



Koninklijk Nederlands  
Meteorologisch Instituut  
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

**HKV**  
LIJN IN WATER

**stowa**

# BEOORDELING KWALITEIT WEERSVERWACHTINGEN

METEO-ONDERZOEK TEN BEHOEVE VAN  
HET WATERBEHEER: DEELRAPPORT 4



RAPPORT

2024

10

BEOORDELING KWALITEIT WEERSVERWACHTINGEN  
METEO-ONDERZOEK TEN BEHOEVE VAN  
HET WATERBEHEER: DEELRAPPORT 4

**RAPPORT**

2024

**10**

ISBN 978.94.6479.058.0



stowa@stowa.nl [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

# COLOFON

UITGAVE      Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEURS      Ruud Hurkmans  
Dorien Lugt

BEGELEIDINGSCOMMISSIE  
Michelle Talsma, STOWA  
Frank van der Bolt, Waterschap Aa en Maas  
Matthijs van den Brink, Rijkswaterstaat  
Jochem Fritz, Hoogheemraadschap van Delfland  
Joost Heijkers, Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden  
Jeroen Hermans Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier  
Helena Pavelkova, Waterschap Limburg  
Jannes Schenkel, Waterschap Noorderzijlvest  
Rudolph Versteeg, Waterschap Zuiderzeeland.  
Frank Weerts, Waterschap Rivierenland

VORMGEVING      Buro Vormvast  
STOWA      STOWA 2024-10  
ISBN      978.94.6479.058.0

De inhoud van deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden in de publicatie, of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud ervan.

STOWA spant zich in de rechthebbenden van in de uitgave gebruikte afbeeldingen te respecteren conform het auteursrecht. Indien u desondanks van mening bent dat uw rechten in het geding zijn, dan verzoeken wij u contact met ons op te nemen.

# TEN GELEIDE

Joost Buntsma  
Directeur STOWA

# SAMENVATTING

Dit rapport is Deelrapport 4 van het STOWA project 'Meteo-onderzoek ten behoeve van het waterbeheer,' en betreft de beoordeling van kwaliteit van weersverwachtingen. Het project bestaat in totaal uit 5 deelrapporten, te weten:

- Deelrapport 1: Beoordeling neerslagstatistiek
- Deelrapport 2: Buienselectie stedelijk gebied
- Deelrapport 3: Droogtestatistiek
- Deelrapport 4: Weersverwachtingen
- Deelrapport 5: Seizoensverwachtingen

## ACHTERGROND EN DOEL

Waterbeheerders in Nederland maken veelvuldig gebruik van meteorologische verwachtingen. Inzicht in de kwaliteit daarvan en de bruikbaarheid voor hydrologische toepassingen is echter niet altijd beschikbaar.

Meteorologen, bijvoorbeeld van het KNMI, verifiëren de resultaten van hun modellen, maar vanuit een ander perspectief dan waterbeheerders. Zo ligt de focus op andere variabelen dan neerslag en verdamping, terwijl die juist hydrologisch het meest relevant zijn. Ook worden modelresultaten doorgaans ruimtelijk gemiddeld, bijvoorbeeld over heel Nederland, waardoor veel informatie verloren gaat. Bovendien worden de resultaten van deze verificaties momenteel niet gedeeld met waterbeheerders.

Dit rapport brengt de onzekerheid in neerslagverwachtingen uit Harmonie40 en ECMWF EPS in beeld door historische verwachtingen te vergelijken met observaties. Hierbij moet worden opgemerkt dat dit de directe modelresultaten betreft, zoals ze doorgaans bijvoorbeeld in operationele systemen worden gebruikt. Duiding van deze modelresultaten door een meteoroloog kan een betere verwachting opleveren, doordat kennis van de modelkwaliteit en weersystemen wordt meegenomen.

## NEERSLAG UIT HARMONIE40 TOT 2 DAGEN VOORUIT

De nauwkeurigheid van neerslagverwachtingen hangt vooral af van de beschouwde ruimtelijke schaal en van het seizoen. In de winter zijn verwachtingen doorgaans accurater dan in de zomer. Op de puntschaal is het nauwelijks mogelijk een nauwkeurige verwachting te verkrijgen in de zomer en kan in de winter alleen accuraat worden gesteld of het zal regenen of niet. Op de schaal van het gehele land kunnen neerslaghoeveelheden wel accuraat verwacht worden, waarbij ook hier in de winter verwachtingen aanmerkelijk nauwkeuriger zijn.

Ook de temporele resolutie van de verwachting heeft invloed op de nauwkeurigheid van de verwachting, al is die invloed minder groot dan die van de ruimtelijke schaal en seizoen. De verwachtingshorizon speelt een beperkte rol, de kwaliteit van de verwachting blijft voor de 2 dagen nagenoeg constant. Dit rapport presenteert de voor welke ruimtelijke en temporele schalen verwachtingen nog informatief zijn per seizoen.

### NEERSLAG UIT ECMWF-EPS 2-10 DAGEN VOORUIT

Bij de langere termijn verwachting uit ECMWF EPS is het effect van een langere verwachtingshorizon veel duidelijker aanwezig dan bij Harmonie40. Ook hier is de kwaliteit van de verwachtingen in winter veel beter dan in de zomer.

We concluderen dat ECMWF EPS verwachtingen voor de eerste twee dagen globaal wel aangeven of het wel of niet regent, maar de verwachtte hoeveelheid en locatie is erg onzeker. In de zomer is deze onzekerheid groter dan in de winter.

Wanneer we ECMWF EPS-beschouwen geeft het gehele ensemble een grote bandbreedte, zoals te verwachten. Het is bij ensemble-verwachtingen daarom van belang op een meer probabilistische manier naar de verwachting te kijken: wat is de kans dat het op een bepaalde dag een bepaalde hoeveelheid regent? Individuele leden van het ensemble of het gemiddelde ervan zeggen relatief weinig.

### VERDAMPING UIT HARMONIE40 TOT 2 DAGEN VOORUIT

Het verwachten van referentiegewasverdamping is relatief veel eenvoudiger dan neerslag, omdat de variabelen die eraan ten grondslag liggen, globale straling en luchttemperatuur, veel minder heterogeen in ruimte en tijd zijn. Vooral in onbewolkte omstandigheden zijn de verwachtingen van verdamping op de korte termijn zeer betrouwbaar. Onder bewolkte omstandigheden zien we dat het model de verdamping doorgaans onderschat, waarbij dat in de zomer het duidelijkst naar voren komt omdat de waarden dan hoger zijn. Dit komt doordat in het weermodel wolken te weinig licht doorlaten. Door het gebrek aan straling kan er vrijwel geen verdamping optreden.

### AANBEVELINGEN

Met de overgang naar een ander rekendomein (UWC-West), zal ook een nieuwe versie van Harmonie in gebruik worden genomen, Harmonie43, waarin een groot aantal verbeteringen zijn opgenomen. Als de nieuwe versie in gebruik wordt genomen worden ook historische verwachtingen geproduceerd voor een periode van drie jaar. We bevelen een analyse zoals de voorliggende te herhalen en de resultaten voor Harmonie40 en Harmonie43 te vergelijken.

In dit onderzoek zijn het ECMWF model en Harmonie40 onderzocht. Verschillende internationale modellen bevatten (delen van) Nederland in hun domein, bijvoorbeeld de modellen ICON van Deutsche Wetterdienst (DWD) en Arome van MétéoFrance). We bevelen aan om bij toekomstige analyses ook internationale modelresultaten te beschouwen.

In dit rapport zijn weersverwachtingen uit numerieke weermodellen, zoals beschikbaar gesteld door het KNMI via WIWB, beoordeeld. Voor de zeer korte verwachtingshorizonten, tot enkele uren vooruit, geven nowcast-modellen betere regenverwachtingen dan numerieke weermodellen (Imhoff, 2022). We bevelen waterschappen aan om voor kortere verwachtingshorizonten dan hier gepresenteerd nowcasting toe te passen. Een vergelijking tussen nowcast -modellen beschikbaar voor Nederland zou inzicht geven in welke nowcast -modellen het best presteren.

# DE STOWA IN HET KORT

## HOE WE WERKEN

STOWA is het kennis- en innovatiecentrum voor regionale waterbeheerders in Nederland; de waterschappen en provincies. We helpen ze met het verkrijgen van nieuwe kennis en inzichten die nodig zijn om de opgaven van de regionale waterbeheerders beter te kunnen uitvoeren. Dat doen we door kennisvragen te formuleren en te selecteren in programmacommissies. We zetten ons onderzoek uit bij een keur aan experts, adviesbureaus, instituten en universiteiten, die we begeleiden tijdens hun werk. We zorgen voor de beschikbaarstelling en verspreiding van de kennis, inzichten en antwoorden aan de gezamenlijke waterbeheerders. We stimuleren de uitwisseling van kennis en ervaringen, via bijeenkomsten, werkgroepen, excursies, conferenties en communities of practice. We werken samen met onder andere ministeries, Rijkswaterstaat, gemeenten, drinkwaterbedrijven.

## WAT WE ONDERZOEKEN

Inhoudelijk richt Stowa zich op alle onderdelen van waterbeheer, van waterkering en stedelijk waterbeheer tot waterzuivering en watersystemen. Belangrijke thema's daarbij zijn klimaatadaptatie, waterveiligheid, waterkwaliteit en ecologie, energietransitie en circulaire economie.

De kennisvragen die Stowa beantwoordt liggen meestal op technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied. Onze kennis is altijd gericht op de praktijk van regionale waterbeheerders. Dat is waar we voor staan, als Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

## WIE WE ZIJN

STOWA is als kennisorganisatie onafhankelijk, onpartijdig en transparant. De afnemers van onze kennis moeten erop kunnen vertrouwen dat de inhoud van onze rapporten objectief en representatief is. Alleen zo kan onze kennis worden ingezet voor beter waterbeheer en innovaties die antwoord geven op de uitdagingen van vandaag en morgen. Het is aan regionale waterbeheerders zelf te bepalen hoe ze de kennis van Stowa in de praktijk gebruiken. STOWA kan daarbij een rol spelen als adviseur, maar is geen uitvoerder of regisseur.

STOWA is een stichting die de richtlijnen volgt voor organisaties zonder winstoogmerk (RJ-640). In ons jaarverslag is daarom naast de cijfermatige jaarrekening onder meer ook een directieverslag over de stichting, haar activiteiten en kentallen opgenomen.

# BEOORDELING KWALITEIT WEERSVERWACHTINGEN

## METEO-ONDERZOEK TEN BEHOEVE VAN HET WATERBEHEER: DEELRAPPORT 4

### INHOUD

|     |                                   |   |
|-----|-----------------------------------|---|
|     | TEN GELEIDE                       |   |
|     | SAMENVATTING                      |   |
|     | DE STOWA IN HET KORT              |   |
|     | INHOUD                            |   |
| 1   | INLEIDING                         | 1 |
| 1.1 | Aanleiding                        | 1 |
| 1.2 | Doel van dit rapport              | 1 |
| 1.3 | Uitgangspunten                    | 1 |
| 2   | DATA EN METHODEN                  | 2 |
| 2.1 | Achtergrond modellen              | 2 |
| 2.2 | Harmonie40                        | 2 |
| 2.3 | ECMWF EPS                         | 2 |
| 2.4 | Gebruikte gegevens                | 3 |
| 2.5 | Vergelijkingsmethode              | 3 |
| 2.6 | Analyse op basis van tijdreeksen  | 4 |
| 2.7 | Analyse van de ruimtelijke schaal | 7 |

|            |                                                 |           |
|------------|-------------------------------------------------|-----------|
| <b>3</b>   | <b>RESULTATEN</b>                               | <b>9</b>  |
| <b>3.1</b> | Neerslagreeksen uit Harmonie40                  | 9         |
| <b>3.2</b> | Neerslagreeksen uit ECMWF EPS                   | 15        |
| <b>3.3</b> | Ruimtelijke analyse van neerslag uit Harmonie40 | 18        |
| <b>3.4</b> | Verdampingsreeksen uit Harmonie40               | 21        |
| <b>4</b>   | <b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>              | <b>23</b> |
| <b>4.1</b> | Conclusies                                      | 23        |
| <b>4.2</b> | Aanbevelingen                                   | 24        |
| <b>5</b>   | <b>REFERENTIES</b>                              | <b>26</b> |

# 1

## INLEIDING

### 1.1 AANLEIDING

Waterbeheerders in Nederland maken veelvuldig gebruik van meteorologische verwachtingen. Inzicht in de kwaliteit daarvan en de bruikbaarheid voor hydrologische toepassingen is echter niet altijd beschikbaar.

Meteorologen, bijvoorbeeld van het KNMI, verifiëren de resultaten van hun modellen, maar vanuit een ander perspectief dan waterbeheerders. Zo ligt de focus op andere variabelen dan neerslag en verdamping, terwijl die juist hydrologisch het meest relevant zijn. Ook worden modelresultaten doorgaans ruimtelijk gemiddeld, bijvoorbeeld over heel Nederland, waardoor veel informatie verloren gaat. Bovendien worden de resultaten van deze verificaties momenteel niet gedeeld met waterbeheerders.

### 1.2 DOEL VAN DIT RAPPORT

Dit deelrapport geeft een overzicht van de nauwkeurigheid van verwachtingen van neerslag en verdamping van op dit moment in Nederland gangbare modellen: Harmonie40 voor de komende 48 uur en het ECMWF-model voor de periode tot 10 dagen. We doen dit door beide sets van verwachtingen te vergelijken met metingen van het KNMI op automatische weerstations en met neerslagradar.

