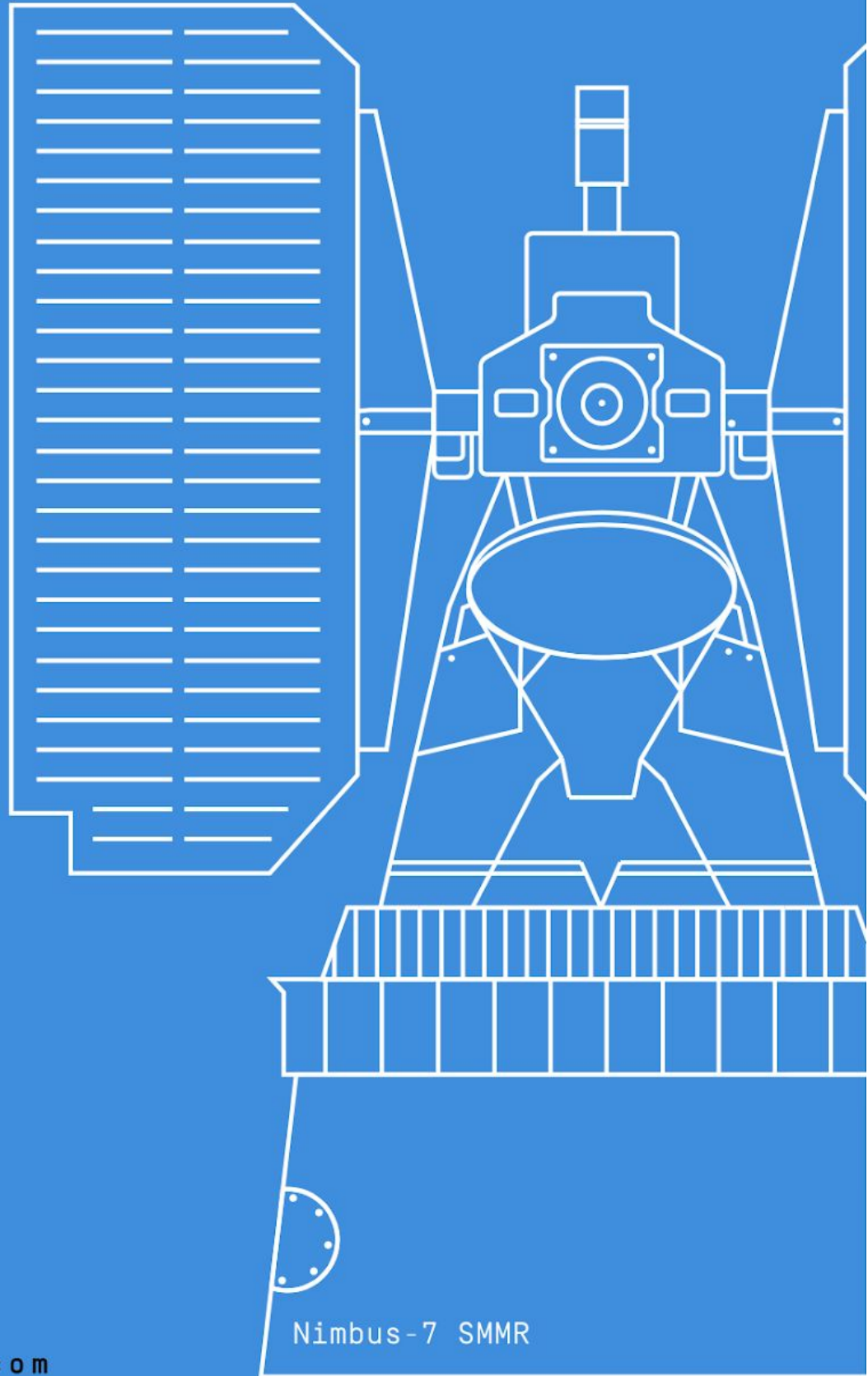




VanderSat



Oplevering SATDATA 3.0

referentie: SATDATA-pl-1.1

Versie: 1.1

22 december, 2020

Bladzijden: 54

Opdrachtgever: Het Waterschapshuis

Auteur : Jaap Schellekens

Review: Richard de Jeu

Inhoud

1. Introductie en leeswijzer	3
2. Gebruikte gegevens	4
2.1. Operationele en niet operationele perioden	4
2.2. Meteo en satelliet data	4
2.3. GLEAM-HR	4
2.4. Evaluatie data en GLEAM-HR data	5
3. Resultaten	7
3.1. Validatie invoer data	7
3.1.1. Neerslag	7
3.1.2. Netto straling	8
3.2. Verdamping en tekort	12
3.2.1. Cabauw	12
3.2.2. Loobos	19
3.2.3. IJsselmeer	22
3.3. Vergelijking met gemeten bodemvocht	25
3.4. Vergelijking met grondwaterstandsfluctuaties	28
4. Plausibiliteits toetsen	30
4.1. Toets A: Open water	30
4.2. Toets B: stedelijk gebied	31
4.3. Toets C: bos en natuurgebieden	34
4.3.1. Bos	34
4.3.2. Natuurgebieden	35
4.4. Toets D: Landbouwgewassen	38
4.4.1. Toets D-A	38
4.4.2. Toets D-B	40
4.4.3. Toets D-C	40
4.4.4. Toets D-D	41
4.4.5. Toets D-E	43
4.4.6. Toets D-F	44
5. Referenties	46
6. Appendix A: Alle figuren van het Raam bodemvocht netwerk	48

1. Introductie en leeswijzer

Dit document is onderdeel van de oplevering van het SATDATA 3.0 verdampingsproduct tezamen met de technische beschrijving die reeds eerder is opgeleverd en online beschikbaar is¹. SATDATA 3.0 wordt uitgevoerd in opdracht van Het Waterschapshuis.

In **hoofdstuk 2** worden de gebruikte gegevens kort beschreven met daarin vooral aandacht voor de verschillende gebruikte perioden: (1) de vier jaar extra gegevens die zijn gegenereerd (2016-2019) om beter te kunnen valideren en (2) de data vanaf de officiële start in 2020. In **hoofdstuk 3** worden de resultaten van de vergelijking met de meetgegevens van de verschillende componenten en locaties gegeven en besproken. Buiten de in de opdracht voor SATDATA 3.0 gevraagde vergelijking met het Cabauw station gebruiken we daar ook nog de volgende data bronnen:

- het Loobos flux station,
- gemeten verdamping (geleverd door WUR) van het IJsselmeer,
- verschillende bodemvocht meetpunten.
- Landelijke grondwaterstandmetingen van het Dinoloket

Op deze manier kan een beter beeld worden gegeven van de bepaalde verdamping en de interne processen van het GLEAM-HR model. Verder wordt kort ingegaan op de door GLEAM-HR gebruikte gegevens uit het WIWB. **Hoofdstuk 4** beschrijft de plausibiliteitstoetsen zoals gevraagd in de opdracht voor SATDATA 3.0.

¹ <https://docs.vandersat.com/satdata/index.html>

2. Gebruikte gegevens

2.1. Operationele en niet operationele perioden

Voor de vergelijking onderscheiden we drie perioden. **(1)** De periode die de officiële SATDATA 3.0 levering omvat - waarvoor we alle beschreven data tot onze beschikking hebben op een grid voor heel Nederland - **(2)** De periode daarvoor (vanaf 1 Jan 2016 tm 31 december 2018) waarin gebruik is gemaakt van andere meteo-invoer data om voor de onderzochte locaties en gebieden GLEAM-HR te testen en **(3)** het jaar 2019 dat buiten de SATDATA 3,0 levering valt maar waarvoor wij dezelfde invoergegevens hebben kunnen gebruiken. Hiervoor zijn extra runs met GLEAM-HR verricht. Deze resultaten zullen erg lijken op de operationele resultaten maar kunnen iets anders zijn en vallen buiten de SATDATA 3.0 SLA. De tabel 2.1 hieronder vat dit samen.

Tabel 2.1: Gebruikte databronnen voor de verschillende perioden

Periode	GLEAM-HR	Meteo invoer	VanderSat data	Overige satelliet data
2016 -- 2018	Runs per pixel/gebied voor vergelijkings stations	Geïnterpoleerde stationsdata KNMI	VOD, Teff, SM	Statische Albedo
2019	Pseudo SATDATA 3.0 runs	SATDATA 3.0 radar/stations invoer KNMI	VOD, Teff, SM	SATDATA 3.0 Albedo
2020	SATDATA3.0 runs	SATDATA 3.0 radar/stations invoer KNMI	VOD, Teff, SM	SATDATA 3.0 Albedo

2.2. Meteo en satelliet data

De verschillende databronnen die worden gebruikt in GLEAM-HR voor SATDATA 3.0 worden in detail besproken in de online documentatie (<https://docs.vandersat.com/satdata>) en worden hier niet verder herhaald.

2.3. GLEAM-HR

In SATDATA 3.0 maken wij gebruik van de hoge resolutie versie van GLEAM (GLEAM-HR). GLEAM is oorspronkelijk ontwikkeld aan de VU in Amsterdam en verder doorontwikkeld op de Universiteit van Gent (Martens et al., 2018, 2016). VanderSat heeft een

samenwerkingsovereenkomst met Gent over het gebruik van GLEAM. GLEAM is van oorsprong een mondiaal verdampingsmodel dat veel gebruik maakt van satellietdata. GLEAM maakt gebruik van de Priestley en Taylor vergelijking (Priestley and Taylor, 1972) om zo potentiële verdamping te berekenen uitgaande van temperatuurs- en stralingsobservaties. De potentiële verdamping (E_p) wordt omgezet naar actuele verdamping (E) door middel van een vegetatie stress factor (S) die afhangt van de hoeveelheid bodemvocht en de toestand van de vegetatie die uit satelliet informatie wordt gehaald. Er wordt gebruik gemaakt van de Vegetation Optical Depth (VOD), dit is een maat voor het watergehalte in de vegetatie en wordt bepaald aan de hand van satellietwaarnemingen in het microgolf bereik. Neerslag Interceptie (E_i) wordt via een aparte module geschat en is gebaseerd op het analytische model van Gash (1979). Een uniek onderdeel van GLEAM is dat het gebruik maakt van satelliet bodemvocht door middel van data assimilatie in combinatie met een hydrologisch model van de bodem om zo de beschikbare hoeveelheid vocht in de wortelzone nauwkeurig te bepalen. Dit proces vindt plaats in de bodem module en is direct gekoppeld aan de bepaling van de vegetatie stress factor (S). Meer gedetailleerde technische documentatie over het model GLEAM kan gevonden worden op <https://docs.vandersat.com/satdata/gleam.html>.

2.4. Evaluatie data en GLEAM-HR data

Voor de evaluatie van het verdampingsproduct van GLEAM-HR maken we gebruik van meerjarige eddy covariantie metingen van twee bekende betrouwbare meetstations in Nederland die onderdeel uitmaken van het internationale FLUXNET data netwerk (<https://fluxnet.ornl.gov>); Cabauw²(NI-Ca1) en Loobos (NI-Loo)³.

Het meetstation van Cabauw (4.927° OL, 51.971° NB) meet verdampingsfluxen over een grasoppervlak in een polder met een hoge grondwaterstand. Voor deze test maken we gebruik van de beschikbare dagelijkse verdamping observaties voor 2016-2019 om deze te kunnen vergelijken met test runs van GLEAM-HR. Voor 2020 zijn de gevalideerde stations data nog niet beschikbaar. Het andere meetstation ligt in Loobos op 5.744° OL en 52.167° NB en meet de fluxen boven een naaldbos. Voor deze locatie hebben we dagelijkse verdampingsdata vergeleken voor de jaren 2016- en 2017.

Via het SATDATA 3.0 team van het waterschapshuis hebben we de beschikking gekregen over de actuele verdamping voor 2019 van het IJsselmeer. Deze dataset is geleverd door WUR (Femke Jansen) als onderdeel van het SWM-EVAP project. De locatie Stavoren is gebruikt voor een korte validatie van de open water verdampings module van SATDATA 3.0.

GLEAM-HR gebruikt een bodem module om te vegetatie-stress als gevolg van vochttekort te bepalen. In droge periodes is dit een zeer belangrijk reductie mechanisme voor de

² Binnengehaald van https://data.knmi.nl/datasets/cesar_surface_flux_lc1_t10/v1.0

³ Aangeleverd door dr. ir.M.K. van der Molen (WUR)

verdamping. Om een beter inzicht te krijgen in de nauwkeurigheid hiervan hebben we de resultaten van de GLEAM-HR bodem module vergeleken met in NL beschikbare gegevens van **bodemvochtsensoren**.

Het grote probleem met het vergelijken van (stations) metingen van vocht in een klein kluitje bodem met het (GLEAM) gemiddelde over een oppervlakte van een hectare is het feit dat de ruimtelijke variabiliteit op kleine schaal (binnen die ha) vaak groter is dan de variabiliteit van de gemiddelde waarde over een groot oppervlakte. Daarnaast zijn bodemvochtsensoren door sensor degradatie en bodem dynamiek (i.e. scheurvorming, deformatie) minder geschikt voor meerjarige analyse. Daarom hebben we de bodem module resultaten ook vergeleken met ongeveer **2000 ondiepe grondwaterbuizen** analoog aan de Nijs and de Jeu (2017).

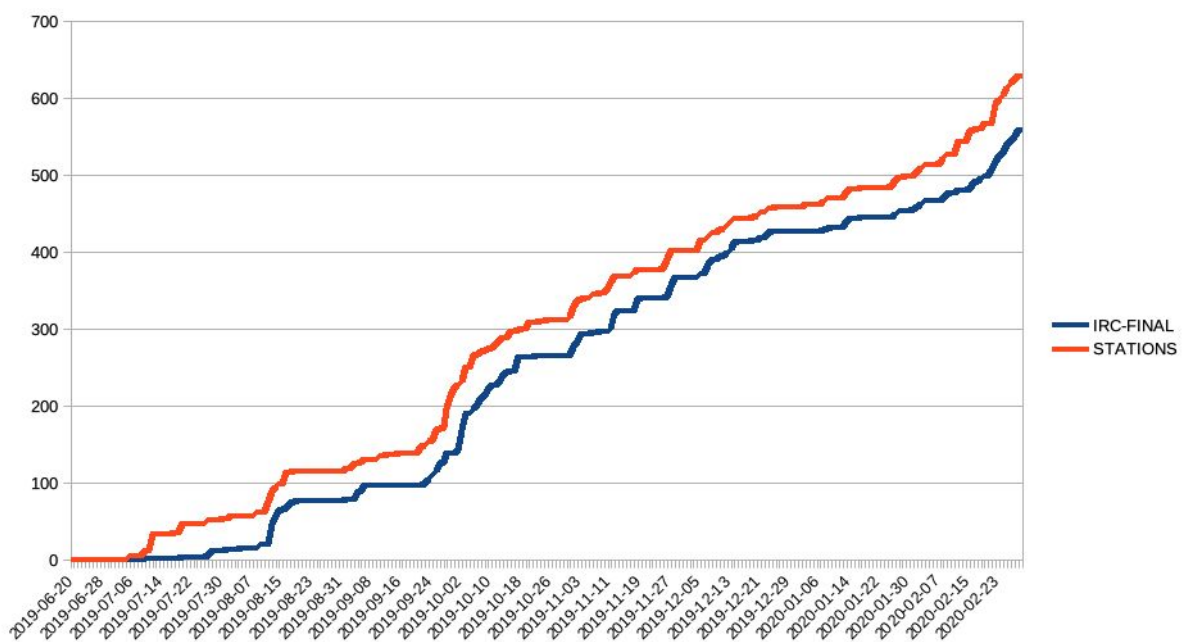
3. Resultaten

3.1. Validatie invoer data

3.1.1. Neerslag

Aangezien neerslag een (zeer) belangrijke input is in GLEAM-HR zal de xxx kwaliteit van de neerslaggegevens een grote rol spelen in de uiteindelijke resultaten. Door het gebruik van meerdere remote sensing databronnen worden fouten in de neerslag gecompenseerd, maar vooral in situaties waar er een vochttekort is en voor de bepaling van de neerslag interceptie van bossen is de kwaliteit van de neerslaggegevens zeer belangrijk. Validatie en verbetering van de in het WIWB aanwezige neerslag producten zijn uitdrukkelijk geen onderdeel van de werkzaamheden van VanderSat in SATDATA 3.0 maar om de testen goed te kunnen uitvoeren moeten we eventuele fouten in de bronnen weten.

Gelet op de hoge resolutie van het GLEAM-HR product is gekozen voor de KNMI IRC radar final reanalysis, een samenvoeging van de stations data en de neerslag radar data in de reanalysis runs en de testen. Voor de NRT worden de KNMI EARLY en NRT varianten van het radar product gebruikt. In beide gevallen gebruiken we stations als backup.



Figuur 3.1: Cumulatieve neerslag voor het Cabauw neerslag station en de ongecorrigeerde KNMI-IRC-FINAL voor dezelfde locatie.

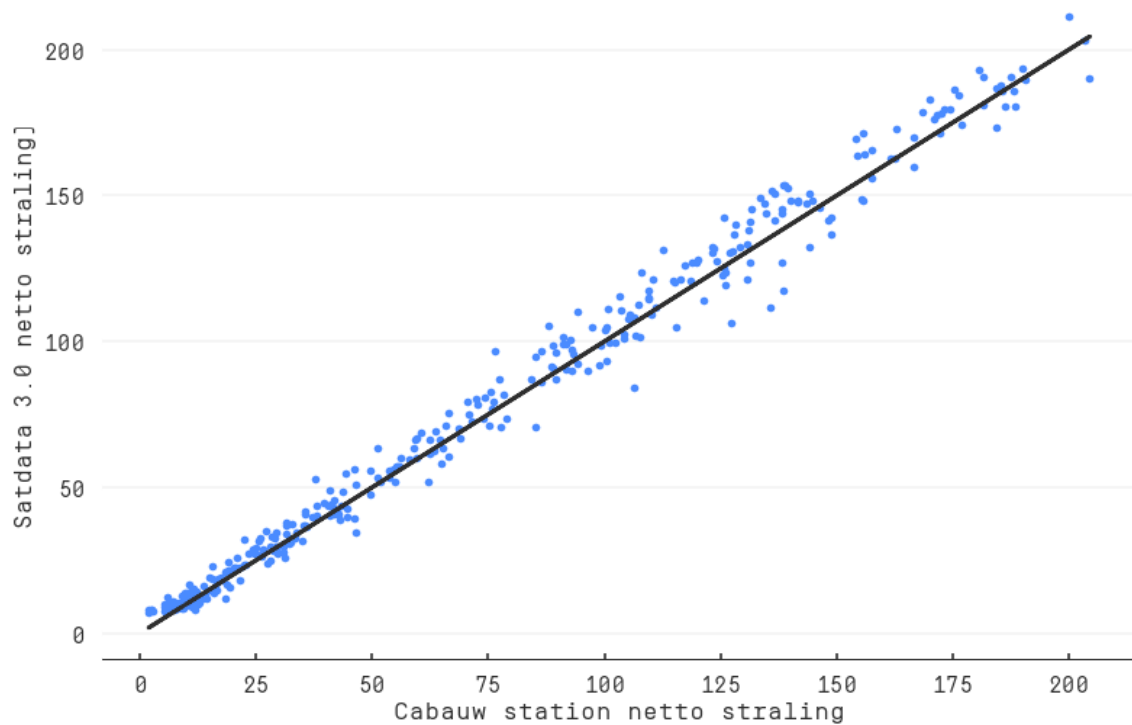
Uit een Analyse over de periode Juni 2019 tot en met Februari 2020 blijkt dat de IRC-FINAL significant minder neerslag laat zien dan het station bij Cabauw. Dit heeft invloed op de resultaten en zal waarschijnlijk leiden tot minder verdamping en een hoger verdampingstekort. De precieze gevolgen hiervan zijn lastig te overzien maar het verdient de aanbeveling dit samen met de data leverancier op te pakken.

Verder werden er outliers geconstateerd in in de final reanalysis data. Na contact te hebben gehad met de data leverancier bleek dat het ging om een bug in de software waardoor de gebruikte stations neerslag niet van dezelfde dag waren als de radar gegevens. Begin november 2020 heeft het KNMI een nieuwe versie van de final reanalysis geproduceerd. Daarna heeft VanderSat de analyse opnieuw gedaan om de nieuwe gegevens mee te kunnen nemen. De resultaten in dit document zijn op de nieuwe data gebaseerd.

