

Universität Augsburg  
Fakultät für Angewandte  
Informatik

## Niederschlagserfassung mit kommerziellen Richtfunkstrecken (CMLs) in Deutschland und erste Ergebnisse einer Kombination mit Wetterradar Daten

Maximilian Graf<sup>1</sup>, Christian Vogel<sup>2</sup>, Malte Wenzel<sup>2</sup>, Julius  
Polz<sup>3</sup>, Tanja Winterrath<sup>2</sup>, Christian Chwala<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut für Geographie, Universität Augsburg, Augsburg, Deutschland

<sup>2</sup>Abteilung Hydrometeorologie, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland

<sup>3</sup>Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU),  
KIT-Campus Alpin, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland

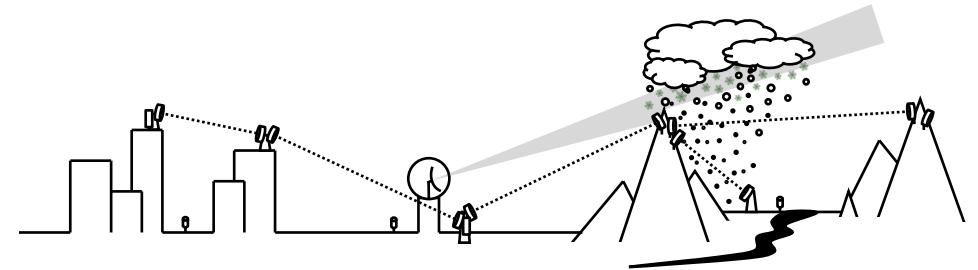


LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



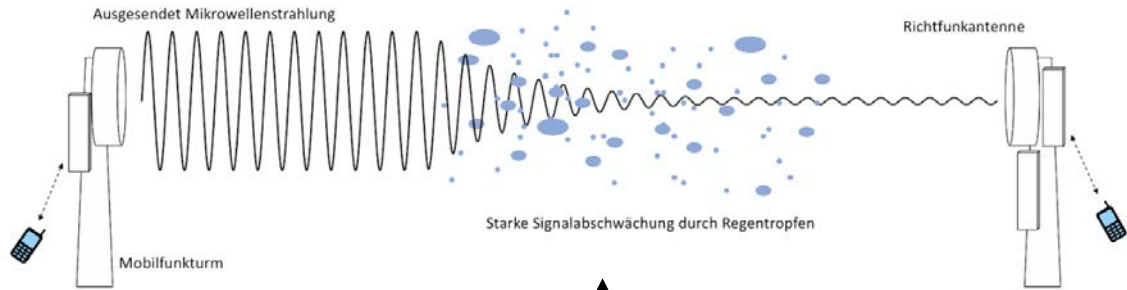
## Innovative Methoden der Niederschlagsmessung und -vorhersage im Einsatz für die Hochwasserfrühwarnung in kleinen Einzugsgebieten

- neuartige Methoden der Niederschlagsschätzung mit einer Radar-Multisensor-Aneicherung
- ein skalierbares hydrologisches Ensemble-Vorhersagesystem zur Verarbeitung Ensemble-basierter Niederschlagsvorhersagen
- ein webbasiertes Dashboard zur nutzerspezifischen Analyse der Vorhersagen und Unsicherheiten
- Training von Nutzern im Umgang mit wahrscheinlichkeitsbasierten Warnungen und Vorhersagen



weitere Beiträge von HoWa-PRO am Tag der Hydrologie  
Poster von Christian Vogel (DWD) et al.  
Poster von Andy Philipp/Anastassi Stefanova (LfULG) et al.