### 1.3 UITGANGSPUNTEN

We gaan uit van gegevens die beschikbaar zijn in de database van WIWB (Weerinformatie voor Waterbeheer<sup>1</sup>). We beperken ons tot de hydrologisch meest relevante meteorologische variabelen: neerslag en referentiegewasverdamping.

1 <https://portal.hydronet.com/data/files/Technische%20Instructies%20WIWB%20API.pdf>

# 2

## DATA EN METHODEN

### 2.1 ACHTERGROND MODELLEN

Voor een juiste interpretatie geven we hier een korte samenvatting van de eigenschappen van de hier beschouwde modellen: Harmonie40 en het ECMWF-model.

### 2.2 HARMONIE40

Harmonie40 (eigenlijk Harmonie-Arome cy40) is het op dit moment operationele weermodel van het KNMI. Het is een zogenaamd “convective permitting model”, wat inhoudt dat het model bepaalde atmosferische processen die convectie en daarmee vaak gebeurtenissen die vaak extreme neerslag veroorzaken expliciet kan simuleren en verwachten. Meer informatie over Harmonie is te vinden in Bengtsson et al. (2017). KNMI produceert elke 6 uur een Harmonie40 verwachting met een ruimtelijke resolutie van 2,5 x 2,5 km<sup>2</sup> tot 48 uur vooruit.

Harmonie is continu in ontwikkeling. Waar cy40 nu operationeel is, is cy43 in ontwikkeling en de verwachting is dat die eind 2023 of in 2024 operationeel wordt. Het rekendomein zal dan ook aangepast worden naar een groter domein UWC-West<sup>2</sup>, waarin ook IJsland, Ierland en Denemarken zijn opgenomen. Te zijner tijd zal ook een archief beschikbaar komen bestaande uit met terugwerkende kracht gegenereerde verwachtingen met het cy43 model voor 3 jaar.

### 2.3 ECMWF EPS

We gebruiken de ensemble verwachtingen die worden berekend door het ECMWF model. De verwachtingen staan bekend als het ECMWF EPS (Ensemble Prediction System) en zo verwijzen we er hier ook naar. Deze verwachtingen worden breed gebruikt door waterbeheerders, maar zijn ook vaak te zien in het weerbericht als “de pluim”. ECMWF voert ensemble verwachtingen uit met zijn mondiale weermodel (het Integrated Forecasting System; IFS) op een aantal tijdschalen. De medium-range verwachtingen, tot maximaal 15 dagen, gebruiken we in dit hoofdstuk. De extended- en seasonal range verwachtingen komen aan bod in een ander deelrapport. Meer informatie over het IFS model is onder andere te lezen in Roberts et al. (2018).

ECMWF voert een deterministische berekening uit op hoge resolutie (9x9 km<sup>2</sup>) tot 10 dagen vooruit, een controle berekening op lage resolutie (18x18km<sup>2</sup>), en een ensemble dat bestaat uit 50 members, eveneens tot 10 dagen vooruit op lage resolutie. Het ensemble wordt gevormd door verstoringen aan te brengen in de begintoestand van de verwachting.

Via WIWB zijn op dit moment geen globale straling beschikbaar, zodat we geen referentiegewasverdamping kunnen berekenen zoals in het geval van Harmonie40. Voor ECMWF EPS beschouwen we daarom alleen neerslag.

<sup>2</sup> <https://www.emetsoc.org/uwc-short-range-weather-forecasts/>

## 2.4 GEBRUIKTE GEGEVENS

De gegevens die we uit WIWB gebruiken zijn weergegeven in Tabel 1. Harmonie40 en ECMWF EPS zijn, zoals gezegd, de verwachtingen die we evalueren en daarvoor gebruiken we metingen op grondstations (Automatische weerstations; AWS) en radargegevens (IRC).

**TABEL 1: OVERZICHT VAN GEBRUIKTE DATASETS**

| Code       | Dataset                                                        | Variabelen                           | Startdatum | Einddatum  |
|------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------|------------|
| Harmonie40 | Harmonie40 verwachtingen                                       | Neerslag / referentiegewasverdamping | 1/10/2019  | 31/12/2022 |
| Synops     | KNMI AWS-metingen                                              | Neerslag / referentiegewasverdamping | 1/10/2019  | 31/12/2022 |
| IRC        | Internationaal Radar Composiet (IRC) Final Reanalysis          | Neerslag                             | 1/10/2019  | 31/12/2022 |
| ECMWF EPS  | Ensemble Prediction System (EPS) ECMWF model op 8 puntlocaties | Neerslag                             | 1/10/2019  | 31/12/2022 |

Waar referentiegewasverdamping wordt beschouwd hebben we deze voor zowel verwachtingen als observaties berekend met Makkink op basis van globale straling en 2 m-luchttemperatuur via de Bruin (1987):

$$ET_{ref} = \frac{0.66 * \frac{s}{s + \gamma} * K_{in}}{2.45 * 10^6}$$

Waarin:

$ET_{ref}$  is de referentiegewasverdamping volgens Makkink;

$\gamma$  is de psychrometerconstante (circa 0.66 mbar/ °C op zeeniveau);

$K_{in}$  is de kortgolfige inkomende zonnestraling;

$s$  kan berekend worden door:

$$s = \frac{6.1078 * 17.294 * 237.73}{(237.73 + T)^2} * \exp\left(\frac{17.294 * T}{273.73 + T}\right)$$

En:

$T$  is de 2m-luchttemperatuur in °C.

## 2.5 VERGELIJKINGSMETHODE

In eerdere modelvergelijkingen, uitgevoerd ten behoeve van WIWB, zijn Harmonie40 neerslagverwachtingen vergeleken met radarbeelden. Daarbij werden afwijkingen geconstateerd, die echter niet altijd zijn toe te schrijven aan de kwaliteit van de verwachtingen, maar aan de kwaliteit van de ‘observatie’, oftewel het radarbeeld. Figuur 1 laat de jaarsom van het IRC over 2022 zien, waar dit in versterkte mate te zien is doordat het een jaarsom betreft. Het betreft de volgende artefacten:

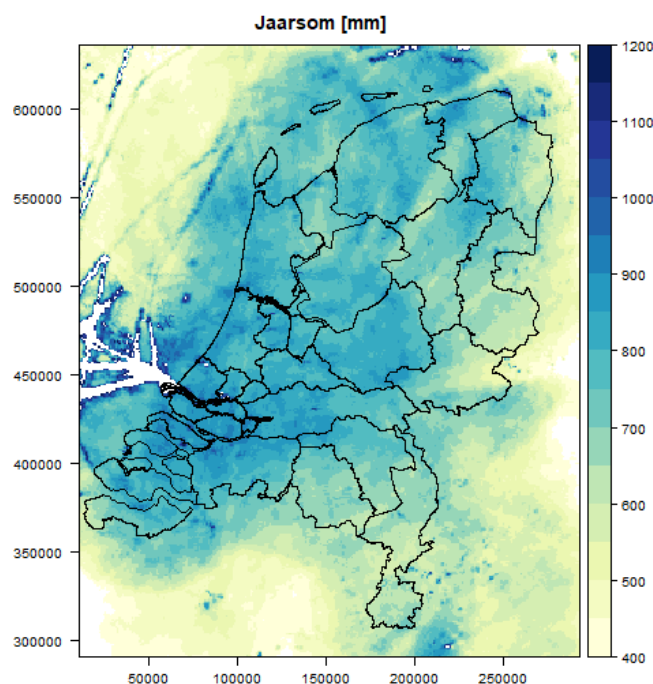
- Er zijn enkele regio’s met structurele onderschatting van de neerslag door de grote afstand ten opzichte van de radar (bijvoorbeeld oost-Groningen);
- ‘Beam blockage’, waarbij in een langwerpige strook vanaf de radar het radarsignaal wordt geblokkeerd door een gebouw in de buurt van het radarstation;
- Radar clutter: hoge gebouwen of masten en uitstoot van schepen (zoals op de Noordzee), die hoge radar-reflecties veroorzaken die niet gerelateerd zijn aan neerslag.

Om te voorkomen dat deze artefacten de vergelijking beïnvloeden gaan we primair uit van meetreeksen van neerslag en verdamping op de ongeveer 35 locaties van de automatische weerstations (AWS) van het KNMI. De resultaten van de vergelijking van tijdreeksen beschrijven we in paragraaf 3.1 voor Harmonie40 en in paragraaf 3.2 voor ECMWF EPS.

Daarnaast voeren we een analyse uit die het effect van ruimtelijke schaal meeneemt in de bepaling van de nauwkeurigheid, waarbij we wel gebruik maken van het IRC. De resultaten worden gepresenteerd in paragraaf 3.3.

FIGUUR 1

JAARSOM VAN HET IRC OVER 2022



## 2.6 ANALYSE OP BASIS VAN TIJDREEKSEN

We verwachten vooraf dat de kwaliteit van de verwachting varieert met de beschouwde duur, het seizoen en de voorspelhorizon, hierna in het Engels ‘lead time’ genoemd. Bij het bepalen van de verwachtingskwaliteit splitsen we daarom de dataset op basis van deze grootheden, volgens de classificatie in Tabel 2. De seizoenen zijn gedefinieerd als de volgende kalendermaanden:

- winter: november, december, januari, februari;
- zomer: juli, augustus;
- groeiseizoen: maart t/m oktober.

Voor elke duur, waarover we de neerslag sommeren, beschouwen we vier tijdvakken binnen de beschikbare verwachting. Voor Harmonie40 is dat 48 uur, voor ECMWF EPS 10 dagen. Bij een duur van 3 uur, beschouwen we bijvoorbeeld de neerslagsom over de periode van 0 tot 3 uur vooruit, van 3 tot 6 uur, van 6 tot 9 uur en van 9 tot 12 uur. Het aantal combinaties lijkt in eerste instantie veel, maar hier is voor gekozen om een breed eerste inzicht te krijgen van de kwaliteit van de verwachtingen met de verschillende modellen op verschillende tijdschalen. In de toekomst kan op basis van deze resultaten mogelijk een gerichtere keuze gemaakt worden voor de gewenste tijdschalen.

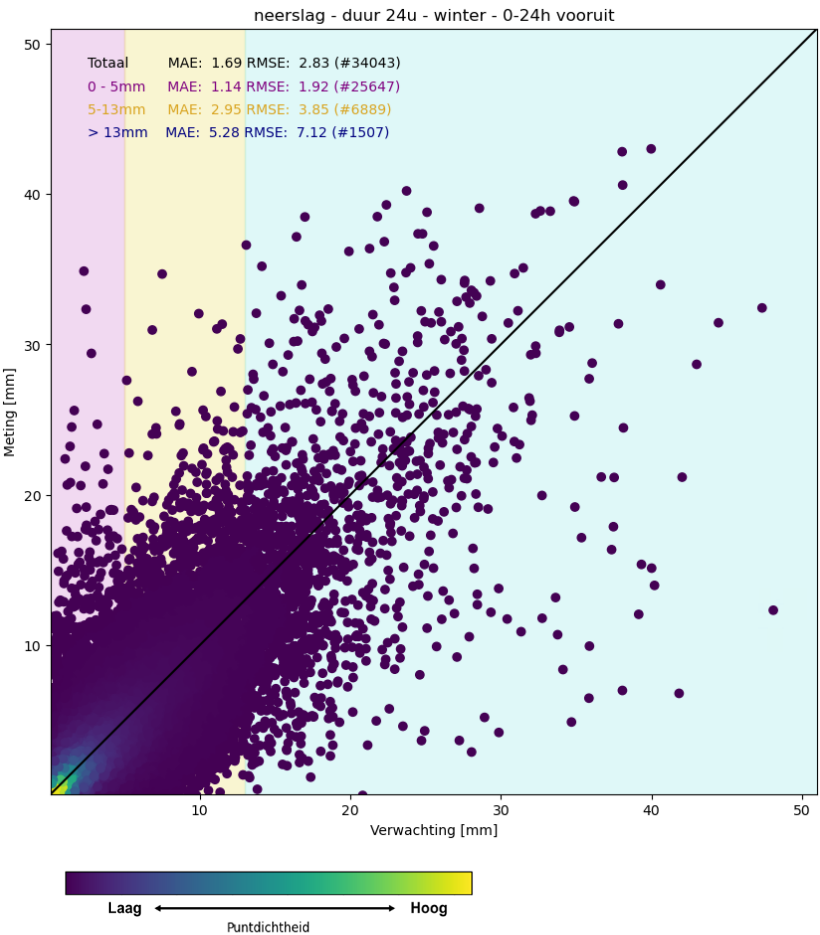
TABEL 2 OVERZICHT VAN AGGREGATIES EN SELECTIES WAAROP WE VERWACHTINGEN EN METINGEN VERGELIJKEN

| Duren             | Lead times [uren]            | Seizoen                     |
|-------------------|------------------------------|-----------------------------|
| <b>Harmonie40</b> |                              |                             |
| 3 uur             | 0-3, 3-6, 6-9, 9-12          | Groeiseizoen, zomer, winter |
| 6 uur             | 0-6, 6-12, 12-18, 18-24      | Groeiseizoen, zomer, winter |
| 12 uur            | 0-12, 12-24, 24-36, 36-48    | Groeiseizoen, zomer, winter |
| 24 uur            | 0-24, 24-48                  | Groeiseizoen, zomer, winter |
| <b>ECMWF EPS</b>  |                              |                             |
| 2 dagen           | 0-48, 48-96, 96-144, 144-192 | Groeiseizoen, zomer, winter |
| 5 dagen           | 0-120, 120-240               | Groeiseizoen, zomer, winter |

Voor de referentiegewasverdamping beschouwen we alleen duren van 24 uur, omdat kortere duren van verdamping voor hydrologische modellering minder relevant zijn.