3.1.2. Netto straling

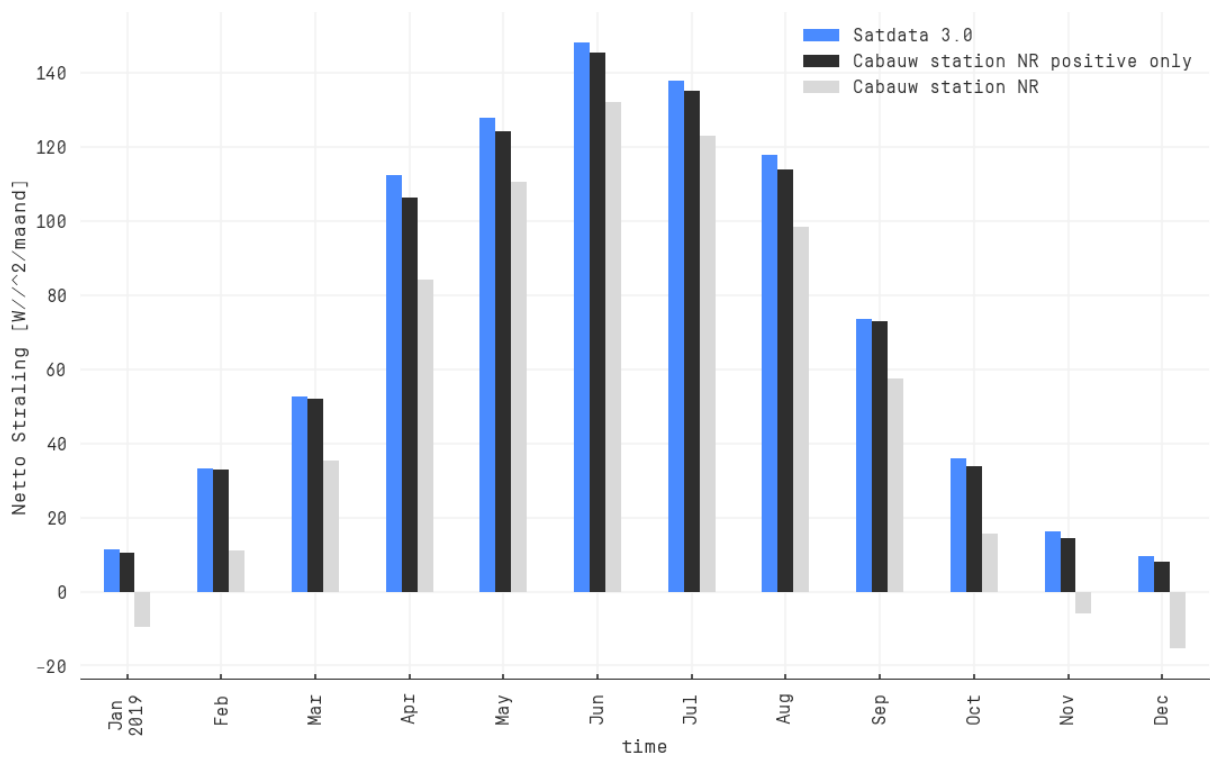
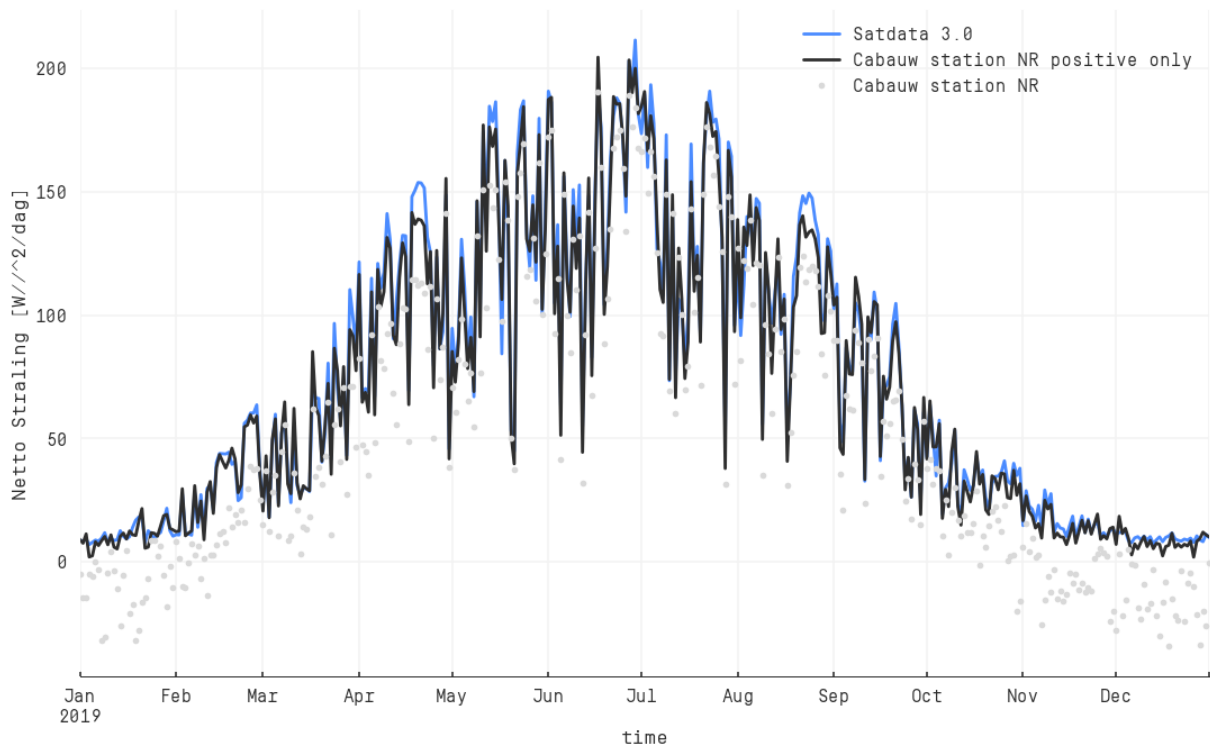
Tijdens het opzetten van GLEAM-HR voor SATDATA 3.0 is veel tijd besteed aan het zo goed mogelijk bepalen van één van de belangrijkste componenten in de verdampings berekeningen: de netto straling. GLEAM-HR gebruikt de Priestley Taylor benadering die – in tegenstelling tot de in Nederland vaak gebruikte Makkink benadering – netto straling gebruikt. Om dit te valideren hebben we de data van het Cabauw en Loobos station ter beschikking.

In het verdampingsproces is het effect van de negatieve netto straling zeer veel kleiner dan het effect van de positieve straling. Daarom is er een correctie gedaan om alleen de positieve netto straling mee te nemen. Die is gemaakt door de 10 minuten meting bij Cabauw twee keer te vertalen naar dagwaarden. (1) Met medeneming van alle 10 minuten waarden en (2) met gebruikt van alleen de positieve waarden. Daarna is er een regressie gemaakt om de vertaling tussen de twee mogelijk te maken. Deze regressie maakt gebruik van de in eerste instantie berekende netto straling, de inkomende kortgolvlige straling en de temperatuur. Figuur 3.2 laat het resultaat zien.



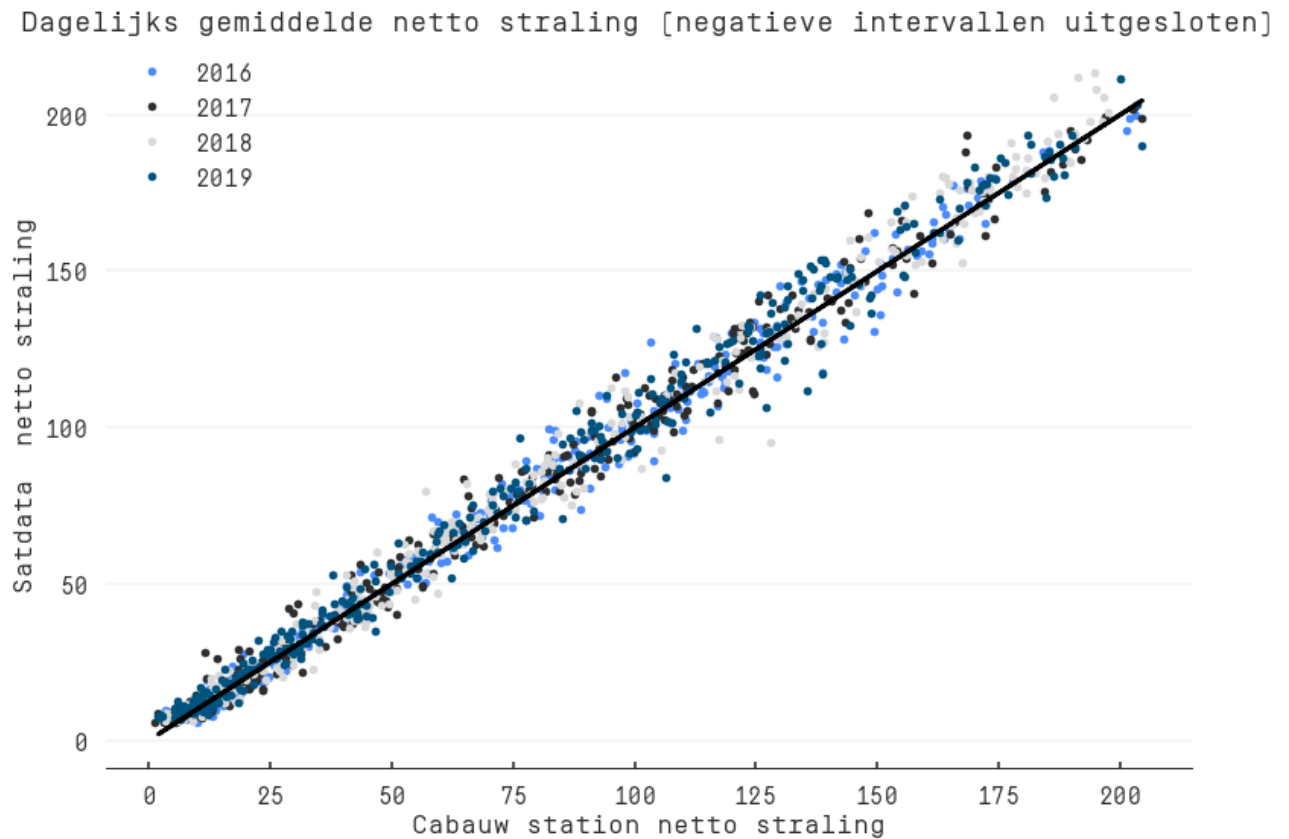
Figuur 3.2: De relatie tussen netto straling uit de positieve 10 minuten data van Cabauw en de geschatte netto straling na correctie.

Figuur 3.3 laat de netto straling over 2019 zien van het Cabauw station alsmede de netto straling zoals bepaald in de GLEAM-HR voorbewerking. Zoals te zien is de overeenkomst zeer goed. De correlatie (Pearson's R) van de dagwaarden voor 2019 is 0.984, de RMSE is 10.9 W/m². De jaargemiddeld netto straling waarden zijn 53.3 (Cabauw station) en 56.7 (GLEAM-HR).



Figuur 3.3 Netto straling voor de Cabauw locatie. In blauw de metingen van het Cabauw station, in oranje de resultaten van de GLEAM-HR test run voor 2019. Het onderste deel van het figuur laat de maandgemiddelden zien, het bovenste deel de dagwaarden.

De vergelijking van de netto straling is ook uitgevoerd voor een langere periode (2016-2019). Het figuur 3.4 laat een scatterplot zien van de Cabauw netto straling tov de GLEAM-HR netto straling. Het figuur laat duidelijk zien dat de netto straling zeer goed bepaald wordt en dat er geen duidelijke verschillen zijn tussen de verschillende jaren.



Figuur 3.4: Cabauw dagelijks gemiddelde netto straling (alleen positieve intervallen) in relatie tot GLEAM-HR netto straling voor de jaren 2016, 2017, 2018 en 2019.

3.2. Verdamping en tekort

3.2.1. Cabauw

Bij het evalueren van de werkelijke verdamping moeten we rekening houden met een paar belangrijke punten:

1. De Cabauw metingen zijn punt-metingen die afhankelijk van windrichting/fetch en andere oorzaken verschillende fouten kunnen laten zien.
2. De Cabauw metingen laten in de winter regelmatig negatieve verdamping zien. Ook GLEAM-HR kan negatieve verdamping berekenen maar gezien het programma van eisen (waarin negatieve verdamping niet is toegestaan) worden deze in GLEAM-HR op 0 gezet. Punten met negatieve verdamping bij Cabauw worden daarom niet meegenomen in de validatie.
3. De Cabauw metingen laten regelmatig verdamping zien die aanzienlijk hoger is dan de referentiegewasverdamping.
4. GLEAM-HR gebruikt twee methoden om de vegetatie stress te bepalen: (1) via de Vegetation Optical depth (bepaald uit microgolven, een maat voor het watergehalte in de vegetatie) en (2) via een kritische bodemvocht waarde. Beneden deze waarde (over het algemeen $\frac{1}{2}$ tussen verwelkingspunt en veldcapaciteit) gaat een verdampingstekort optreden. Vooral de laatste methode is gevoelig voor de juistheid van de neerslag input. Als er b.v. neerslag data mist of de neerslag wordt onderschat dan zal de verdamping stress worden overschat.

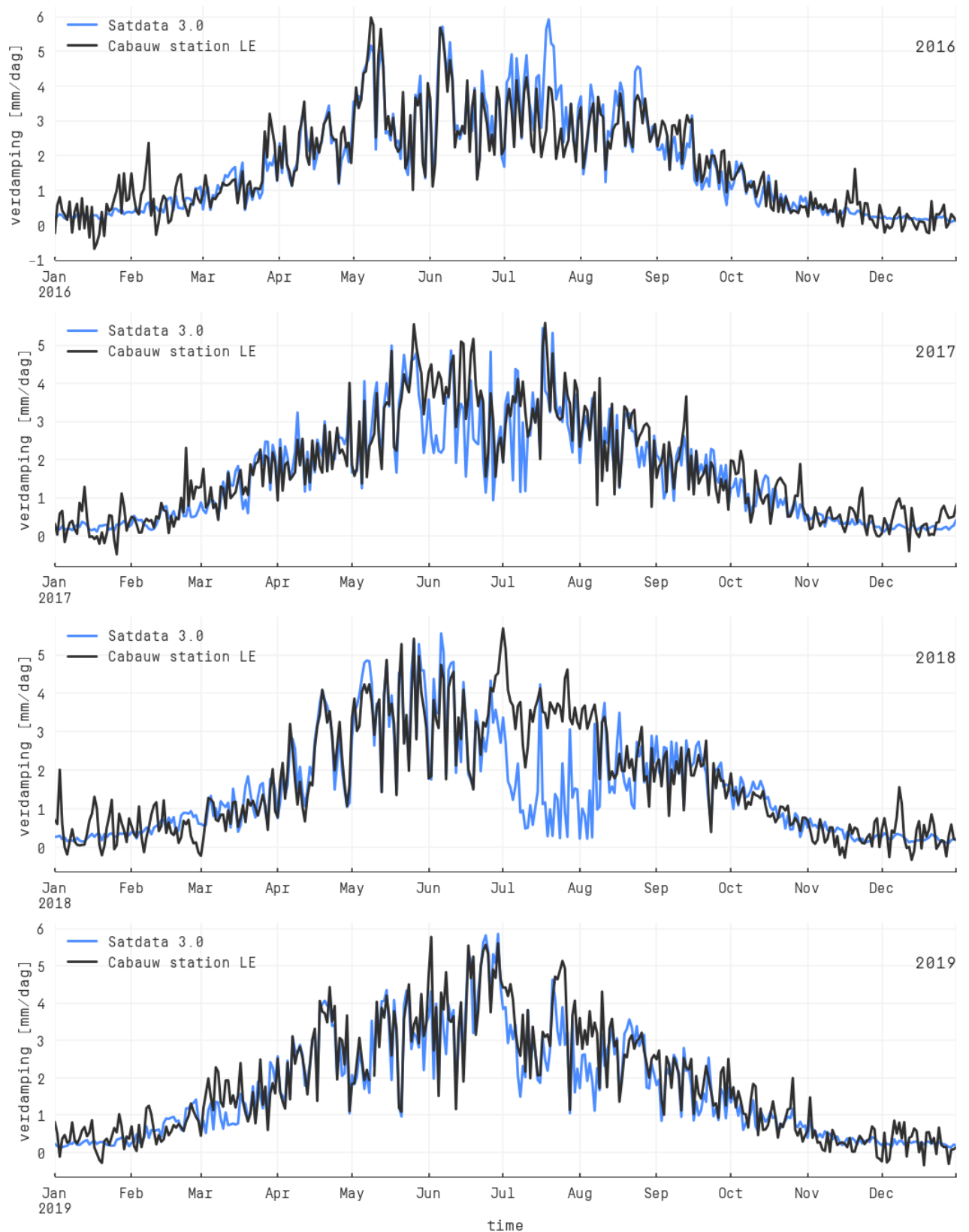
Uit de Cabauw station data kunnen we de gemeten verdamping in mm/d halen door het sommeren van de 10 minuten waarden. Door dit te vergelijken met de potentiële verdamping die door GLEAM-HR wordt bepaald⁴ kunnen we de werkelijke verdamping en verdampingstekorten op het Cabauw station bepalen. De figuur 3.5 hieronder laat dit zien voor het jaar 2019. Uit dit figuur blijkt onder andere dat de gemeten verdamping in winter en voorjaar vaak hoger is dan de potentiële verdamping. Dit is het gevolg van verschillende factoren zoals advectieve energie, de simplificaties van de potentiële verdamping berekeningen, de nabijheid van open water en andere processen. Het is belangrijk te realiseren dat GLEAM-HR gebruik maakt van Priestley Taylor (PT) Potentiële verdamping en dus niet meer dan dat kan verdampen. De uitzondering hierop zijn te vinden in de bossen waar de interceptie module tijdens regen kan zorgen voor meer dan de potentiële verdamping uit de PT module. In het programma van eisen is voor gebieden zoals Cabauw aangegeven dat de werkelijke verdamping niet hoger mag zijn dan de referentie verdamping. De metingen in Cabauw laten zien dat dit in werkelijkheid wel kan voorkomen, er is dan een negatief verdampingstekort.

⁴ Door middel van de Priestley Taylor vergelijking



Figuur 3.5. Zeven-daag lopend gemiddelde gemeten verdamping, potentiële verdamping en berekende actuele verdamping bepaald uit de Cabauw station data, de Priestley Taylor vergelijking en GLEAM-HR voor het jaar 2019..

Figuur 3.6 laat de GLEAM-HR actuele verdamping voor de jaren 2016-2019 zien samen met de actuele verdamping bepaald uit de Cabauw metingen.



Figuur 3.6: Tijdseries van de dagelijkse verdamping voor de jaren 2016 - 2019 bij Cabauw van GLEAM-HR vergeleken met de eddy correlatie gegevens

Tabel 3.1: Vergelijking dagelijkse Cabauw station verdamping met de GLEAM-HR berekeningen voor die jaren.

Jaar	Pearson's R	Gemiddeld verschil (station - Satdata 3.0)
2016	0.94	-0.016 mm
2017	0.91	0.14 mm
2018	0.80	0.22 mm
2019	0.94	-0.14 mm

De vergelijking van dagelijkse metingen van verdamping op het Cabauw station met de GLEAM-HR berekeningen (Tabel 3.1) geven aan dat de resultaten van de SATDATA 3.0 configuratie dichter bij de metingen liggen dan zoals gerapporteerd door Martens et al., (2018) en ook dan de resultaten van de POC. De correlaties tussen de eddy covariantie metingen en de GLEAM-HR resultaten zijn hoog, vooral voor de jaren 2016, 2017 en 2019 waarin relatief weinig verdamping reductie optreedt (zie Tabel 3.1). Voor 2018 zijn de correlaties lager en dat is met name terug te voeren op de (zeer) droge periode in dat jaar. Dit is ook terug te zien in het gemiddelde verschil. Deze wijst op een onderschatting door GLEAM-HR van de gemeten verdamping bij het Cabauw station in 2018. Volgens de stations metingen treedt er zo goed als geen verdamping reductie op in deze polder in de zeer droge zomer van 2018. In 2019 is er midden in de zomer wel een flinke reductie te zien.

Er zijn verschillende redenen te bedenken waarom de waargenomen verschillen op kunnen treden:

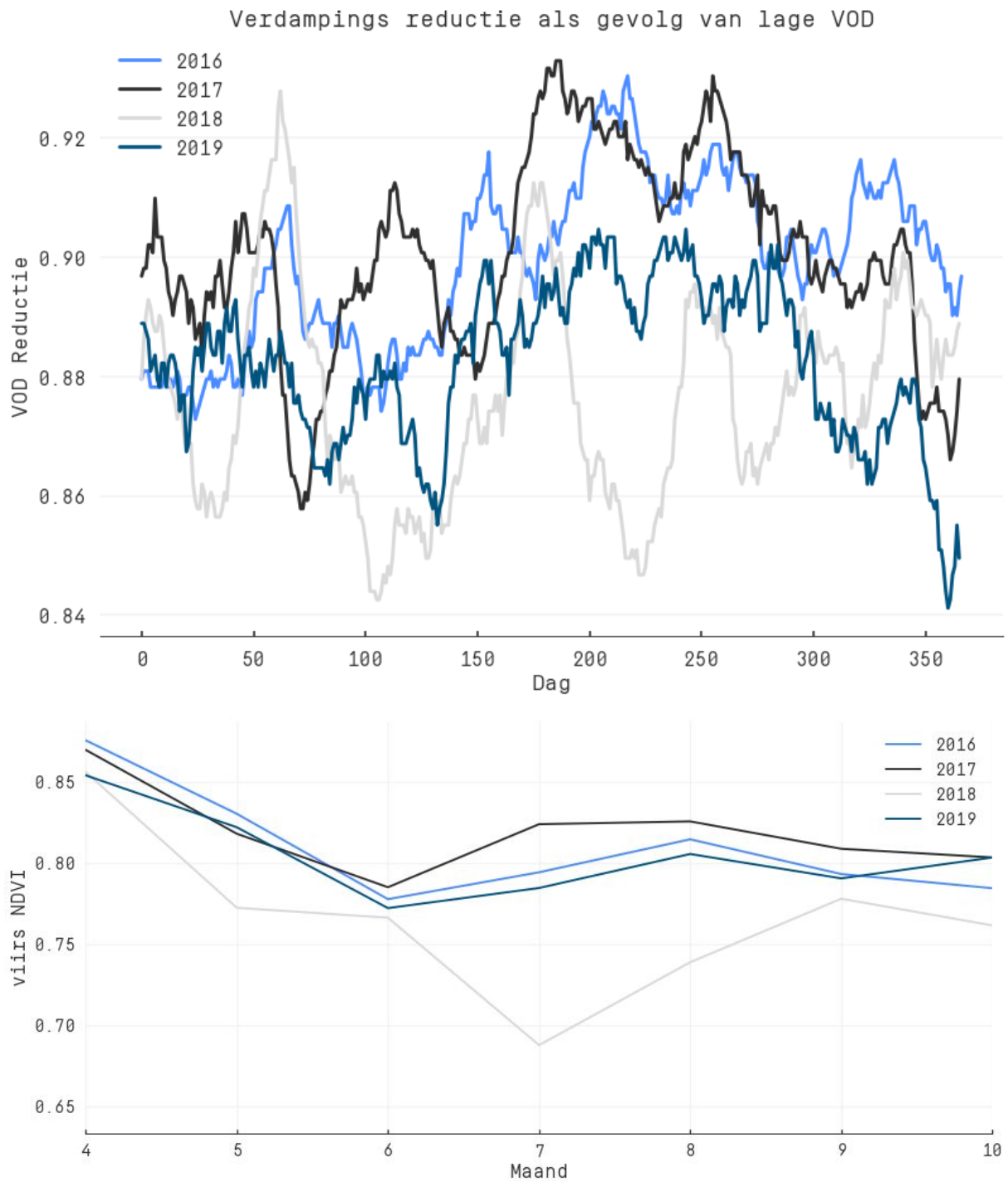
1. Het Cabauw meetstation staat in een lage en natte polder waarin in de zomer flinke hoeveelheden water worden ingelaten. Deze flux is niet aanwezig in GLEAM-HR
2. De hoge grondwaterstanden resulteren in a hoge capillaire flux naar de wortelzone die niet wordt gedetecteerd door het satelliet bodemvocht.
3. De 'fetch' van het Cabauw meetstation omvat niet alleen grasland maar ook de fluxen die uit de omliggend open water lichamen komen. In GLEAM-HR worden voor deze simulaties alleen een pixel met 100% gras gebruikt.
4. GLEAM-HR reduceert verdamping op basis van beschikbaar bodemvocht en het VOD. De bepaalde kritische waarden voor deze parameters kunnen te hoog zijn waardoor er te snel verdampings reductie optreedt.
5. In de jaren voor 2019 is een vaste waarde voor de Albedo genomen, de officiële SATDATA3.0 Albedo die in de reanalysis (en de 2019 berekeningen) gebruikt wordt geeft zeer waarschijnlijk betere resultaten.