# Niederschlagsmessung mit kommerziellen Richtfunkstrecken (CML)



CMLs verbinden einen Großteil der Mobilfunkmasten miteinander

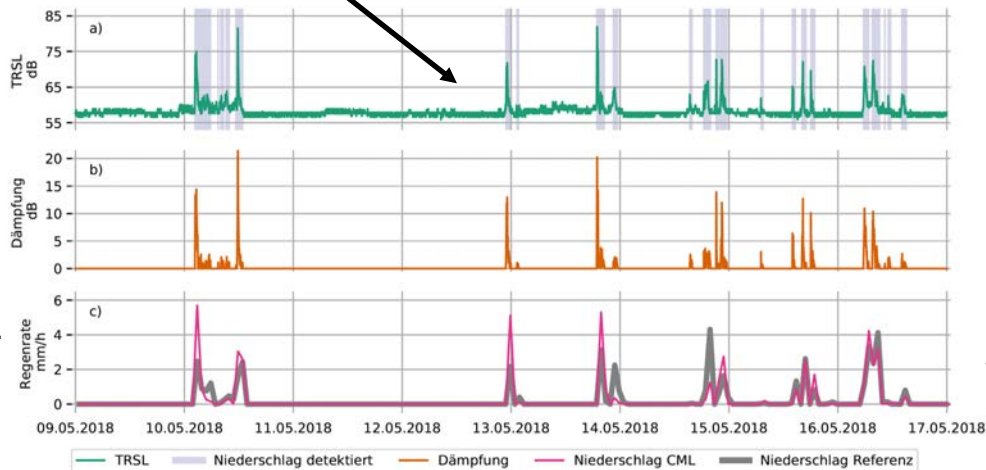


Niederschlag dämpft das Signal entlang der CMLs

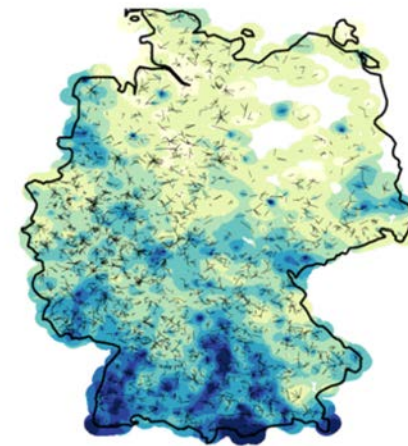
Rohe Dämpfungsdaten

Prozessierung

CML Niederschlags-schätzung

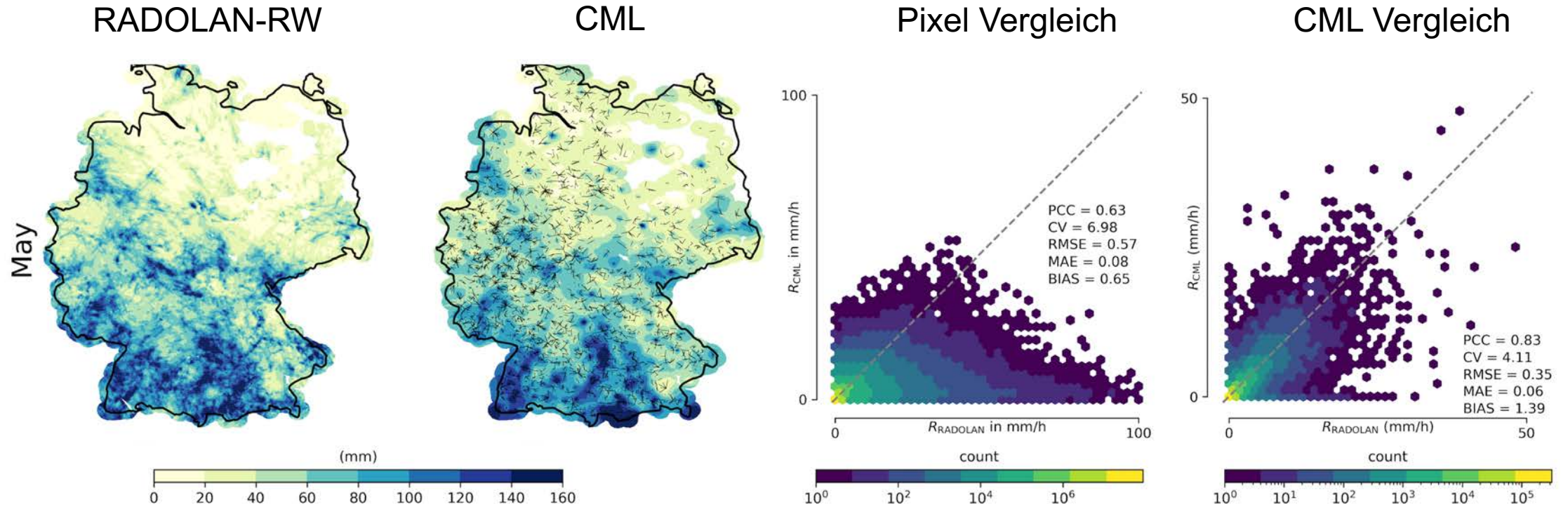


Räumliche Interpolation



CML Niederschlagskarte von 4000 CMLs in Deutschland

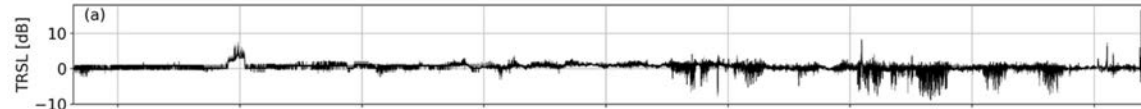