We tonen de resultaten in de vorm van scatterplots, waarvan Figuur 2 een voorbeeld laat zien. We bespreken de elementen van het figuur in de tekst onder het figuur.

FIGUUR 2 VOORBEELDFIGUUR OM DE SCATTERPLOT TE ILLUSTREREN WAARMEE WE DE RESULTATEN BESCHRIJVEN. HET FIGUUR TOONT DE PUNTENWOLK MET DE PUNTDICHTHEID IN KLEUR. VOOR EEN AANTAL NEERSLAGKLASSEN (WEERGEGEVEN DOOR DE KLEURENVLAKKEN OP DE ACHTERGROND), WORDEN DE PRESTATIE-INDICES MAE EN RMSE BEREKEND



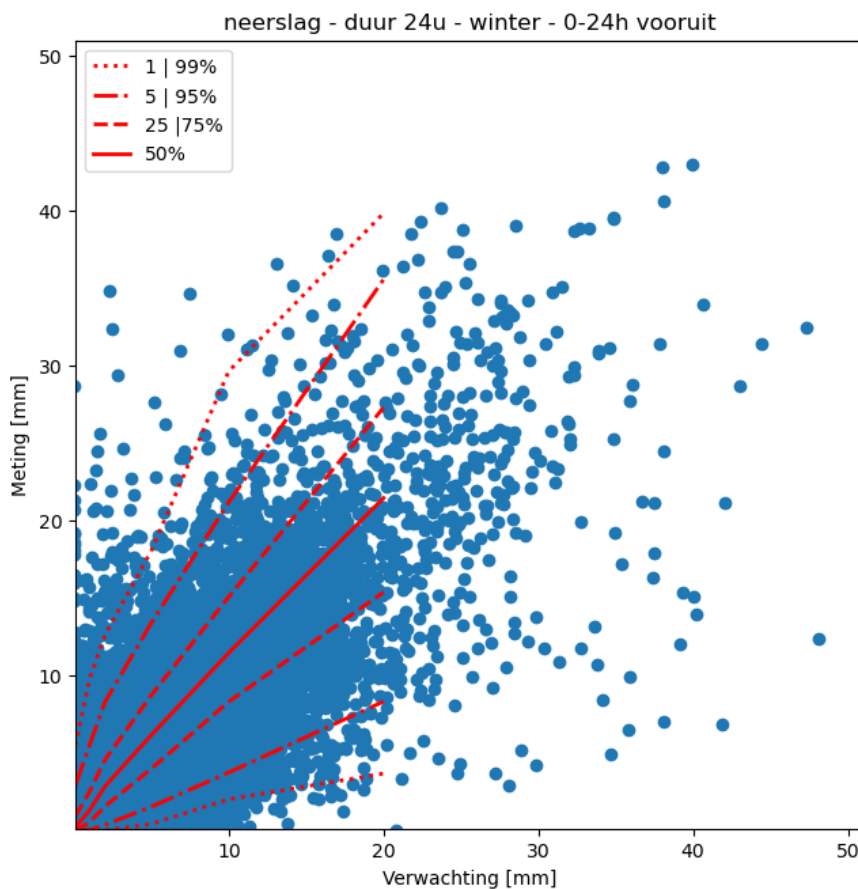
Figuur 2 laat een voorbeeld zien van een scatterplot, die voor een verwachte neerslagsom bij een bepaalde duur (24 uur), seizoen (winter) en lead time (0 tot 24 uur vooruit) de bijbehorende gemeten hoeveelheid geeft. In de plot zijn alle punten gecombineerd, dus alle verwachtingen en locaties. De kleuren geven de dichtheid van de puntenwolk, van weinig punten op elkaar (paars) tot veel punten op elkaar (geel). Het gele deel ligt doorgaans in de linkeronderhoek omdat kleine neerslagvolumes vaker voorkomen dan grote.

De dataset wordt in drie delen gesplitst, de 5% hoogste verwachtingen, de daarop volgende 20% hoogste verwachtingen en de rest. Deze delen worden weergegeven met verschillende achtergrondkleuren in de grafiek (paars, geel en blauw). Voor zowel de complete dataset als elk van deze deelsets worden de Mean Absolute Error (MAE) en de Root Mean Square Error (RMSE) weergegeven. Dit zijn kwaliteitsindicatoren om resultaten te kunnen vergelijken:

- De Mean Absolute Error (MAE) is de gemiddelde afwijking (voor een bepaald seizoen, duur en lead time) en zegt daarmee iets over de systematische afwijking. We nemen de absolute waarde om te voorkomen dat positieve en negatieve waarden elkaar opheffen. De MAE is daarmee dus anders dan de bias, waarbij dit wel kan optreden.
- De Root Mean Square Error (RMSE) is gevoeliger voor (relatief grote) afwijkingen en zegt iets over de toevallige fout.

Door deze indeling kunnen we bij onderscheid maken tussen lichte, gemiddelde en extreme neerslag bij het bepalen van de nauwkeurigheid. Omdat het aantal datapunten bij de interpretatie van de getallen van belang is laten bij elke statistiek ook het aantal datapunten zien.

**FIGUUR 3** SCATTERPLOT DIE DEZELFDE PUNTENWOLK LAAT ZIEN ALS IN FIGUUR 2, MAAR NU WORDEN PERCENTIELLIJNEN GETOOND DIE VOOR WAARDEN VAN VERWACHTTE NEERSLAG DE KANS OP REALISATIE DAARVAN LAAT ZIEN



Figuur 3 laat een voorbeeld zien van een scatterplot met percentiellijnen. Deze geeft voor een verwachte hoeveelheid neerslag of verdamping een verdeling van de bijbehorende gemeten neerslag of verdamping in de beschouwde dataset.

De percentiellijnen geven voor een aantal neerslagklassen in de verwachte neerslag tussen 0.1 en 50 mm de 1%, 5%, 25%, 50%, 75%, 95% en 99% percentielen weer van de corresponderende observaties weer. Daarmee wordt de verdeling van de gemeten neerslag bij een verwachte neerslag gegeven. Als voorbeeld: als 10 mm neerslag verwacht werd, lag de daadwerkelijk gevallen neerslag in 50% van de gevallen tussen ~8 mm (25%) en ~20 mm (75%).

Een dergelijke bandbreedte geeft de gebruiker een idee van de kans dat een bepaalde verwachting wordt gerealiseerd.

## 2.7 ANALYSE VAN DE RUIMTELIJKE SCHAAL

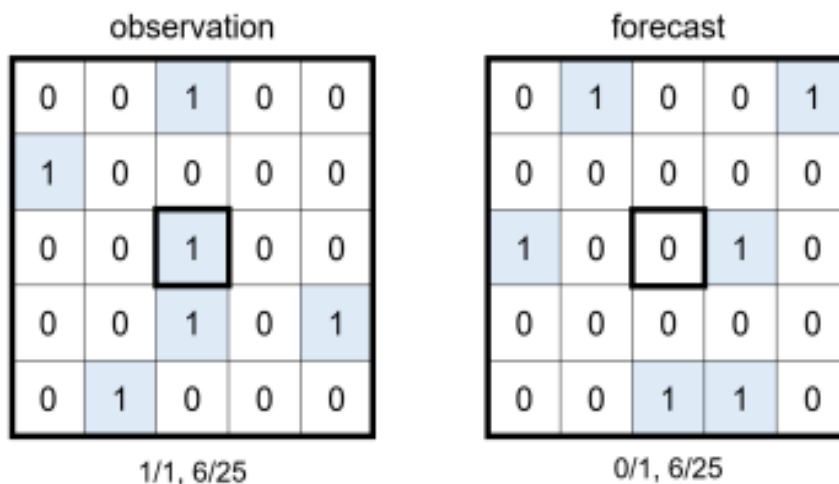
Naast de tijdreeksen beschouwen we ook het effect van ruimtelijke schaal: op een bepaald punt is de kans dat de verwachte neerslag op een andere locatie dan dat punt valt veel groter dan wanneer we de gemiddelde neerslag binnen een groter gebied (bijvoorbeeld een heel waterschap) beschouwen.

De Fractions Skill Score (FSS; Roberts and Lean, 2008) neemt dit aspect mee. De FSS bepaalt een kwaliteitsscore van het model door voor een drempelwaarde de overschrijdingen daarvan te vergelijken met observaties. Bijvoorbeeld: het model verwacht meer dan 1 mm neerslag en dat werd wel/niet geobserveerd. We kunnen deze analyse maken voor een aantal gebieds-groottes waarover wordt geaggregeerd, bijvoorbeeld 1, 4, 16 en 25 pixels.

Een voorbeeld is te vinden in Figuur 4. Als de FSS wordt berekend op de dikgedrukte pixel in het midden is de score de slechtst mogelijke (0): in de observaties wordt de drempel in 100% van de gevallen overschreden en in de verwachting in geen enkel geval. Als echter wordt geaggregeerd naar gehele domein (25 pixels) wordt in beide gevallen in 6 van de 25 pixels de drempel overschreden en is de score perfect (1). Het feit dat de drempel op andere pixels wordt overschreden (de bui wordt op de verkeerde locatie verwacht) maakt niet uit voor de score.

FIGUUR 4

FICTIEF VOORBEELD OM DE WERKING VAN DE FSS TE ILLUSTREREN. BRON: VAN DER KOOIJ, (2020)



Om de waarde van de FSS in perspectief te plaatsen wordt deze vergeleken met de zogenaamde  $FSS_{useful}$ . Dit is in feite de score die wordt verkregen door de ruimtelijke spreiding willekeurig te bepalen, maar waarbij wel het totaal aantal overschrijdingen van de drempel, dus de ruimtelijk gemiddelde neerslag, klopt. Wanneer de FSS van het model deze  $FSS_{useful}$  overschreidt, concluderen we dat het model meerwaarde heeft ten opzichte van een model met gelijke inschatting van hoeveelheid neerslag, maar waarbij de plaats van de regen willekeurig inschat. Het is daarmee dus een maat voor hoe goed het model de locatie van neerslag weet in te schatten.

$FSS_{useful}$  wordt berekend door deze formule:

$$FSS_{useful} = 0.5 + \frac{f_0}{2}$$

Waarbij  $f_0$  de fractie van de pixels is waarop de drempel wordt overschreden in de meting. In het voorbeeld in Figuur 4 is  $f_0$  6/25 en  $FSS_{useful}$  dus 0,62. Meer details hierover zijn te vinden in Roberts en Lean (2008).

We kunnen de FSS alleen berekenen voor Harmonie40 omdat de ruimtelijke resolutie van Harmonie40 daar voldoende gedetailleerd voor is. Het ECMWF EPS is slechts beschikbaar op 8 locaties in Nederland; onvoldoende voor een ruimtelijke analyse.

# 3

## RESULTATEN

We beschrijven de resultaten van bovengenoemde analyses in de volgende paragrafen:

- Paragraaf 3.1: nauwkeurigheid van neerslagreeksen uit Harmonie40 op AWS-locaties;
- Paragraaf 3.2: nauwkeurigheid van neerslagreeksen uit ECMWF EPS op AWS-locaties;
- Paragraaf 3.3: ruimtelijke analyse van de neerslag voor Harmonie40;
- Paragraaf 3.4: nauwkeurigheid van verdampingsreeksen uit Harmonie40 op AWS-locaties.

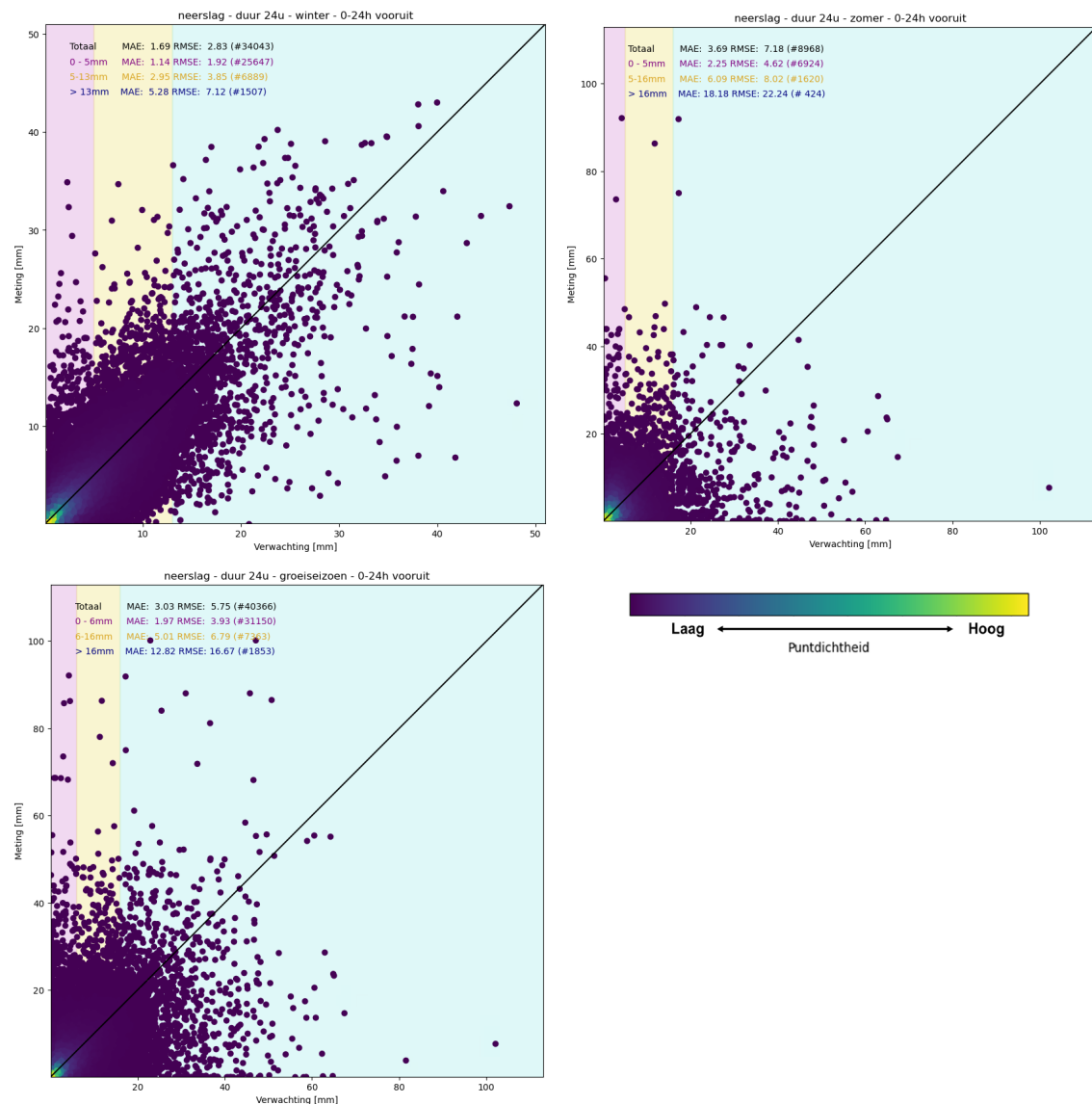
### 3.1 NEERSLAGREEKSEN UIT HARMONIE40

Wanneer we alle combinaties van duren, seizoenen en lead times in Tabel 2 zouden beschouwen, resulteert dit in een groot aantal scatterplots. Hieronder tonen we de meest relevante daarvan.

