtestress achter ten opzichte van de reductie in groenindex. Dit suggereert dat niet al deze percelen berekend zijn of in ieder geval niet optimaal berekend zijn.

FIGUUR 5.5

SPREIDING IN REDUCTIE WEERGEGEVEN MET BOXPLOTS (MINIMUM, EERSTE KWARTIEL, MEDIAAN, DERDE KWARTIEL EN MAXIMUM; TUKEY, 1977), WAARBIJ DE RESULTATEN ZIJN UITGESPLITST NAAR WEL OF GEEN BEREKENING EN DE HYDROLOGISCHE CONDITIES ZIJN BESCHREVEN VIA GRONDWATERTRAPPEN



Per perceel is aanvullend de toename van de reductie van de groenindex bepaald ten opzichte van de situatie in 27 juni. Als verklarende variabelen voor deze toename gebruiken we het type gewas (in dit geval gras of snijmais), of er sprake is geweest van berekening, het bodemtype (bodemeenheid) en tenslotte de hydrologische situatie in de vorm van GLG. Als model gebruiken we hiervoor een 'random forest'-model (Breiman, 2001). Bij dit model wordt als het ware een heel 'bos' (forest) aan beslisbomen (regression trees) afgeleid die samen de toenemende reductie in groenindex voorspellen ('ensemble modelling'). Dit type model staat bekend om de goede voorspelkracht. Met dit model wordt 15% van de variantie van de reductie in de groenindex verklaart. Dat veronderstelt dat de voorspelde reductie van de groenindex nauwelijks afhangt van het bodemtype, het gewas en berekening en voornamelijk wordt gestuurd door variabelen die niet zijn meegenomen bij het afleiden van het 'random forest'-model (te denken valt aan de beschikbare hoeveelheid bodemvocht en de meteorologische condities). A priori wordt een grotere invloed van (met name) berekening, gewas en bodem op de reducties in gewasgroei verwacht.

Dat de verklarende variantie niet hoog is kan te maken hebben met de eerder beschreven onzekerheden zowel in de bestanden die zijn gebruikt als modelinvoer als de data op perceelsniveau waaraan is getoetst. Bij onzekerheden in modelinvoer kan gedacht worden aan de juistheid van de gewastypen (bijvoorbeeld verkeerde gewas opgave in de BRP) en de onzekerheid in de bodemkaart en de berekening (of er wordt berekend en in welke mate er wordt berekend). Het is aannemelijk om te veronderstellen dat met name de onzekerheid in de berekening een dominante rol heeft. Bij de analyse wordt er verder enige ruis gecreëerd door alle resultaten te middelen op het niveau van percelen. Binnen een perceel kunnen meerdere bodemtypen voorkomen en tevens zal er enige variatie zijn in hydrologische condities. Ook de gewasopkomst, en variëteit zal een rol spelen in de lage verklarende variantie.

5.3 RESUMÉ

Voor akkerbouwgewassen is bekend wanneer in het groeiseizoen het gewas onder optimale omstandigheden volledig tot ontwikkeling zou zijn gekomen. Als gevolg van te lage temperaturen, droogte en/of wateroverlast vlak voor of tijdens het begin van het groeiseizoen kunnen de gewasopkomst en de gewasontwikkeling worden vertraagd. Met de Groenmonitor is het mogelijk de werkelijk opgetreden vertraging in opkomst en ontwikkeling inzichtelijk te maken. Datzelfde geldt voor vertraging en het herstel daarvan tijdens het groeiseizoen. Voor de extreme neerslaggebeurtenis die zich op 2 juni 2016 heeft voorgedaan in (met name het zuidelijk deel van) het stroomgebied van de Raam, komen de patronen van reductie in de groenindex redelijk goed overeen met patronen van extreme neerslag en locaties waar wateroverlast is gerapporteerd.

Weerstation Volkel heeft op deze dag geen neerslag geregistreerd. De ruimtelijke variatie in neerslag is blijkaar groot geweest en dit is wel te zien aan radarbeelden. Met WWL-regionaal kan vooralsnog alleen gerekend worden met de meteorologische gegevens van een weerstation zoals Volkel en niet met de lokale radarbeelden. Voor het kunnen doorrekenen van de effecten van dergelijk extreme lokale buien is het aan te bevelen om het mogelijk te maken met radarbeelden te kunnen werken bij het toepassen van WWL-regionaal.

Gedurende de zomer van 2018 is er als gevolg van droogtestress een reductie zichtbaar in zowel de groenindex als het gesimuleerde oogstbare product. Voor niet-beregende locaties komen de resultaten van de Groenmonitor en WWL-regionaal goed met elkaar overeen. Voor wat betreft modelvalidatie trekken we dus op basis van de hiervoor beschreven resultaten de conclusie dat het WWL-modelinstrumentarium (SWAP-WOFOST) op regionale schaal in staat is om droogtestress te simuleren als de juiste hydrologische informatie bekend is.

Voor de locaties waarvan wordt aangenomen dat ze worden beregend komen de resultaten minder goed overeen en is de reductie in de groenindex groter dan de gesimuleerde droogtestress. Dit suggereert opnieuw dat deze percelen niet beregend zijn of in ieder geval niet optimaal. In hoofdstuk 4 kwam hetzelfde naar voren op perceelsniveau.

6

VERGELIJKING VAN SIMULATIE RELATIEVE GEWASOPBRENGST

Dit hoofdstuk betreft geen modelvalidatie, maar richt zich op de simulatie van relatieve gewasopbrengst met verschillende methoden. Een vergelijking met de gegevens van de Groenmonitor is in dit geval niet mogelijk omdat het gaat om de reductie van het oogstbare product aan het einde van het groeiseizoen. In eerste instantie richten we ons op de jaren 2017 tot en met 2020. Voor de vergelijking met de HELP methodiek kijken we naar een langjarige periode.

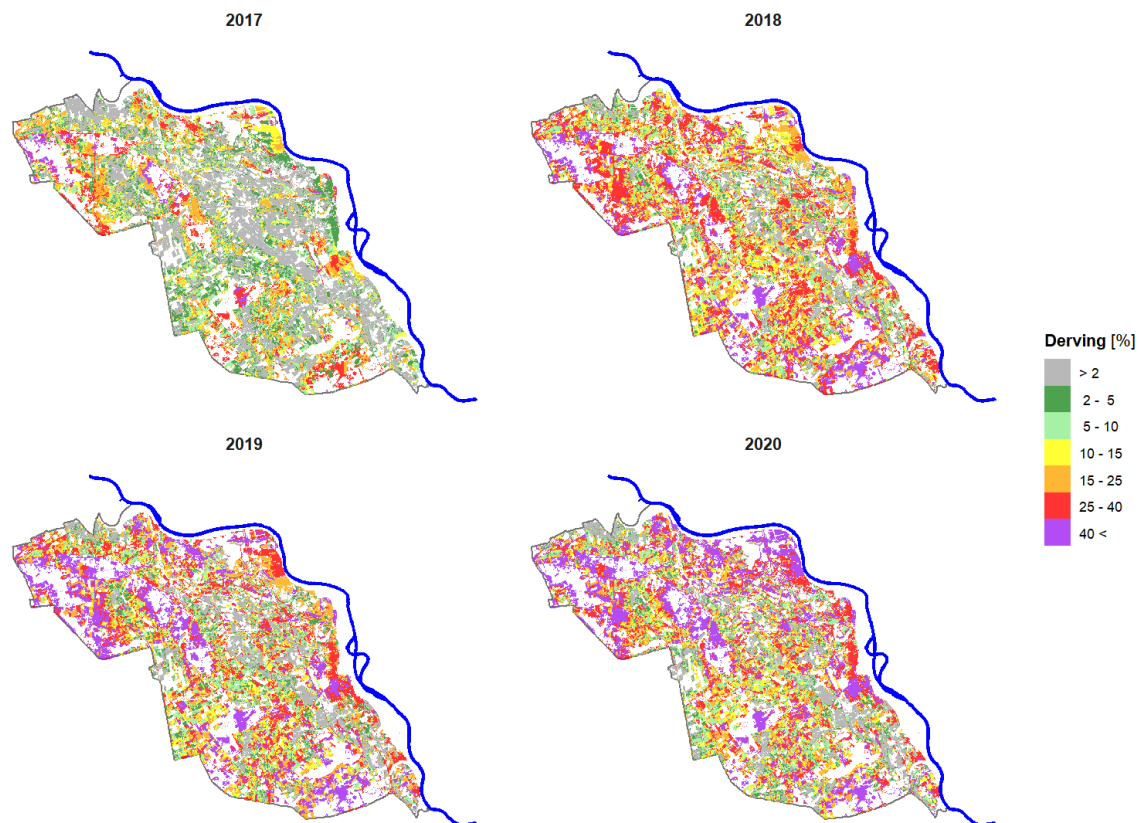
6.1 SIMULATIE VAN DE RELATIEVE GEWASOPBRENGST IN 2017 – 2020

Voor de periode 2017 tot en met 2020 worden resultaten van GRAM en de WWL-tabel met elkaar vergeleken. Omdat het met GRAM (MODFLOW-MetaSWAP-WOFOST) nog niet mogelijk is om de indirecte effecten te kwantificeren (Mens et al., 2021) kijken we voor de vergelijking alleen naar directe effecten (combinatie van droogte- en zuurstofstress).