# CML Niederschlagschätzung zeigt gute Übereinstimmung mit RADOLAN-RW



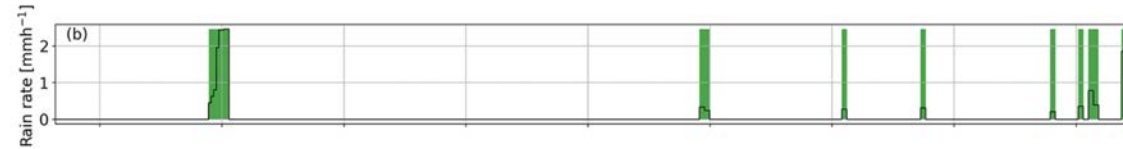
Monatliche Niederschlagssummen basierend auf Stundendaten

# CML Prozessierung – Detektion von Niederschlagsereignissen

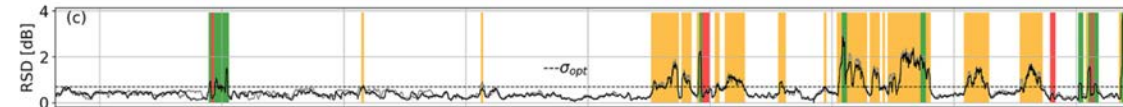
CML raw  
attenuation data



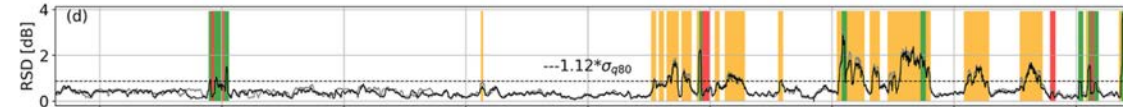
RADOALN-RW



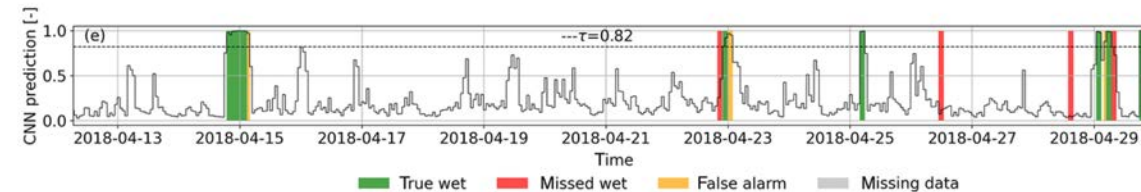
RST method 1



RST method 2



CNN method

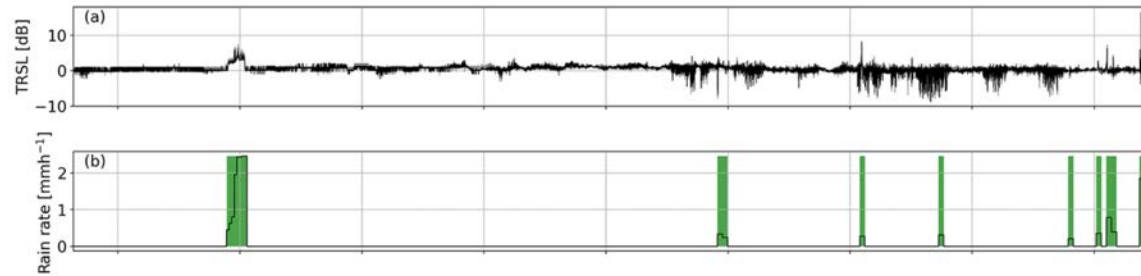


weitere Schritte:

- baseline setzen
- Korrektur der wet antenna attenuation
- Regenrate via k-R Relation berechnen

# CML Prozessierung – Detektion von Niederschlagsereignissen

CML raw  
attenuation data



RADOALN-RW

RST method 1

RST method 2

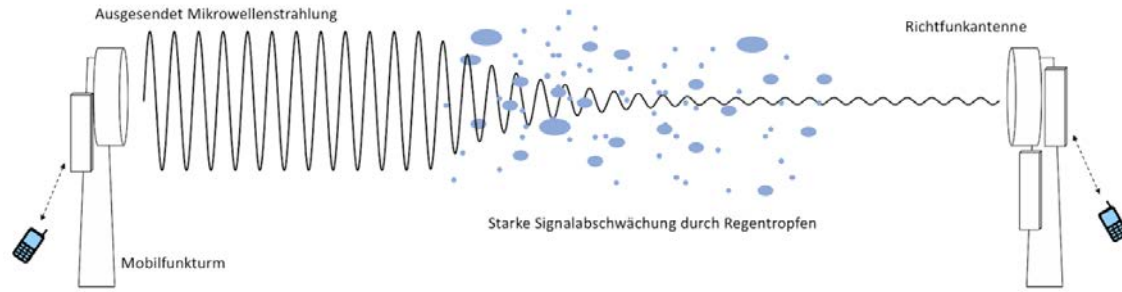
CNN method

weitere Schritte:

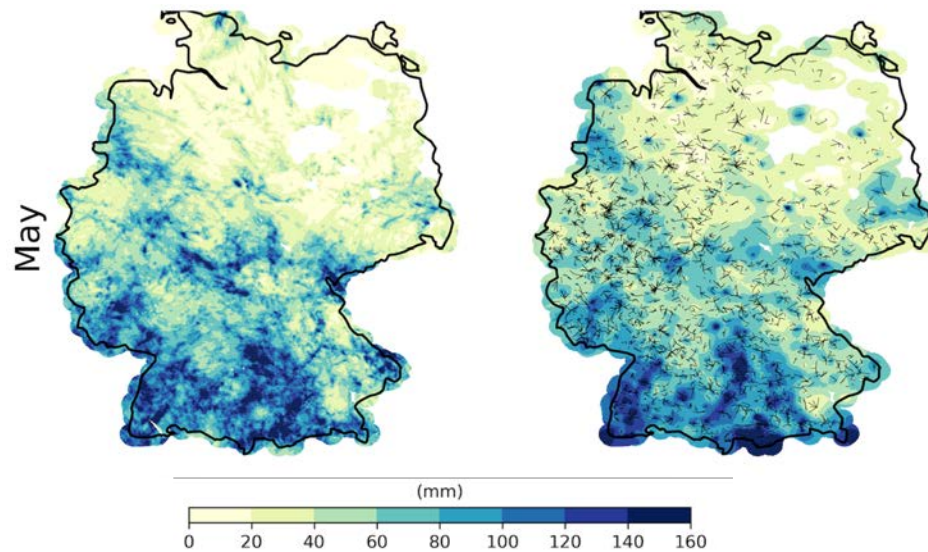
- baseline setzen
- Korrektur der wet antenna attenuation
- Regenrate via k-R Relation berechnen