In deze paragraaf en verder gaan we wat dieper in op de verschillen tussen 2018 en de andere jaren, waarin we vooral kijken naar de verdamping reductie als gevolg van vochttekort. In GLEAM-HR wordt de verdamping stress voor vegetatie berekend in twee delen: (1) de stress als gevolg van een tekort aan bodemvocht en (2) de stress als gevolg van een laag VOD. Deze laatste gaat uit van de fenologie van de vegetatie en neem aan dat een lage VOD het gevolg is van minder vegetatie, ziektes, verlies van vocht etc. De functie is als volgt gedefinieerd:

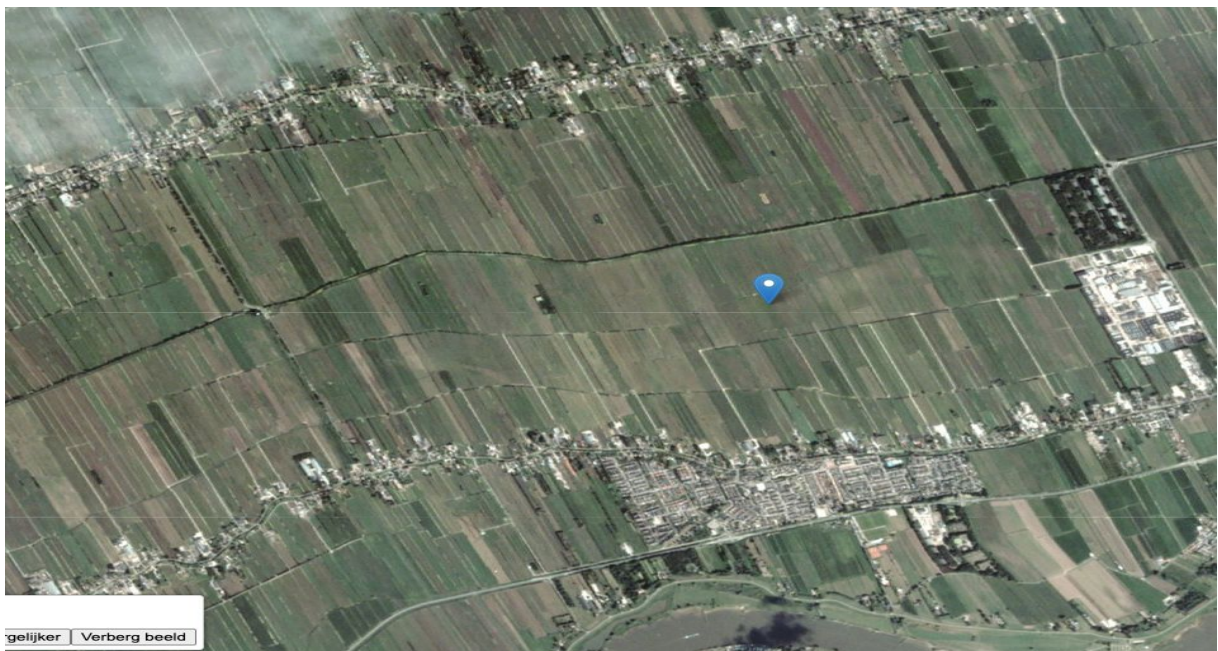
$$S = \sqrt{VOD/VOD_{max}}$$

In figuur 3.7 is de geschatte stress als gevolg van VOD reductie per jaar geplot. Hier is goed te zien dat in het laatste deel van de zomer van 2018 de VOD in dit gebied laag is waardoor er stress wordt gemodelleerd. Hetzelfde patroon is zichtbaar in het onderste deel van figuur 3.7 waarin de NDVI voor hetzelfde gebied is geplot. Als we dan kijken naar figuur 3.8 waarin twee optische beelden van het gebied bij Cabauw te zien zijn, dan is het duidelijk dat het gras eind augustus flink bruin is geworden. Dat klopt goed met de reductie in VOD, de verlaagde NDVI en de bepaalde stress. Opmerkelijk genoeg is dat helemaal niet terug te zien in de metingen van Cabauw.

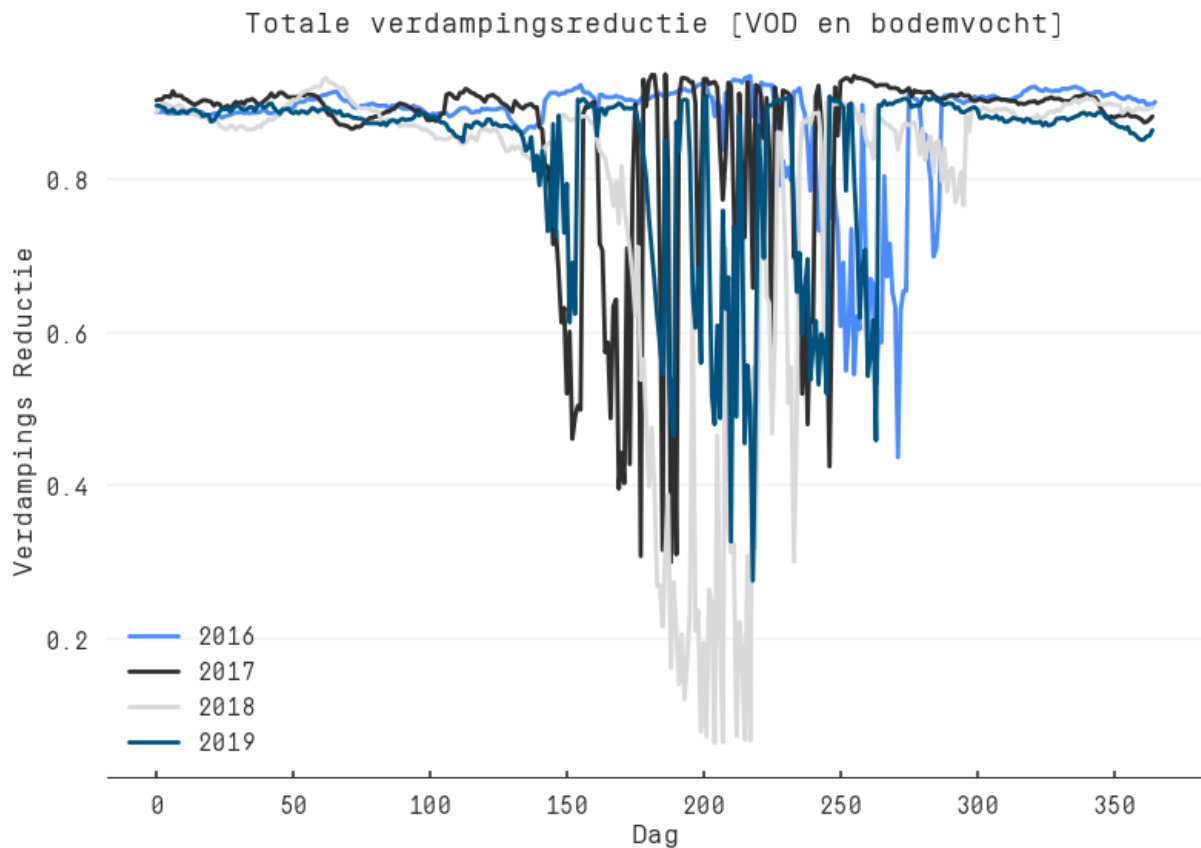
Figuur 3.9 laat de totale stress zien zoals GLEAM-HR die heeft berekend voor de jaren 2016-2019. Te zien is dat de invloed van het bodemvocht op de stress berekening zeer belangrijk is (vergelijk met figuur 3.7 waarin de op VOD gebaseerde stress te zien is).



Figuur 3.7: Stress per jaar bepaald uit de VOD stress functie in GLEAM voor Cabauw (bovenste deel) en maandelijkse NDVI waarden (bepaald uit viirs) voor hetzelfde gebied.



Figuur 3.8: Optische beelden van 2 juli 2018 (bovenste) en van 29 augustus 2018 (onderste). De polder bij Lopik (Cabauw) heeft eind augustus duidelijk meer bruin gekleurde velden. Het ligt dan in de verwachting dat de vegetatie niet meer optimaal verdampt.

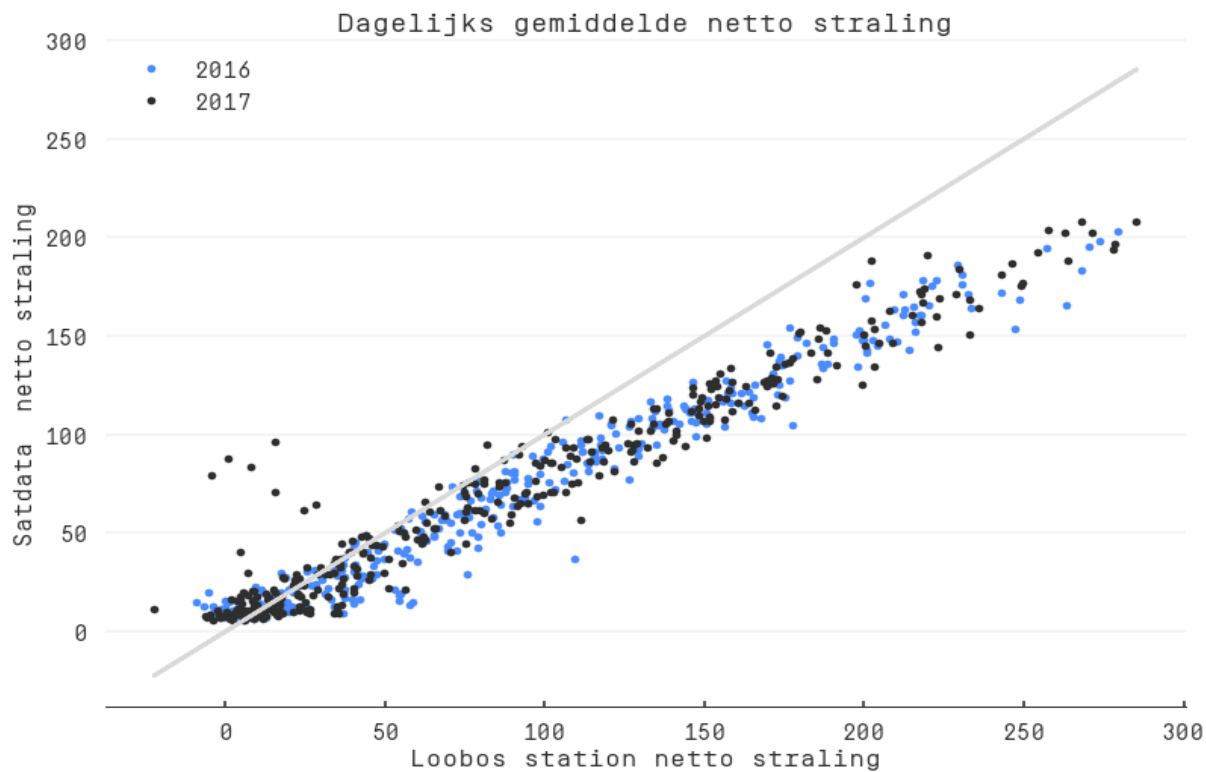


Figuur 3.9 Totale dagelijkse verdampingsstress zoals bepaald in GLEAM-HR voor Cabauw

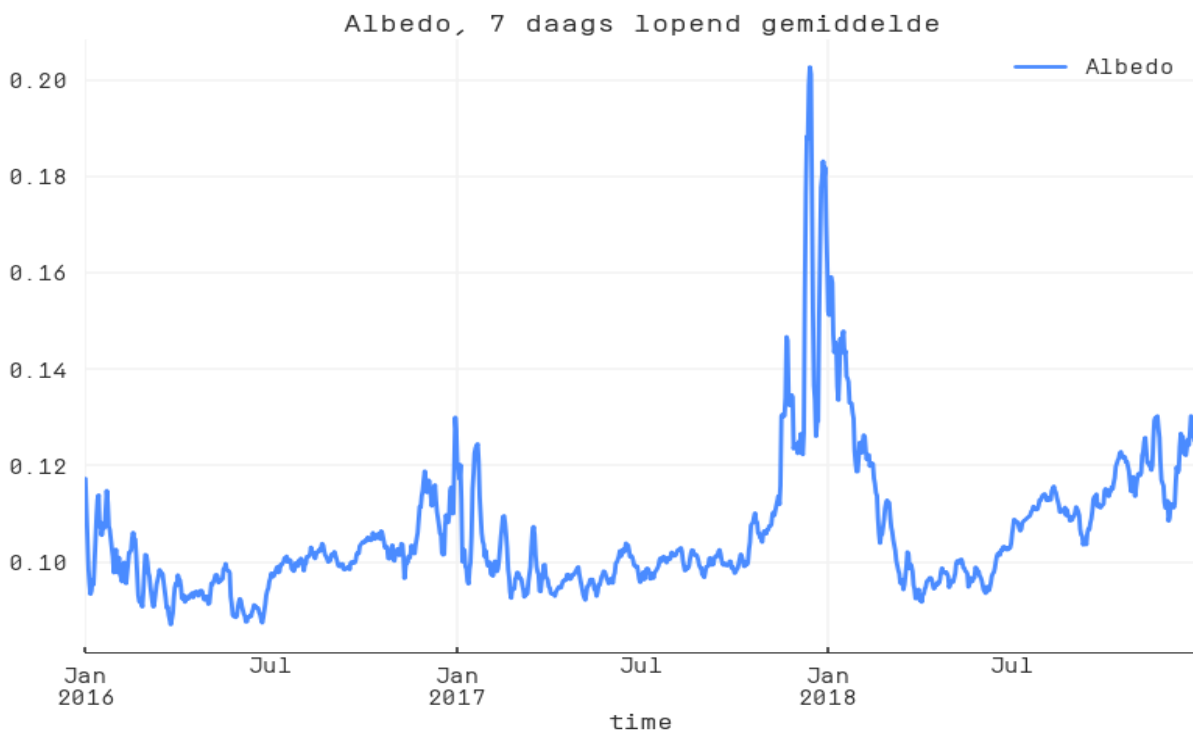
3.2.2. Loobos

De beschikbare Loobos data heeft verdampingswaarden van 2016 tot Augustus 2018. In 2017 en 2018 zijn er veel onrealistische waarden in de ruwe 30 minuten data. In 2016 zijn er veel waarden niet beschikbaar. Uiteindelijk is de data voor 2016 en 2017 gebruikt voor de vergelijking van de verdamping en de volledige periode van de beschikbare metingen voor de andere parameters.

De netto straling bepaald in SATDATA 3.0 (zie figuur 3.10) heeft een zeer goede correlatie met de gemeten straling. Wel is er een onderschatting van de netto straling. Figuur 11 laat de albedo zien bepaald uit de metingen van het Loobos meetstation. Het gemiddelde over de periode is 0.11. De statische albedo kaart die gebruikt is voor deze periode heeft een waarde van 0.15. Dit lijkt een duidelijk verklaring voor de onderschatting van de netto straling. De dynamische albedo die gebruikt wordt in het operationele systeem laat een lagere waarde zien (ongeveer 0.13) en komt dus dichterbij de gemeten albedowaarde.



Figuur 10: Op loobos gemeten netto straling vergeleken met SATDATA 3.0 netto straling

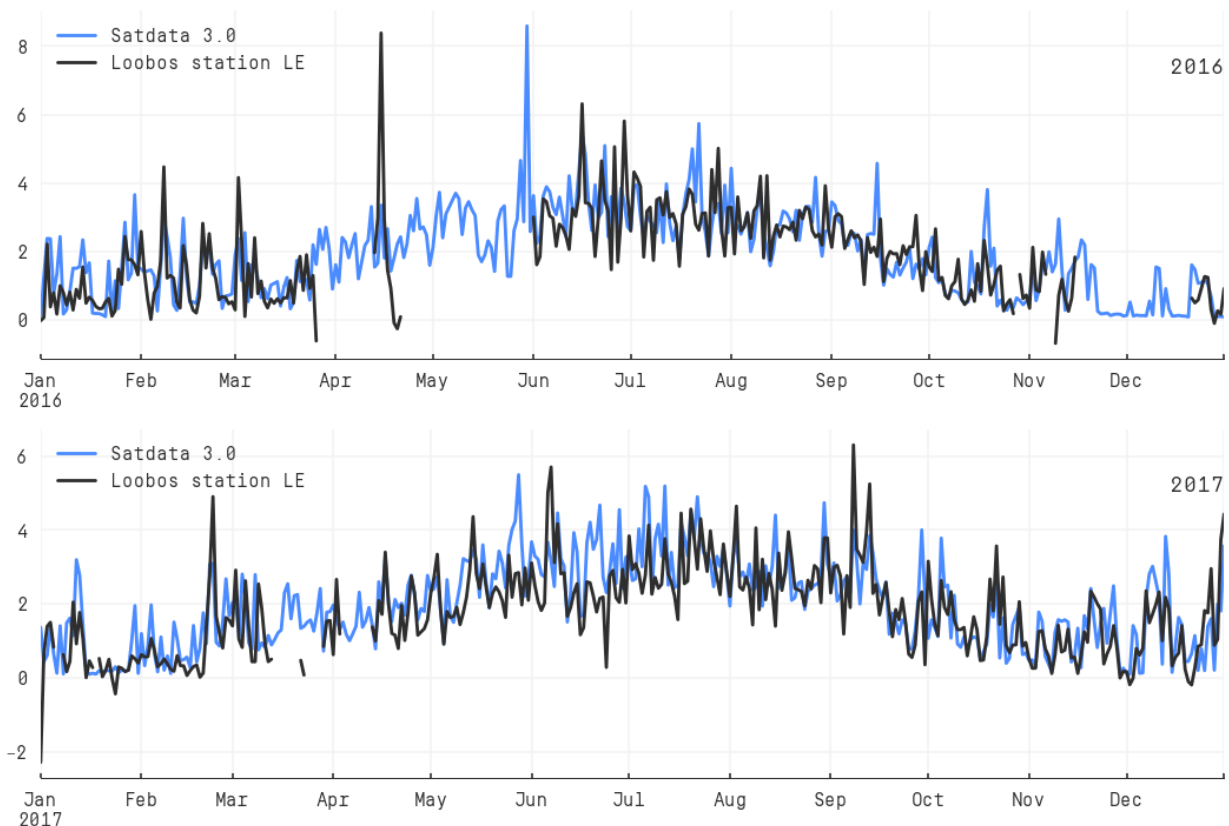


Figuur 3.11: Albedo bepaald uit de stralingsgegevens van het Loobos station. N.B. De opvallend hoge waarden aan het einde van het jaar 2017 komen door sneeuwval.

Ondanks de onderschatting van de netto straling is de totale verdamping van GLEAM-HR hoger dan die zoals bepaald uit de flux gegevens (zie tabel 3.2 en figuur 3.12). Dit niet is geheel onverwacht, over het algemeen zien onderzoekers bij waterbalans studies een hogere verdamping dan bij flux metingen (Holwerda et al., 2006; Moors, 2012; Schellekens et al., 1999; van Dijk et al., 2015).

Tabel 3.2 Vergelijking dagelijkse Loobos station verdamping met de GLEAM-HR berekeningen voor die jaren.

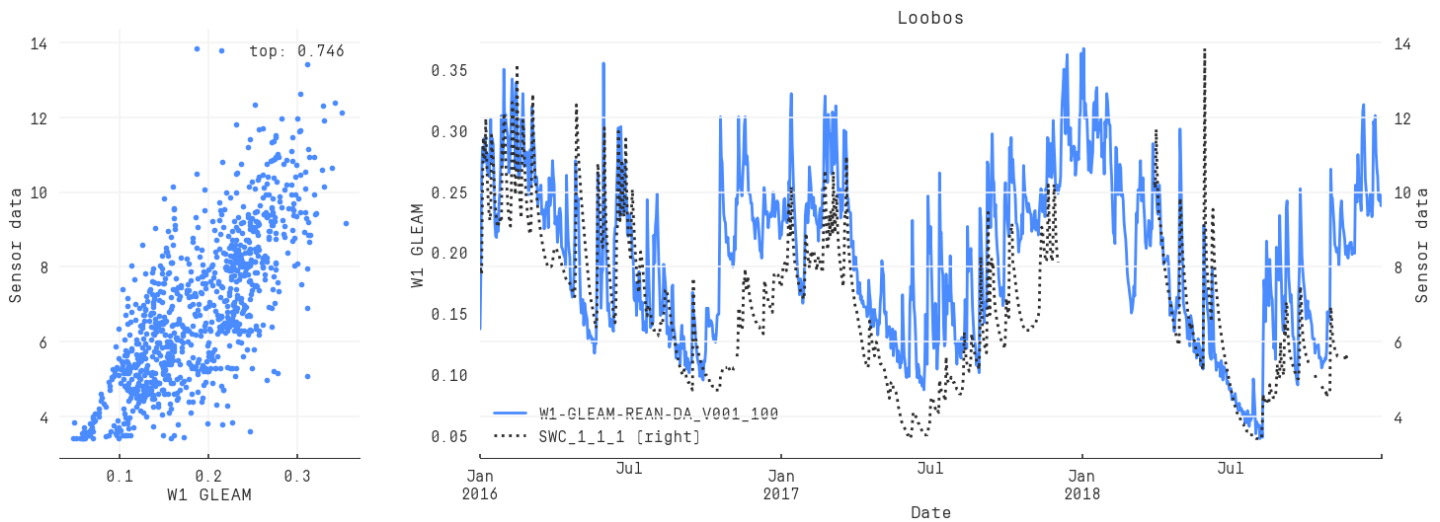
Jaar	Pearson's R	Gemiddeld verschil (station - Satdata 3.0)
2016	0.721	-0.141 mm
2017	0.749	-0.248 mm



Figuur 3.12: Tijdseries van de dagelijkse verdamping bij Loobos van GLEAM-HR vergeleken met de eddy covariantie gegevens voor 2016 en 2017. De gaten in de Loobos dataset zijn duidelijk zichtbaar.

Het Loobos meetstation heeft ook een bodemvocht sensor. Figuur 3.13 laat een vergelijking zien tussen deze sensor en het interne bodemvocht van GLEAM-HR. De correlatie over deze

periode is 0.746. Dat is voor een vergelijking met een sensor onder een dicht bos zonder meer goed te noemen en geeft extra vertrouwen in de resultaten.



Figuur 3.13: Gemeten en uit SATDATA 3.0 bepaald bodemvocht op de Loobos locatie.