GRAM

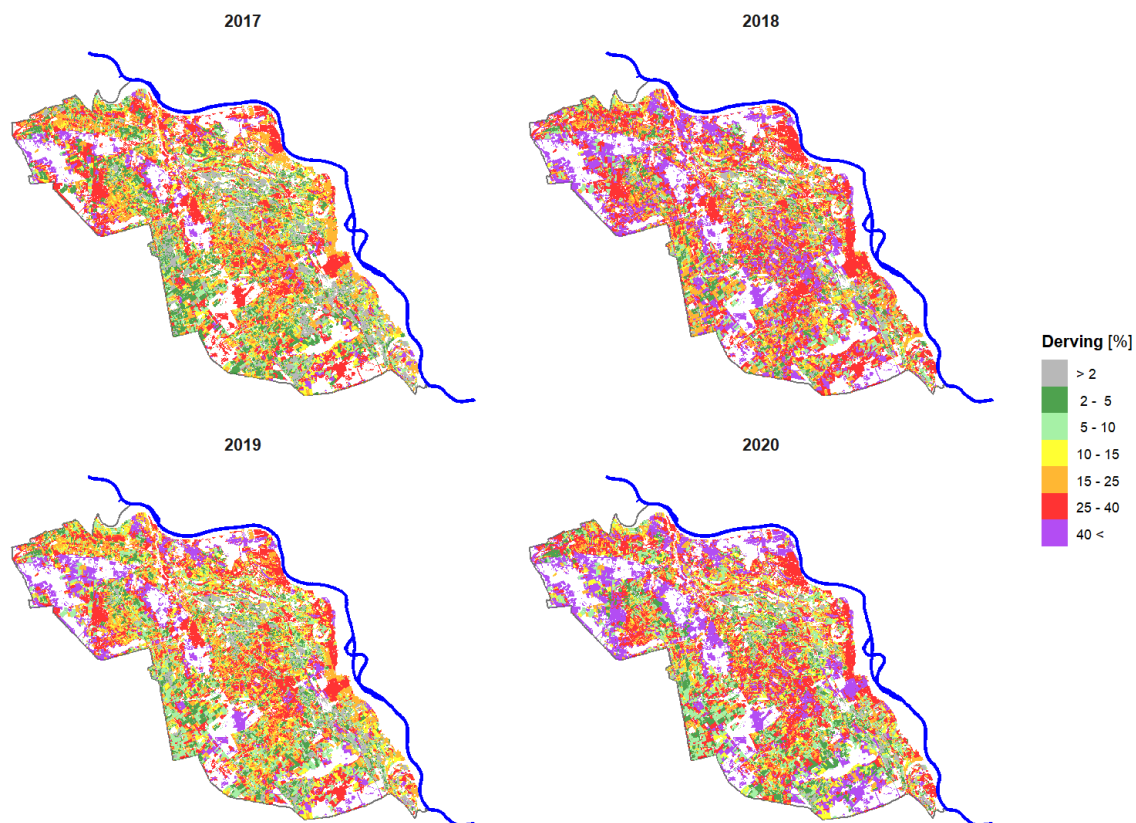
In Figuur 6.1 is de opbrengstderving als gevolg van directe effecten weergegeven voor de jaren 2017 tot en met 2020. Hierbij valt op dat de omstandigheden voor landbouw in 2017 redelijk gunstig zijn. De locaties waar ongunstige omstandigheden worden gesimuleerd komen overeen met locaties waar de grondwaterstands-karakteristieken niet boven 2 m-mv uitkomen. In de opeenvolgende jaren wordt aanzienlijk meer stress en dus opbrengstderving gesimuleerd. In 2019 en 2020 lijkt er meer stress gesimuleerd te worden dan in 2018 het geval is. De hydrologische omstandigheden als gevolg van de droge zomerperioden lijken niet voldoende te zijn hersteld gedurende de winter.

FIGUUR 6.1 OPBRENGSTDerving (%) VOOR DE PERIODE 2017 – 2020 BEREKEND MET GRAM

*WWL-tabel*

Met de WWL-metarelaties 3.0.0 is het nu ook mogelijk om resultaten op te vragen voor afzonderlijke weerjaren tot en met 2020. De opbrengstderving als gevolg van directe effecten (zowel droogte- als zuurstofstress) is weergegeven in Figuur 6.2. Ook hier is het jaar 2017 relatief gunstig ten opzichte van de andere jaren.

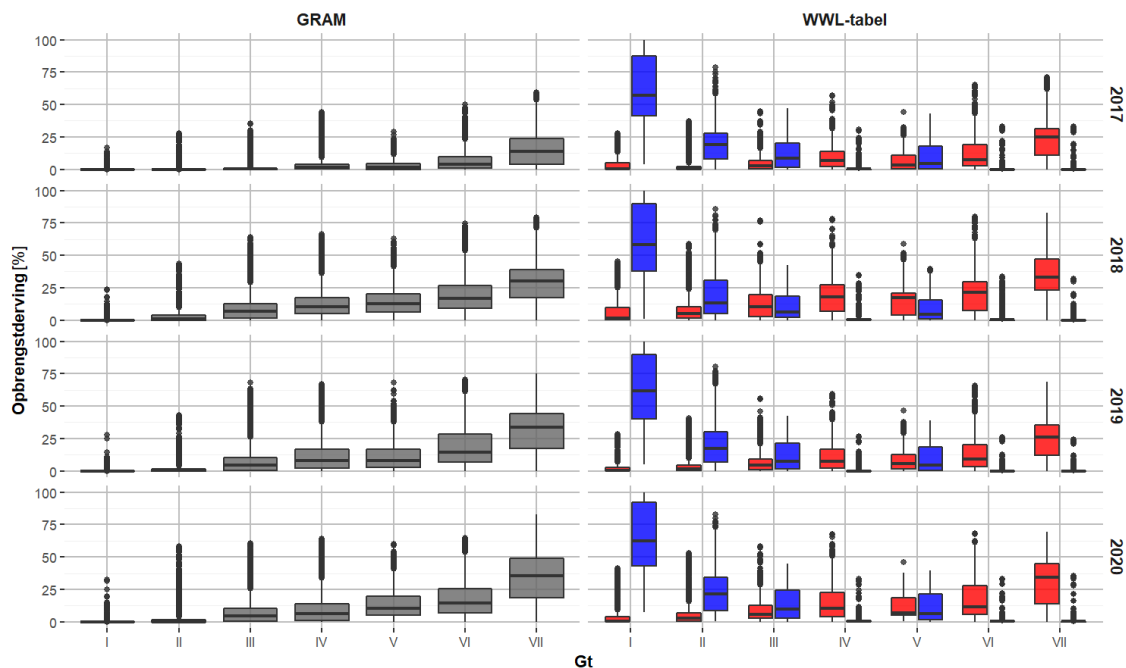
FIGUUR 6.2 OPBRENGSTDerving ALS GEVOLG VAN DIRECTE EFFECTEN (%) VOOR DE PERIODE 2017 – 2020 BEREKEND MET WWL-METARELATIES 3.0.0



In vergelijking met de relatieve gewasopbrengst gesimuleerd met GRAM wordt er meer opbrengstderving gesimuleerd door WWL. Een verklaring hiervoor is onder andere de simulatie van zuurstofstress waar in GRAM geen rekening mee wordt gehouden. In Bijlage B is de opbrengstderving als gevolg van droogte- en zuurstofstress ruimtelijk weergegeven. Als we de focus op alleen droogtestress leggen dan zijn de resultaten van GRAM en de WWL-tabel min of meer vergelijkbaar zoals te zien is in Figuur 6.3. In 2017 wordt onder relatief droge hydrologische omstandigheden meer droogtestress berekend met de WWL-tabel.

FIGUUR 6.3

SPREIDING IN OPBRENGSTDERIVING ALS GEVOLG VAN DIRECTE EFFECTEN (%) WEERGEGEVEN MET BOXPLOTS (MINIMUM, EERSTE KWARTIEL, MEDIAAN, DERDE KWARTIEL EN MAXIMUM; TUKEY, 1977) UITGESPLITST NAAR MODEL EN HYDROLOGISCHE CONDITIES WELKE ZIJN BESCHREVEN MET GRONDWATERTRAPPEN; MET IN HET GRIJS DE INDIRECTE EFFECTEN BEREKEND MET GRAM EN IN HET ROOD EN BLAUW RESPECTIEVELIJK DE DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS BEREKEND MET DE WWL-TABEL (WWL-METARELATIES 3.0.0)



Dat kan het gevolg zijn van allerlei oorzaken waarvan er reeds al een paar de revue zijn gepasseerd zoals:

- Meteorologie: GRAM maakt gebruik van meteorologische condities afkomstig van het weerstation Volkel, voor neerslag worden radarbeelden gebruikt. WWL-tabel ontleent de meteorologische condities van het weerstation Maastricht;
- Bodemfysische eigenschappen: WWL-tabel maakt gebruik van de BOFEK2020 in plaats van de Bodemkaart van Nederland;
- Hydrologische omstandigheden: Het modelinstrumentarium waarmee WWL-metarelaties zijn afgeleid werkt met andere randvoorwaarden.

Daarnaast bestaan er verschillen in de modelconcepten en -schematisering tussen SWAP en MetaSWAP (GRAM) zoals bijvoorbeeld in de aansturing van de wortelontwikkeling. Het is sowieso niet te verwachten dat de modellen exact dezelfde resultaten opleveren, simpelweg omdat MetaSWAP een vereenvoudiging betreft van SWAP.

6.2 SIMULATIE VAN LANGJARIG GEMIDDELDE RELATIEVE GEWASOPBRENGST

De langjarig gemiddelde opbrengstderiving als gevolg van te droge en te natte omstandigheden van de WWL-tabel en de HELP-tabel zijn met elkaar vergeleken. Om de verschillende stressfactoren te kunnen vergelijken zijn de resultaten van de HELP-tabel aangepast. De totale dervingsfractie bij de HELP-tabel volgt namelijk uit een vermenigvuldiging van de dervingsfractie als gevolg van droogte- en natschade. Bij de WWL-tabel betreft het een optelsom van de verschillende stressfactoren.

Voor de vergelijking van de natschade wordt bij de WWL-tabel de indirecte effecten en de zuurstofstress bij elkaar opgeteld. Bij de HELP-tabel wordt dit onderscheidt niet gemaakt.

Naast de bovengenoemde verschillen zijn er daarnaast nog tal van verschillen te noemen tussen beide methoden. De belangrijkste verschillen tussen HELP en WWL zijn weergegeven in Tabel 6.1.