Chwala et al. 2019, WIRES  
Graf et al. 2020, HESS  
Polz et al. 2020, AMT

# Motivation: CMLs als Ergänzung zu anderen Messungen

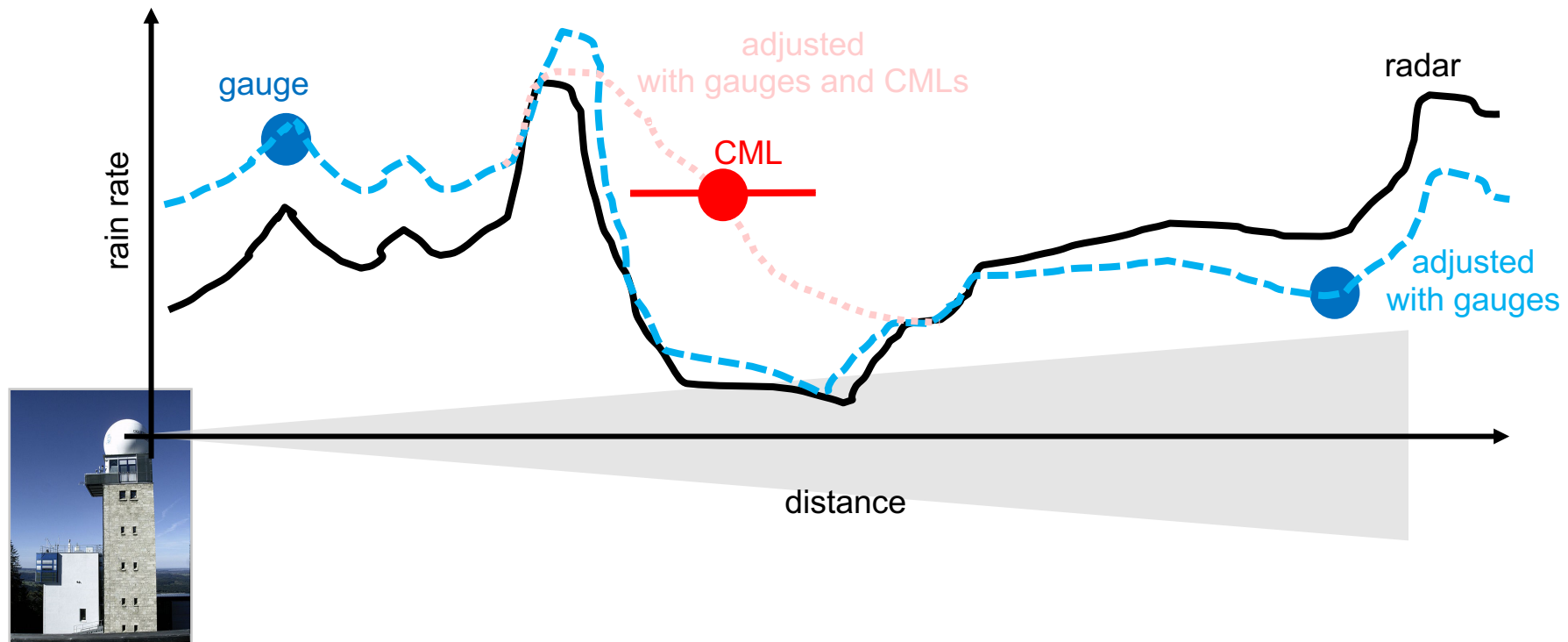


CMLs verbinden einen Großteil der Mobilfunkmasten miteinander



- stand-alone Performance gut
- Gutmütige  $k$ - $R$ -Beziehung
- Linienintegral
- Großes „kostenloses“ Messnetz
- in Echtzeit verfügbar

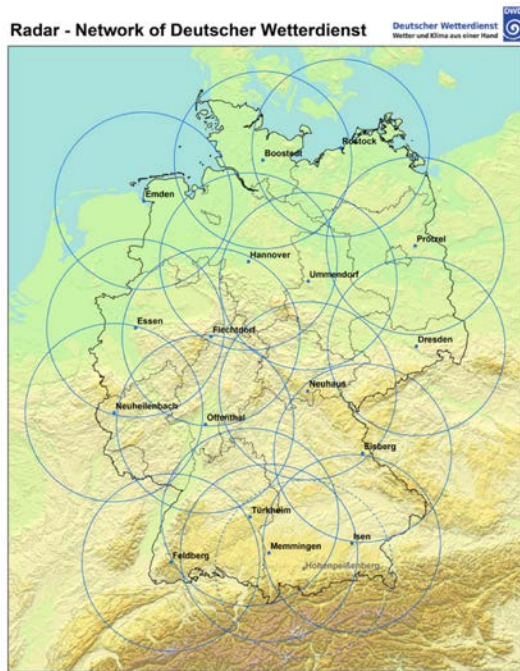
# CMLs als zusätzliche pfad-gemittelte Niederschlagsinformation in der RADOLAN-Aneichung