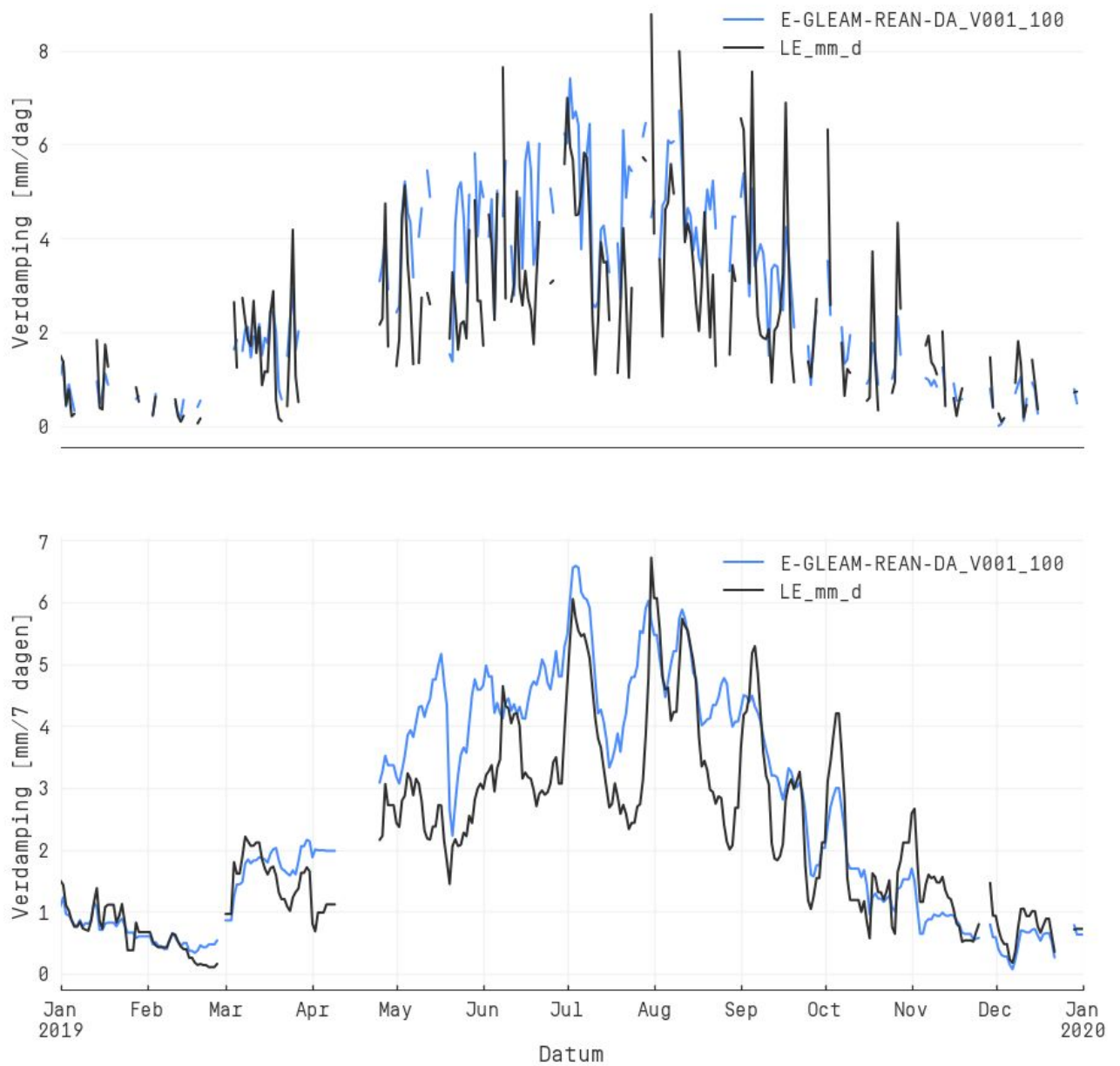
3.2.3. IJsselmeer

Om een idee te krijgen van de nauwkeurigheid van de actuele verdamping van het IJsselmeer zoals bepaald in SATDATA 3.0 vergelijken we deze met een dataset met gemeten actuele verdamping van het IJsselmeer. Dit staat los van de plausibiliteitstoets (beschreven in hoofdstuk 4.1) maar geeft natuurlijk wel extra informatie. Deze dataset is geleverd door WUR (Femke Jansen) als onderdeel van het SWM-EVAP project⁵. Deze dataset bevat gefilterde data (op windrichting) voor de locatie Trintelhaven en Stavoren. In deze vergelijking is alleen de locatie Stavoren gebruikt. De vergelijking is alleen uitgevoerd voor dagen waarop er meer dan 12 halve uren een meting is en waarbij de gemeten verdamping groter dan 0 is. Dat geeft 218 dagen waarop we een vergelijking kunnen maken. Met een meer strikte selectie (het liefst wil je metingen voor alle half uurlijkse waarden op een dag) blijft er te weinig data over.

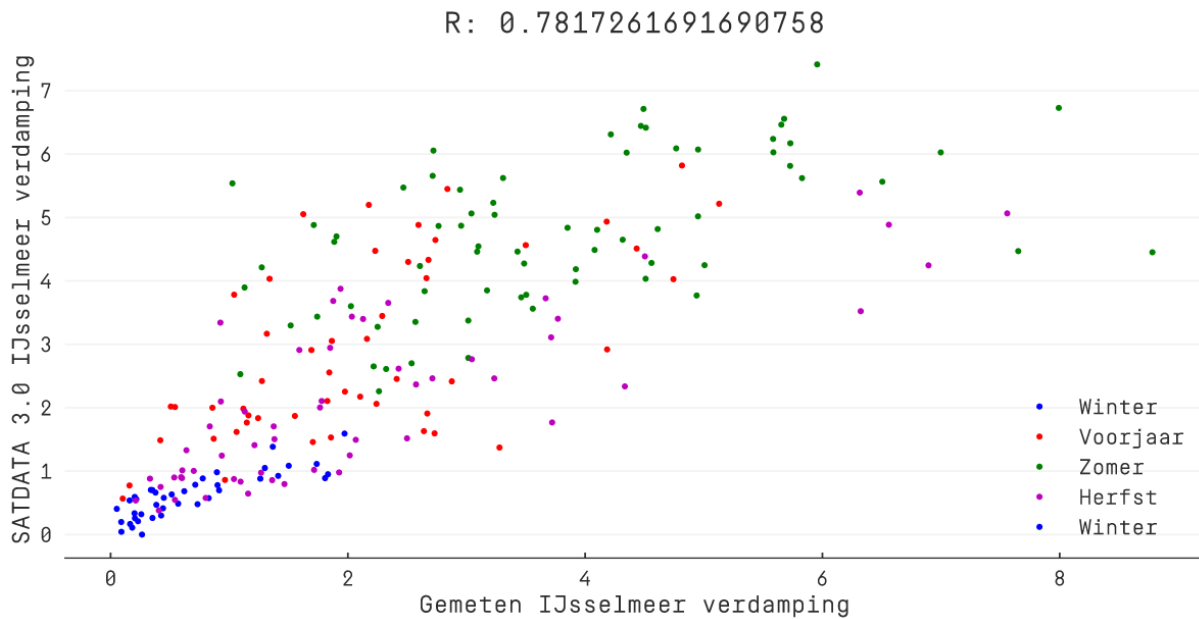
In de figuren 3.15 en 3.16 is de gemeten en de in SATDATA 3.0 bepaalde IJsselmeer verdamping bij Stavoren te zien voor 2019. De figuren laten zien dat er een goede relatie is met een correlatie van 0.78 maar dat er een overschatting lijkt te zijn in het voorjaar. Tevens is de dynamiek van de verdamping minder in het SATDATA 3.0 product. Ter illustratie is in figuur 3.17 de relatie van de gemeten verdamping met Makking verdamping voor dezelfde locatie zien. Daaruit blijkt duidelijk dat een straling gebaseerde oplossing (zoals te

⁵ SWM-EVAP: Smart Water Management in a complex environment: improving the monitoring and forecasting of surface EVAPoration. <https://research.wur.nl/en/projects/swm-evap-smart-water-management-in-a-complex-environment-improvin>

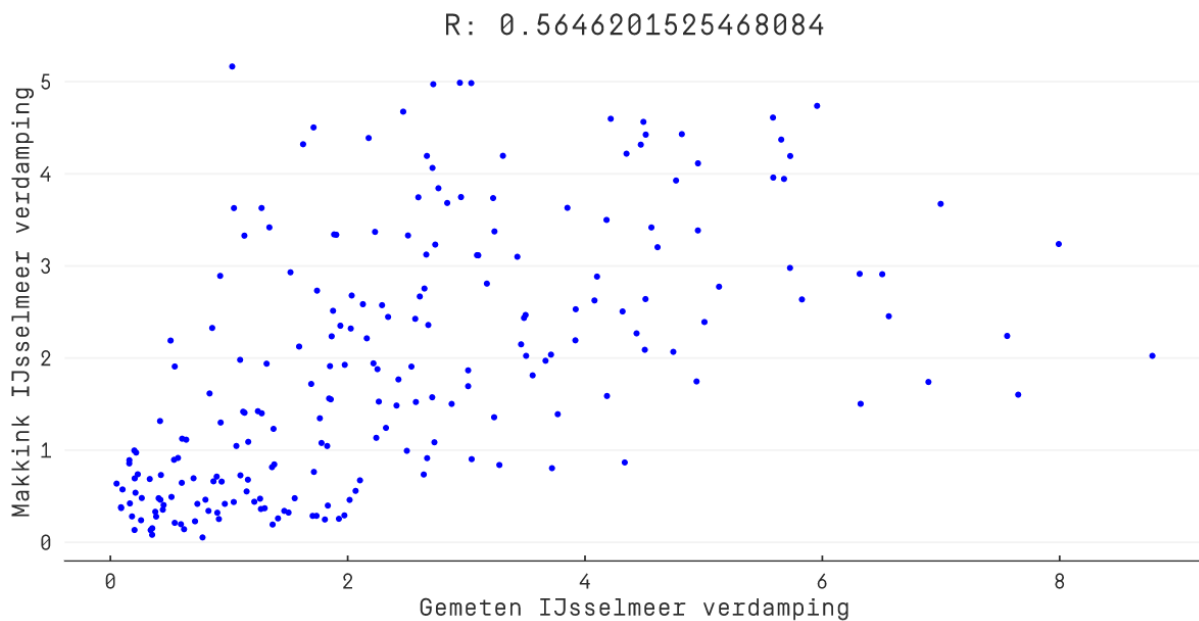
verwachten is) minder goed werkt voor open water. De correlatie is hier (R 0.56) aanzienlijk lager.



Figuur 3.14: Gemeten en door SATDATA 3.0 bepaalde verdamping bij Stavoren. Het bovenste figuur laat de dagelijkse gegevens zien, het onderste figuur een 7 daags lopend gemiddelde.



Figuur 3.15: Relatie tussen gemeten verdamping en de SATDATA 3.0 IJsselmeer verdamping op de locatie Stavoren.



Figuur 3.16: Relatie tussen gemeten verdamping en de Makking IJsselmeer verdamping op de locatie Stavoren.

Er zijn verschillende redenen aan te geven die de gesignaleerde verschillen kunnen verklaren:

- Veel dagen in de metingen zijn gebaseerd op 20 of minder half uurlijkse waarden die niet noodzakelijk representatief zijn voor het daggemiddelde zoals dat berekend wordt in SATDATA 3.0

- In SATDATA 3.0 wordt de energie-flux van en naar het water bepaald door het verschil in watertemperatuur op dagbasis. Dat is een flinke versimpeling van de realiteit. Idealiter zou dit op korte tijdstappen (b.v. op uurbasis) moeten worden gedaan en daarna geaggregeerd.
- In SATDATA 3.0 wordt een vaste meng-diepte in het water van twee meter gebruikt voor energie opslag. Deze diepte is afhankelijk van verschillende factoren zoals wind, golven en doorzicht.

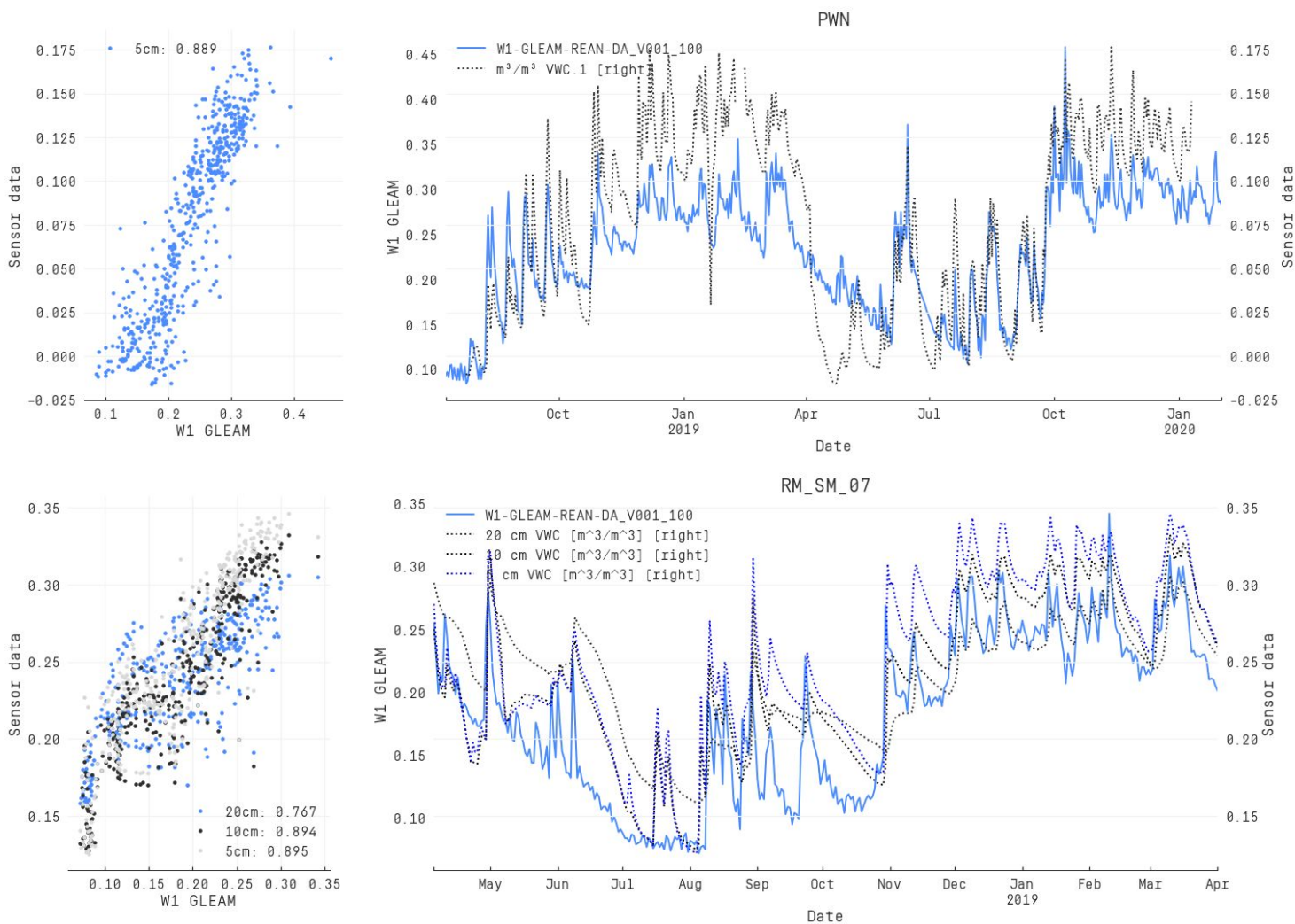
Op basis van de huidige vergelijking denken wij dat het goed zou zijn de volgende stappen te zetten:

- Verbetering van de temperatuur modellering van het IJsselmeer:
 - door middel van model aanpassingen
 - door middel van assimilatie van meetgegevens
- Verbetering bepaling albedo van het IJsselmeer.
- Onderzoeken van verschillende en dynamische bergings-diepte voor energie in het IJsselmeer, b.v. door meenemen van de windsnelheid en of golfslag.

3.3. Vergelijking met gemeten bodemvocht

Een vergelijking met bodemvocht is geen onderdeel van de plausibiliteitstoets maar kan wel gebruikt worden om de nauwkeurigheid van GLEAM-HR te duiden aangezien in GLEAM-HR bodemvocht en verdamping sterk aan elkaar gekoppeld zijn; met name de reductie in periodes van water stress in de vegetatie. We gebruiken voor de vergelijking het Raam bodemvocht netwerk (H.F. (Harm-Jan) Benninga et al., 2020) en de bodemvochtsensor die VanderSat in samenwerking met PWN in de duinen bij Castricum heeft geïnstalleerd.

De figuur 3.17 hieronder laat de PWN locatie zien en de Raam locatie 07. Voor het PWN station is de periode 2018-07-10 – 2020-02-01 beschikbaar en voor de Raam sensoren de periode 2018-04-05 – 2019-04-01. In tabel 3.3 staan de correlaties met het bodemvocht weergegeven voor alle gebruikte sensoren. Voor een vergelijking tussen een puntmeting van de bodemvocht sensor en een combinatie van model en satelliet data op een schaal van 100x100m mag een jaarlijkse correlatie van > 0.7 als goed worden beschouwd (Gruber et al., 2020; Holgate et al., 2016). Aangezien de correlaties over het algemeen significant hoger zijn geeft dit vertrouwen in de interne werking van het GLEAM-HR verdampings product en de gebruikte data assimilatie van het VanderSat bodemvocht. De locaties waarbij de correlatie laag is hebben ook over het algemeen lagere correlaties tussen de verschillende sensor dieptes. Dit kan duiden op kortsluitstroming die de bovenste sensor overslaat, andere problemen met de sensor of zeer lokale hydrologische processen die door GLEAM-HR niet worden meegenomen. In appendix A zijn plots voor alle sensoren weergegeven.



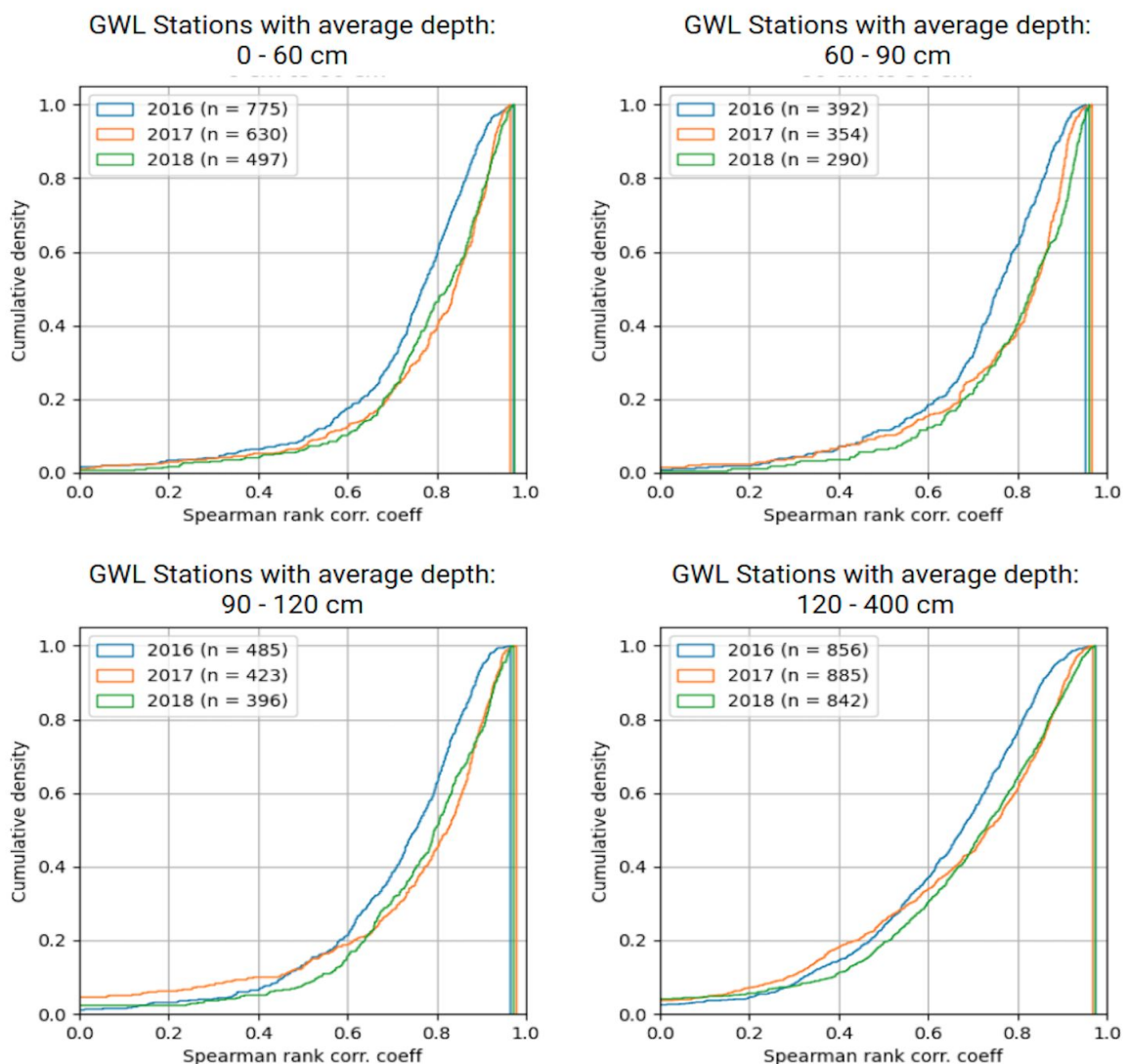
Figuur 3.17: Gemeten bodemvocht op twee locaties: PWN (boven) en de 07 sensor (onder) van het Raam netwerk in vergelijking tot de bodemmodule van GLEAM-HR. De getallen in de scatterplots geven de Pearson's correlatie tussen de sensor en GLEAM-HR bodemvocht.

Tabel 3.3: Correlaties van GLEAM-HR (oppervlakte bodemvocht) met de bovenste sensor.