Figuur 5 vergelijkt de prestatie van de verwachting voor de som van de 24 uur voor het zomer-, winter- en groeiseizoen. De verwachte neerslag staat op de x-as, zodat voor een bepaalde verwachte waarde op de y-as de bijbehorende realisaties kunnen worden afgelezen. De bandbreedte in die realisaties is in alle drie de gevallen groot, hoewel de spreiding in de zomer groter is dan in de winter en het groeiseizoen. Dit is conform de verwachting: in de zomer is de neerslag vaker convectief en kleinschalig, en daarmee veel minder voorspelbaar, dan in de winter, wanneer neerslagpatronen grootschalig en stratiform van aard zijn. Tijdens het groeiseizoen komen beide varianten voor de spreiding zit dan ook tussen zomer en winter in.

FIGUUR 5

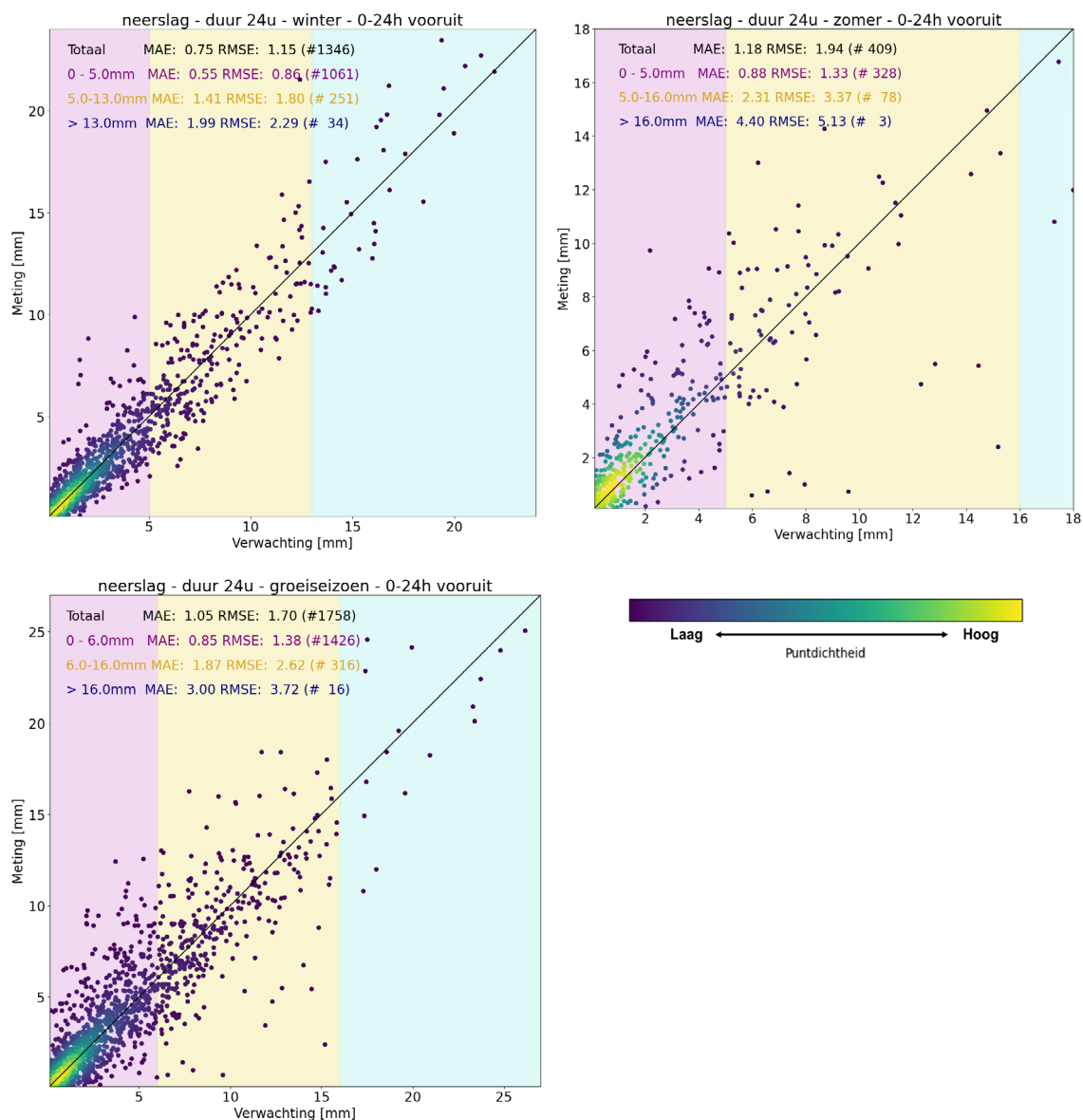
NEERSLAGMETINGEN VERSUS VERWACHTINGEN VOOR DE SOM VAN DE EERSTE 24 UUR VAN DE VERWACHTING, VOOR DE WINTER (LINKSBOVEN), DE ZOMER (RECHTSBOVEN) EN HET GROEISEIZOEN (LINKSONDER). LOCATIES EN TIJDSTAPPEN ZIJN GEPOOLED WEERGEGEVEN IN DE PUNTENWOLKEN. DE KWALITEITSINDICATOREN MAE EN RMSE ZIJN BEREKEND VOOR DE GEHELE DATASET (ZWARTE TEKST), HET DEEL VAN DE DATASET TUSSEN 0% EN 75% VAN DE VERDELING (PAARSE VLAK), HET DEEL TUSSEN 75% EN 95% (GELE VLAK) EN HET DEEL HOGER DAN 95% (BLAUWE VLAK)



De puntenwolken in Figuur 5 bevatten alle stationslocaties. Om te onderzoeken wat het effect daarvan is, presenteren we in Figuur 6 dezelfde vergelijking voor ruimtelijk gemiddelde neerslag over alle AWS-locaties. We beoordelen daarmee de presentatie van één gemiddelde verwachting voor heel Nederland. We verwachten dat de gemiddelde neerslag voorspelbaarder is doordat de locatie waar de neerslag valt er veel minder toe doet. Figuur 6 bevestigt deze verwachting, e verwachting voor heel Nederland gemiddeld is, hoewel minder precies, wel betrouwbaarder dan voor een specifieke locatie. We zien ook hiervoor dat deze in de zomer groter is dan in de winter.

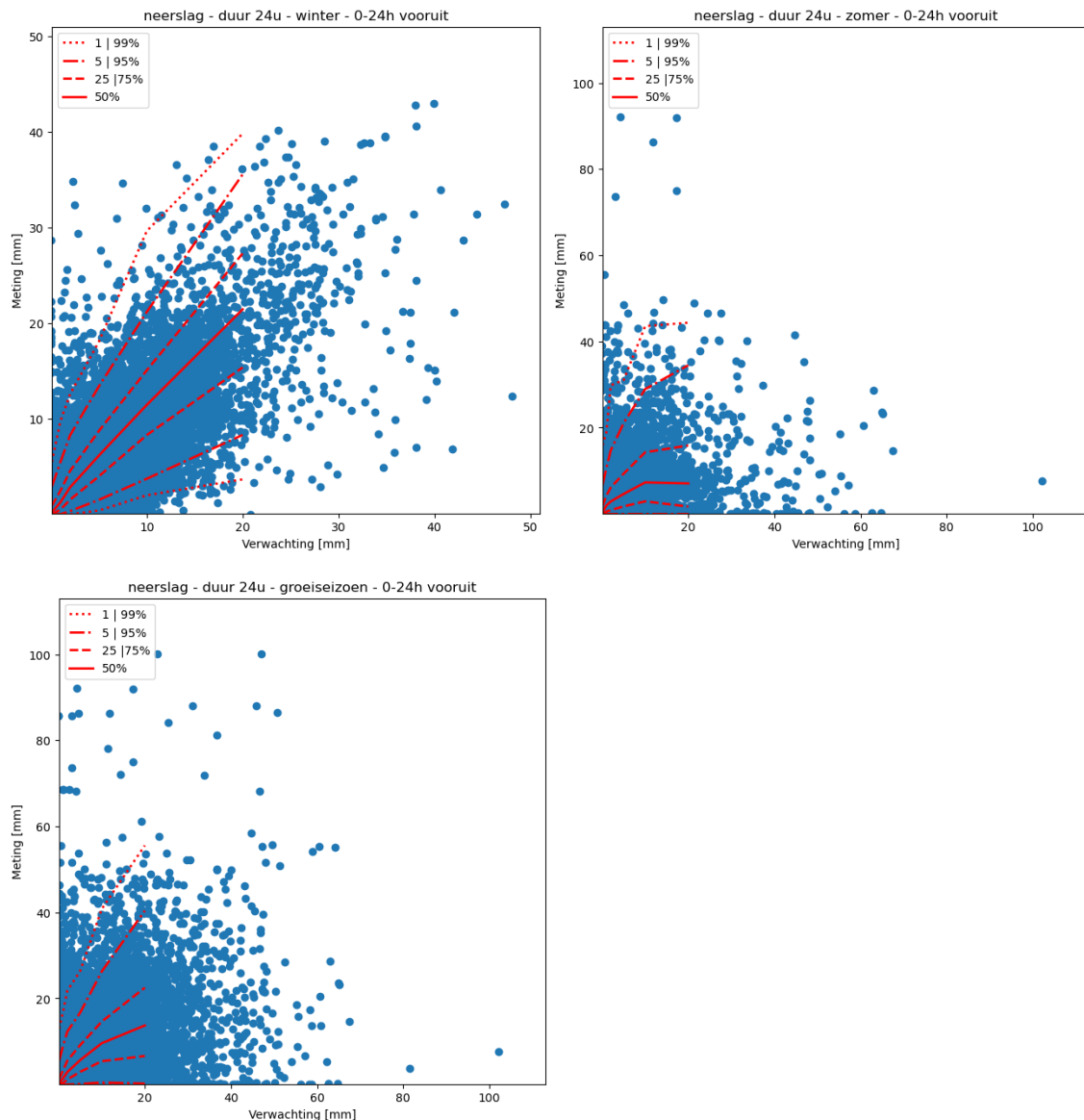
Verder valt op dat lichte neerslag, tot ongeveer 1 mm/d, vaker voorkomt in de verwachting dan in de metingen. Dit is te zien doordat er in de linkeronderhoek van de grafiek, meer punten rechts van de 1:1-lijn liggen dan links. Dit is in alle onderzochte seizoenen te zien, maar in de zomer iets minder duidelijk dan in de winter en het groeiseizoen. Er zijn twee verklaringen denkbaar voor deze afwijking, die we niet goed kunnen onderscheiden: de meting kan een onderschatting zijn doordat een deel van de neerslag verdampt, of het model kan lichte neerslag overschatten. Dat laatste is een veelvoorkomend fenomeen in weermodellen (Ahlgrim en Forbes, 2014).

**FIGUUR 6** ALS FIGUUR 5, MAAR NU VOOR RUIMTELIJK GEMIDDELTE NEERSLAG



Een andere manier om dezelfde informatie te visualiseren is weergegeven in Figuur 7. Hier zijn dezelfde puntenwolken weergegeven als in Figuur 5, maar zonder kleurenschaal voor de punt dichtheid en in plaats daarvan percentiellijnen. Voor een aantal klassen in de verwachting, geven deze lijnen de breedte weer van de metingen die horen bij die verwachting. Ook hier is te zien dat in de winter de bandbreedte kleiner is dan in de zomer. Het groeiseizoen valt daartussen. Als bijvoorbeeld 10 mm wordt verwacht in de winter, is de kans 50% (de afstand tussen het 25% en het 75% percentiel) dat de bijbehorende realisatie tussen de ongeveer 9 en 15 mm valt. In de zomer loopt die bandbreedte van 2 tot 20 mm en in het groeiseizoen van ongeveer 7 tot 15 mm.