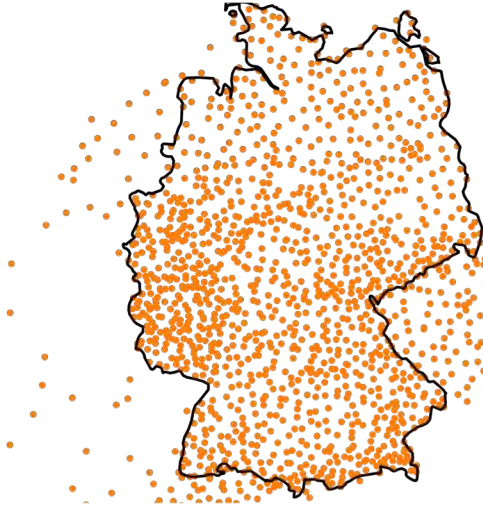


# Datengrundlage

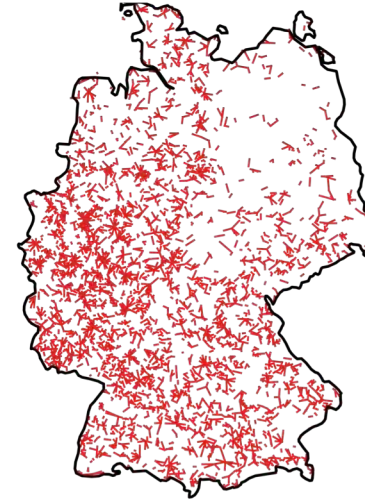
DWD  
Radarverbund



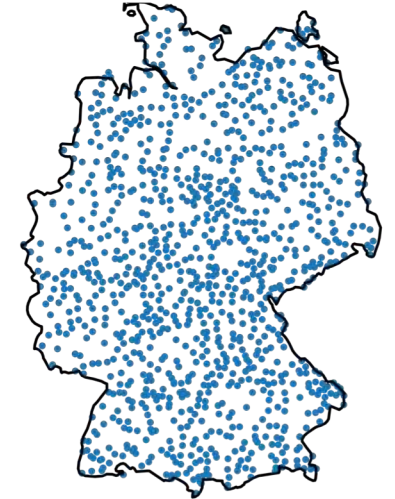
Ca. 1500  
automatische  
Pluviometer