			Correlatie 5 cm (toplaag) met:			
Locatie	Correlatie toplaag met Gleam W1	Opmerkingen	10cm	20cm	40cm	80cm
RM_SM_01	0.745		0.956	0.952	0.874	0.632
RM_SM_02	0.897		0.977	0.941	0.836	0.414
RM_SM_03	0.358	Verdacht station, meer variatie in de diepe laag (40cm) en een vlakke lijn voor de twee ondiepe lagen na Aug 2018. Correlatie met 40cm sensor is 0.798	0.656	0.607	0.815	0.771
RM_SM_04	0.791		0.984	0.926	0.657	0.412
RM_SM_05	0.766		0.974	0.986	0.642	0.159
RM_SM_06	0.897		0.968	0.903	0.658	0.334
RM_SM_07	0.897		0.979	0.776	0.634	0.375
RM_SM_08	0.703	Data stopt in juli 2018. Alleen diepe sensor loopt door. Correlatie met diepe sensor 0.835	0.902	0.643	0.747	0.891
RM_SM_09	-	Geen data	-	-	-	-
RM_SM_10	0.777	Geen data sept 2019 tot feb 2020	0.915	0.817	0.066	0.262
RM_SM_11	0.73		0.882	0.836	0.766	0.516
RM_SM_12	0.302	Verdachte data. Variaties in diepe laag flink hoger dan ondiepe laag.	0.862	0.834	0.787	0.674
RM_SM_13	0.507	Verdachte data. Variaties in diepe laag (40cm) flink hoger dan ondiepe laag. Correlatie met diepe sensor 0.697	0.966	0.821	0.728	0.741
RM_SM_14	0.775		0.949	0.929	0.762	0.429
RM_SM_15	0.778		0.959	0.654	0.581	0.564
PWN	0.874		-	-	-	-

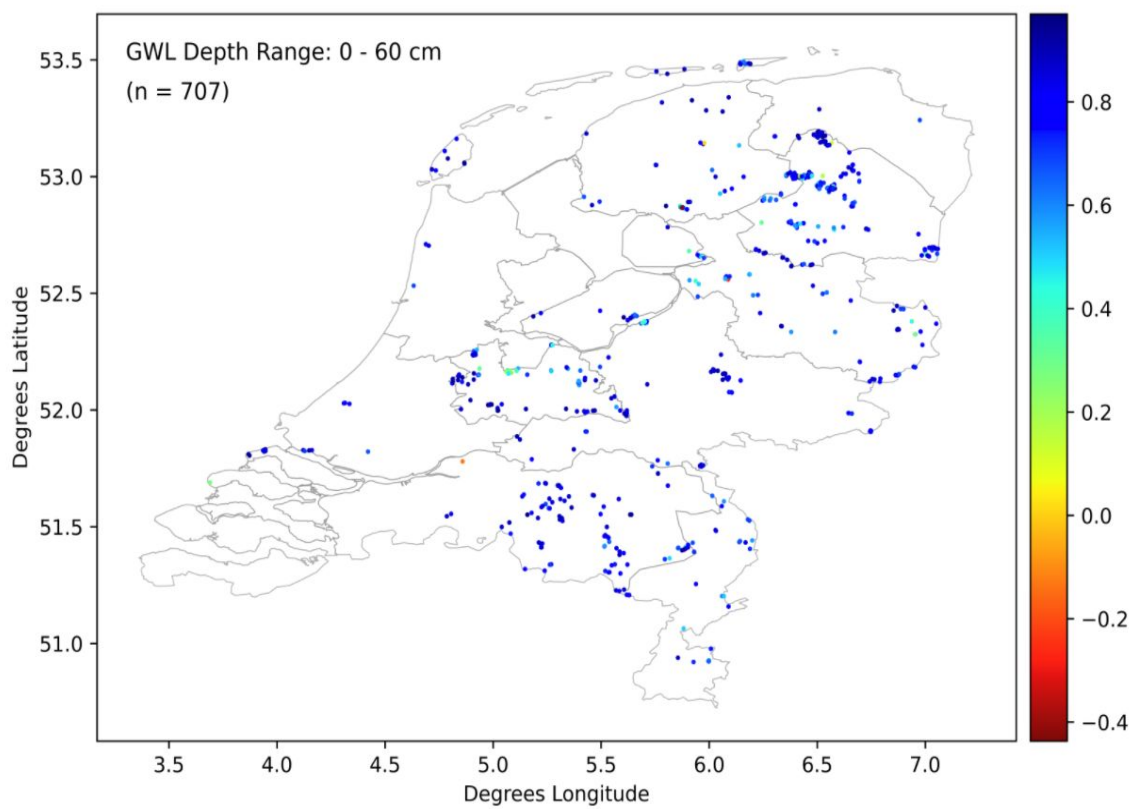
3.4. Vergelijking met grondwaterstandsfluctuaties

Eerder hebben de Nijs and de Jeu (2017) laten zien dat er een zeer goede correlatie is tussen het VanderSat bodemvocht en de grondwaterstanden in ondiepe peilbuizen door naar meer dan 2000 freatische locaties uit het Dino systeem te kijken. Als extra check van het verdampingsproduct hebben we correlatie van het interne GLEAM-HR bodemvocht vergeleken met > 2000 grondwaterstandsmetingen locaties en deze in 4 diepte klassen verdeeld. Figuur 3.18 laat zien dat bij de median (Cumulative density P0.5) de Spearman coëfficiënt 0.8 is voor de ondiepe buizen. Dat is hoger dan gerapporteerd door de Nijs and de Jeu (2017) (0.74) voor VanderSat L-band data. Daarnaast heeft meer dan 80 % van de data met een gemiddelde jaarlijkse grondwaterstand binnen 1 m onder het maaiveld een correlatie die hoger is dan 0.7. Dit is vooral zichtbaar bij de drogere jaren (2017 en 2018).



Figuur 3.18: Cumulatieve histogram van de Spearman correlaties tussen de grondwaterstandsmetingen en het interne GLEAM-HR bodemvochtproduct.

Pearson Correlation Coeff. GWL sensors vs VanderSat GLEAM-DA:
(2016-19, all seasons)



Figuur 3.19: Ruimtelijk plot van de correlaties van alle 0-60 cm buizen met GLEAM-HR bodemvocht.

4. Plausibiliteits toetsen

4.1. Toets A: Open water

De waarden van de door u aangeleverde verdampingsinformatie (en dan enkel de werkelijke verdamping) dienen fysisch consistent te zijn met waarden die men zou verkrijgen indien met de methode Keijman-De Bruin of de methode Penman zou toepassen om deze te bepalen.

De GLEAM-HR methode voor open water verdamping is gebaseerd op de Priestley Taylor (PT) vergelijking. Deze methode is al eens toegepast op het IJsselmeer (De Bruin and Keijman, 1979). Voor SATDATA 3.0 is er gekozen om buiten de GLEAM-HR methode voor open water pixels de Penman methode (Penman, 1956, 1948) te gebruiken om zo de transport component mee te nemen alsmede de opslag en het vrijkomen van energie in het water. De methode staat in de opgeleverde documentatie in detail beschreven⁶. We kunnen er gezien de gekozen methode van uitgaan dat de resultaten consistent zijn met de in de de toets beschreven methodes (ze zijn dezelfde).

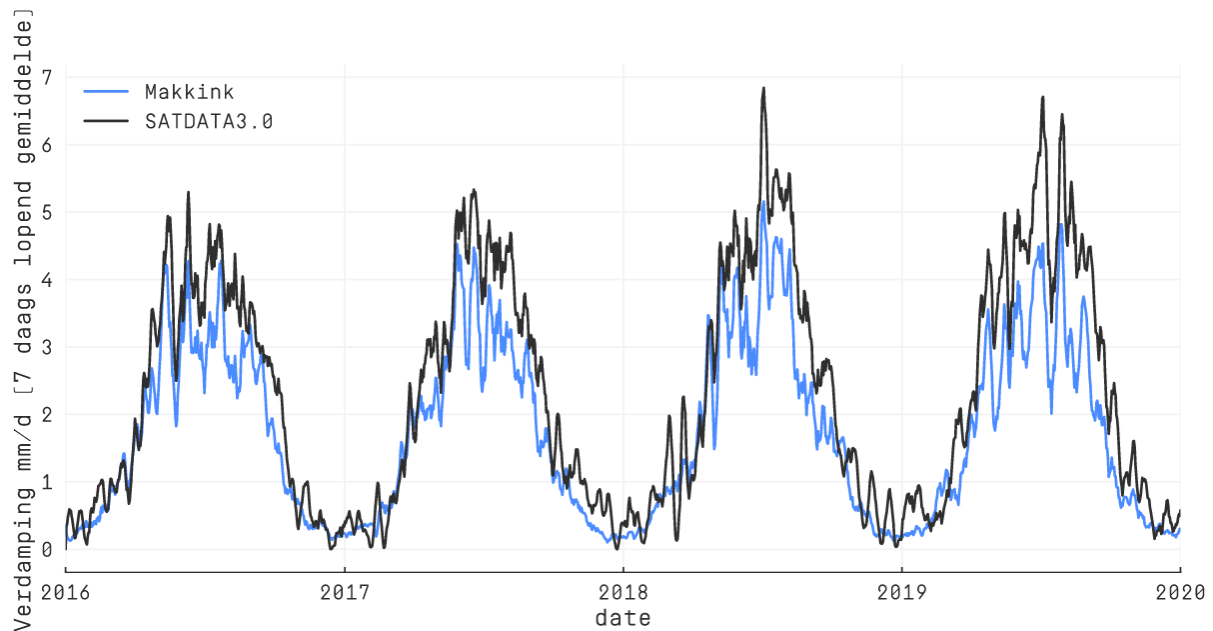
Omdat de albedo waarden bepaald uit optische satellieten voor open water oppervlaktes niet erg betrouwbaar zijn is er in SATDATA3.0 gekozen voor een vaste waarde van 0.075. Dit is een van de belangrijke onzekerheden in het bepalen van de verdamping van open water in SATDATA3.0 samen met de temperatuur van het water. Afhankelijk van wind en tijd van het jaar zijn flinke variaties mogelijk. In tabel 4.1 hieronder staan de resultaten (jaartotalen) van Jansen and Teuling (2020) naast de SATDATA runs voor 2016-2019. Zoals verwacht zijn de jaartotalen voor de redelijk gemiddelde jaren 2016 en 2017 zeer vergelijkbaar met de Penman resultaten in Jansen and Teuling (2020). Daarentegen is de bepaalde verdamping in de zonnige en droge jaren 2018 en 2019 aanzienlijk hoger.

Tabel 4.1: Vergelijking jaartotalen uit Jansen and Teuling (2020) en SATDATA3.0

	Observaties					SATDATA-3.0			
	Gemiddeld jaar		Droog jaar			Jaar			
	1986	2009	1976	2003		2016	2017	2018	2019
Penman	678	781	760	761	Actuele verdamping	784	790	859	926
De Bruin-Keijman	706	817	791	799					
Makkink	594	642	652	676	Makkink	625	611	665	642

⁶ <https://docs.vandersat.com/satdata/gleam.html#verdamping-open-water>

In figuur 4.1 is de Makkink verdamping samen met de SATDATA 3.0 verdamping geplote. Het is duidelijk dat de SATDATA 3.0 open water verdamping hoger is dan de Makkink verdamping. Dit is te verwachten gezien de gebruikte methode. Ook is te zien dat in het voorjaar de verschillen klein zijn (in die tijd wordt er veel energie in het water opgeslagen) terwijl in het najaar wanneer deze energie weer vrijkomt, de verschillen het grootst zijn.



Figuur 4.1: Makkink en SATDATA 3.0 verdamping voor een pixel in het IJsselmeer.

Uit bovenstaande concluderen wij dat aan het gestelde **plausibiliteitscriterium voor de open water verdamping wordt voldaan.**

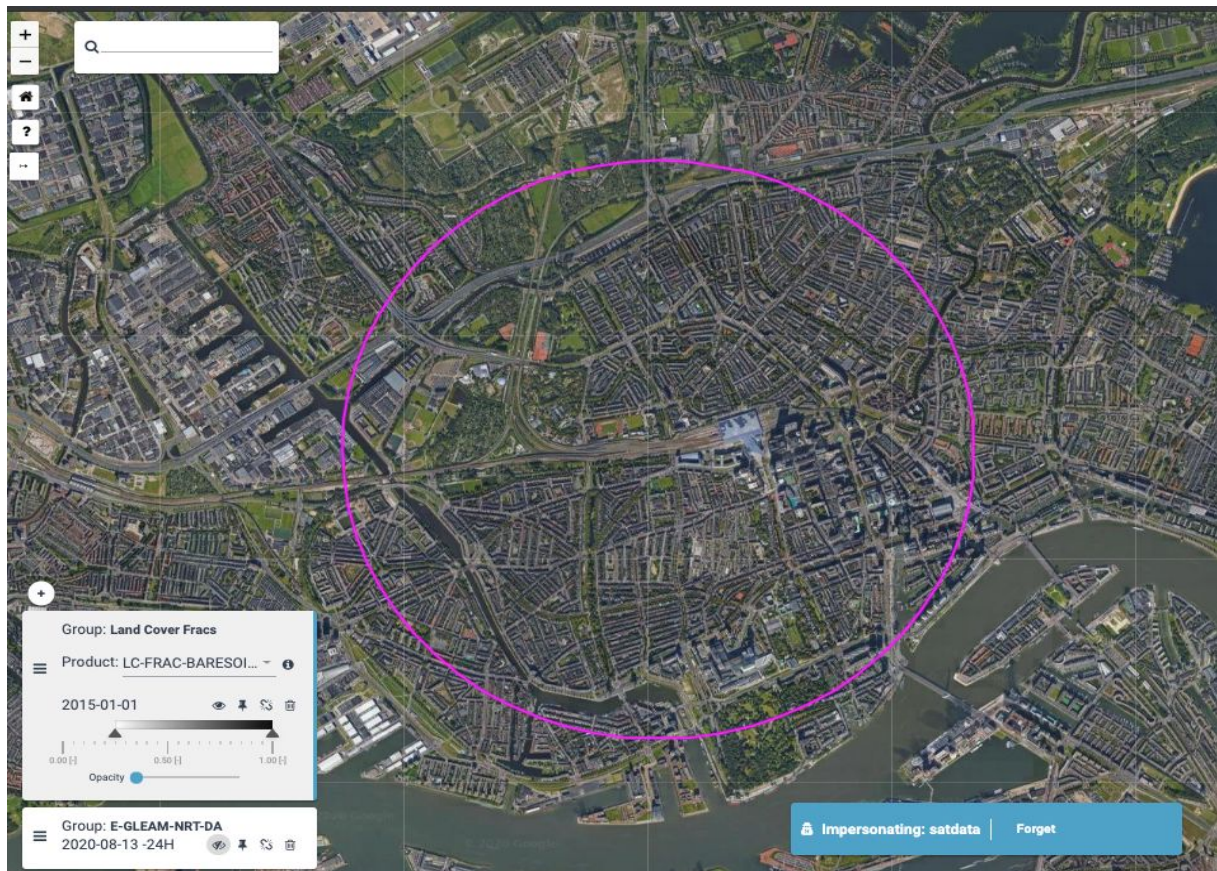
4.2. Toets B: stedelijk gebied

De waarden van de door u aangeleverde verdampingsinformatie (en dan enkel de werkelijke verdamping) dienen fysisch consistent te zijn met waarden die staan vermeld in het artikel Assessment of evaporative water loss from Dutch cities dat als bijlage bij dit aanbestedingsdocument is meegestuurd

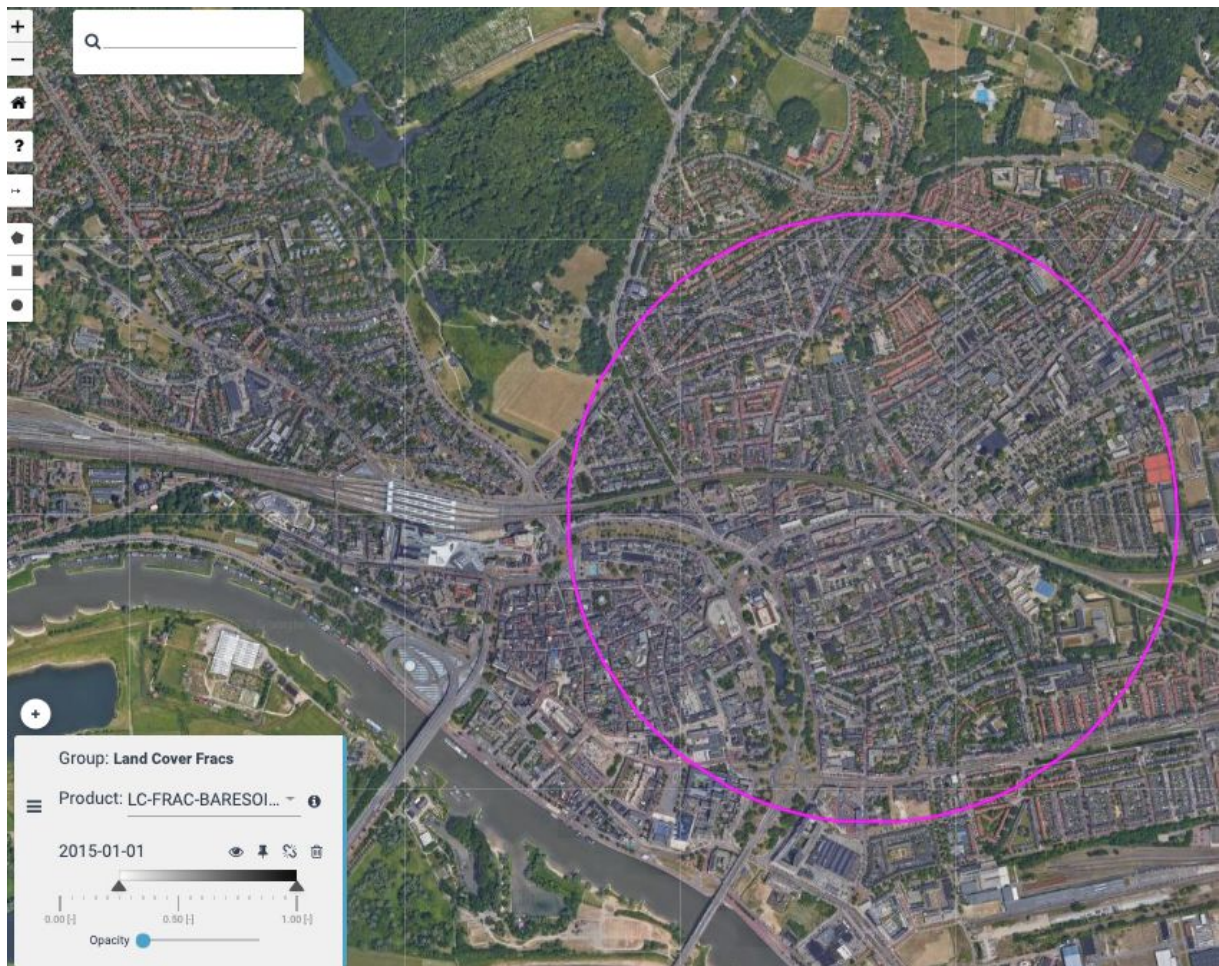
GLEAM-HR heeft geen specifieke methodiek om de verdamping in het stedelijk gebied te beschrijven; er is geen speciale parametrisatie voor verhard (ondoorlaatbaar) oppervlakte. In plaats daarvan is al het verharde oppervlak gesimuleerd via de fractie kale bodem. Het grootste verschil met verhard oppervlakte is dat er meer ruimte is voor berging van bodemvocht. Daardoor is er meer water beschikbaar na regen gebeurtenissen om te verdampen. Parken, bomen en open water worden in GLEAM-HR meegenomen via de verschillende vegetatie klassen en de open water verdamping.

In Jacobs et al. (2015) is de verdamping beschreven in Arnhem en Rotterdam zoals bepaald met behulp van eddy covariance en scintillometer metingen gecombineerd met sapflow metingen in bomen. De metingen zijn in 2012 uitgevoerd. Dat betekent dat een directe vergelijking niet mogelijk is.

Er is weinig informatie beschikbaar om deze test uit te voeren en het is daarom lastig de waargenomen verschillen precies te verklaren. We hebben gekozen om de periode april-sept 2018 te gebruiken om met de 2012 data te vergelijken. De verdamping uit GLEAM-HR voor Arnhem en Rotterdam hebben we op twee manieren bepaald: (1) door het gemiddelde van alle pixels in een cirkel van 1km rond het meetpunt te nemen en (zie figuur 4.2 en 4.3) (2) door een pixel precies op het meetpunt te nemen.



Figuur 4.2: meetlocatie met 1km cirkel in Rotterdam



Figuur 4.3: meetlocatie met 1km cirkel in Arnhem

Gezien de geringe bergingscapaciteit in steden voor water, om later dan alleen tijdens en vlak na neerslag te verdampen, ligt het in de verwachting dat de verdamping niet zozeer gelimiteerd wordt door de beschikbare hoeveelheid energie maar door de beschikbare hoeveelheid water tijdens en vlak na een neerslaggebeurtenis. Dat maakt ook dat de relatie met een referentie verdamping niet goed is (Jacobs et al., 2015). In tabel 4.2 zijn de resultaten van de plausibiliteits-test weergegeven. Te zien is dat als we een groot gebied in de steden nemen (de 1km cirkel) de verdamping flink hoger is dan de metingen in 2012. Dat kan onder andere komen omdat er meer parken, bomen en open water mee wordt genomen dan in de 'fetch' van de metingen maar ook omdat er meer straling beschikbaar is in 2018 (zie de makkink verdamping). Nemen we een enkele pixel met alleen bebouwing uit GLEAM-HR dan komen de resultaten meer overeen met de metingen van 2012.

Tabel 4.4: Resultaten uit (Jacobs et al., 2015) en GLEAM-HR

Locatie	Jacob et. al (2015)			GLEAM-HR			
	E mm/d April-Sept 2012	Makkink April-Sept 2012	Neerslag (dagen met neerslag)	E-GLEAM 1km cirkel (2018) April-Sept mm/d	Makkink (2018) April-Sept mm/d	E-GLEAM bare soil pixel (2018) April-Sept mm/d	Neerslag (2018) April-Sept mm/d (dagen met neerslag)
Arnhem	0.86	2.77	1.44 (99)	1.54	3.05	1.41	1.55 (71)
Rotterdam	0.68	2.38	3.20 (88)	1.48	3.04	0.87	1.94 (66)

Uit de bovenstaande tabel en het werk van (Jacobs et al., 2015) kunnen we het volgende opmaken:

- In de studie van Jacobs et. al. zijn veel meetpunten weggelaten. Als dit relatief natte dagen zijn dan kan dat het gemiddelde beïnvloeden.
- Het aantal dagen gebruikt in de studie is niet geheel duidelijk. In tabel 3 in Jacobs et. al. wordt voor de periode April-September 2012 een aantal van 254 dagen gegeven. Dit is niet mogelijk. Het zou dus zo kunnen zijn dat de neerslag die in de studie gerapporteerd is over het gehele jaar is bepaald.
- Het is goed te verklaren dat een kale bodem (met opslagcapaciteit) na een regen gebeurtenis langer blijft verdampen dan bij een verhard oppervlak met alleen opslagcapaciteit aan het oppervlakte zelf.
- In zowel GLEAM-HR als in het het werk van Jacobs lijkt de relatie met straling (Makkink) minder sterk dan de relatie met het aantal dagen neerslag.
- Er blijven (veel) onzekerheden over. Een optie om meer duidelijkheid te krijgen is het runnen van GLEAM-HR voor de studie periode in 2012.

Ondanks de genoemde onzekerheden concluderen wij **dat aan de gestelde plausibiliteitscriteria voor stedelijk gebied wordt voldaan.**

4.3. Toets C: bos en natuurgebieden

De waarden van de door u aangeleverde verdampingsinformatie (en dan enkel de werkelijke verdamping) dienen fysisch consistent te zijn met waarden die staan vermeld in de documenten die via deze weblinks te vinden zijn. <http://edepot.wur.nl/10109> (verdamping van natuurterreinen in Nederland) https://www.hydrology.nl/images/docs/dutch/2012.05.22_Eddy_Moors.pdf (verdamping van bosgebieden in Nederland)

4.3.1. Bos

In sectie 3.2.2 is reeds een gedetailleerde analyses gemaakt van de resultaten voor de Loobos locatie. Daaruit komt naar voren dat GLEAM-HR de verdamping van het bos goed beschrijft. Het werk van Moors (2012) laat zien dat het in GLEAM-HR gebruikte neerslag

interceptie model (Gash, 1979) goed kan werken, hij laat ook zien dat de Loobos site verrassend weinig water stress laat zien ondanks de zandige bodem die relatief weinig water kan vasthouden in combinatie met een diepe grondwater spiegel.