TABEL 6.1 BELANGRIJKSTE VERSCHILLEN TUSSEN DE HELP-TABEL EN DE WWL-TABEL

	HELP-tabel	WWL-tabel
Rekenwijze		
Model	MUST, MUSTLD, LAMOS	SWAP-WOFOST
Meteo	1956-1986	1981-2020
Bodem	HELP (72 eenheden)	BOFEK2012 (72 eenheden) BOFEK2020 (79 eenheden)
Temporele resolutie	Decade (alleen groeiseizoen)	Dag (jaarrond)
Resultaat		
Opbrengstderving	Droogteschade o.b.v. modelsimulaties, natschade o.b.v. expertkennis.	Indirecte effecten, droogte- en zuurstofstress op basis van modelsimulaties.
Biomassa	Langjarig gemiddelde gewasopbrengst wordt als bekend verondersteld en moet door gebruiker worden opgegeven.	Gewasopbrengst wordt gesimuleerd en is afhankelijk van meteorologische condities. Met de WWL-tabel zijn de gewasopbrengsten opvraagbaar per jaar of voor een langjarig gemiddelde periode.
Temporele resolutie	Langjarig gemiddelde opbrengstderving. Vertaling naar een bepaald jaar is indirect mogelijk.	Langjarig gemiddelde opbrengstderving. Opbrengstderving per jaar direct opvraagbaar voor de periode 1981 – 2020.

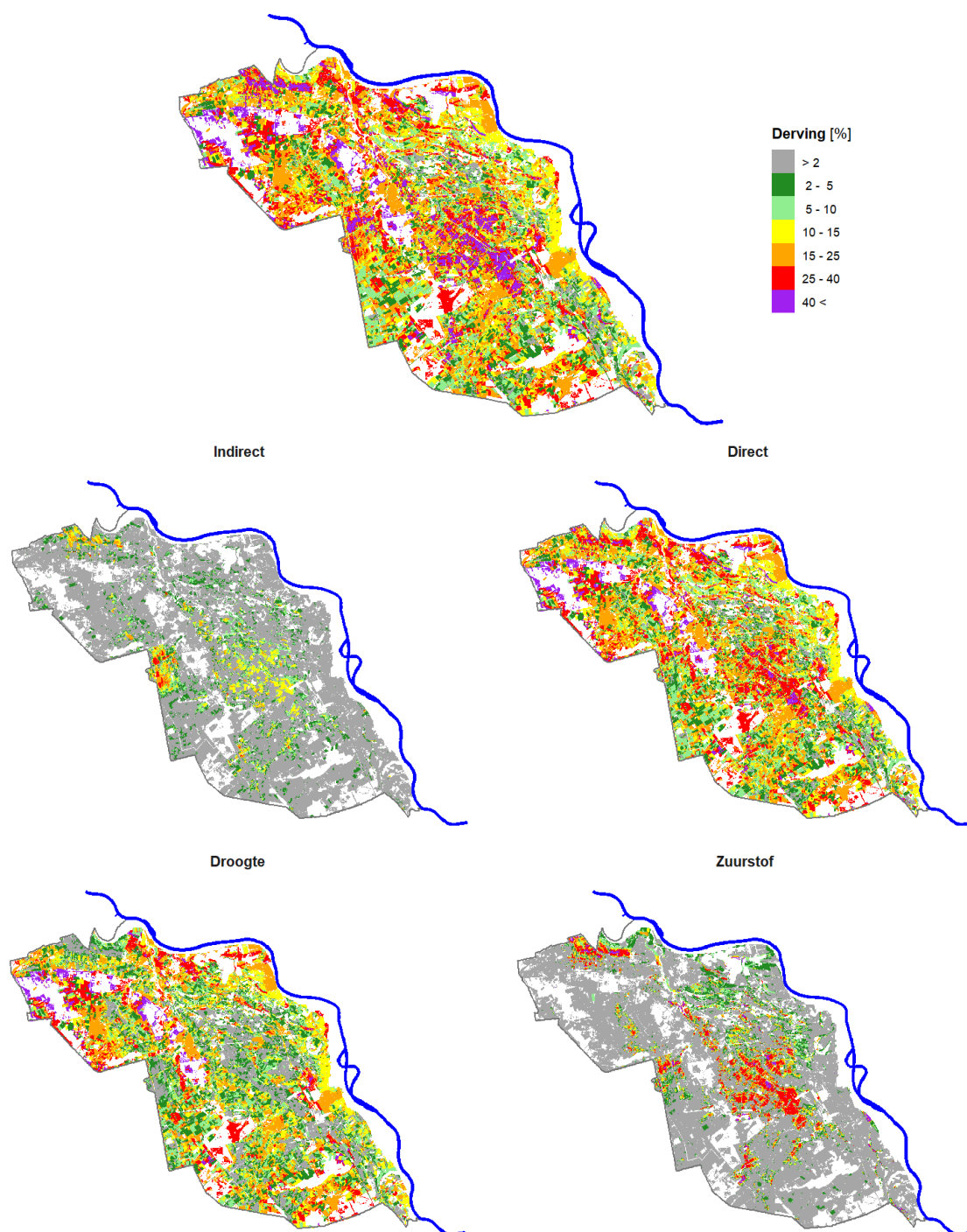
Vanwege de vele verschillen in aanpak en uitgangspunten tussen beide methoden zijn er verschillen in modelresultaten te verwachten. Het is zeer lastig (dan wel onmogelijk) om een goede verklaring voor deze verschillen te vinden. Daarvoor dient men te kunnen beschikken over een vastgelegde werkwijze die oude modelresultaten van de HELP-tabel kan reproduceren. Helaas is in loop der tijd veel kennis alsook de destijds gebruikte simulatiemodellen verloren gegaan of slechts ten dele opgeslagen zodat reproductie niet meer mogelijk is.

WWL-tabel

Het is mogelijk om met de WWL-metarelaties 3.0.0 resultaten op te vragen voor afzonderlijke jaren tot en met 2020. Daarnaast zijn er ook resultaten beschikbaar voor de langjarige periode 1981 – 2010 en 1991 – 2020. Deze laatste zijn gepresenteerd in Figuur 2.1. De totale opbrengstderving is hierbij de resultante van de indirecte en de directe effecten. In het stroomgebied van de Raam wordt de relatieve gewasopbrengst met name beïnvloed door de directe effecten. Daar waar de grondwaterstandskarakteristieken relatief nattere omstandigheden betreffen treden ook indirecte effecten op. Maken we een uitsplitsing van de directe effecten naar aandeel droogte- en zuurstofstress, dan zien we dat op deze nattere locaties veel zuurstofstress voorkomt. Op kleigronden is sprake van lichte zuurstofstress.

Droogtestress treedt met name op langs de Maas en naast bosgebieden. Dit betreft gebieden met droge omstandigheden waarbij de grondwaterstanden niet boven de 2 m-mv uitkomen.

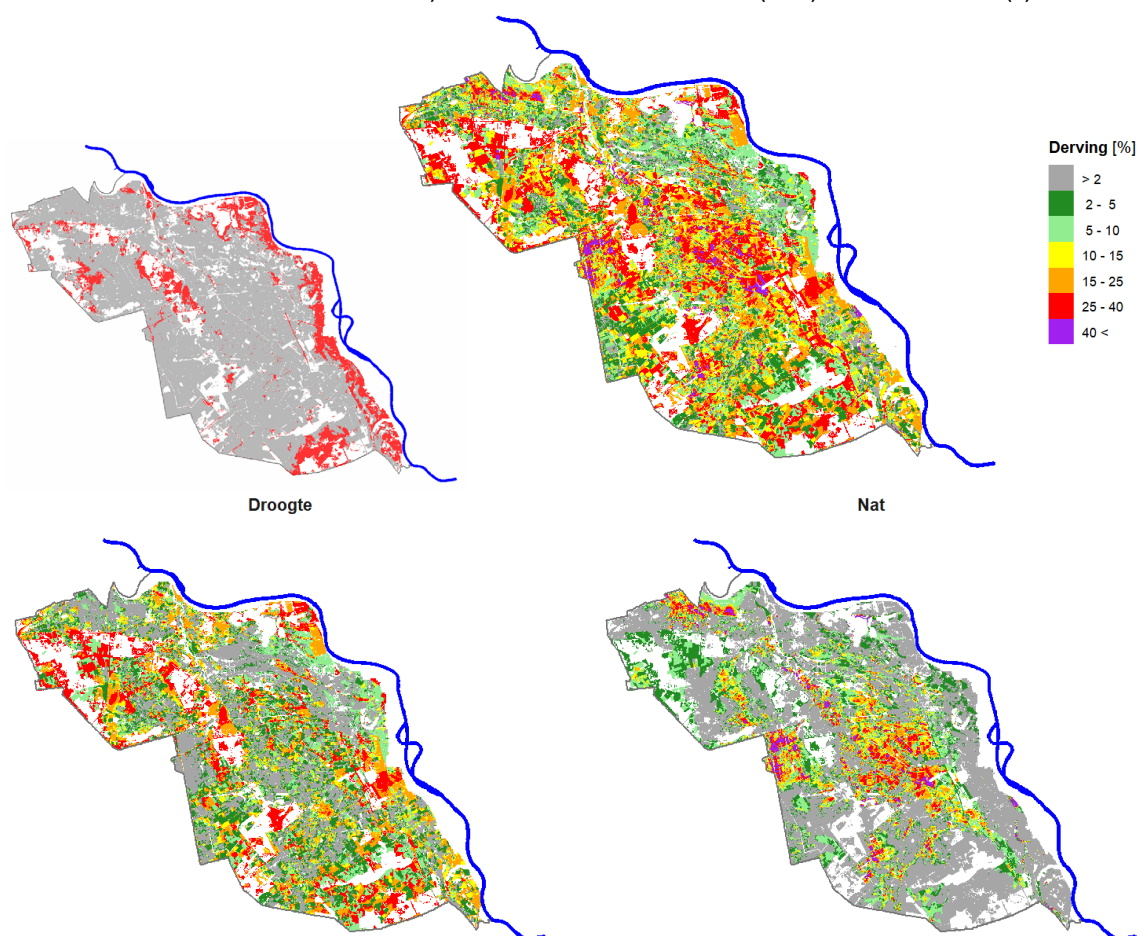
FIGUUR 6.4 LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDerving BEPAALD VOOR DE PERIODE 1991 - 2020 (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER) BEPAALD MET WWL-METARELATIES 3.0.0 (%)



HELP-tabel

De langjarig gemiddelde relatieve gewasopbrengst bepaalt met behulp van de HELP-tabel is weergegeven in Figuur 6.5. De totale opbrengstderving wordt in het stroomgebied van de Raam net als bij de WWL-tabel veroorzaakt door zowel te droge als te natte omstandigheden. Opbrengstderving als gevolg van te droge omstandigheden zijn met name te vinden rondom de bosgebieden waar de grondwaterstand diep uitzakt. De hydrologische condities zijn hier dermate droog dat de resultaten buiten het bereik van de HELP-tabel ligt¹⁰. Ditzelfde geldt voor het gebied langs de Raam waar aanzienlijk minder droogteschade wordt berekend. Op deze locaties berekend de WWL-tabel meer droogtestress.