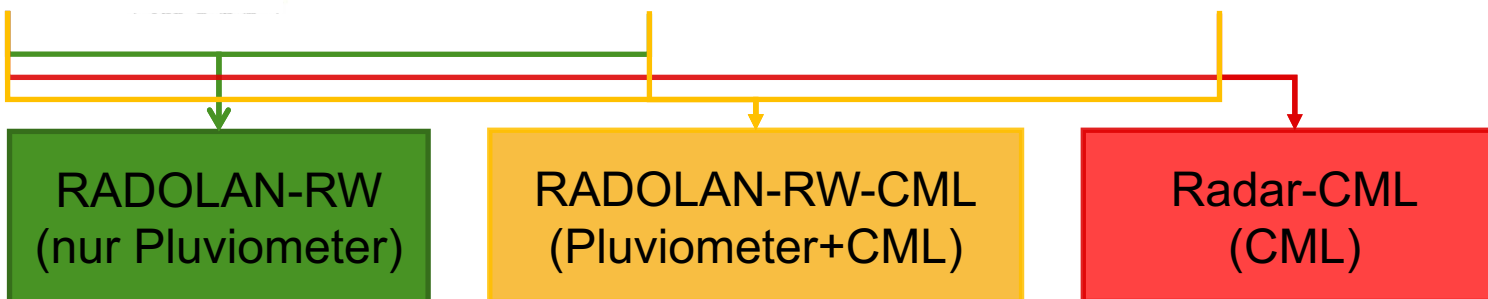
Ca. 4000  
CMLs



Ca. 1000 manuelle  
Pluviometer



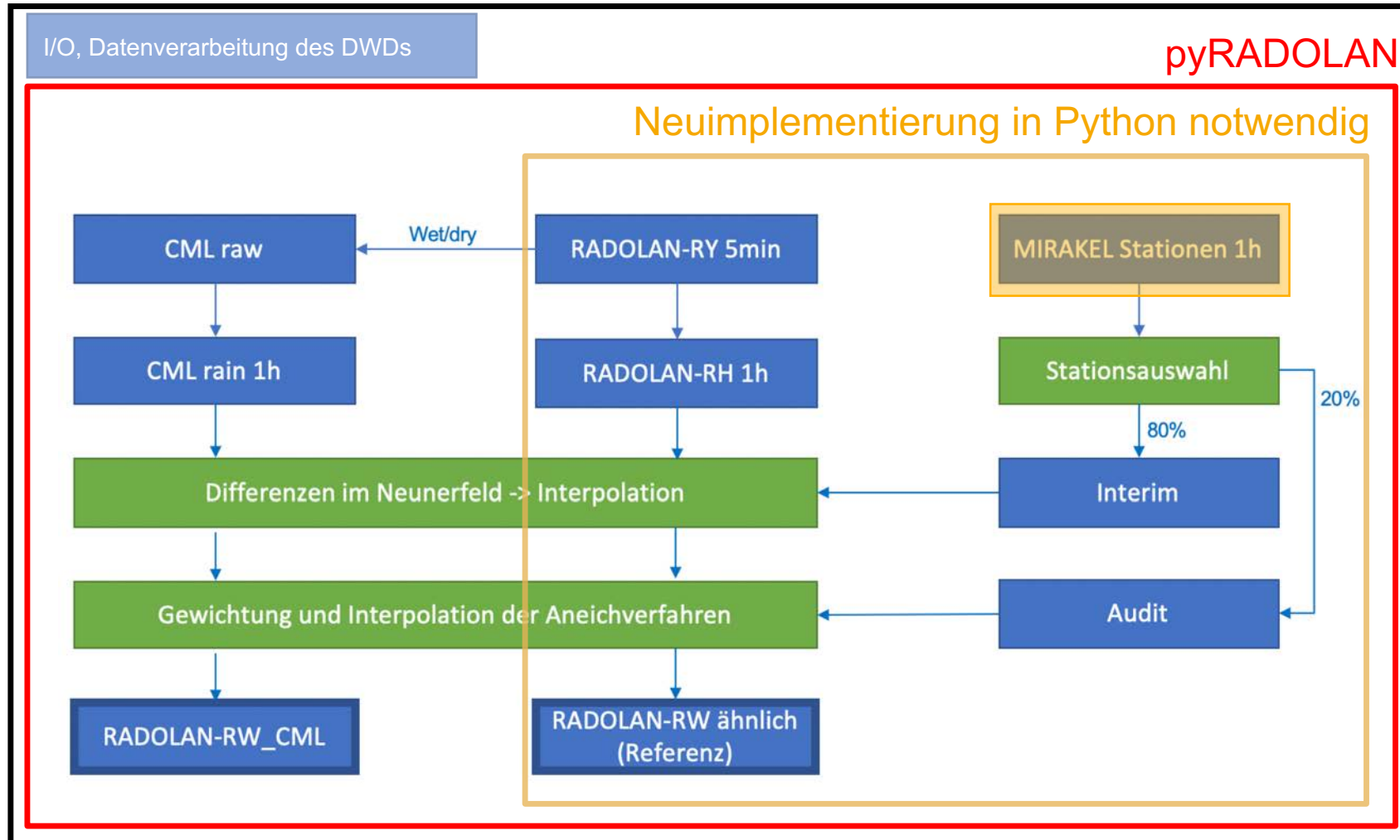
Als unabhängige  
Referenz mit  
Daten auf  
Tagesbasis