4.3.2. Natuurgebieden

Het genoemde rapport <http://edepot.wur.nl/10109> wat betreft de verdamping van natuurterreinen in Nederland is een korte samenvatting van het gehele werk. Voor deze analyse hebben we het originele rapport gebruikt (Spieksma et al., 1996).

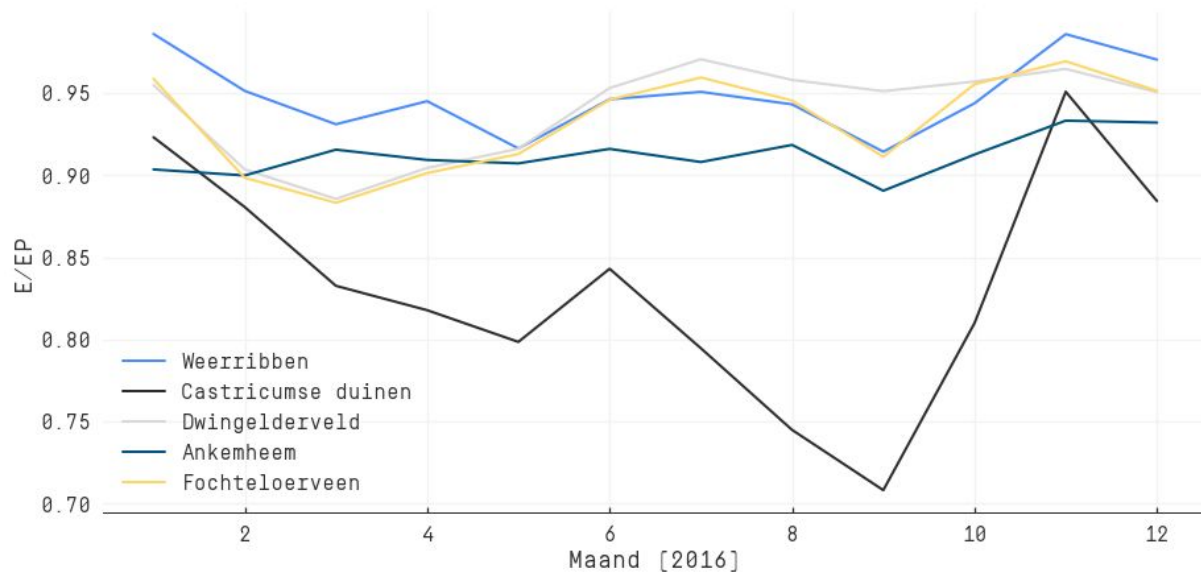
Aangezien we geen GLEAM-HR gegevens hebben voor de beschreven periodes richten we ons op de verhouding met potentiële/referentie verdamping. Hierbij dient te worden opgemerkt dat (Spieksma et al., 1996): "Makkink is niet goed toepasbaar voor het inschatten van de verdamping op dagbasis, wel voor het inschatten van de verdamping voor langere perioden. De fout in de verdamping uitgerekend met Makkink kan op dagbasis soms wel 20% tot 40% bedragen. Voor berekeningen aan processen met een korte tijdschaal is Makkink niet geschikt. Voor langdurige effectstudies of waterbalans studies is het gebruik van Makkink wel verdedigbaar." In het werk van Spieksma et.al. worden de volgende typen natuurterrein onderscheiden:

- 1) laagveenmoeras
- 2) kustduinen
- 3) half-natuurlijk grasland
- 4) heide
- 5) hoogveen

Om naar de resultaten voor laagveenmoeras te kijken hebben we een gebied in de **Weerribben** geselecteerd. Voor de kustduinen hebben we een deel van de **Castricumse duinen** geselecteerd terwijl we voor het half natuurlijk grasland, de heide en het hoogveen de locaties **Ankemheem**, **Dwingelderveld** en **Fochteloërveen** gebruiken. Figuur 4.4 geeft de geselecteerde locatie weer.



Figuur 4.4: Locaties van de onderzochte natuurgebieden



Figuur 4.5: Maandelijks actuele verdamping gedeeld voor potentiële (Priestley Taylor) verdamping uit GLEAM-HR

In figuur 4.5 is de ratio van de actuele verdamping met de potentiële verdamping geplot voor het jaar 2016. Dit is een jaar met relatief veel neerslag gedurende het groeiseizoen zodat er relatief weinig verdamping reductie door vochttekort optreedt. Dit jaar is verder gebruikt in de analyse hieronder.

Wat betreft laagveen (**Weerribben**) rapporteert Spijksma dat veel onderzoekers een verdamping hoger dan de open waterverdamping rapporteren, waarschijnlijk als gevolg van advectieve invloeden. Verder wordt een gewasfactor van 0.8 bruikbaar genoemd. Uit figuur 4.5 zien we een factor van 0.9 tot 0.95 in het groeiseizoen voor het geselecteerde gebied. Dit lijkt goed in overeenstemming met de door Spijksma gerapporteerde waarden al is het hoger dan de gesuggereerde 0.8.

Het geselecteerde gebied voor kustduinen (**Castricumse duinen**) bevat een mengeling van open duinzand en vegetatie. Uit figuur 4.5 is te zien dat de factor relatief laag is en flink varieert in het jaar. Zeer waarschijnlijk speelt verdampingsreductie door vochttekort hier wel een rol in 2016. Te zien is dat de factor voor het groeiseizoen gemiddeld iets boven de 0.75 ligt. Dat is iets hoger dan de in Spijksma gesuggereerde waarde van 0.7 maar zeker in de range van de door Spijksma gebruikte studies voor duinvegetatie.

Voor het half natuurlijk grasland (**Ankemheem**) laat figuur 4.5 een bijna constante factor van 0.9 zien. Vergelijkbare waarden zijn beschreven in Spijksma maar de meeste zijn wat lager. Desalniettemin zijn ze zeker plausibel.

De gewasfactoren voor struikheide zoals gerapporteerd door Spijksma staan weergegeven in tabel 4.1 hieronder tezamen met de waarde uit grafiek 4.5 voor de locatie **Dwingelderveld**. De E/EP uit GLEAM-HR laat eenzelfde patroon zien (het hoogste in juli, het laagste in mei)

als de f factoren gerapporteerd in Spieksma, ook zijn de waarden in dezelfde orde van grootte.

Tabel 4.1: Gewasfactoren voor struikheide vergeleken met de E/EP ratio in het Dwingelderveld

Maand	Gewasfaktor (Spieksma)	E/EP GLEAM-HR
mei	0.6-0.7 (0.8-0.9)	0.91
juni	0.7-0.8 (0.9-1.1)	0.95
juli	0.9 (1.1)	0.97
augustus	0.9-0.8 (1.1-1.0)	0.96
september	0.8-0.7 (1.0-0.8)	0.95

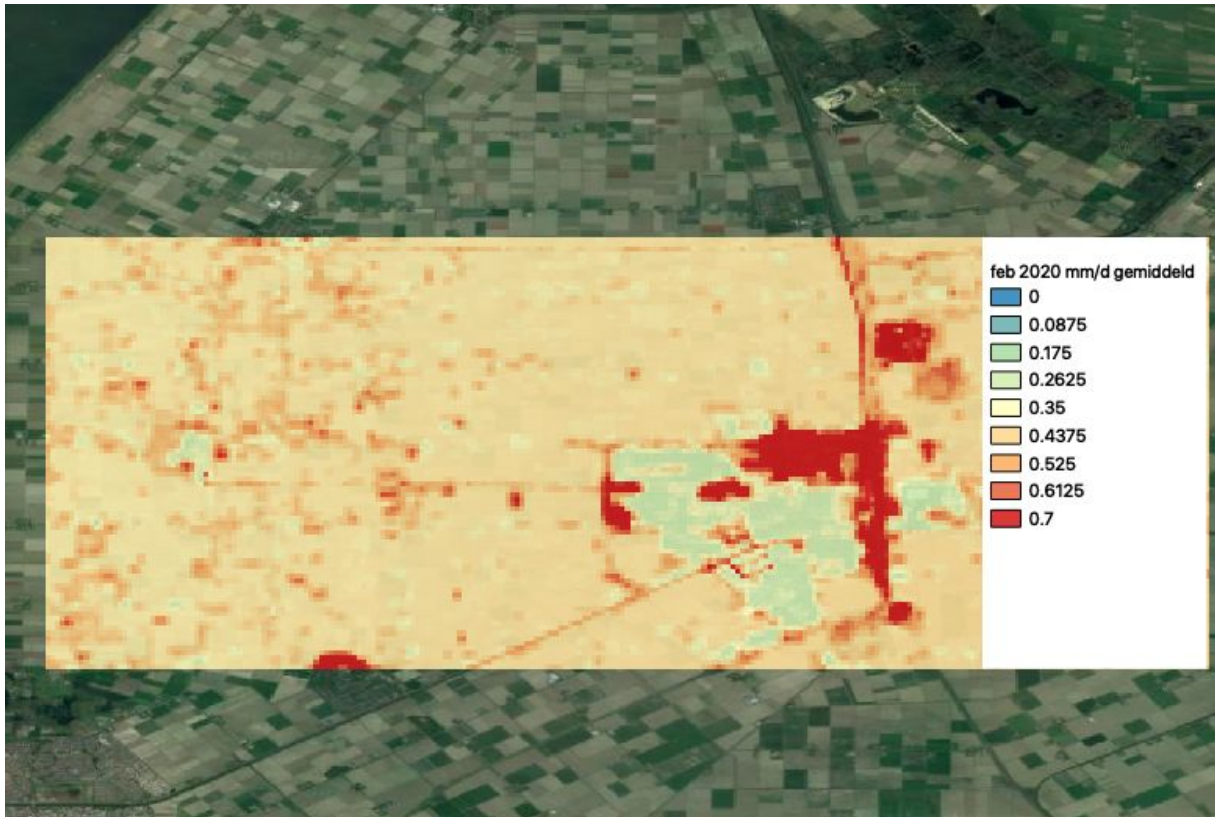
“In Nederland is het areaal met ongestoord hoogveen zeer beperkt. Vrijwel alle overgebleven hoogvenen zijn aangetast door afgraving en ontwatering. De begroeiing van intact hoogveen bestaat uit een vrijwel gesloten tapijt van veenmos, waarop dwergstruikjes als dopheide en struikheide kunnen groeien. In afgetakelde, verdroogde hoogvenen ontbreekt de veenmoslaag grotendeels; de vegetatie wordt dan gedomineerd door pijpestrootje, eenarig wollegras en heide” (Spieksma et al., 1996). De waarden van E/EP verkregen voor het **Fochteloërveen** zijn relatief hoog (gemiddeld over het groeiseizoen 0.93) maar vergelijken zich goed tot de waarden gerapporteerd door Spieksma.

4.4. Toets D: Landbouwgewassen

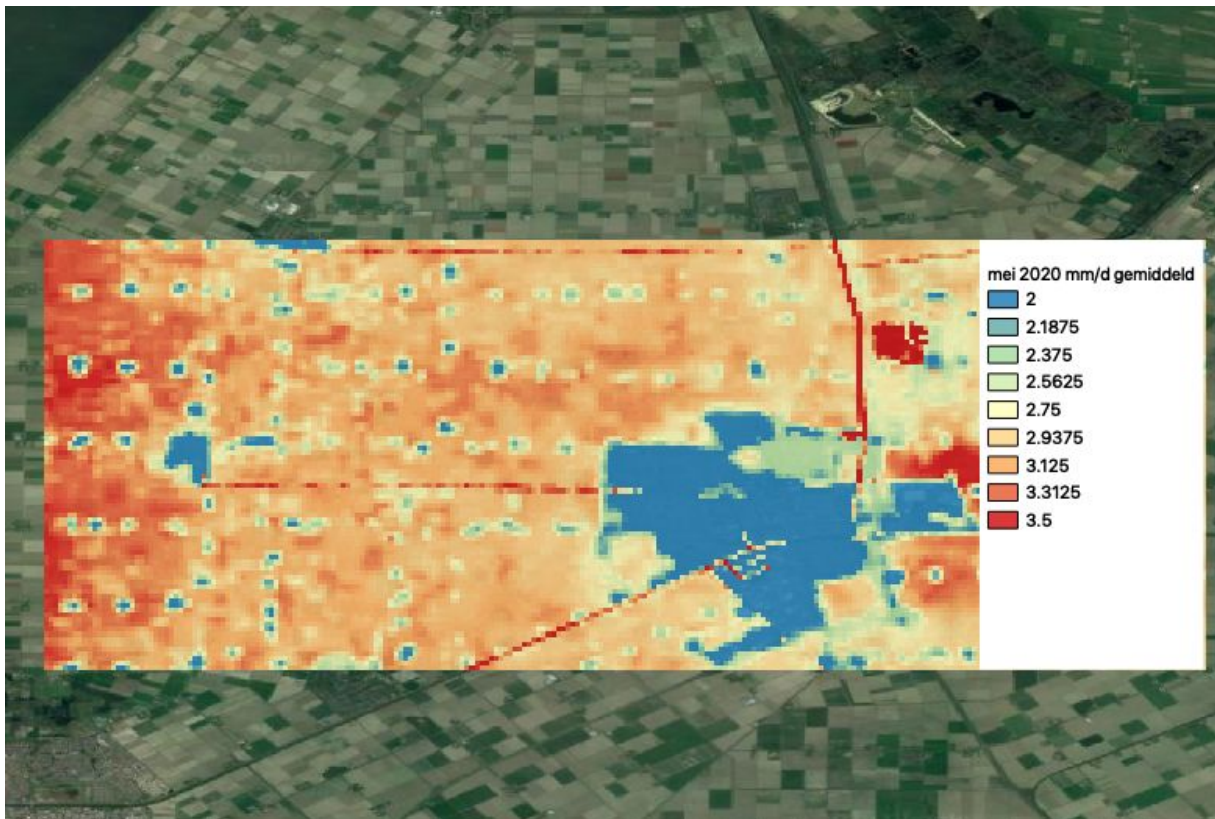
- A. Er treden geen, of zeer beperkt, niet-fysisch verklaarbare ruimtelijke patronen op. Zo zouden er op maandbasis geen ‘hotspots’ qua hoge of lage Werkelijke Evapotranspiratie mogen optreden en zou het landgebruik niet als patroon te herkennen mogen zijn;
- B. De Werkelijke Evapotranspiratie kan niet lager dan 0 zijn;
- C. De Werkelijke Evapotranspiratie kan niet hoger dan de Potentiële Evapotranspiratie zijn;
- D. De Kc dient in lijn te zijn met de gewasgroei gegeven het seizoen;
- E. De Gewas Verdamping dient op maandbasis niet significant/hydrologisch inconsistent af te wijken van de Referentiegewas Verdamping volgens het KNMI;
- F. De Werkelijke Evapotranspiratie dient op natte dagen niet significant/hydrologisch inconsistent af te wijken van de Referentiegewas Verdamping volgens het KNMI;

4.4.1. Toets D-A

De Figuren 4.6 en 4.7 laten de gemiddelde actuele verdamping voor de maanden februari en mei 2020 zien in een deel van de NO Polder rond Emmeloord. We zien hier de bebouwde gebieden duidelijk terug met een lagere actuele verdamping (vooral in mei). Tevens zijn de open water lichamen (de Casteleynsplas en de kanalen) en beboste gebieden goed terug te zien met een relatief hoge verdamping.



Figuur 4.6: gemiddelde dagelijkse actuele verdamping voor februari 2020



Figuur 4.7: gemiddelde dagelijkse actuele verdamping voor mei 2020

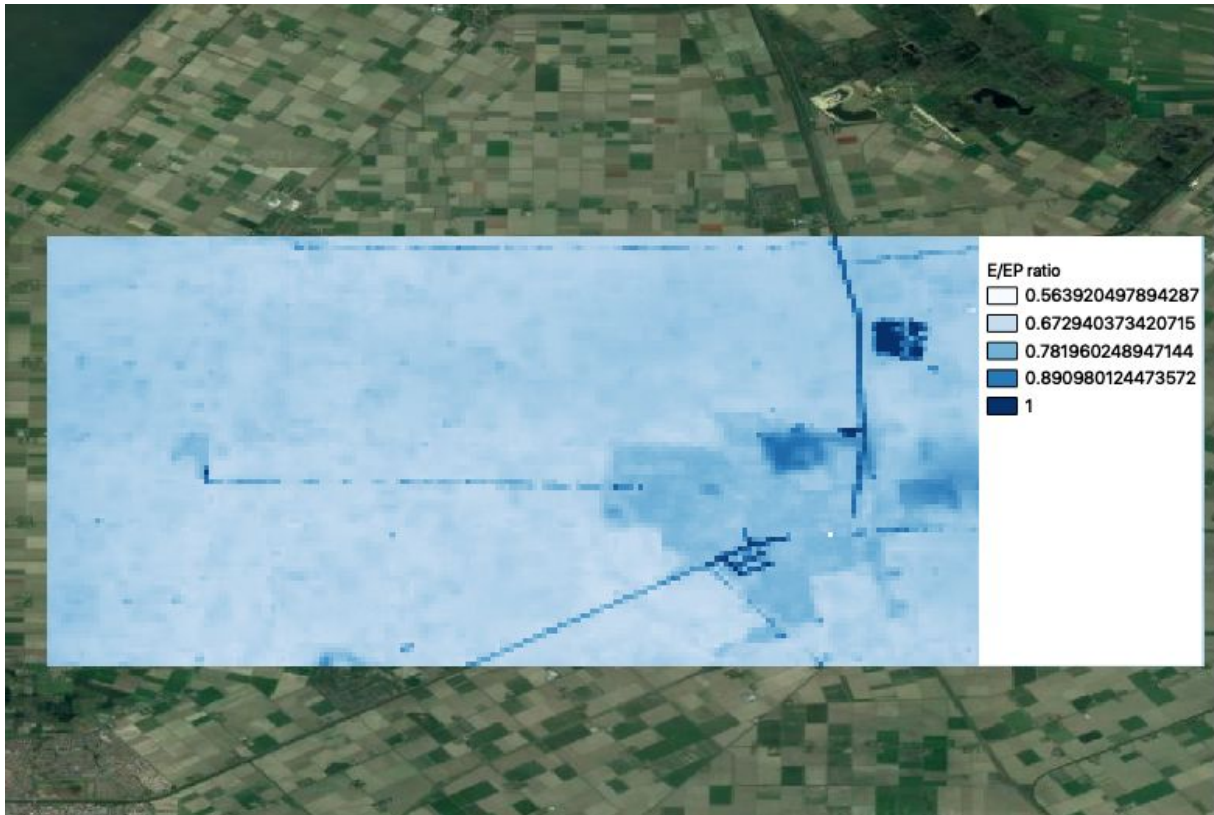
Zoals we beschreven in het ontwerp van de functionaliteit van het SATDATA 3.0 systeem is er (met name in mei) wel degelijk een patroon in de data te herkennen dat te herleiden is tot verschillen in landgebruik. Binnen het landbouwareaal is verder te zien dat in februari de individuele velden soms te zien zijn als gevolg van een verschil in netto straling. Later in het jaar (mei) is dit verschil minder zichtbaar en is de invloed van de bodem en de gevallen neerslag sterker. Als we ons focussen op het landbouwareaal zelf **dan wordt voldaan aan punt A van plausibiliteitstoets D.**

4.4.2. Toets D-B

Punt B van de plausibiliteitstoets geeft aan dat de werkelijke verdamping niet kleiner dan 0 kan zijn. Dit is voor alle pixels in NL voor de tot nu toe gemaakte gegevens het geval. **Hiermee wordt voldaan aan punt B van plausibiliteitstoets D.**

4.4.3. Toets D-C

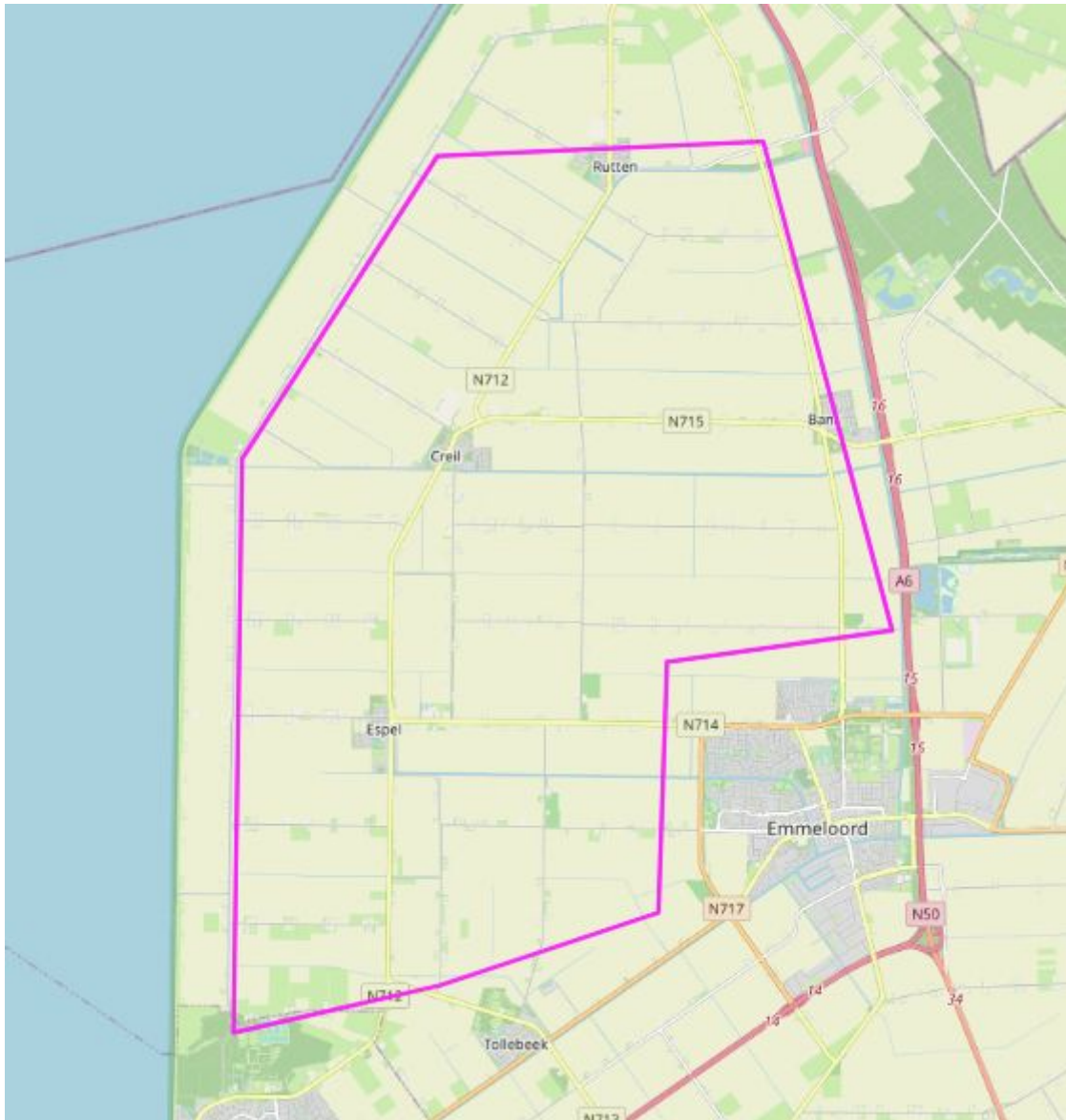
Punt C geeft aan dat de werkelijke verdamping niet hoger kan zijn dan de potentiële verdamping. In GLEAM-HR wordt eerst een potentiële verdamping (gebaseerd op priestley taylor) bepaald waarna deze gereduceerd wordt aan de hand van verschillende satelliet metingen. Dientengevolge kan de werkelijke verdamping niet hoger liggen dan de potentiële verdamping. In figuur 4.8 hieronder is de ratio van de werkelijke verdamping en de potentiële verdamping voor het gebied weergegeven voor de periode 2020-01-02 – 2020-08-31. Alle waarden liggen voor de periode onder de 1.0. **Hiermee wordt voldaan aan punt C van plausibiliteitstoets D.**



Figuur 4.8: E/EP voor de periode 2020-01-02 - 2020-08-31

4.4.4. Toets D-D

Punt D van de plausibiliteitstoets voor landbouwgewassen gaat over de Kc factor die in lijn moet zijn met de groei van het gewas door het jaar. Zoals reeds aangegeven in het plan van aanpak maakt GLEAM-HR niet gebruik van Kc factoren die over het jaar variëren. In plaats daarvan wordt eerst een netto straling en daarna een beschikbare energie en de PT verdamping bepaald waarna de verdamping aan de hand van de stressfactoren wordt bijgestuurd. We kunnen dit dus niet rechtstreeks vergelijken.