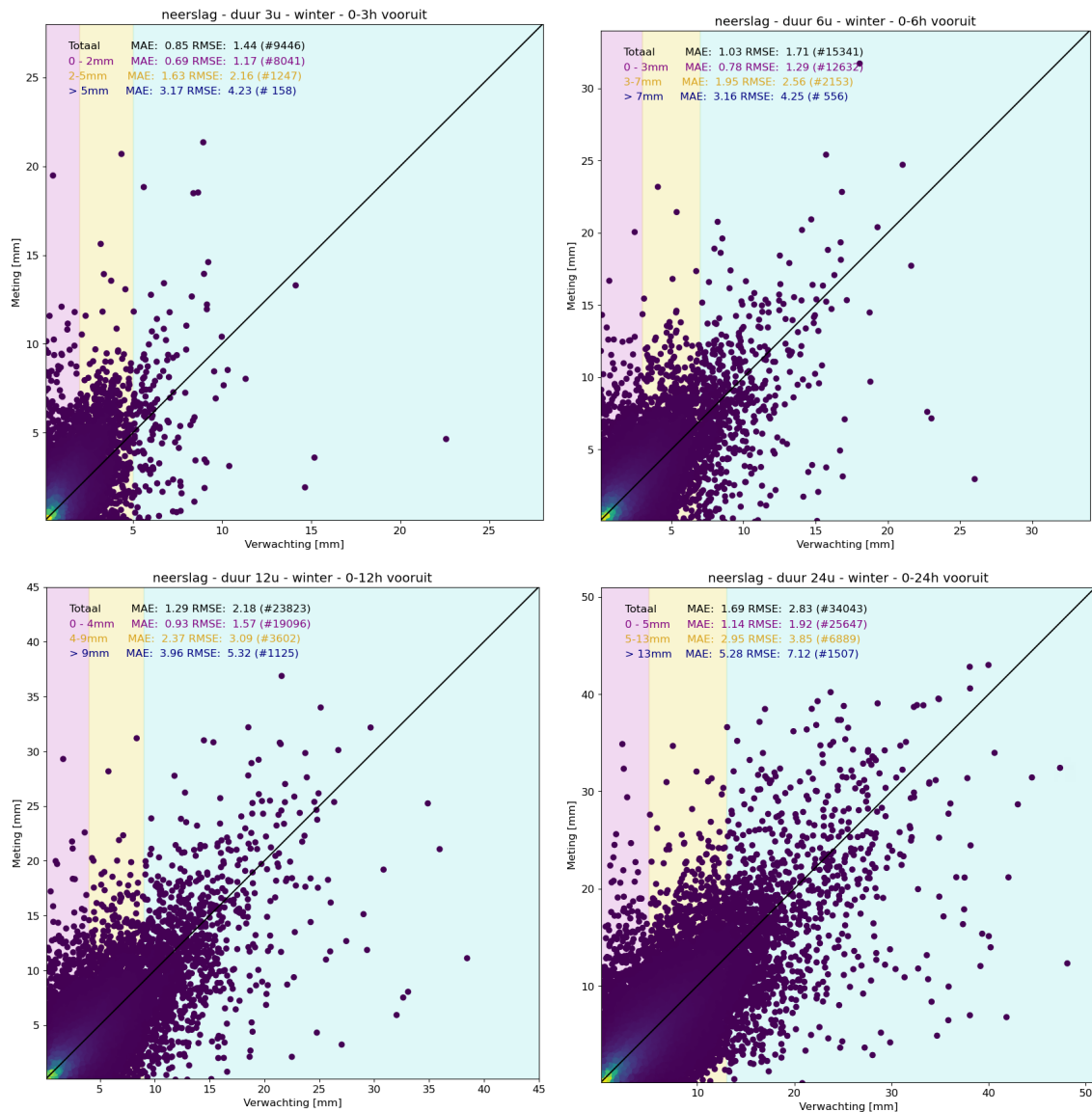
**FIGUUR 7** ALS FIGUUR 5, MAAR NU WORDEN GEEN PUNT DICHTHEDEN WEERGEGEVEN MAAR PERCENTIEL-LIJNEN. ZIE DE TEKST VOOR EEN TOELICHTING. IN DE ZOMER EN TIJDENS HET GROEISEIZOEN ZIJN DE 1% EN 5% PERCENTIELEN AFGEROND 0 MM EN DAAROM NIET ZICHTBAAR IN DE FIGUUR



Om het effect van de duur van neerslag te illustreren, vergelijken we in Figuur 8 de verwachte en gemeten winterneerslag voor drie verschillende durven: 3, 6, 12 en 24 uur. Er is te zien dat de puntenwolk steeds smaller wordt naarmate de duur langer wordt. Doordat de neerslaghoeveelheden toenemen met de duur lopen de waarden voor MAE en RMSE wel licht op,

maar de verschillen zijn veel kleiner dan verwacht zou mogen worden gezien het verschil in duren. Zo is de MAE voor de gehele dataset maar een factor twee hoger voor 24 uur dan voor 3 uur, terwijl de duur een factor acht langer is (let ook op het verschil in assen voor de neerslagvolumes). We verwachten dat de verwachting nauwkeuriger wordt met toenemende duur aangezien het tijdstip van de neerslag minder exact verwacht hoeft te worden. Figuur 8 bevestigt dit, maar de verschillen tussen de duren zijn relatief klein.

**FIGUUR 8** ALS FIGUUR 5, MAAR NU WORDT VOOR ALLE PANELEN DE WINTERNEERSLAG GETOOND EN WORDEN DUREN GEVARIËRD. MET DE KLOK MEE VANAF LINKSBOVEN WORDEN DUREN VAN 3 UUR, 6 UUR, 12 UUR EN 24 UUR GETOOND



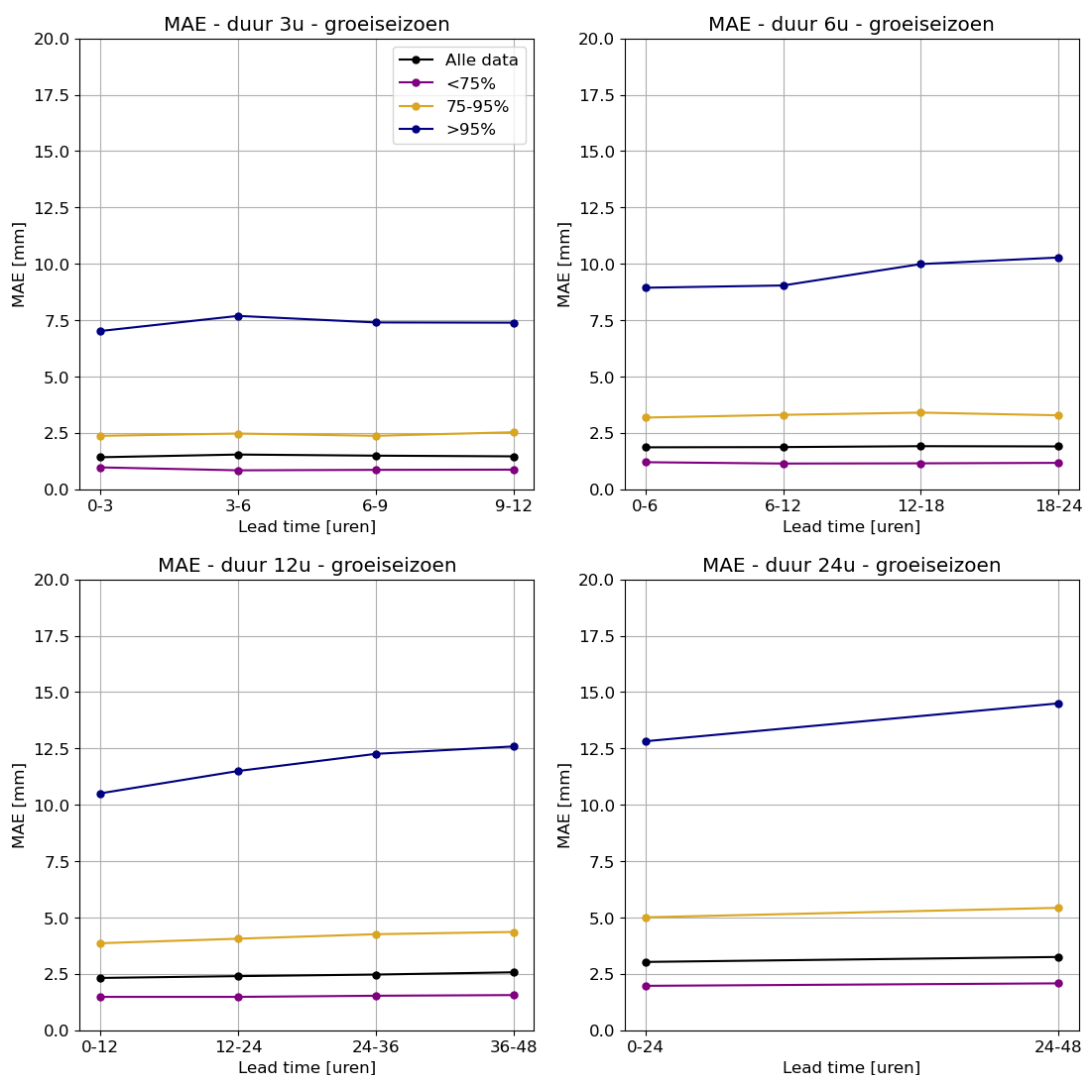
Het grote aantal scatterplots voor verschillende duren, seizoenen en lead times kunnen we samenvatten door de kwaliteitsindicatoren MAE en RMSE te plotten, zoals in Figuur 9 voor de MAE in Figuur 10 voor de RMSE. We hebben hier voor alle vier de duren voor de neerslag tijdens het groeiseizoen de kwaliteitsindicatoren uitgezet tegen de lead times.

Zowel de MAE als de RMSE zijn berekend voor de gehele dataset (zwarte lijnen) als de drie categorieën die zijn onderscheiden in Figuur 5: het deel van de dataset tussen de 0% en 75% percentielen (paarse lijnen); het deel tussen 75% 95% (gele lijnen) en het deel boven

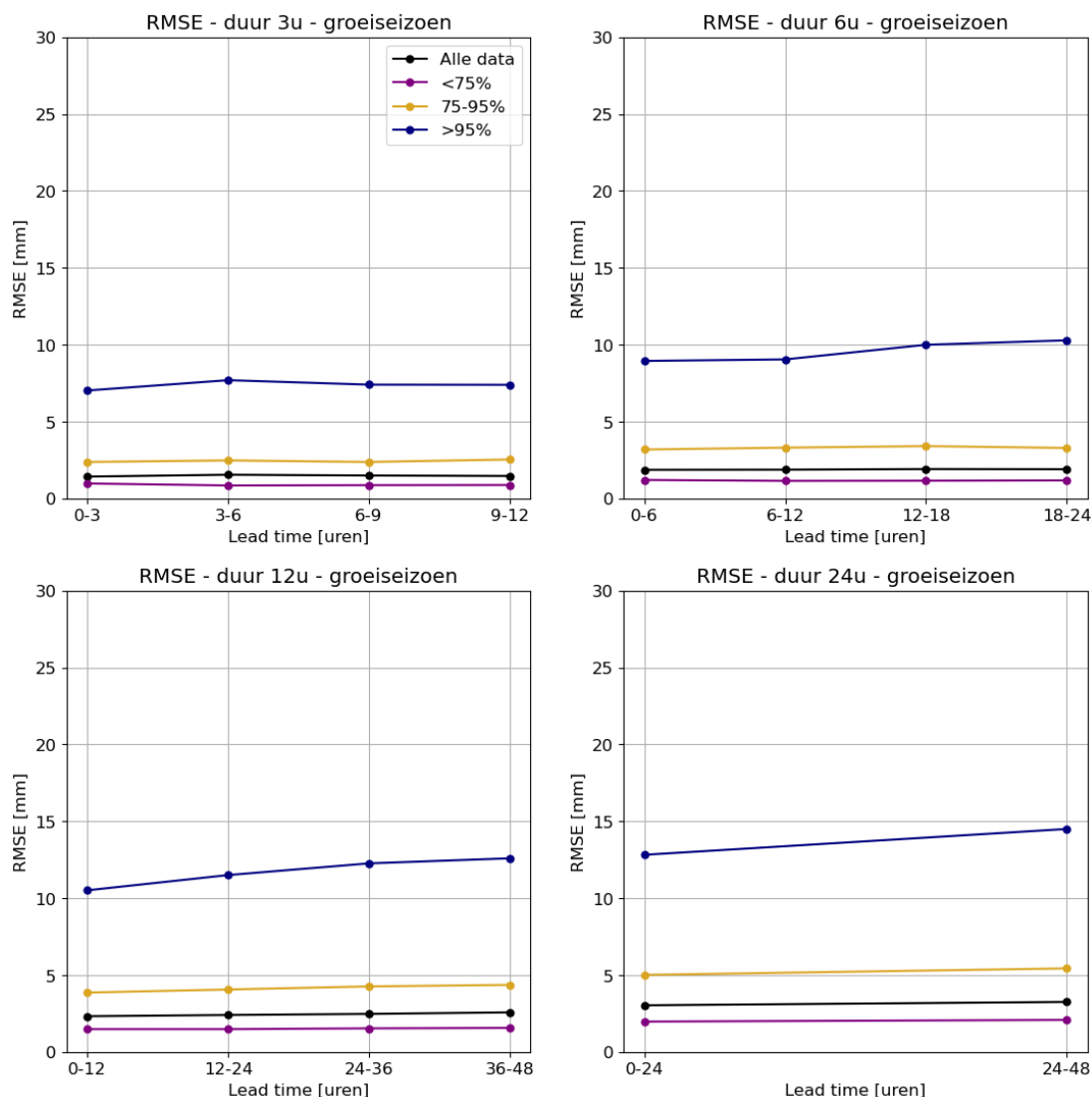
de 95% (blauwe lijnen). De absolute hoeveelheden die horen bij de genoemde percentages hangen sterk af van het seizoen en de beschouwde duur. De categorieën kunnen daarom het best worden gezien als ‘lichte neerslag’, ‘gemiddelde neerslag’ en ‘zware neerslag’. De kwaliteit van de modellen voor de eerste uren van de verwachting relatief constant: voor uren van zowel drie als zes uur verandert de kwaliteit nauwelijks met de lead time. Pas vanaf ongeveer 12 uur zien we een oplopende fout en dan nog alleen wanneer we de gehele dataset beschouwen.