FIGUUR 6.5 LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDerving (BOVEN; LINKSBOVEN IS IN HET ROOD AANGEGEVEN OF DE HYDROLOGISCHE CONDITIES BUITEN HET BEREIK VAN DE HELP-TABEL LIGGEN) UITGESPLITST NAAR DROOGTE- EN NATSCHADE (ONDER) BEPAALD MET HELP-TABEL (%)

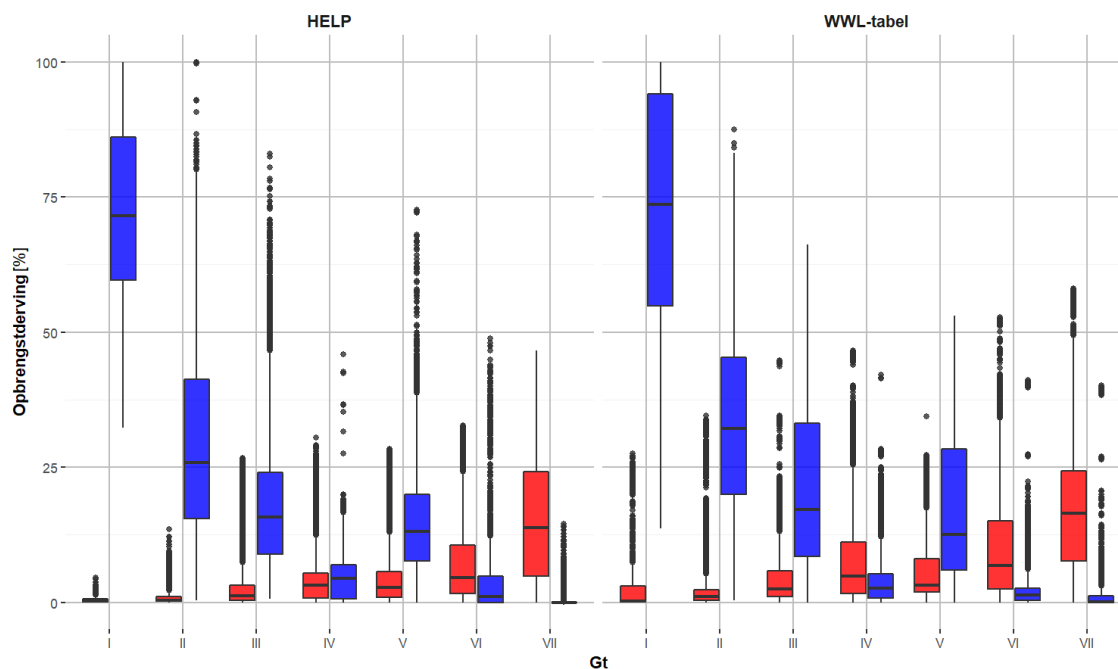


Vergelijken we de gesimuleerde opbrengstderving als gevolg van te natte omstandigheden dan lijken de locaties waar natschade voorkomt in het stroomgebied min of meer met elkaar overeen te komen. Vooral in het midden van het stroomgebied wordt door zowel de HELP-tabel als de WWL-tabel een groot percentage zuurstofstress berekend waarbij de WWL-tabel voor deze locatie meer zuurstofstress berekend. Voor locaties waar sprake is van natte voorjaarscondities in combinatie met zomercondities waarbij de grondwaterstand tot circa 1 m-mv uitzakt is bekend dat WWL-tabel de zuurstofstress wordt overschat door extrapolatie van modelresultaten (Mulder et al., 2021).

¹⁰ Om toch modelresultaten te genereren voor grondwaterstandskarakteristieken die buiten het bereik van de HELP-tabel liggen worden de grondwaterstandskarakteristieken aangepast. Bij het bepalen van de droogteschade wordt de GLG aangepast en bij het bepalen van de natschade wordt de GHG aangepast (conform gebruikershandleiding AGRICOM; Mulder et al., 2014).

In Figuur 6.6 zijn de resultaten van beide methoden uitgesplitst naar grondwatertrappen. De modelresultaten komen redelijk met elkaar overeen. Onder relatief natte omstandigheden wordt er meer droogtestress gesimuleerd met de WWL-tabel met uitschieters tot meer dan 10% bij grondwatertrap I. Uit analyse blijkt dat dit alleen voorkomt bij bodemeenheden met zware tot zeer zware klei in het bodemprofiel waarvan bekend is dat de droogtestress wordt overschat onder natte omstandigheden.

FIGUUR 6.6 SPREIDING IN OPBRENGSTDERIVING ALS GEVOLG VAN DIRECTE EFFECTEN (%) WEERGEGEVEN MET BOXPLOTS (MINIMUM, EERSTE KWARTIEL, MEDIAAN, DERDE KWARTIEL EN MAXIMUM; TUKEY, 1977) UITGESPLITST NAAR MODEL EN HYDROLOGISCHE CONDITIES WELKE ZIJN BESCHREVEN MET GRONDWATERTRAPPEN; MET IN HET ROOD EN BLAUW RESPECTIEVELIJK DE DROOGTE- EN NATSCHADE BEREKEND MET DE HELP-TABEL EN DE WWL-TABEL (WWL-METARELATIES 3.0.0)



Hoewel de modelresultaten uitgesplitst naar grondwatertrappen min of meer in dezelfde orde liggen zijn er lokaal wel grote verschillen. Het wordt aanbevolen om de verschillen tussen beide modellen beter te duiden waarbij nader ingegaan wordt op de verschillende landgebruiksvormen en bodemtypen. Zoals eerder aangegeven is het vinden van een verklaring voor de verschillen tussen beide modellen zeer lastig. Alleen validatie kan aantonen of een model naar behoren presteert.

7

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In de voorgaande hoofdstukken is het modelinstrumentarium van Waterwijzer Landbouw vergeleken met de Groenmonitor op lokale en regionale schaal. Ook is een vergelijking gemaakt met de resultaten van GRAM en HELP. In de volgende paragrafen geven we de conclusies en aanbevelingen.

7.1 VALIDATIE WATERWIJZER LANDBOUW MET DATA VAN DE GROENMONITOR

Lokale schaal

Uit de vergelijking van modelresultaten van WWL (WWL-regionaal) met de NDVI-data van de Groenmonitor worden de volgende conclusies getrokken:

- Het WWL-modelinstrumentarium (SWAP-WOFOST) is in staat om de momenten waarop ongunstige omstandigheden als gevolg van droogtestress optreden te simuleren. De resultaten van de berekende transpiratiereductie en van de stagnatie in de ontwikkeling van het oogstbare product komen overeen met momenten waarop een aanhoudende reductie in de groenindex is waargenomen. De momenten waarop een herstel van de groenindex zichtbaar is (als gevolg van neerslag) komen overeen met herstel van de gewasgroei in de simulatieresultaten.
- Het modelinstrumentarium (WWL-regionaal) kan de transpiratiereductie en de bijbehorende reductie van gewasgroei op het juiste moment in het groeiseizoen simuleren.
- Omdat geen gewasopbrengsten zijn gemeten kon geen validatie van de berekende gewasproductie (biomassa) worden uitgevoerd.
- De onzekerheid waar in de praktijk is berekend maakt dat de resultaten van het WWL-modelinstrumentarium (SWAP-WOFOST) en de Groenmonitor niet altijd overeen komen.

Regionale schaal

Vergelijken van de WWL met de NDVI-data van de Groenmonitor (groenindex) voor het stroomgebied van de Raam leidt tot de volgende conclusies:

- Voor de zomer van 2018 is er als gevolg van droogtestress een reductie zichtbaar in zowel de groenindex als het met WWL-regionaal gesimuleerde oogstbare product. Voor niet-beregende locaties komen de resultaten van de Groenmonitor en WWL-regionaal goed met elkaar overeen.
- Voor de locaties binnen de regio waarvan wordt aangenomen dat ze worden beregend komen de resultaten minder goed overeen en is de reductie in de groenindex groter dan de gesimuleerde droogtestress. Dit suggereert opnieuw dat deze percelen niet beregend zijn of in ieder geval niet optimaal.
- Het WWL-modelinstrumentarium (SWAP-WOFOST) is in staat om binnen gebieden regionale patronen van droogte te simuleren als de juiste hydrologische informatie bekend is.
- In juni 2016 is tijdens de periode waarin veel akkerbouwgewassen in ontwikkeling zijn wateroverlast ontstaan. De patronen van reducties in groenindex van de Groenmonitor

komen goed overeen met de patronen van extreme neerslag en met de locaties waar meldingen van wateroverlast zijn gemaakt.

- Deze patronen van wateroverlast konden niet gesimuleerd worden met WWL-regionaal omdat de zeer lokale extreme buien ontbreken in de metingen van het gebruikte weerstation.

7.2 VERGELIJKEN WWL-TABEL MET GRAM

De modelresultaten van de WWL-tabel en GRAM met betrekking tot droogtestress zijn vergelijkbaar met elkaar. De relatieve gewasopbrengsten berekend met GRAM en de WWL-tabel verschillen omdat:

- GRAM de meteorologische gegevens van weerstation Volkel en radarbeelden voor neerslag gebruikt. De WWL-tabel gebruikt meteorologische gegevens van het weerstation Maastricht;
- De opbrengstderving als gevolg van zuurstofstress wordt door GRAM niet gesimuleerd. De droogtestress berekend met GRAM en de WWL-tabel zijn vergelijkbaar.
- De WWL-tabel maakt gebruik van bodemkundige gegevens van BOFEK2020 en GRAM van niet-geaggregeerde gegevens van de Bodemkaart van Nederland;
- De modellen met verschillende hydrologische (onder)randvoorwaarden werken;
- GRAM maakt gebruik van MetaSWAP en dat is een vereenvoudiging van SWAP. De WWL-tabel is een metamodel van SWAP.