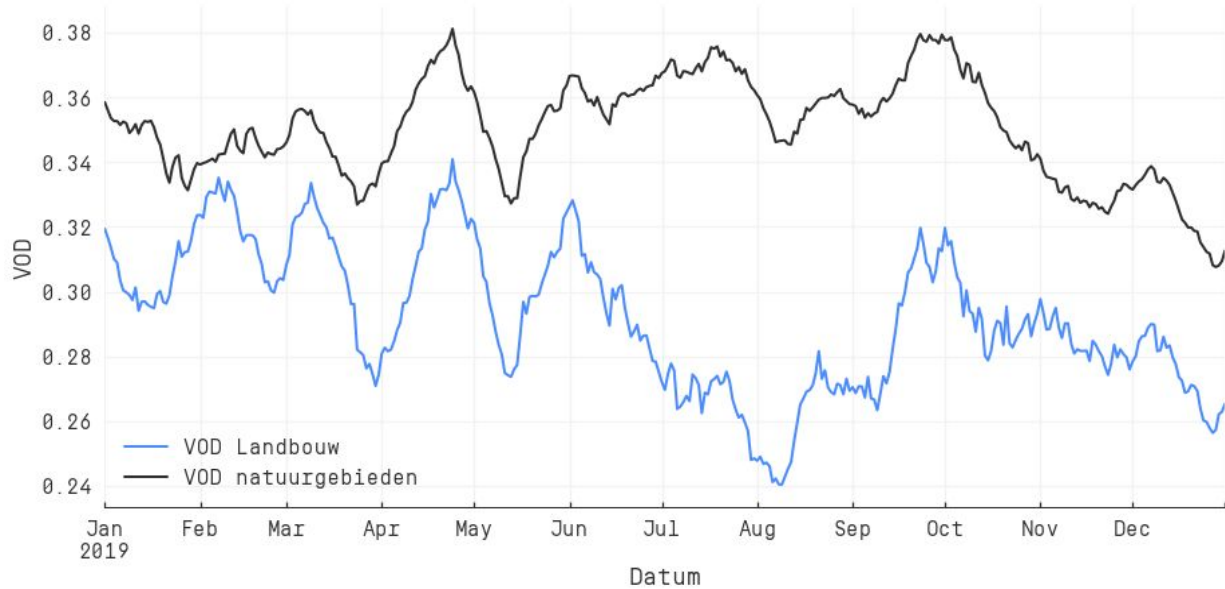


Figuur 4.9: Gebied waarover de Kc voor landbouwgebied bepaald is.

Wat we wel kunnen doen is vergelijkbare parameters plotten en vergelijken met de gewasgroei. De VOD (vegetation optical depth; watergehalte van de vegetatie) wordt in GLEAM-HR gebruikt om de status van het gewas weer te geven en de verdamping te reduceren

Figuur 4.1 laat de VOD zien die in GLEAM-HR wordt gebruikt voor het gedefinieerde landbouwgebied in de NO polder en de natuurgebieden die we in toets C hebben gebruikt. Duidelijk is te zien dat er een lage VOD is in het landbouwgebied dat snel terugloopt in de zomer, in tegenstelling tot de natuurgebieden die een veel kleinere reductie laten zien die bovendien later optreedt. In de NO polder worden de eerste nieuwe aardappels al begin juli geoogst, de andere gewassen later. Daardoor is in de VOD een gelijkmatige afname te zien

(elk veld wordt op een andere tijd geoogst). De VanderSat VOD is niet gedetailleerd genoeg om de individuele velden te volgen.

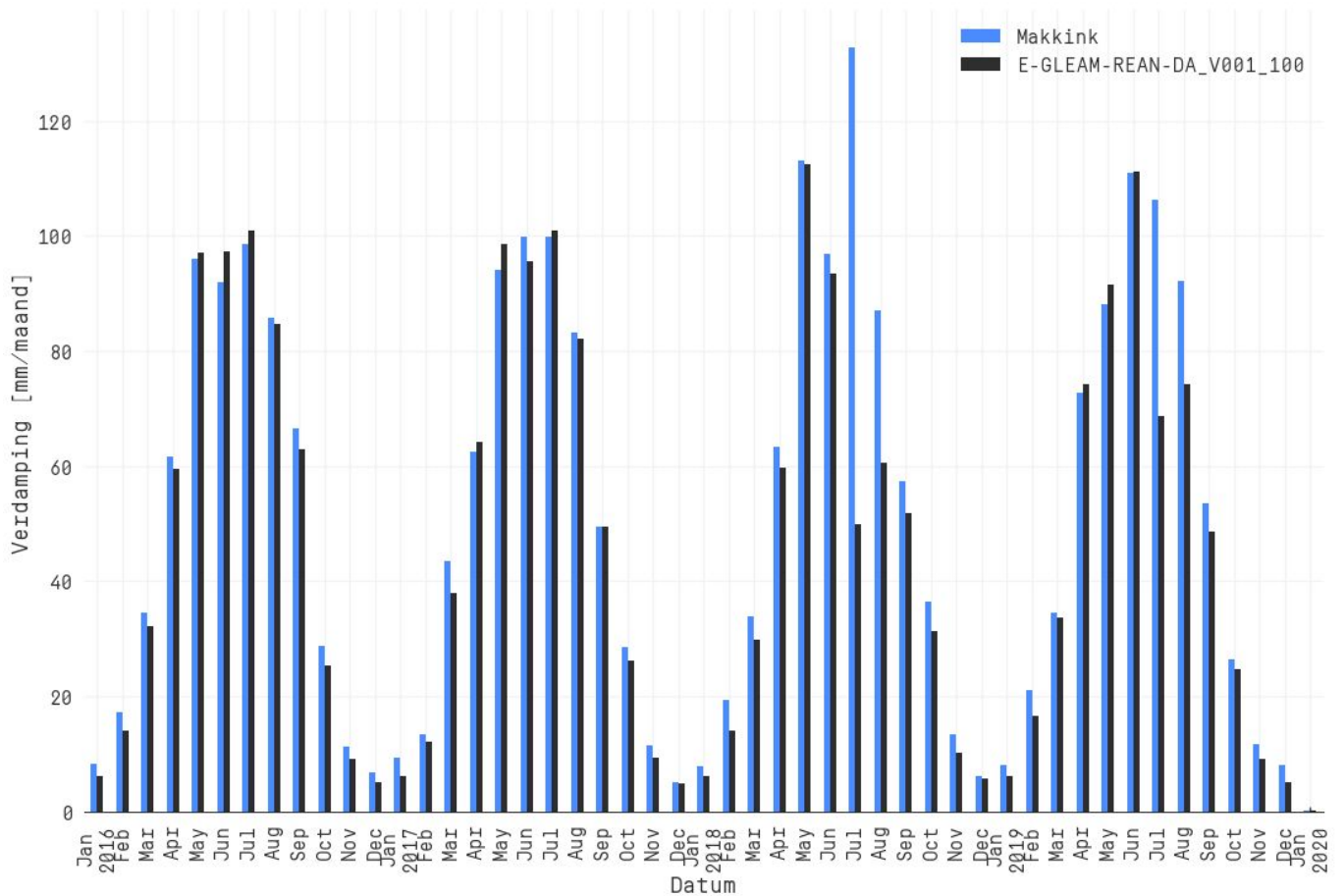


Figuur 4.10: VOD voor een landbouwgebied in de NO polder vergeleken met de VOD van de natuurgebieden besproken in toets C

Bovenstaande laat zien dat de VOD in landbouwgebieden een duidelijk ander patroon volgt dan de VOD in natuurgebieden als gevolg van de aanplant en oogst. Dientengevolge is de reductie van de verdamping, die aan VOD is gekoppeld daarmee in overeenstemming; het gedraagt zich vergelijkbaar met een Kc factor. Hiermee **wordt voldaan aan punt D** van de toets.

4.4.5. Toets D-E

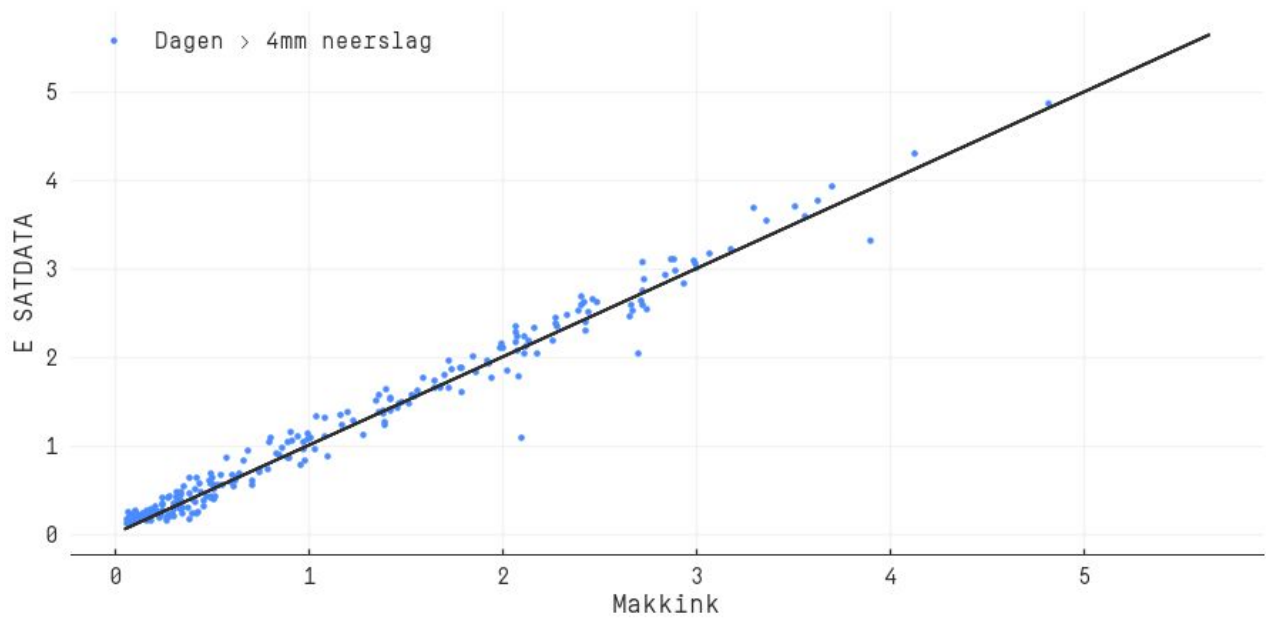
Figuur 4.11 laat de maandelijkse actuele en Makkink referentieverdamping zien voor het landbouwgebied. Duidelijk is te zien dat de maandtotalen over het algemeen erg op elkaar lijken. Er zijn echter twee uitzonderingen: de droge zomermaanden in 2018 en 2019. De verschillen (een veel lagere actuele verdamping in die maanden) zijn goed te verklaren gezien de grote verdampingsreductie in die droge periodes als gevolg van vochttekort die niet meegenomen wordt in de Makkink referentieverdamping die uitgaat van optimale beschikbaarheid van water. Hiermee **wordt voldaan aan punt E** van de landbouwtoets.



Figuur 4.11: Maandelijke Makkink en SATDATA 3.0 actuele verdamping voor het landbouwgebied in de NO polder voor de periode 2016-2019.

4.4.6. Toets D-F

In figuur 4.12 zijn alle dagen met meer dan 4 mm neerslag gebruikt in de periode 2016 - 2019. Te zien is dat voor die dagen de relatie tussen de Makkink verdamping en de actuele verdamping zeer goed is ondanks de andere manier van het bepalen van de verdamping in GLEAM-HR. Hiermee wordt **voldaan aan punt F van toets D**.



Figuur 4.12: Dagelijkse Makkink verdamping uitgezet tegen SATDATA 3.0 verdamping voor het gedefinieerde landbouwgebied in de NO polder voor de periode 2016-2019. Alleen dagen met meer dan 4 mm neerslag zijn geselecteerd.

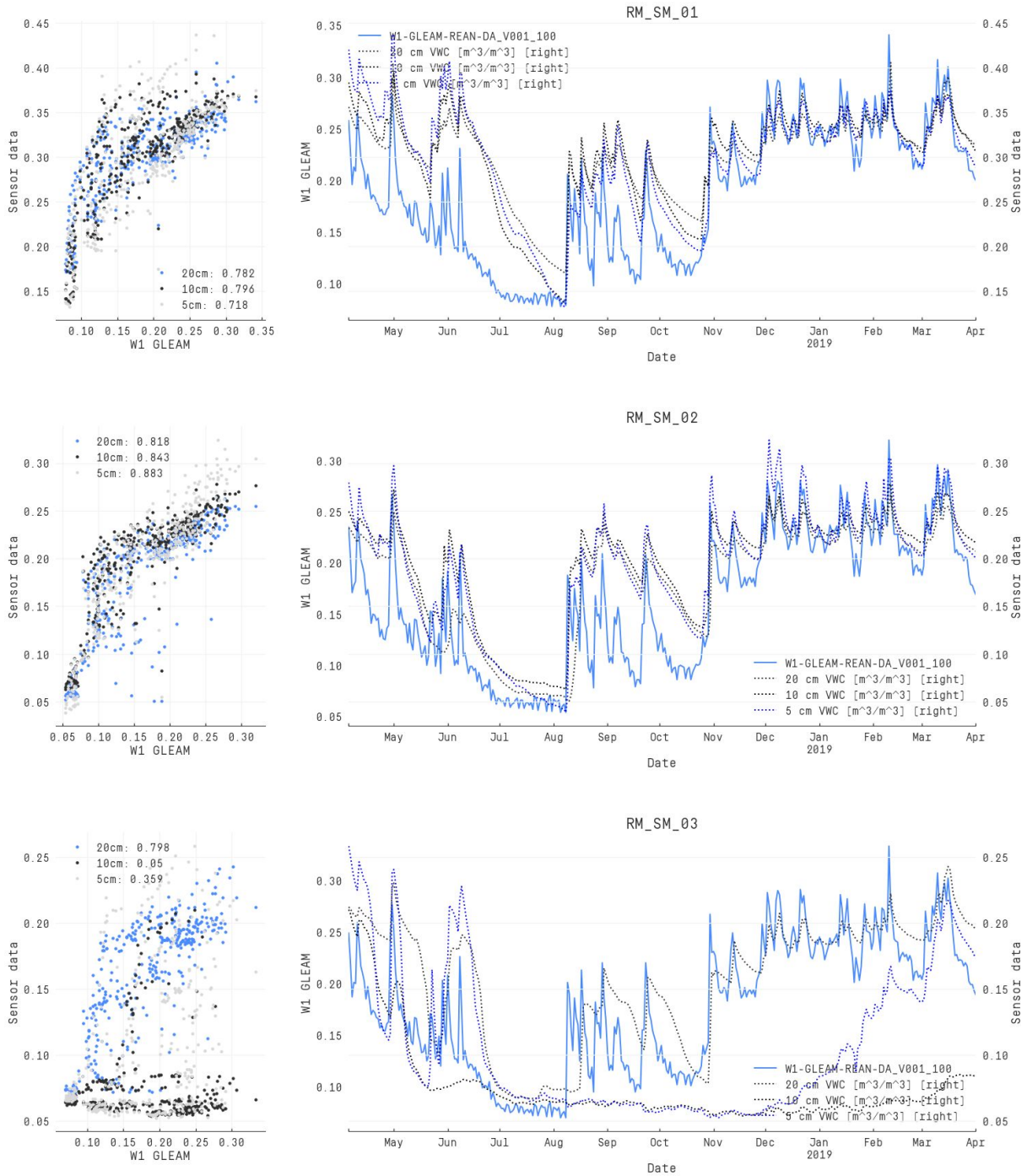
5. Referenties

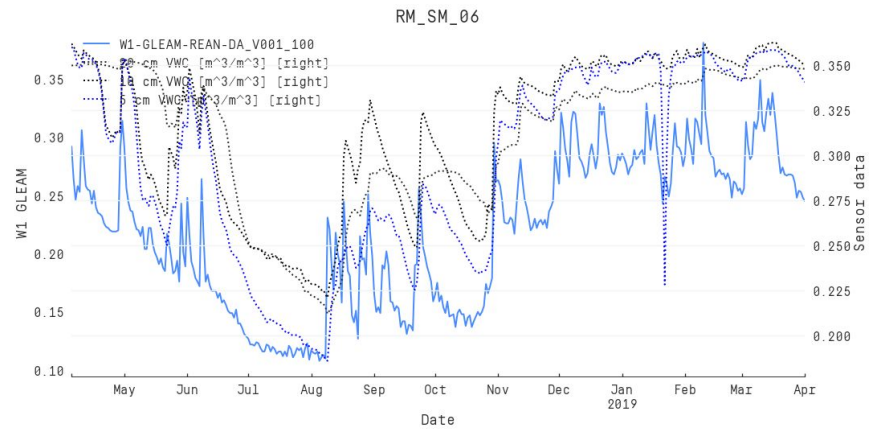
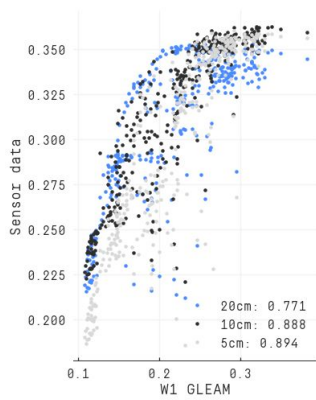
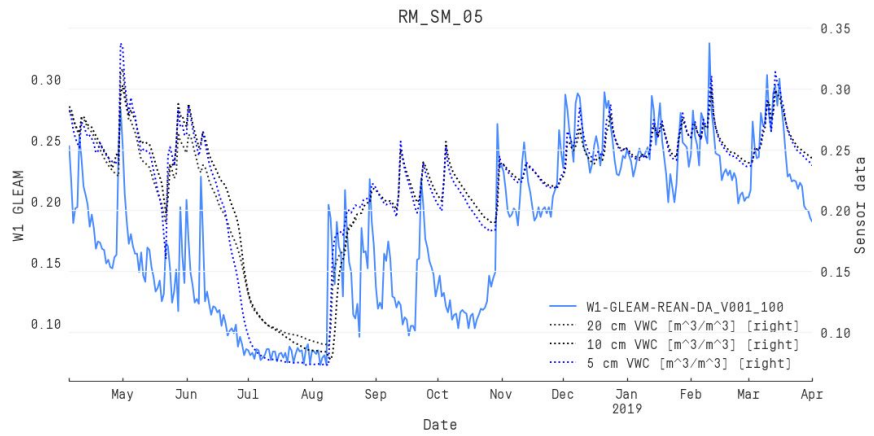
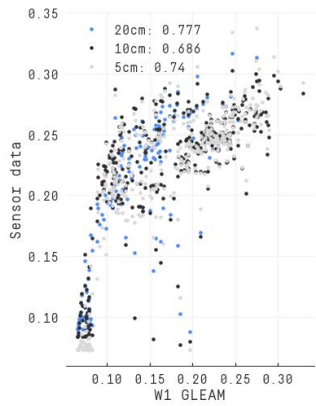
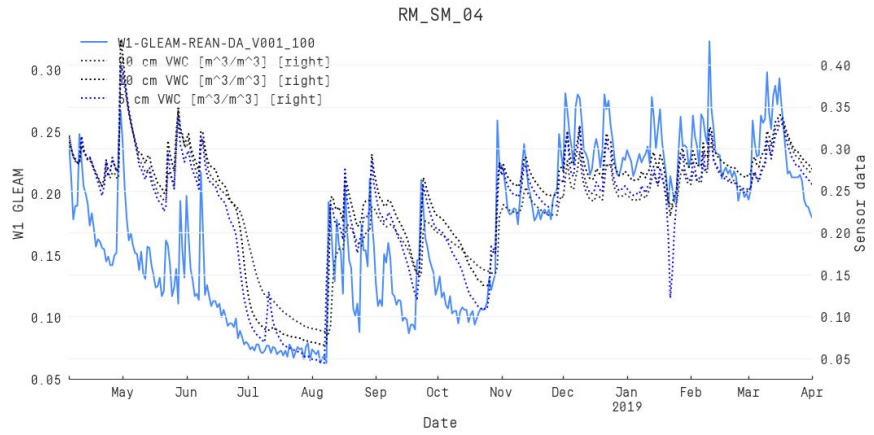
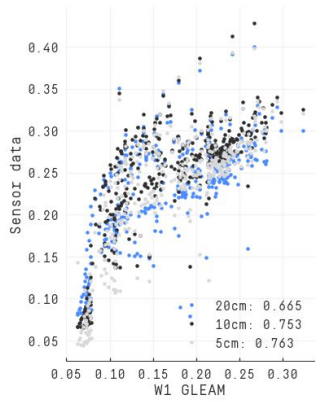
- De Bruin, H.A.R., Keijman, J.Q., 1979. The Priestley-Taylor evaporation model applied to a large, shallow lake in the Netherlands. *Journal of Applied Meteorology* 18, 898–903.
- de Nijs, A.H., de Jeu, R.A.M., 2017. Evaluatie van hoge resolutie satelliet bodemvochtproducten met behulp van grondwaterstandmetingen. *Stromingen: vakblad voor hydrologen* 28, 23–33.
- Gash, J.H.C., 1979. An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 105, 43–55.
- Gruber, A., De Lannoy, G., Albergel, C., Al-Yaari, A., Brocca, L., Calvet, J.-C., Colliander, A., Cosh, M., Crow, W., Dorigo, W., Draper, C., Hirschi, M., Kerr, Y., Konings, A., Lahoz, W., McColl, K., Montzka, C., Muñoz-Sabater, J., Peng, J., Reichle, R., Richaume, P., Rüdiger, C., Scanlon, T., van der Schalie, R., Wigneron, J.-P., Wagner, W., 2020. Validation practices for satellite soil moisture retrievals: What are (the) errors? *Remote Sensing of Environment* 244, 111806. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111806>
- H.F. (Harm-Jan) Benninga, C.D. (Coleen) Carranza, Michiel Pezi, M.J. (Martine) van der Ploeg, D.C.M. (Denie) Augustijn, R. (Rogier) van der Velde, 2020. Regional soil moisture monitoring network in the Raam catchment in the Netherlands - 2018-04 / 2019-04. <https://doi.org/10.4121/uuid:b68e3971-c73e-4d7f-b52f-9ef7d7fe1ed2>
- Holgate, C.M., De Jeu, R.A.M., van Dijk, A.I.J.M., Liu, Y.Y., Renzullo, L.J., Vinodkumar, Dharssi, I., Parinussa, R.M., Van Der Schalie, R., Gevaert, A., Walker, J., McJannet, D., Cleverly, J., Haverd, V., Trudinger, C.M., Briggs, P.R., 2016. Comparison of remotely sensed and modelled soil moisture data sets across Australia. *Remote Sensing of Environment* 186, 479–500. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.09.015>
- Holwerda, F., Scatena, F.N., Bruijnzeel, L.A., 2006. Throughfall in a Puerto Rican lower montane rain forest: A comparison of sampling strategies. *Journal of Hydrology* 327, 592–602. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.12.014>
- Jacobs, C., Elbers, J., Broolsma, R., Hartogensis, O., Moors, E., Rodríguez-Carretero Márquez, M.T., van Hove, B., 2015. Assessment of evaporative water loss from Dutch cities. *Building and Environment, Special Issue: Climate adaptation in cities* 83, 27–38. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.07.005>
- Jansen, F.A., Teuling, A.J., 2020. Evaporation from a large lowland reservoir – (dis)agreement between evaporation models from hourly to decadal timescales. *Hydrology and Earth System Sciences* 24, 1055–1072. <https://doi.org/10.5194/hess-24-1055-2020>
- Martens, B., De Jeu, R.A.M., Verhoest, N.E.C., Schuurmans, H., Kleijer, J., Miralles, D.G., 2018. Towards Estimating Land Evaporation at Field Scales Using GLEAM. *Remote Sensing* 10, 1720. <https://doi.org/10.3390/rs10111720>
- Martens, B., Miralles, D.G., Lievens, H., van de Schalie, R., De Jeu, R.A.M., Fernandez-Prieto, D., Beck, H.E., Dorigo, W.A., Verhoest, N.E.C., 2016. GLEAM v3.0: satellite-based land evaporation and root-zone soil moisture In preparation.
- Moors, E.J., 2012. Water use of forests in the Netherlands.
- Penman, H.L., 1956. Evaporation: An Introductory Survey. *Neth. J. Agric. Sci.* 4, 9–29.
- Penman, H.L., 1948. Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. *Proceedings of the Royal Society* 193, 120–146.
- Priestley, C.H.B., Taylor, R.J., 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly weather review* 100, 81–92.
- Schellekens, J., Scatena, F.N., Bruijnzeel, L.A., Wickel, A.J., 1999. Modelling rainfall interception by a lowland maritime tropical rain forest in northeastern Puerto Rico.