Dit is ook de reden dat we de scatterplots steeds alleen voor de eerste verwachtingshorizon tonen: de puntenwolken zien er voor alle vier de horizonten erg vergelijkbaar uit.

**FIGUUR 9** SAMENVATTEND FIGUUR VAN DE MAE VERSUS LEAD-TIME VOOR ALLE DUREN IN HET GROEISEIZOEN



FIGUUR 10 ALS FIGUUR 9, MAAR NU WORDT DE RMSE GETOOND IN PLAATS VAN DE MAE

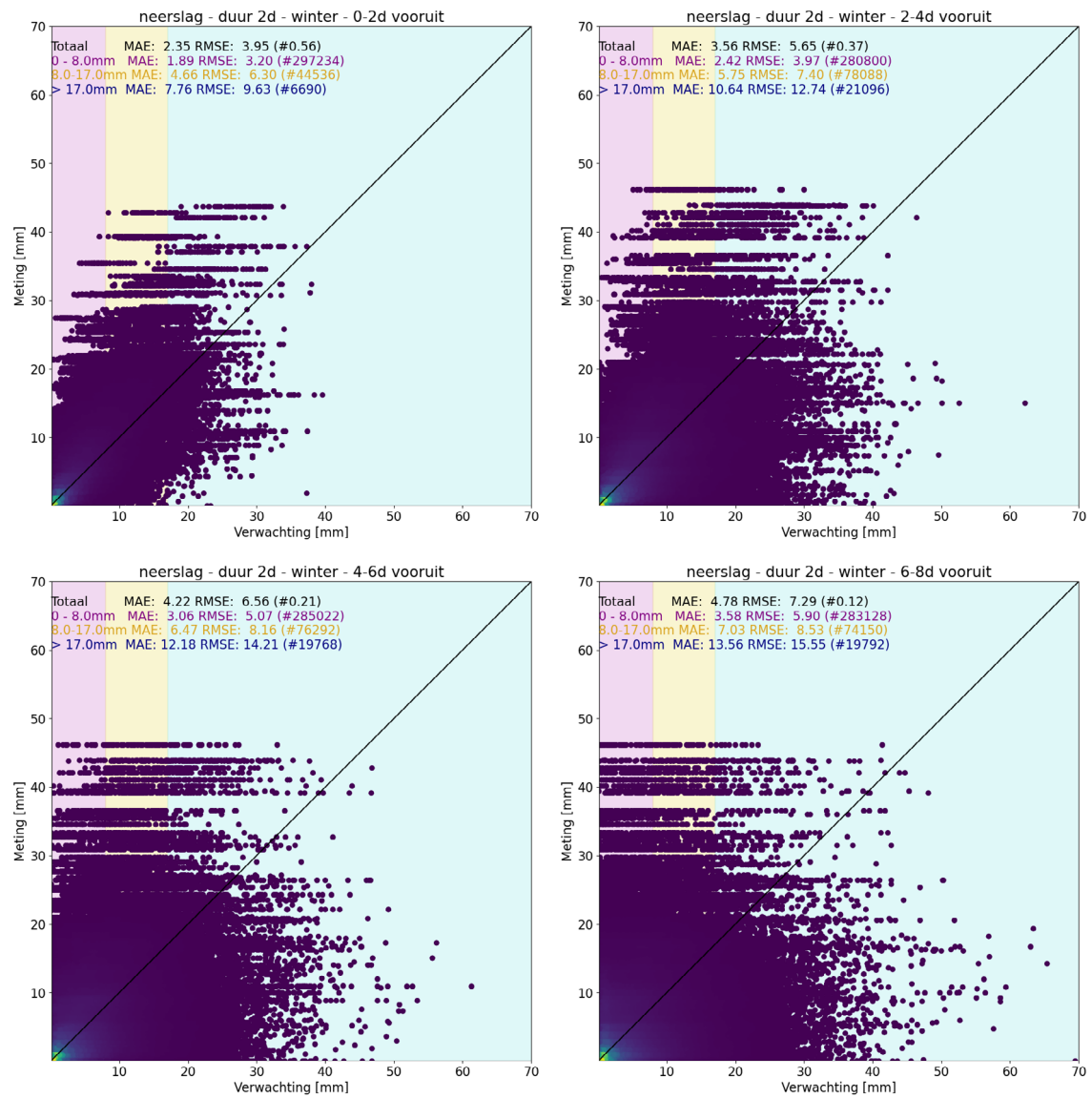


### 3.2 NEERSLAGREEKSEN UIT ECMWF EPS

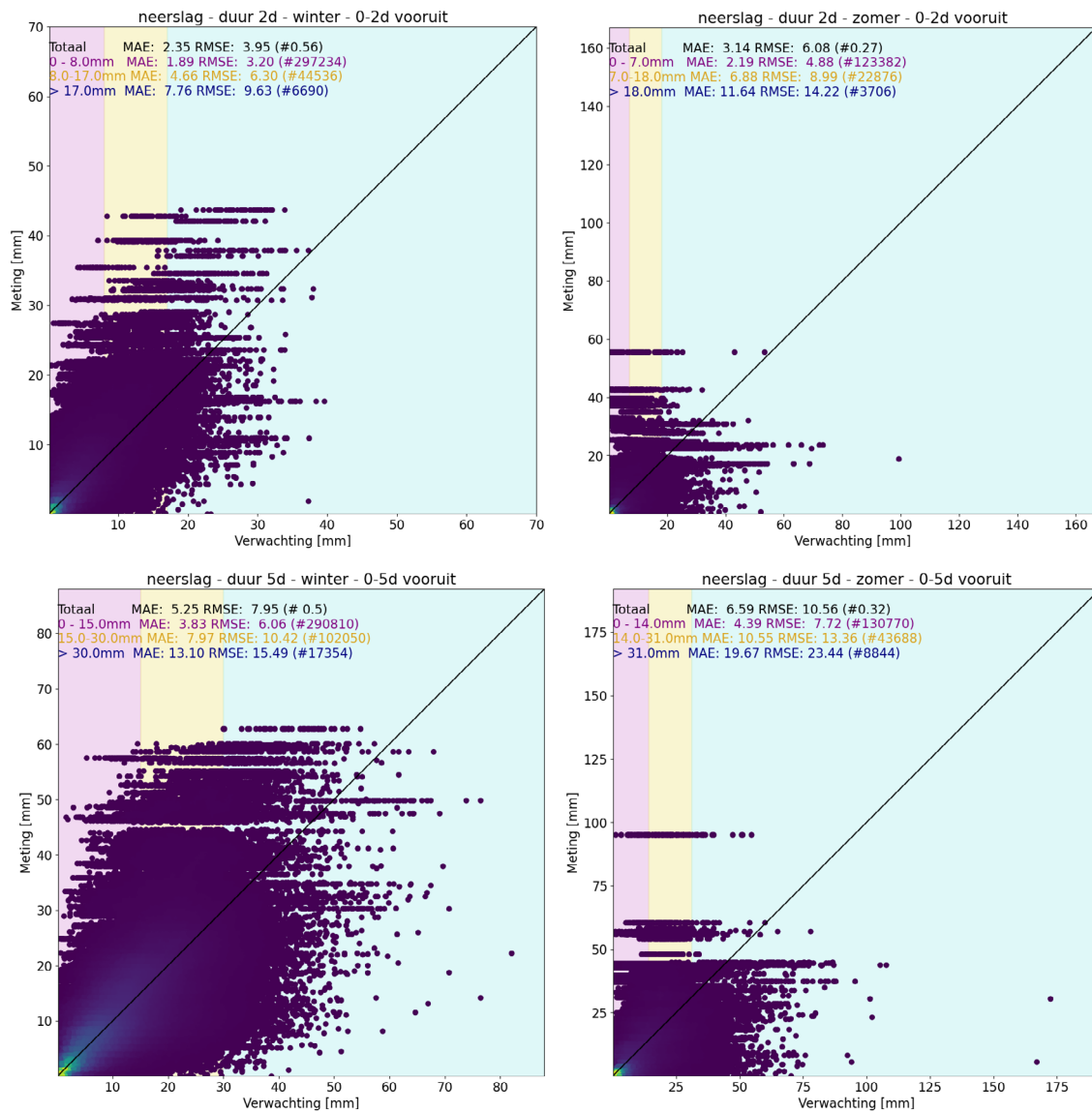
Eenzelfde analyse als in paragraaf 3.1 is uitgevoerd voor neerslag uit het ECMWF EPS. Gezien de veel langere beschikbare lead times hebben we hier duren gehanteerd van 2 en 5 dagen. Figuur 11 laat de resultaten zien voor de winter en een duur van 2 dagen voor vier lead times; Figuur 12 laat de scatterplot zien voor de eerste lead time voor zowel zomer en winter als duren van 2 en 5 dagen.

In tegenstelling tot bij de Harmonie40-verwachtingen, zien we nu een duidelijke afname van de verwachtingskwaliteit met de lead time. Merk op dat de resolutie van de neerslagwaarden beperkt is tot 0,1 mm in zowel de verwachtingen als de observaties, hetgeen de lijnen verklaart bij waarden kleiner dan 1 mm. Net als bij de Harmonie40 resultaten zien we een betere correlatie in de winter, vooral voor de eerste 2 dagen van de verwachting. Ook zien we dat motregen tot ongeveer 1 mm vaker voorkomt in de modelverwachting dan in de observaties.

**FIGUUR 11** VERGELIJKING VAN NEERSLAG UIT ECMWF EPS VOOR EEN DUUR VAN TWEE DAGEN IN DE WINTER VOOR VIER VERSCHILLENDE LEAD TIMES

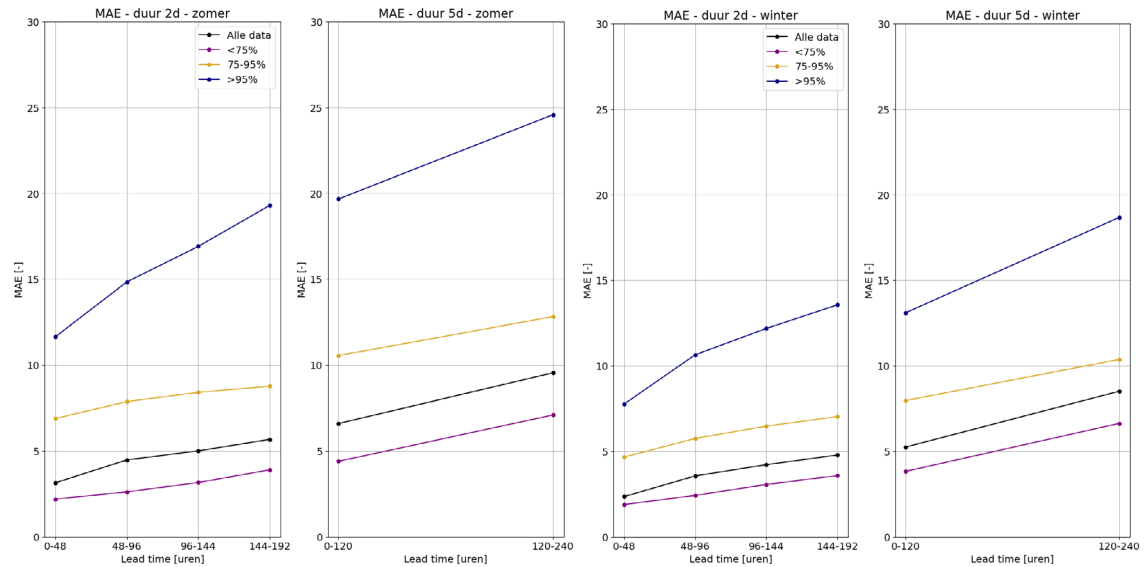


**FIGUUR 12** VERGELIJKING VAN ECMWF EPS NEERSLAG MET DE METINGEN VOOR DE EERSTE DAGEN VAN DE VERWACHTING IN DE ZOMER (RECHTS) EN WINTER (LINKS) EN VOOR DUREN VAN 2 (BOVEN) EN 5 (ONDER) DAGEN



Figuur 13 laat de gemiddelde absolute fout (MAE) zien ten opzichte van de lead-time, voor duren van zowel 2 als 5 dagen en het zomer- en winterseizoen. Ook hier blijkt een sterke toename van de fout met de lead-time en een betere score in de winter, ten opzichte van de zomer. De RMSE wordt hier niet getoond omdat de verlopen tussen lead times en duren vrijwel identiek zijn.