7.3 VERGELIJKEN WWL-TABEL MET DE HELP-TABEL

De langjarig gemiddelde relatieve gewasopbrengsten berekend met WWL-tabel en HELP komen ondanks de verschillen in aanpak en uitgangspunten redelijk goed met elkaar overeen. Wel valt op dat voor locaties met relatief natte voorjaarscondities in combinatie met zomercondities waarbij de grondwaterstand tot circa 1 m-mv uitzakt de WWL-tabel de zuurstofstress overschat. Bij locaties met zware tot zeer zware klei in het bodemprofiel wordt de droogtestress onder natte omstandigheden overschat. Beide problemen zijn reeds gerapporteerd.

Voor de overige verschillen is het lastiger om een duidelijke verklaring te vinden. Daarvoor is het noodzakelijk om de resultaten van de HELP te reproduceren die zijn gebruikt bij het opstellen van de HELP-tabellen. Helaas is in loop der tijd veel kennis alsook de destijds gebruikte simulatiemodellen verloren gegaan of slechts ten dele opgeslagen zodat reproductie niet meer mogelijk is.

De bruikbaarheid van de HELP-tabel kan niet worden aangetoond met de nu beschikbare data van de Groenmonitor. De Groenmonitor heeft betrekking op een relatief korte periode, satellietbeelden van de groenindex zijn vanaf 2016 beschikbaar. De HELP-tabel heeft betrekking op een langjarig gemiddelde periode waarbij de relatie tussen hydrologie en gewasopbrengst is gebaseerd op de periode 1951 – 1980. Omdat de HELP-tabel decennia lang is gebruikt voor het inschatten van droogte- en natschade is het begrijpelijk dat de vergelijking door gebruikers op prijs wordt gesteld. De grote verschillen in de methoden en het gegeven dat ze sowieso betrekking hebben op andere weerjaren maken dat ze onderling niet vergelijkbaar zijn.

7.4 AANBEVELINGEN

Uit de conclusies volgen een aantal aanbevelingen:

- Voor een nadere modelvalidatie is het belangrijk om gewasopbrengsten te meten en ook om gegevens over berekening te verzamelen. De recent ontwikkelde beregeningskaart voor Nederland kan bij dit laatste wellicht bruikbaar blijken;
- Om een betere vergelijking te kunnen maken tussen WWL-Regionaal en de groenindex is het belangrijk om vast te stellen welke percelen wel en niet beregend zijn. Als dat is gebeurd is beter vast te stellen of de gesimuleerde regionale patronen overeenkomen met de realiteit.
- Voor het kunnen simuleren van de effecten van lokale extreme neerslag is het aan te bevelen om het mogelijk te maken dat WWL gebruik kan maken van radarbeelden als neerslagdata.
- Om voor gebruikers inzicht te verschaffen in de verschillen tussen HELP en de WWL-tabel is een nadere analyse van de berekeningen wenselijk.

Lokale schaal

Vanwege het vooralsnog ontbreken van regionale datasets aan gewasopbrengsten is het alleen mogelijk om de simulatie van gewasopbrengst te valideren op locaties waar zowel hydrologische omstandigheden (grondwaterstand en bodemvocht) als gewasopbrengsten (gewicht in kilogram droge stof per hectare) worden gemonitord. Bij de ontwikkeling van WWL is dit voor een aantal locaties (zoals proefboerderijen Zegveld, De Marke en Vredepeel) gerealiseerd. Omdat de ontwikkeling van WWL sindsdien niet heeft stilgestaan is het aan te bevelen om deze toetsing opnieuw uit te voeren met nu ook meenemen van de data van de Groenmonitor. Voor een completere validatie dient er aandacht uit te gaan naar het inventariseren van recentere data en mogelijk nieuwe locaties waarvoor de benodigde data voorhanden zijn of worden verzameld. We denken daarbij aan nieuwe data van proefbedrijven en mogelijk ook andere datasets vanuit de praktijk. De voorkeur gaat uit naar gegevens die onder gecontroleerde omstandigheden zijn verzameld. Data afkomstig van rassenproeven kunnen mogelijk worden ingezet voor het valideren van de potentiële gewasopbrengst.

Regionale schaal

Naast validatie op perceelniveau blijft ook validatie op regionale schaal een wens omdat immers WWL veelal op regionale schaal wordt toegepast. Validatie op die schaal kan zorgen voor voldoende vertrouwen in het instrument. In dit rapport lag de focus op het stroomgebied van de Raam. Het is ook mogelijk om de groenindex (NDVI-data) te aggregeren naar BOFEK-Gt-combinaties en daarmee naar nationale schaal.

LITERATUUR

Van Bakel, P. J. T., Linderhof, V., Van 't Klooster, C. E., Veldhuizen, A. A., Goense, D., Mulder, H. M. & Massop, H. T. L. 2009. Definitiestudie AGRICOM: Alterra, Alterra-rapport 1934.

Boogaard, H.L., A.J.W. de Wit, J.A. te Roller & C.A. van Diepen, 2011. *User's guide for the WOFOST Control Center 1.8 and WOFOST 7.1.3 crop growth simulation model*. Wageningen. Available at: <http://www.wofost.wur.nl>

Breiman, L., 2001. *Random Forests*. Machine Learning 45: 5-32.

Dam, J.C. van, Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A. & Kroes, J.G., 2008. *Advances of Modeling Water Flow in Variably Saturated Soils with SWAP*. Vadose Zone Journal, 7(2), 640–653.

De Vries, F., 1999. *Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken*. DLO-Staring Centrum, Wageningen, Rapport 654.

Hack-ten Broeke, M., J. Kroes, R. Hendriks, R. Bartholomeus, J. van Bakel & I. Hoving. 2013. *Actualisatie schadefuncties voor de landbouw, tussenfase 2a: plausibiliteitstoets SWAP en enkele verkennende berekeningen*. STOWA, Amersfoort, STOWA rapport 2013-37.

Heinen, M., Mulder, M., Walvoort, D.J.J., Bartholomeus, R., Stofberg, S.F., Hack-ten Broeke, M.J.D., 2017. *Praktijktoets Waterwijzer Landbouw in pilotgebieden de Raam en Vecht*. STOWA, Amersfoort, STOWA rapport 2017-44.

Heinen, M., Bakker, G. & Wösten, J.H.M., 2020. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks; Update 2018*. Wageningen Environmental Research, Wageningen. Rapport 2978.

Heinen, M., F. Brouwer, K. Teuling, D. Walvoort, 2021. *BOFEK2020 – Bodemfysische schematisatie van Nederland; Update bodemfysische eenhedenkaart*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3056.

Knotters., M. J. van Bakel, R. Bartholomeus, M. Hack-ten Broeke, R. Hendriks, G. Holshof, I. Hoving, J. Kroes, M. Mulder & D. Walvoort. 2017. *Waterwijzer landbouw fase 3: naar een operationeel systeem voor gras en maïs*. STOWA, Amersfoort, STOWA rapport 2017-07.

Kroes, J. G., Bartholomeus, R., van Dam, J. C., Hack-ten Broeke, M.J. D., Supit, I., Hendriks, R. F. A., de Wit, A. J. W., van der Bolt, F. J. E., Walvoort, D. J. J. Hoving, I. E. & van Bakel, J., 2015. *Waterwijzer Landbouw, fase 2; Modelleren van het bodem-water-plantsysteem met het gekoppelde instrumentarium SWAP-WOFOST*. STOWA, Amersfoort, STOWA rapport 2015-16.

Kroes, J. G., van Dam, J. C., Bartholomeus, R. P., Groenendijk, P., Heinen, M., Hendriks, R. F. A., van Walsum, P. E. V. (2017). *SWAP version 4; Theory description and user manual*. (Report 2780), Wageningen Environmental Research, Wageningen, The Netherlands. Available at: <https://swap.wur.nl>.

Mens, M., Mulder, H. M., Pouwels, J., 2021. *Landbouwinstrumentarium voor landelijke zoetwateranalyses: Beschrijving en ontwikkeladvies*. Utrecht, Deltares, Rapport 11205272-020-ZWS-0005

Mulder, H.M. & Veldhuizen, A.A., 2014. *AGRICOM 2.01; Theorie en gebruikershandleiding*. Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 2576.

Mulder, H.M., van Huijgevoort, M., Bartholomeus, R. & Hack-ten Broeke, M. J. D., 2019. *Pilottoepassingen van Waterwijzer Landbouw in Laag Nederland*. STOWA, Amersfoort, STOWA rapport 2019-31.

Mulder, H.M., Dik, P., Heinen, M., Bartholomeus, R., van Dam, J. C. & Hack-ten Broeke, M. J. D., 2021. *Opties binnen Waterwijzer Landbouw in 2020; van WWL-tabel versie 2.0.0 tot maatwerk met WWL-regionaal*. STOWA, Amersfoort, STOWA rapport 2021-03.