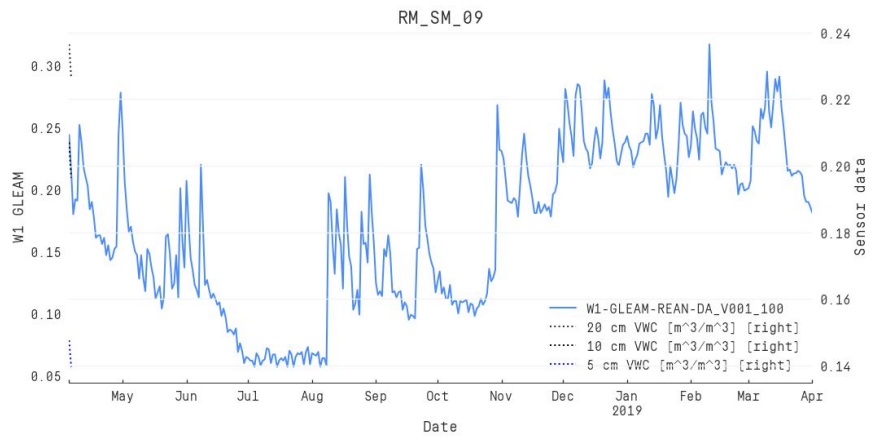
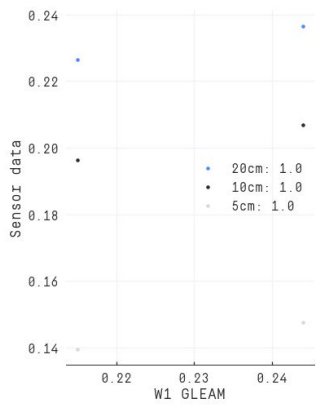
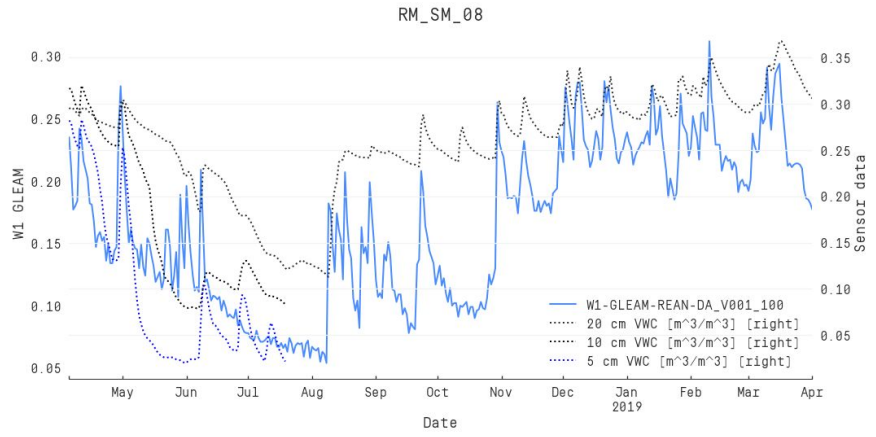
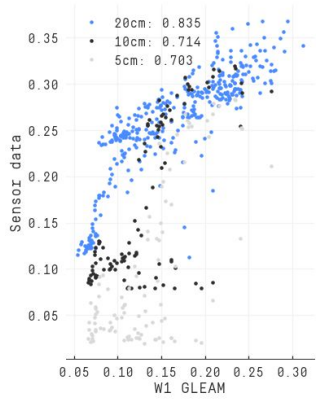
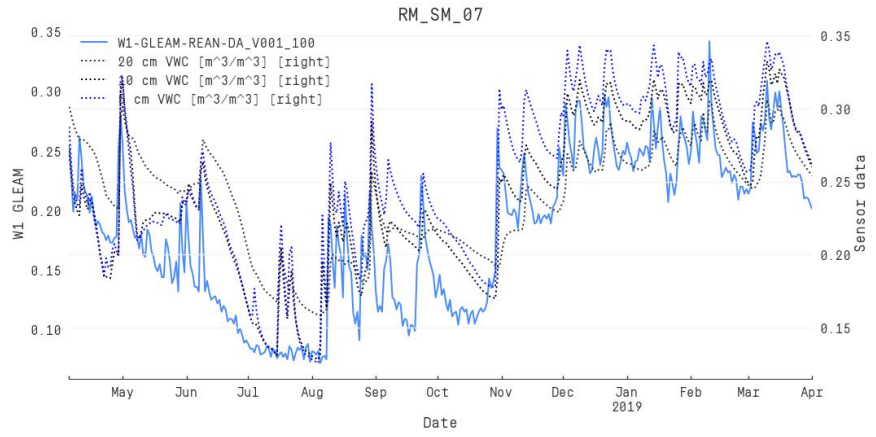
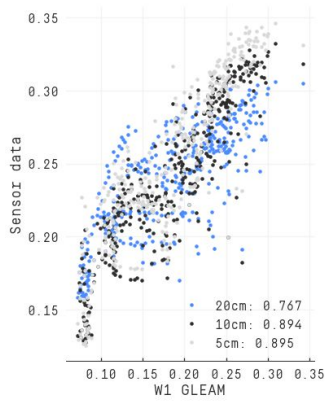
Journal of Hydrology 225, 168–184.

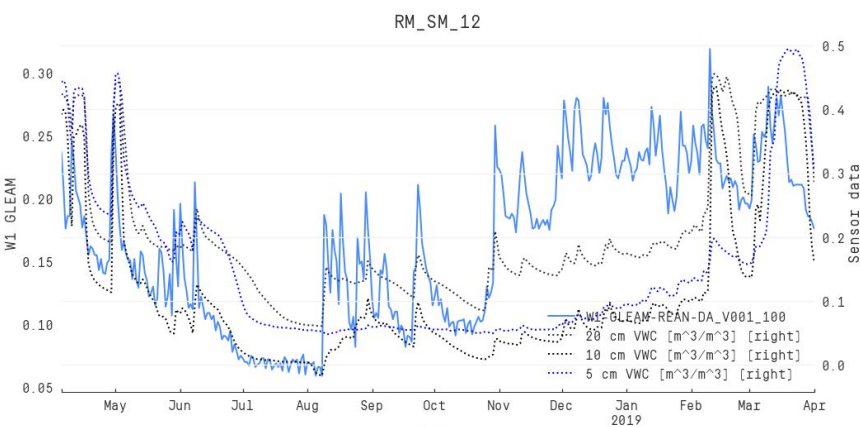
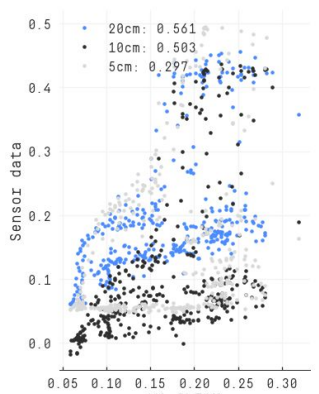
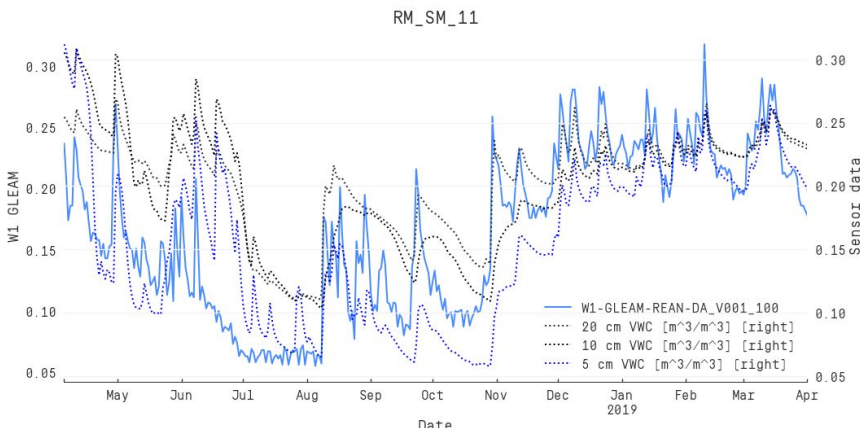
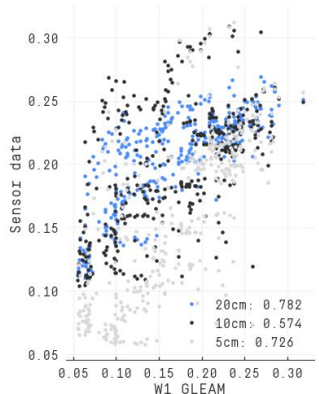
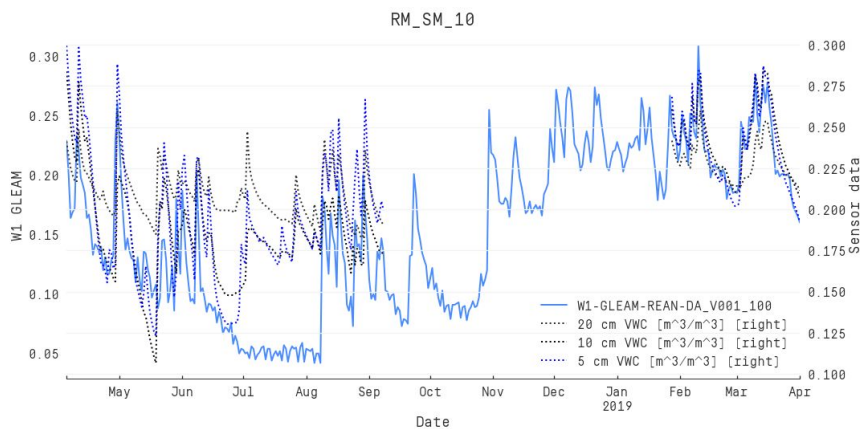
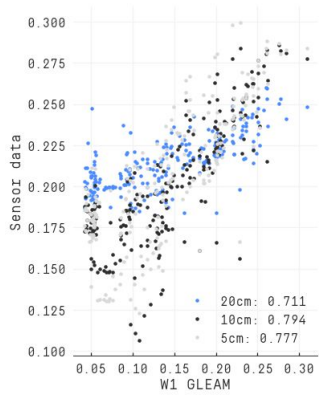
Spieksma, J.F.M., Dolman, A.J., Schouvenaars, J.M., 1996. De parametrisatie van de verdamping van natuurterreinen in hydrologische modellen. RU Groningen [etc.].
van Dijk, A.I.J.M., Gash, J.H., van Gorsel, E., Blanken, P.D., Cescatti, A., Emmel, C., Gielen, B., Harman, I.N., Kiely, G., Merbold, L., Montagnani, L., Moors, E., Sottocornola, M., Varlagin, A., Williams, C.A., Wohlfahrt, G., 2015. Rainfall interception and the coupled surface water and energy balance. *Agricultural and Forest Meteorology* 214–215, 402–415. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.09.006>

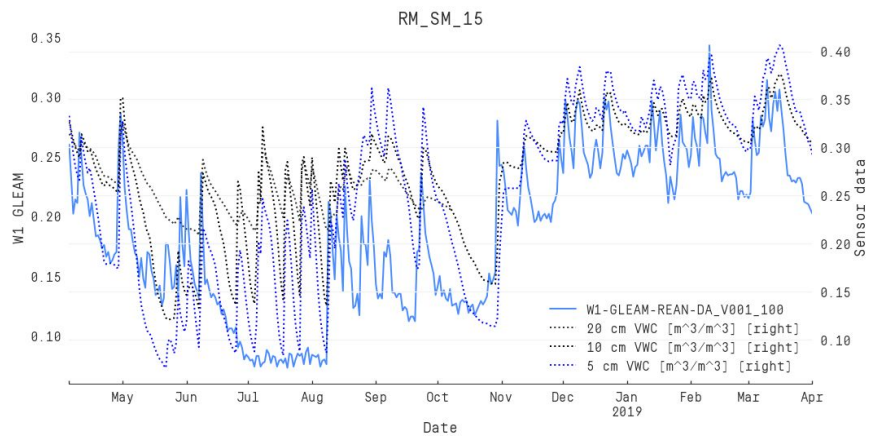
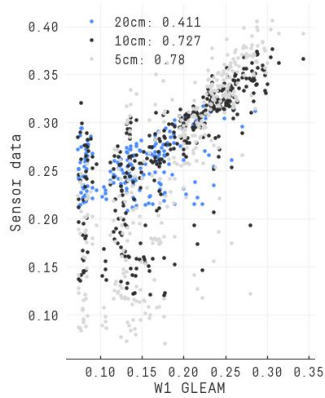
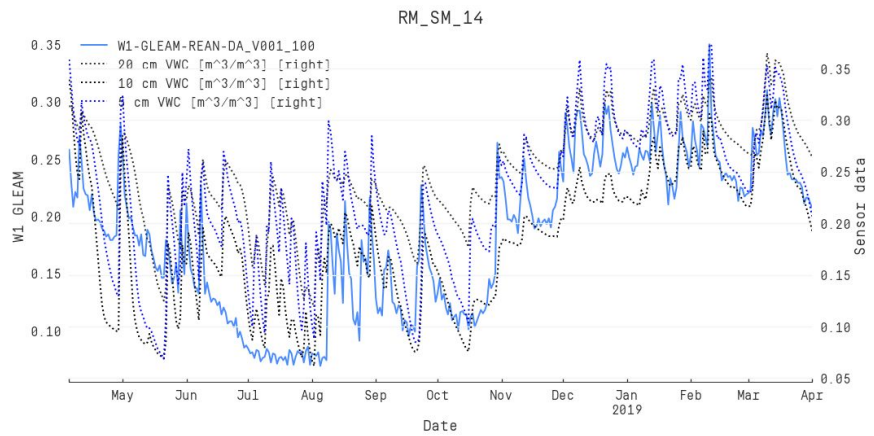
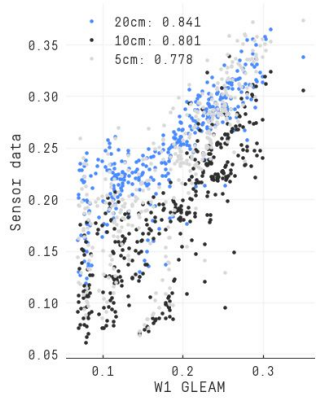
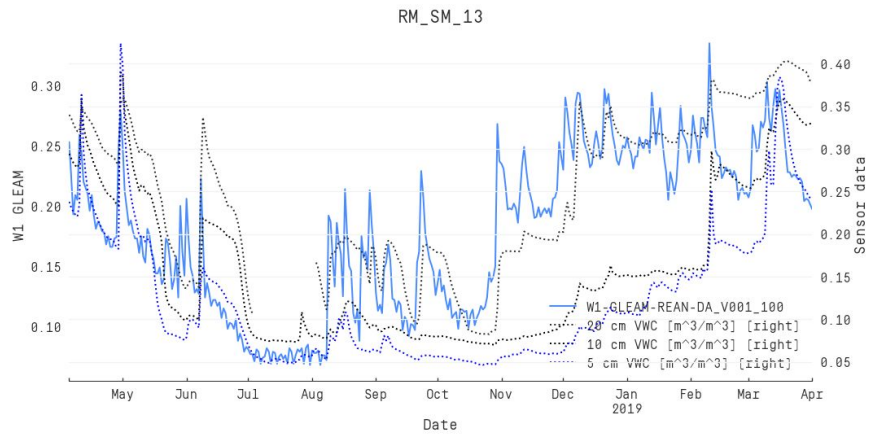
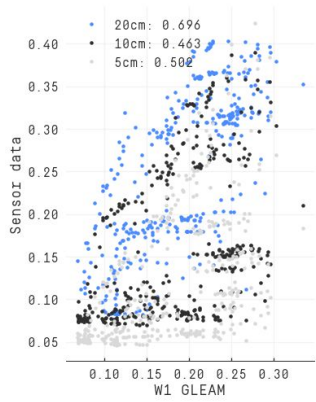
6. Appendix A: Alle figuren van het Raam bodemvocht netwerk

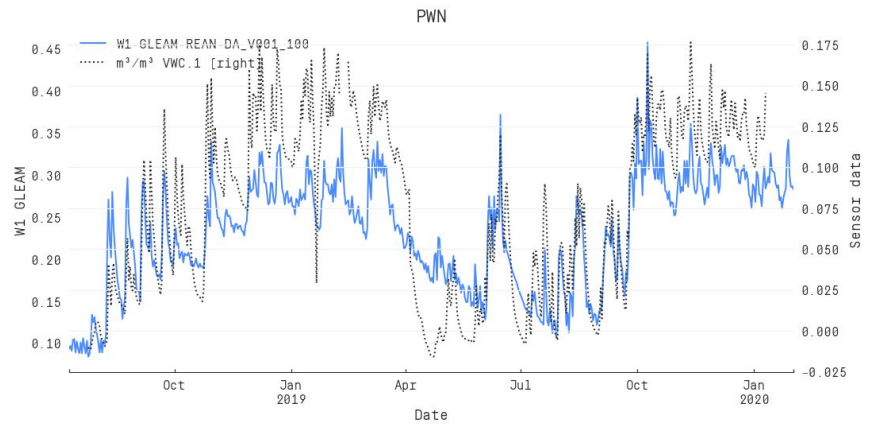
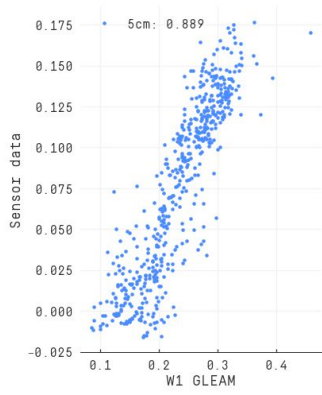


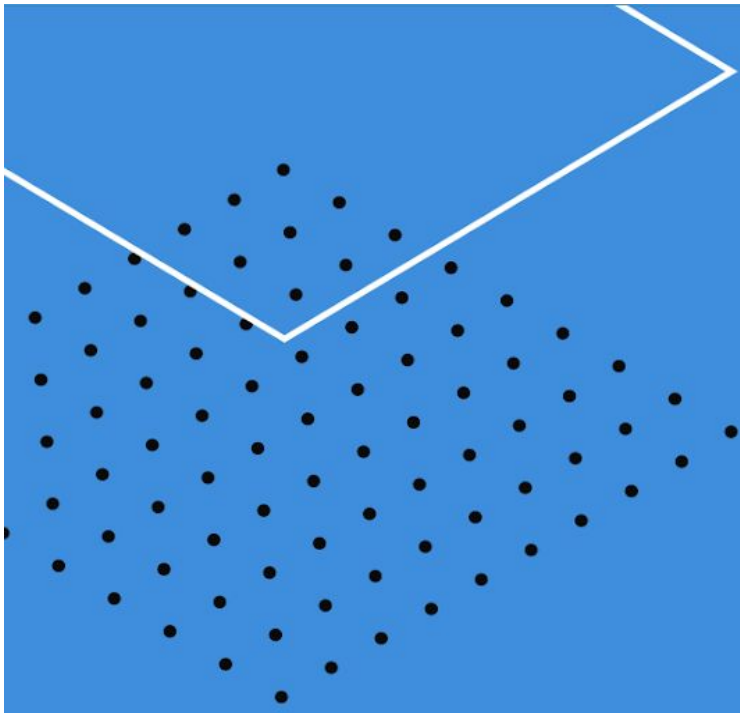












VanderSat
Wilhelminastraat 43a
2011 VK Haarlem
The Netherlands

+31 233 690 093
info@vandersat.com
www.vandersat.com