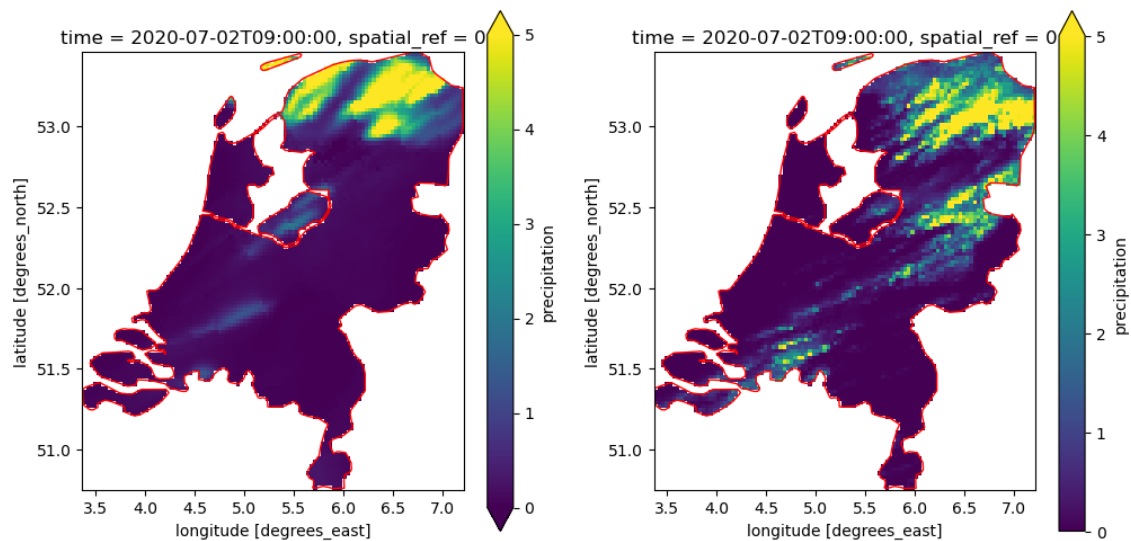
**FIGUUR 13** GEMIDDELTE ABSOLUTE FOUT VOOR DE NEERSLAG UIT ECMWF EPS VOOR DE ZOMER (LINKER TWEE PANELEN) EN DE WINTER (RECHTER TWEE PANELEN). RESULTATEN VOOR DUREN VAN ZOWEL 2 ALS 5 DAGEN WORDEN GETOOND. DE RELATIEVE VERSCHILLEN VOOR DE RMSE ZIJN VRIJWEL IDENTIEK



### 3.3 RUIMTELIJKE ANALYSE VAN NEERSLAG UIT HARMONIE40

Bij deze analyse analyseren we ruimtelijke rasters uit Harmonie40 en het IRC, met daarin geaccumuleerde neerslag voor dezelfde uren, seizoenen en lead times als in paragraaf 3.1. Van het IRC gebruiken we de versie die zo goed mogelijk is gecorrigeerd met grondstations: het Final Reanalysis product. Om onnauwkeurige radar-reflecties van de Noordzee en het buitenland zo min mogelijk mee te nemen, knippen we beide rasters uit op de landsgrens en kustlijn en zorgen we ervoor dat ze beide dezelfde rastereigenschappen (domein, resolutie) hebben. Figuur 14 laat een voorbeeld van beide rasters zien.

**FIGUUR 14** ILLUSTRATIE VAN DE RASTERS ZOALS WE DIE GEBRUIKEN IN DE RUIMTELIJKE ANALYSE. LINKS HARMONIE40, RECHTS HET IRC. DE RODE LIJN GEEFT DE LANDSGRENS EN/OF KUSTLIJN WEE



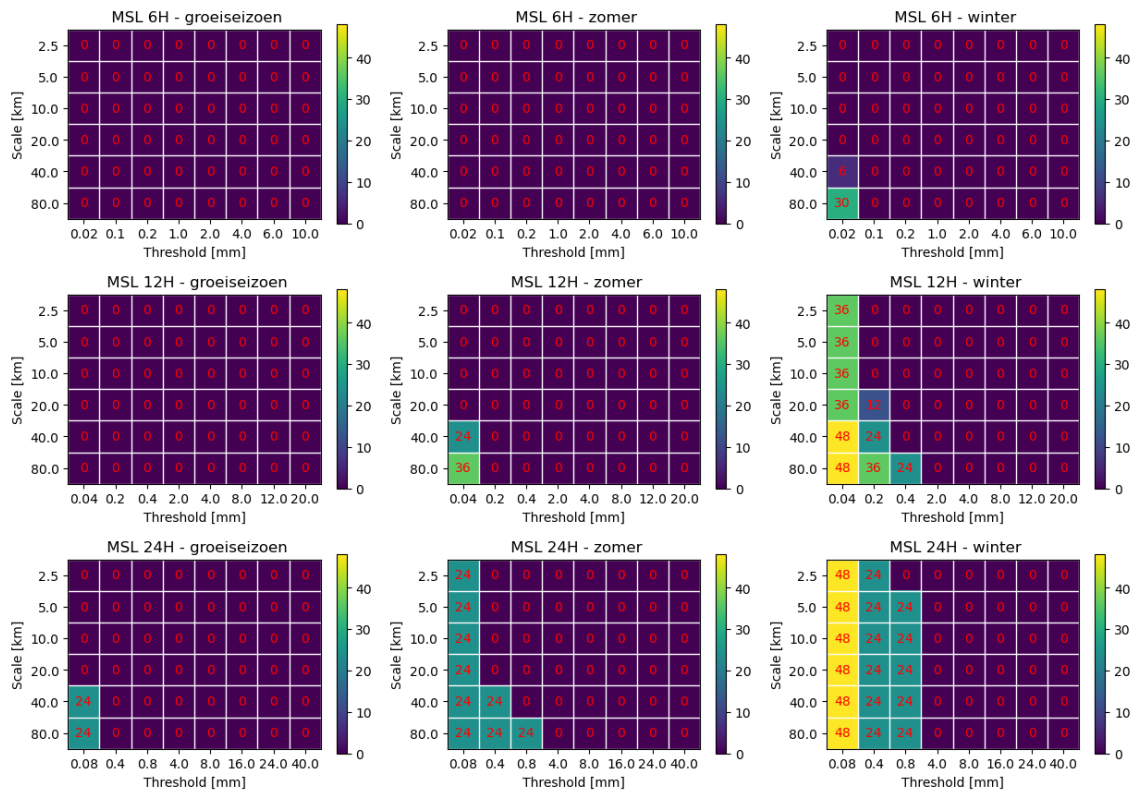
Zoals beschreven in paragraaf 2.5 gebruiken we voor deze analyse de FSS, die voor een aantal ruimtelijke schalen en drempelwaardes een score berekent tussen 0 en 1. De FSS loopt op met de ruimtelijke schaal. De kans dat neerslag op de verkeerde locatie wordt verwacht wordt immers steeds kleiner naarmate over een groter gebied wordt gemiddeld. De score loopt doorgaans af met een toenemende drempelwaarde, omdat het bij toenemende drempelwaarde steeds moeilijker wordt de locaties van de neerslaggebeurtenissen correct te verwachten.. De drempelwaardes die we hierbij hanteren zijn waarden van 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 2, 3 en 5 mm per drie uur. Voor langere duren zijn deze evenredig verhoogd om de resultaten eenduidig te kunnen vergelijken. De maximale drempelwaarde bij een duur van 24 uur is dus 40 mm. De ruimtelijke schaal op de Y-as is uitgedrukt als een lengteschaal. De kleinste schaal van 2,5 km kan dus worden gezien als één modelpixel van Harmonie.

De FSS vergelijkt steeds de ruimtelijke patronen binnen één enkele tijdstap. We vatten al deze tijdstappen samen door voor elke verwachting met een bepaalde combinatie van seizoen (zomer, winter of groeiseizoen), duur, lead time, ruimtelijke schaal en drempelwaarde de FSS scores te vergelijken met de bijbehorende waarden voor  $FSS_{\text{useful}}$ . Vervolgens bepalen we voor al die verwachtingen het percentage van de verwachtingen waarbij de FSS hoger is dan  $FSS_{\text{useful}}$ . Als dat percentage hoger is dan 50% stellen we dat de verwachting gemiddeld gezien bruikbaar is.

Doordat we middelen over een groot aantal verwachtingen neemt dit percentage af met de lead-time; er is dus een bepaalde lead time waarbij de FSS vaak lager is dan  $FSS_{\text{useful}}$  en niet meer bruikbaar. Deze maximale lead time waarbij de verwachting nog bruikbaar is (MSL; Maximum Skillful Lead time) tonen we in Figuur 15. Op deze manier plaatsen we de FSS-score in perspectief door alleen die waarden te tonen die bruikbaar zijn volgens de definitie in paragraaf 2.5, wat aangeeft dat het model meerwaarde heeft ten opzichte van een model dat ruimtelijk gemiddeld dezelfde neerslag verwacht, maar waarbij de neerslag willekeurig geplaatst is in het domein. Met andere woorden, de maximale lead time is de lead time waarvoor de locatie van de bui in de verwachting nog informatief is.

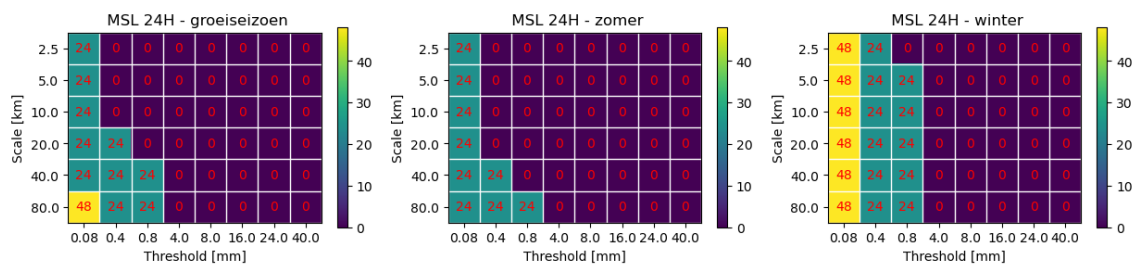
In Figuur 15 zetten we de MSL uit als functie van de drempelwaarde en de ruimtelijke schaal, voor elke combinatie van seizoen en duur. We tonen de MSL ook als een getal in Figuur 15, in veelvouden van de gehanteerde duur. We lichten dit toe aan de hand van de verwachting voor een duur van 12 uur in de winter (het rechterpaneel van de middelste rij in Figuur 15). Een verwachting kan tot een termijn van 12, 24, 36 of 48 uur 'skillful' zijn. Hoe kleiner de drempelwaarde en hoe groter de schaal, hoe groter de MSL is. Als de FSS gedurende de hele verwachting boven  $FSS_{\text{useful}}$  ligt is de MSL dus 48 uur. Dit is het geval bij een schaal van  $40 \times 40 \text{ km}^2$  en groter en een drempelwaarde van 0,04 mm.

**FIGUUR 15** MAXIMAAL BRUIKBARE LEAD-TIME (MSL IN HET ENGELS: MAXIMUM SKILLFUL LEAD TIME) VOOR DUREN VAN 6, 12 EN 24 UUR (VAN BOVEN NAAR BENEDEN) EN VOOR DE DRIE SEIZOENEN (VAN LINKS NAAR RECHTS)



Zoals we ook al zagen in de resultaten van de tijdreeksen, is winterneerslag veel voorspelbaarder dan zomerneerslag. Waar echter bij de tijdreeksen (paragraaf 3.1) de verwachtingskwaliteit in het groeiseizoen tussen de zomer en winter in viel, blijkt hier de voorspelbaarheid in het groeiseizoen *lager* te zijn dan die in de zomer. Dit wordt veroorzaakt door het vroege voorjaar; als de maanden maart, april en mei hierin niet worden meegenomen is de score wel hoger dan die in de zomer (Figuur 16). Voor deze maanden apart is geen enkele verwachting bruikbaar; deze tonen we niet.

**FIGUUR 16** ALS FIGUUR 15, MAAR NU ZIJN VOOR HET GROEISEIZOEN DE MAANDEN MAART, APRIL EN MEI NIET MEEGENOMEN EN WORDT ALLEEN EEN DUUR VAN 24 UUR GETOOND



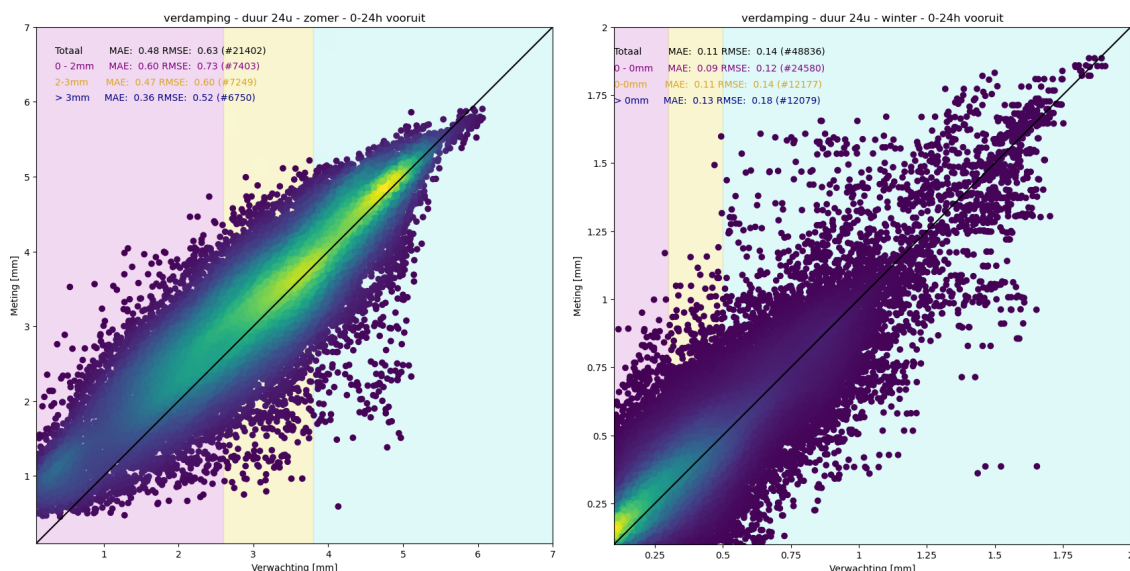
Verder blijken de verwachtingen alleen bruikbaar voor lage drempelwaarden, wat neerkomt op aangeven of het wel of niet zal regenen. Voor hogere drempelwaarden geeft geen enkele drempelwaarde een score die hoger is dan de  $FSS_{\text{useful}}$ . Dat geldt ook voor een duur van 3 uur, voor alle seizoenen. Deze wordt daarom niet getoond. Ook voor de periode van maart tot en met mei is dit het geval. In al deze situaties is de hoeveelheid ruis naar verhouding groot en ook het aantal datapunten met significante neerslag relatief beperkt. In de onderzochte jaren waren de maanden maart tot en met mei namelijk steeds erg droog.