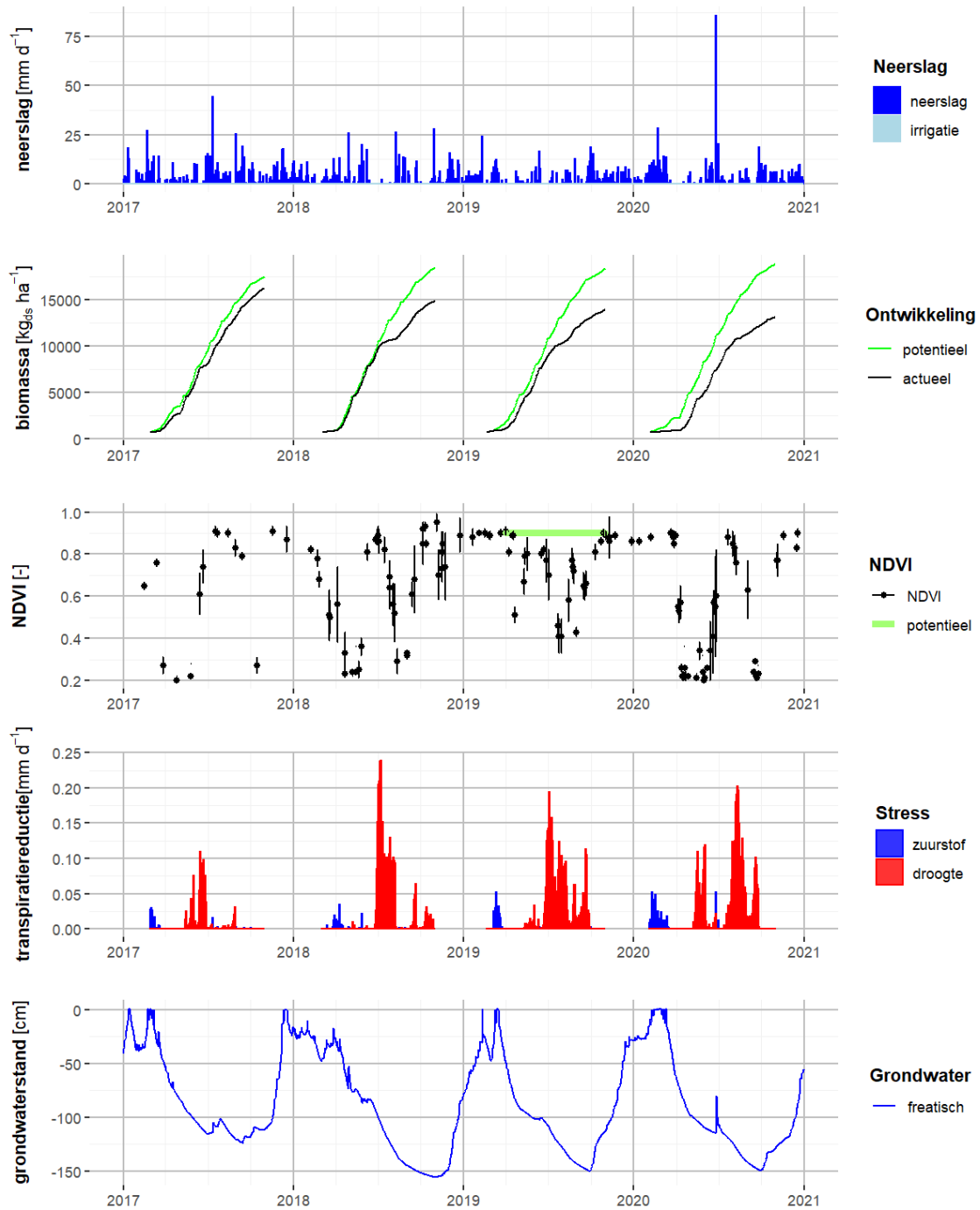
Tukey, J.W., *Explatory Data Analysis*. Addison-Wesley., 1977.

Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018. *Waterwijzer Landbouw instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie*. STOWA, Amersfoort, STOWA rapport 2018-48.

BIJLAGE A

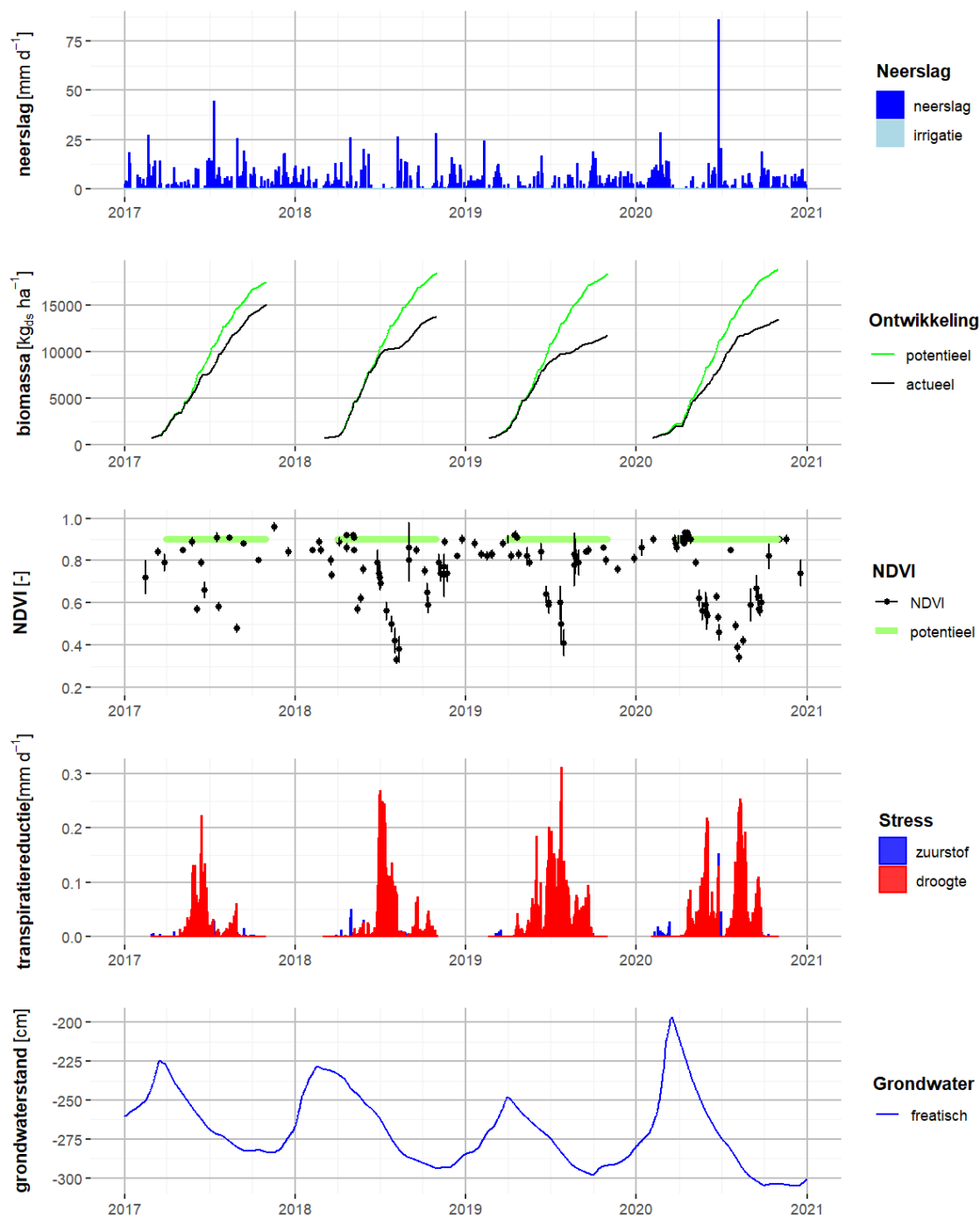
RESULTATEN GRASLAND EN SNIJMAIS

FIGUUR A.1 INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELDE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL G3 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



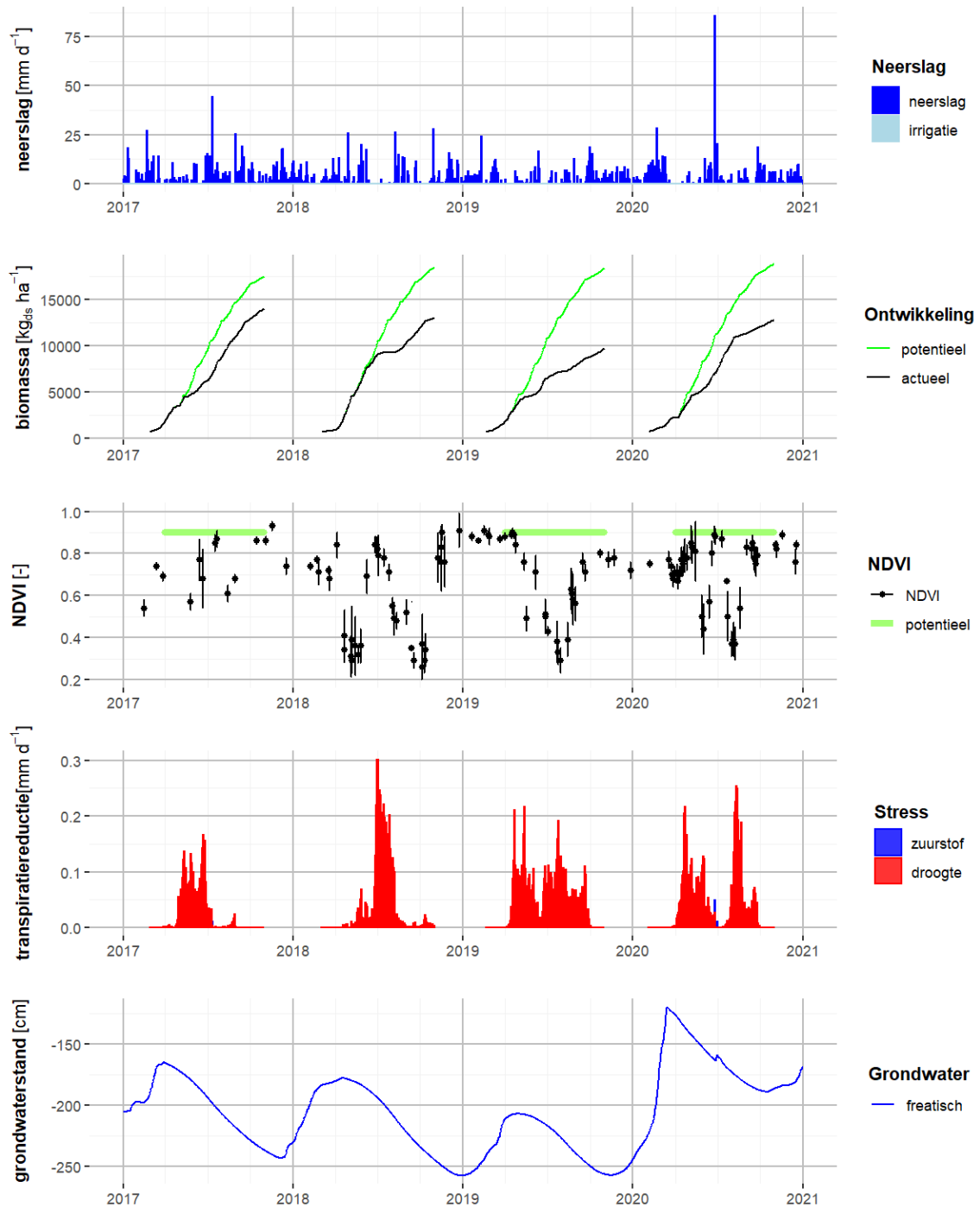
FIGUUR A.2

INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL G4 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



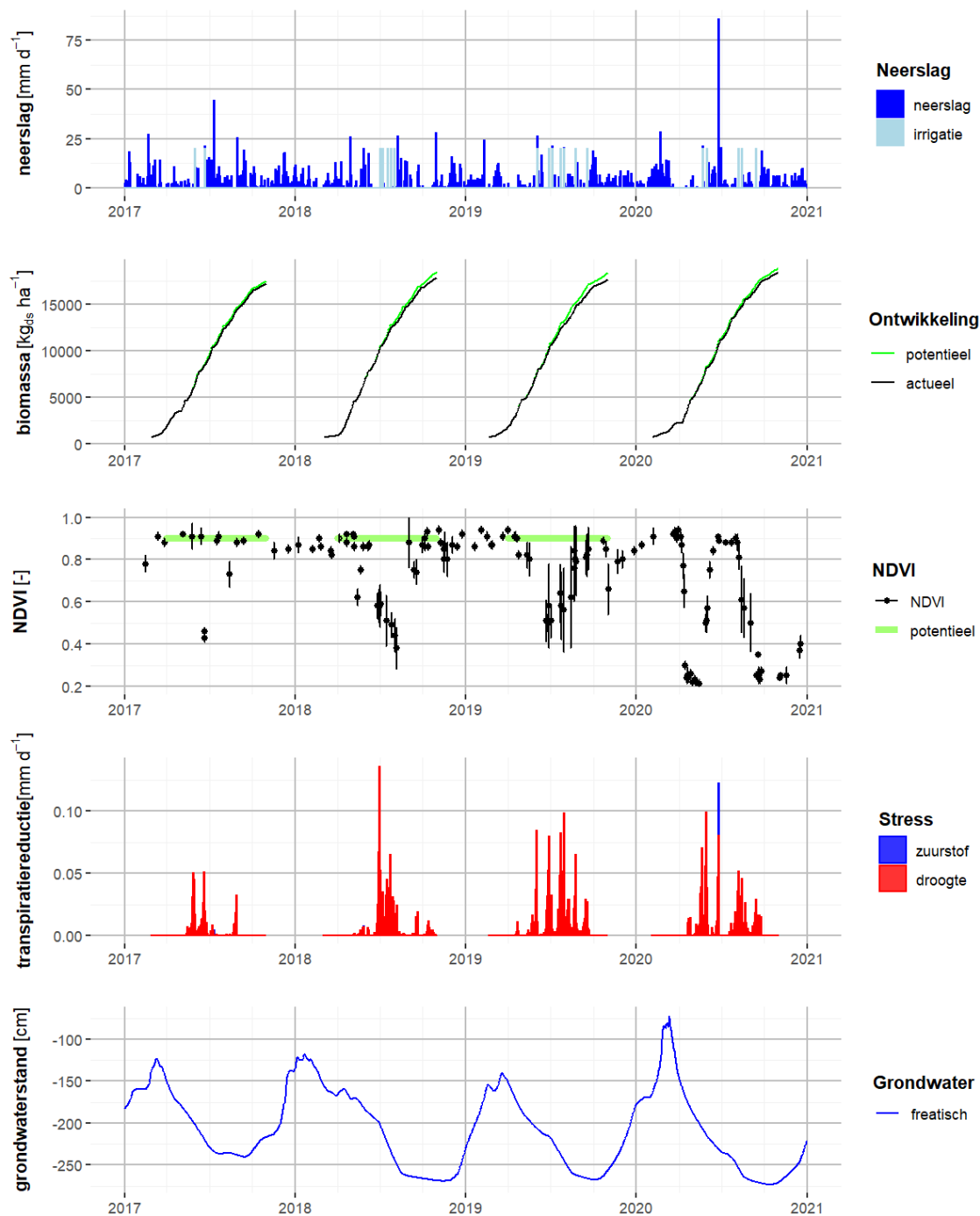
FIGUUR A.3

INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELDE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL G5 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



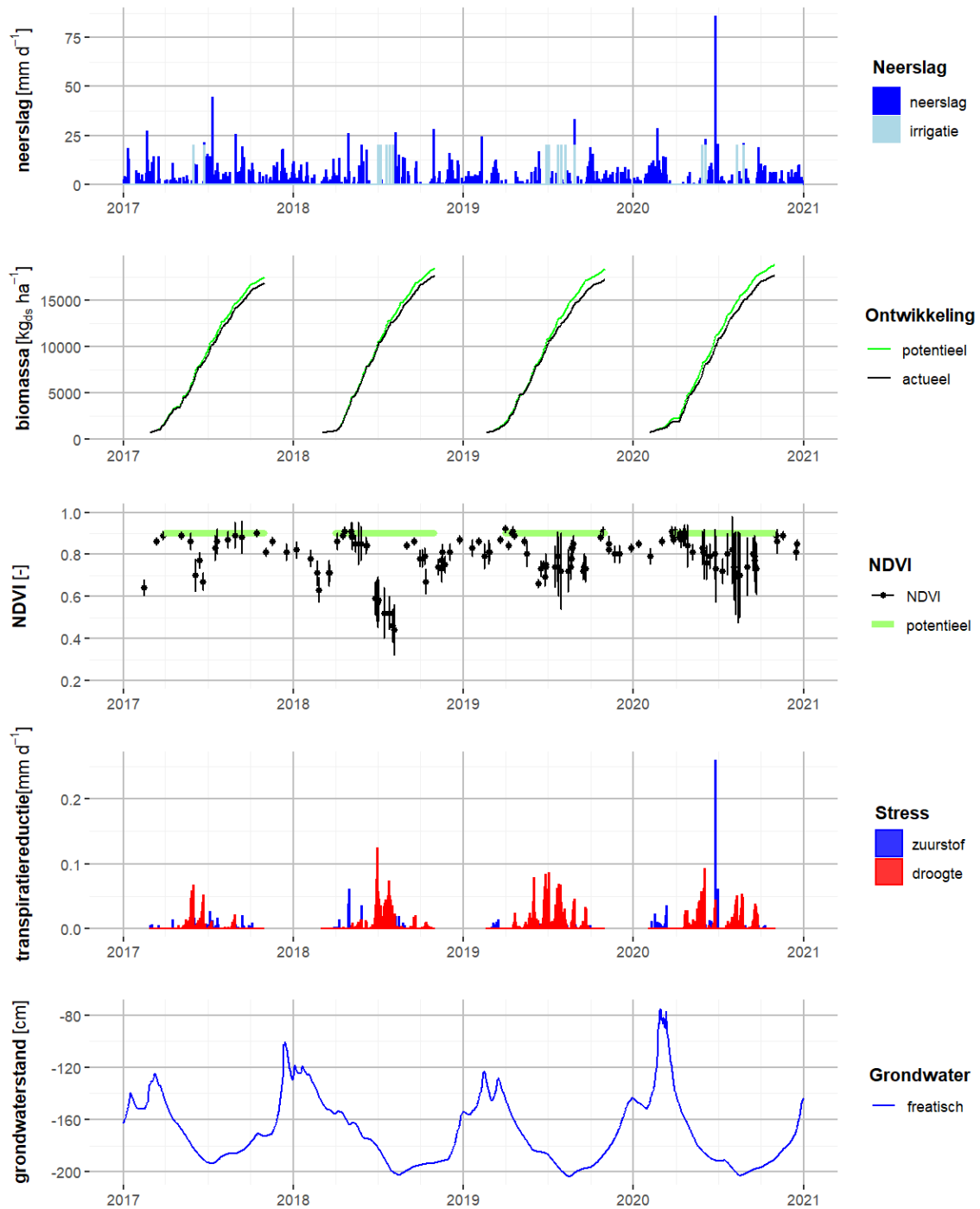
FIGUUR A.4

INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL G8 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