We verwachten dat de  $FSS_{useful}$  in deze gevallen een dusdanig hoge waarde voor de FSS vereist dat deze niet gehaald wordt. Dat is consistent met het beeld van KNMI bij dergelijke verificaties: ook daar worden overwegend lagere waarden voor de FSS gezien (mondelinge communicatie KNMI, 2023).

### 3.4 VERDAMPINGSREEKSEN UIT HARMONIE40

Op basis van globe straling en luchttemperatuur hebben we, voor zowel AWS-metingen als Harmonie40-verwachtingen, referentiegewasverdamping berekend voor dezelfde intervallen als voor neerslag. We hebben hiervoor de formule van Makkink (de Bruin, 1987) gebruikt; zie paragraaf 2.2. Voor gebruik in het waterbeheer is verdampingsverwachting voor korte durren echter niet relevant, daarom richten we ons hier op dagsommen. We laten alleen de eerste 24 uur van de verwachting zien; de resultaten voor de tweede dag verschillen nauwelijks van die van de eerste.

**FIGUUR 17** VERWACHTTE VERSUS GEMETEN DAGSOMMEN VOOR DE EERSTE 24 UUR VAN DE VERWACHTING IN DE ZOMER (LINKS) EN DE WINTER (RECHTS)



Uit Figuur 17 omen een aantal interessante bevindingen naar voren:

- De onzekerheid in de puntenwolk is naar verhouding veel kleiner dan die voor neerslag. Vergelijk Figuur 17 met Figuur 5, waar ook dagsommen worden geanalyseerd. De ruimtelijke variatie in referentiegewasverdamping is veel kleiner dan die in neerslag, zodat het fenomeen dat de locatie in de verwachting niet klopt hier veel minder van belang is;
- Op onbewolkte dagen in de zomer (waarden rond de 5 mm per dag) zijn de verwachtingen erg goed; het overgrote deel van de datapunten zit precies op de 1:1 lijn. In de winter, is de verdamping logischerwijs vrijwel altijd veel lager dan in de zomer, let op dat de assen van beide figuren verschillen.
- Op bewolkte dagen in de zomer, met dagsommen tot ongeveer 1 mm/d, wordt verdamping sterk onderschat in de verwachtingen. Uit communicatie met het KNMI bleek dat in het model bewolking te weinig licht doorlaat (de 'optical thickness' is te hoog), waardoor het bij bewolking vrijwel donker is in het model en de verdamping daarom bijna 0. In werkelijkheid bereikt een groot deel van de zonnestraling het landoppervlak zodat er nog steeds ongeveer 1 mm/d verdamping kan optreden. Het effect van deze fout vanuit

hydrologisch oogpunt beperkt aangezien dergelijke lage verdampingswaarden in de zomer nauwelijks voorkomen;

- De lage waarden in de winter (van 0.1 tot 0.3 mm/d) worden onderschat door het model. Mogelijk heeft dit een vergelijkbare oorzaak als in de zomer, maar door de lage gemeten waarden komt dit minder duidelijk naar voren, en is deze fout ook niet relevant vanuit hydrologisch oogpunt.

## 4

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

## 4.1 CONCLUSIES

Dit rapport brengt de onzekerheid in neerslagverwachtingen uit Harmonie40 en ECMWF EPS in beeld door historische verwachtingen te vergelijken met observaties. Hierbij moet worden opgemerkt dat dit de directe modelresultaten betreft, zoals ze doorgaans bijvoorbeeld in operationele systemen worden gebruikt. Duiding van deze modelresultaten door een meteoroloog kan een betere verwachting opleveren, doordat kennis van de modelkwaliteit en weersystemen wordt meegenomen.

**NEERSLAG UIT HARMONIE40 TOT 2 DAGEN VOORUIT**

De nauwkeurigheid van neerslagverwachtingen hangt vooral af van de beschouwde ruimtelijke schaal en van het seizoen. Op de puntschaal is het nauwelijks mogelijk een nauwkeurige verwachting te verkrijgen. Alleen in de winter kan accuraat worden verwacht of het regent of niet; in de zomer is er op de puntschaal nauwelijks verband tussen verwachte en gemeten neerslag. Op de schaal van het gehele land kunnen neerslaghoeveelheden wel accuraat verwacht worden, waarbij ook hier in de winter verwachtingen aanmerkelijk nauwkeuriger zijn. Ook de temporele resolutie van de verwachting heeft invloed op de nauwkeurigheid van de verwachting, al is die invloed minder groot dan die van de ruimtelijke schaal en seizoen. De verwachtingshorizon speelt een beperkte rol, voor verwachtingen tot twee dagen neemt de nauwkeurigheid nauwelijks af met de verwachtingshorizon.

We hebben een analyse uitgevoerd naar de minimale ruimtelijke schaal waarop verwachtingen nog informatief zijn. Informatief betekent in dit verband dat de verwachting beter is dan een verwachting waarbij we de neerslaghoeveelheid willekeurig over het gebied verdelen. Uit de analyse blijkt dat verwachtingen in de winter voor elke schaal en voor elke verwachtingshorizon informatief zijn voor wat betreft de vraag of het regent of niet, terwijl dit in de zomer alleen geldt vanaf een schaal van ongeveer 40 x 40 km<sup>2</sup> (160.000 ha) en voor de eerste 24 uur van de verwachting. In beide vallen geldt dit voor duren van 12 uur en langer. Voor kortere duren zijn nog grotere ruimtelijke schalen nodig om informatief te zijn.

In de winter is de verwachting in alle gevallen veel nauwkeuriger dan in de zomer. In de zomer (hier zijn de maanden juli en augustus beschouwd) is neerslag vaker convectief en kleinschalig van aard. Buien kunnen lokaal ontstaan en weer verdwijnen. In de winter trekken vaak grote systemen over met (relatief) langdurige neerslag over grote gebieden. In de winter is neerslag daarom veel voorspelbaarder dan in de zomer.

**NEERSLAG UIT ECMWF-EPS 2-10 DAGEN VOORUIT**

Bij de langere termijn verwachting uit ECMWF EPS is het effect van een langere verwachtingshorizon veel duidelijker aanwezig dan bij Harmonie40. Ook hier is de kwaliteit van de verwachtingen in winter veel beter dan in de zomer.

We concluderen dat weersverwachtingen voor de eerste twee dagen globaal wel aangeven of het wel of niet regent, maar de verwachtte hoeveelheid en locatie is erg onzeker. In de zomer is deze onzekerheid veel groter dan in de winter.

Wanneer we ECMWF EPS-beschouwen geeft het gehele ensemble een grote bandbreedte, zoals te verwachten. Het is bij ensemble-verwachtingen daarom van belang op een meer probabilistische manier naar de verwachting te kijken: wat is de kans dat het op een bepaalde dag een bepaalde hoeveelheid regent? Individuele leden van het ensemble of het gemiddelde ervan zeggen relatief weinig.

#### **VERDAMPING UIT HARMONIE40 TOT 2 DAGEN VOORUIT**

Het verwachten van referentiegewasverdamping is relatief veel eenvoudiger dan neerslag, omdat de variabelen die eraan ten grondslag liggen, globale straling en luchttemperatuur, veel minder heterogeen in ruimte en tijd zijn. Vooral in onbewolkte omstandigheden zijn de verwachtingen van verdamping op de korte termijn zeer betrouwbaar. Onder bewolkte omstandigheden zien we dat het model de verdamping doorgaans onderschat, waarbij dat in de zomer het duidelijkst naar voren komt omdat de waarden dan hoger zijn. Dit komt doordat in het weermodel wolken te weinig licht doorlaten. Door het gebrek aan straling kan er vrijwel geen verdamping optreden.

## **4.2 AANBEVELINGEN**

Weermodellen zijn continu in ontwikkeling. Met de overgang naar een ander rekendomein (UWC-West), zal ook een nieuwe versie van Harmonie in gebruik worden genomen, Harmonie43, waarin een groot aantal verbeteringen zijn opgenomen. Een voorbeeld is het feit dat in Harmonie40 wolken te weinig licht doorlaten en daardoor de verdamping onderschatten. In de nieuwe versie zullen aerosolen worden geassimileerd waardoor dit probleem verminderd wordt.

Als de nieuwe versie in gebruik wordt genomen worden, worden ook historische verwachtingen geproduceerd voor een periode van drie jaar, wat de mogelijkheid biedt de analyse uit dit onderzoek te herhalen en een nieuwe inschatting te maken van de verwachtingskwaliteit. We bevelen dan ook aan dit te doen en zodra de historische verwachtingen beschikbaar komen een analyse zoals de voorliggende te herhalen en de resultaten voor Harmonie40 en Harmonie43 te vergelijken.

Voor Waterschap Limburg is recent een internationaal project gestart waarin de kwaliteit van neerslagverwachtingen van niet alleen het ECMWF model en Harmonie40 zal worden onderzocht, maar ook de modellen van de Duitse en Franse weerinstituten: ICON van Deutsche Wetterdienst (DWD) en Arome van MétéoFrance). Vooral in de grensregio's is het interessant om te onderzoeken hoe verwachtingen van buitenlandse modellen zich verhouden tot de modellen van het KNMI. We bevelen aan om bij toekomstige analyses ook internationale modelresultaten te beschouwen.

In dit rapport zijn weersverwachtingen uit numerieke weermodellen, zoals beschikbaar gesteld door het KNMI via WTWB, beoordeeld. Voor de zeer korte verwachtingshorizonten, tot enkele uren vooruit, geven nowcasting-modellen betere regenverwachtingen dan numerieke weermodellen (Imhoff, 2022). Het gebruik van nowcastingmodellen voor de zeer korte verwachtingshorizonten in plaats van een numeriek weermodel in operationele systemen is

daarom aan te raden. De laatste jaren zijn verschillende nowcasting-modellen ontwikkeld op basis van statistische extrapolatie en op basis van machine learning. Imhoff, R., et al. (2021) presenteert een vergelijking tussen verschillende optical-flow based nowcasting methodes voor enkele hydrologische stroomgebieden in Nederland. Daarnaast zijn er verschillende nowcasting modellen die op machine learning zijn gebaseerd. Toegepast voor Nederland in Kooij, E. van der (2021), Schreurs, K., (2021), Dekker, D., (2022), Cambier van Nooten, C. (2023) en Elsmann, F., (2023). We bevelen waterschappen aan om voor kortere verwachtingshorizonten dan hier gepresenteerd nowcasting toe te passen.

## 5

## REFERENTIES

Ahlgrimm, M., & Forbes, R. (2014). Improving the representation of low clouds and drizzle in the ECMWF model based on ARM observations from the Azores. *Monthly Weather Review*, 142(2), 668-685.

Bengtsson, L., Andrae, U., Aspelien, T., Batrak, Y., Calvo, J., de Rooy, W., ... & Koltzow, M. Ø. (2017). The HARMONIE – AROME model configuration in the ALADIN – HIRLAM NWP system. *Monthly Weather Review*, 145(5), 1919-1935.

de Bruin, H.A.R. (1987) From Penman to Makkink. In: Hooghart, J.C., Ed., *Proceedings and Information: TNO Committee on Hydrological Research N°39*. The Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO, Den Haag, 5-31.

Imhoff, R., Uijlenhoet, R., Weerts, A. & Brauer, C. (2021). Rainfall nowcasting for flood early warning. PhD Thesis, Wageningen University.

Kooij, E. van der (2021). Nowcasting heavy precipitation in the Netherlands: a deep learning approach. MSC Thesis, TU Delft.

Schreurs, K. (2021). Precipitation Nowcasting using Generative Adversarial Networks. MSC Thesis, Radboud Universiteit.

Cambier van Nooten, C., Schreurs, K., Wijnands, J.S., Leijnse, H., Schmeits, M., Whan, K., Shapovalova, Y., (2023). Improving precipitation nowcasting for high-intensity events using deep generative models with balanced loss and temperature data: a case study in the Netherlands. *Artificial Intelligence for the Earth Systems*.

Dekker, D. (2022). Perceptual losses in precipitation nowcasting: Exploring limits and potential. MSC Thesis, TU Delft.

Elsmann, F., (2023). Precipitation Nowcasting. Exploring the Impact of Echo Top Heights in Generative Models, MSc Thesis, Radboud Universiteit.

Roberts, N. M., & Lean, H. W. (2008). Scaleselective verification of rainfall accumulations from highresolution forecasts of convective events. *Monthly Weather Review*, 136(1), 78 – 97.

Roberts, C. D., Senan, R., Molteni, F., Boussetta, S., Mayer, M., & Keeley, S. P. (2018). Climate model configurations of the ECMWF Integrated Forecasting System (ECMWF-IFS cycle 43r1) for HighResMIP. *Geoscientific model development*, 11(9), 3681-37