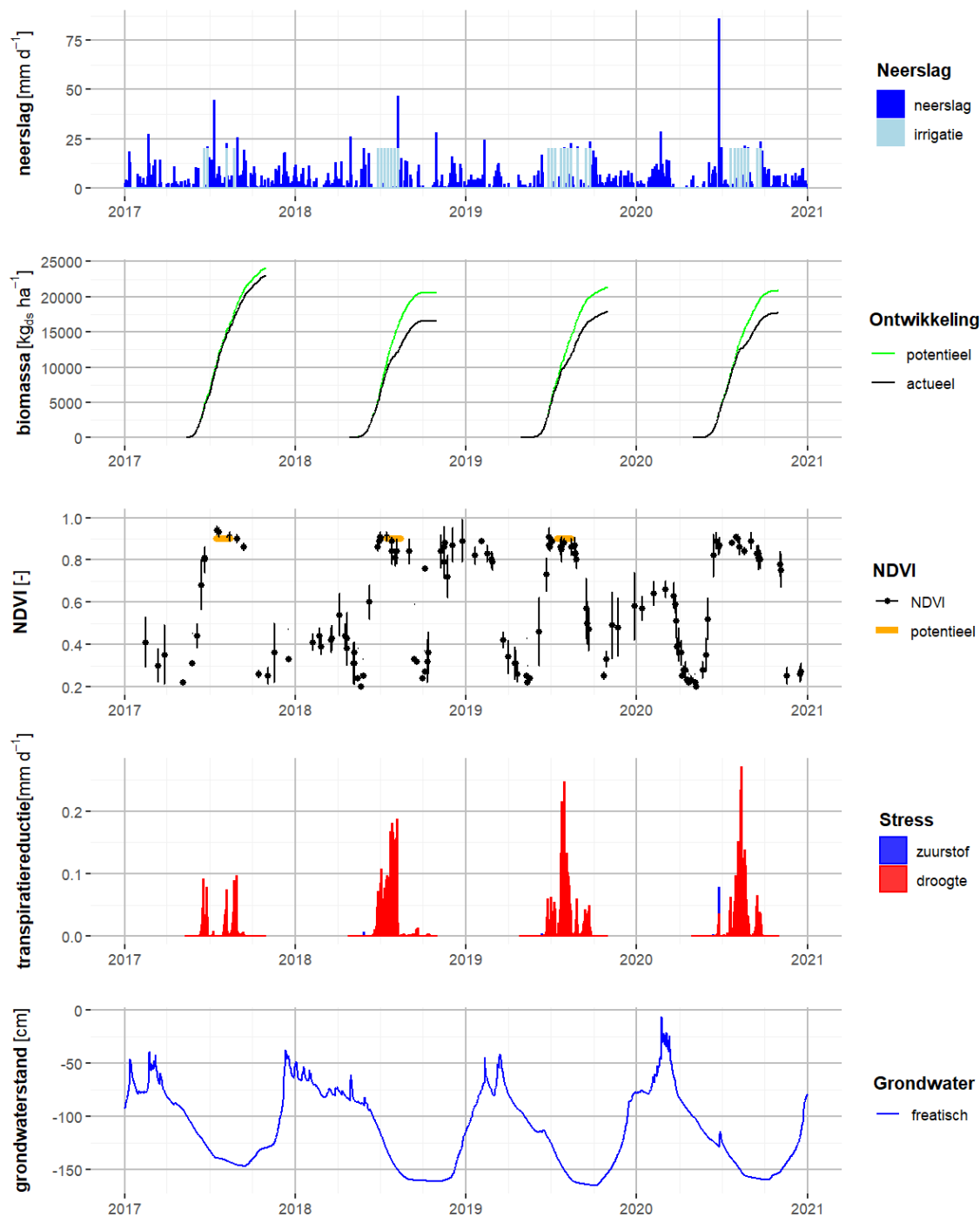
FIGUUR A.5

INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL G9 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)

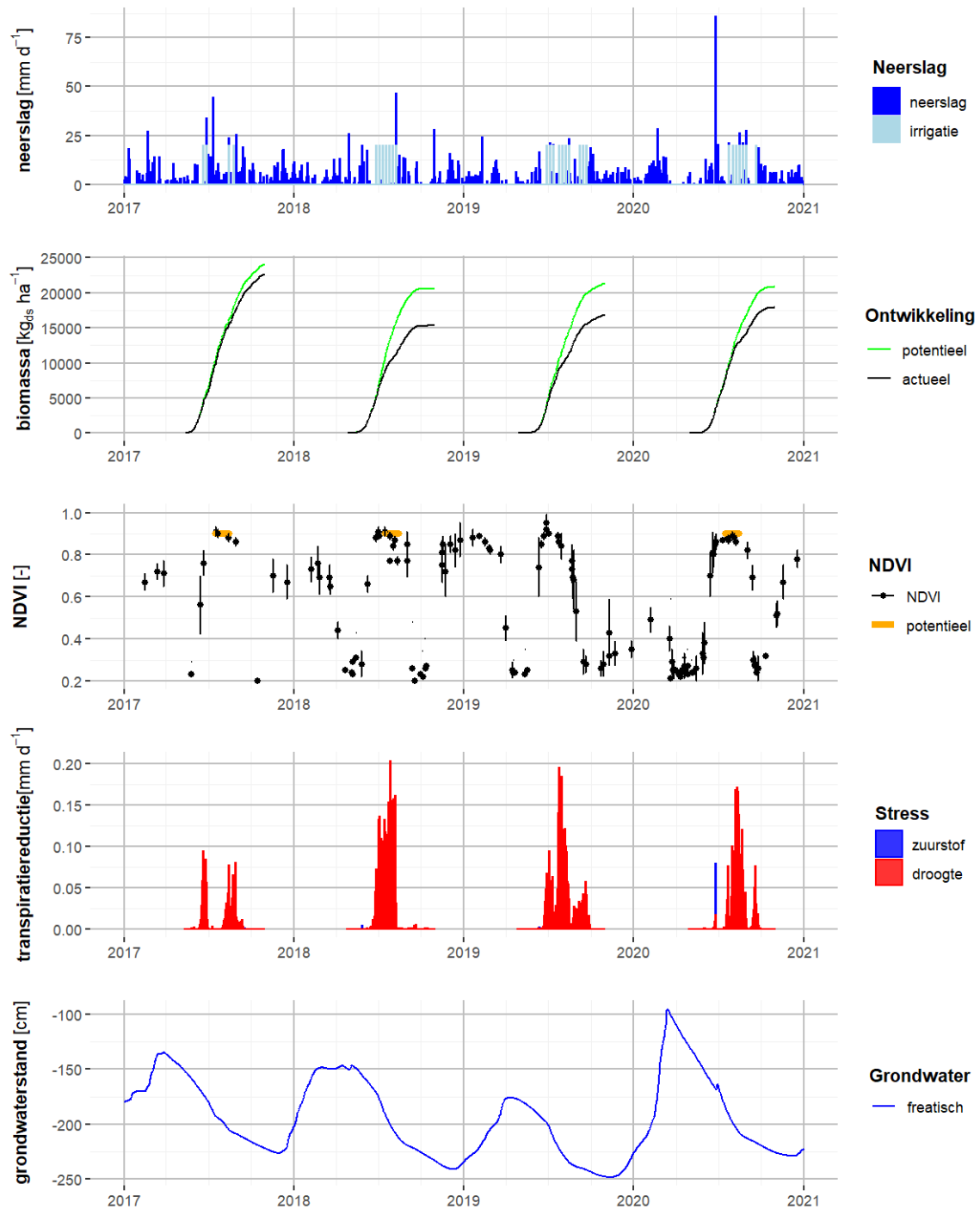


FIGUUR A.6

INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL S6 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



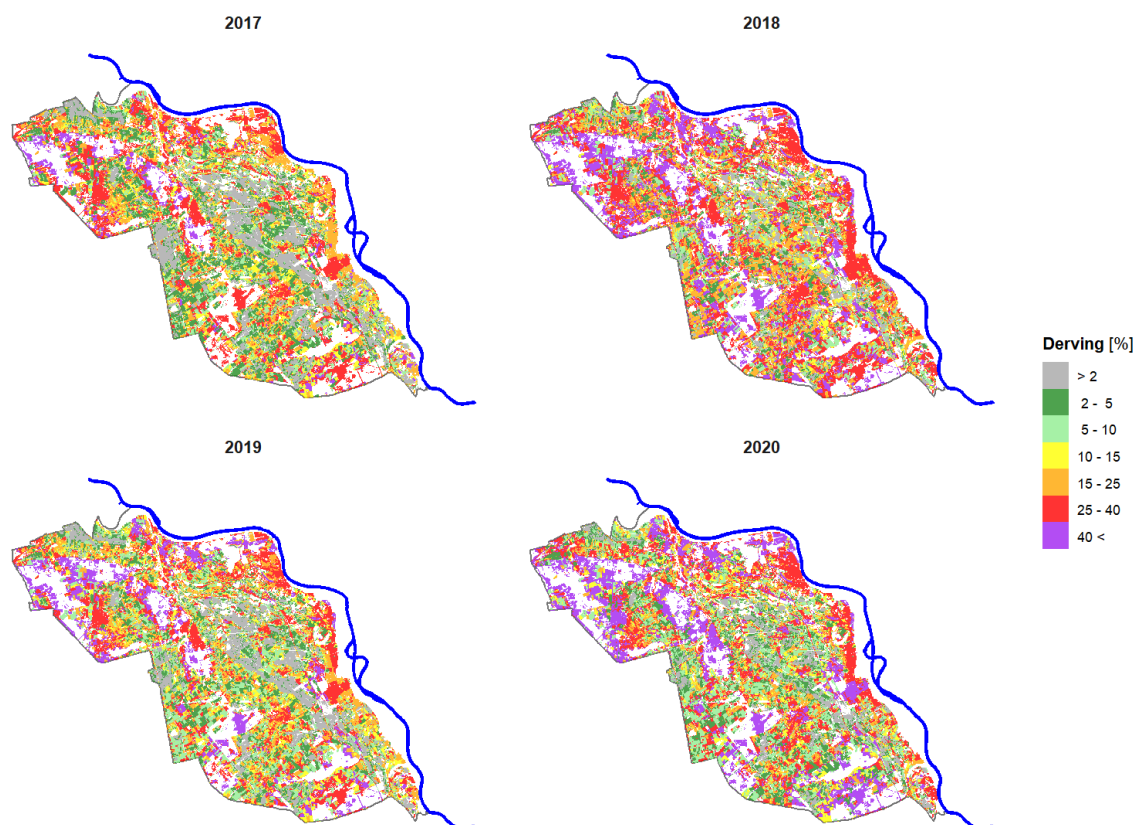
FIGUUR A.7 INFORMATIE OVER NEERSLAG EN IRRIGATIE (GRAFIEK 1), GESIMULEERDE REDUCTIE IN OOGSTBAAR PRODUCT (GRAFIEK 2) EN TRANSPIRATIE (GRAFIEK 3) PLUS GEMETEN REDUCTIE IN NDVI (GRAFIEK 4; ZWARTE BOLLETJES GEVEN DE PERCEELGEMIDDELTE NDVI-WAARDE WEER EN DE FOUTENBALKJES GEVEN TWEE KEER DE STANDAARD DEVIATIE AAN) EN INFORMATIE OVER HET GRONDWATERVERLOOP (GRAFIEK 5) VOOR PERCEEL S7 (ALLE SIMULATIES ZIJN UITGEVOERD MET SWAP-WOFOST)



BIJLAGE B

DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS BEREKEND MET WWL-TABEL

FIGUUR B.1 OPBRENGSTDERIVING ALS GEVOLG VAN DROOGTESTRESS (%) VOOR DE PERIODE 2017 – 2020 BEREKEND MET WWL-METARELATIES 3.0.0



FIGUUR B.2 OPBRENGSTDerving ALS GEVOLG VAN ZUURSTOFSTRESS (%) VOOR DE PERIODE 2017 – 2020 BEREKEND MET WWL-METARELATIES 3.0.0