# RADOLAN-RW - Nachbau in Python und weitere Entwicklung

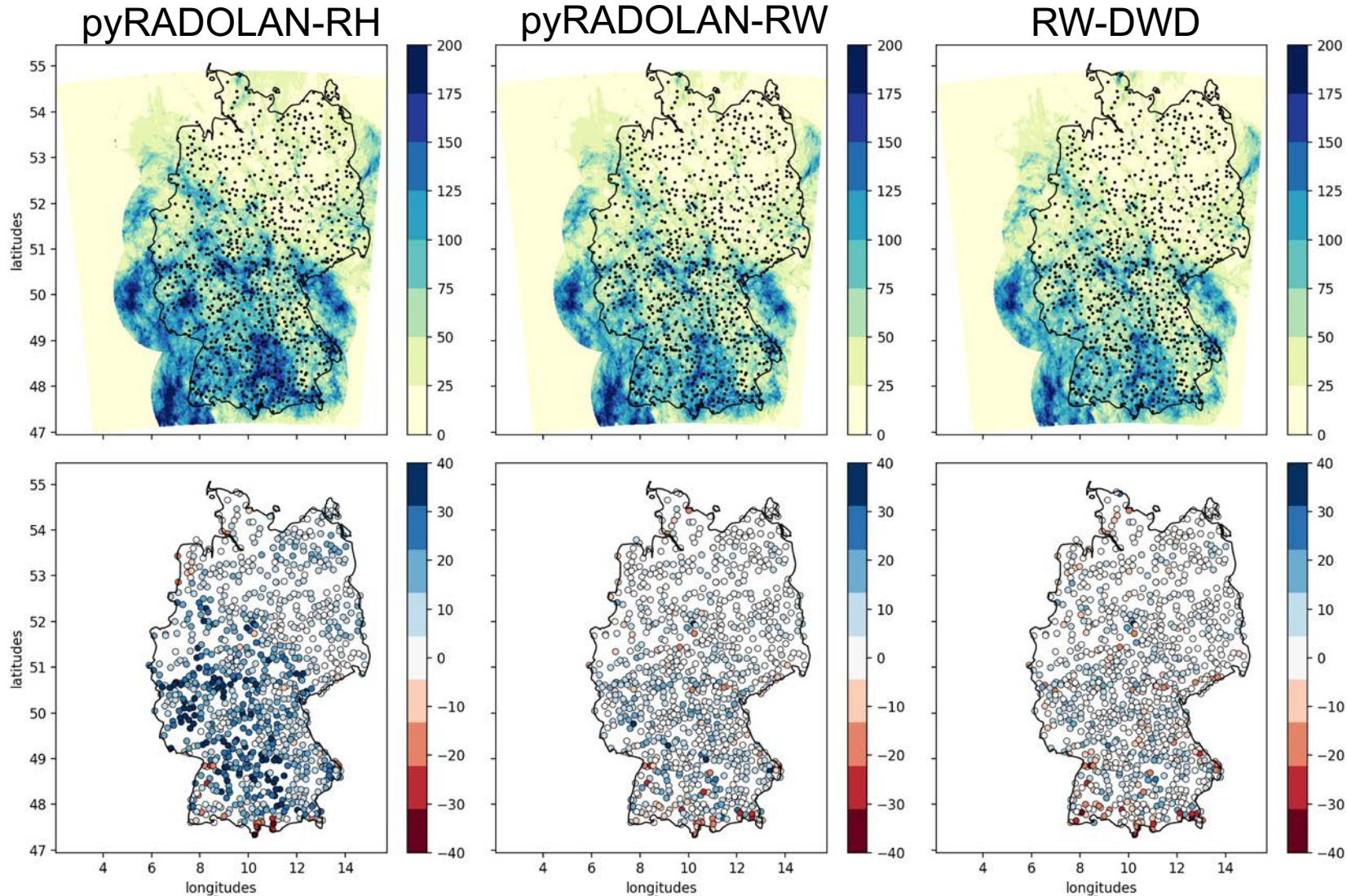
pyRADMAN

pyRADOLAN



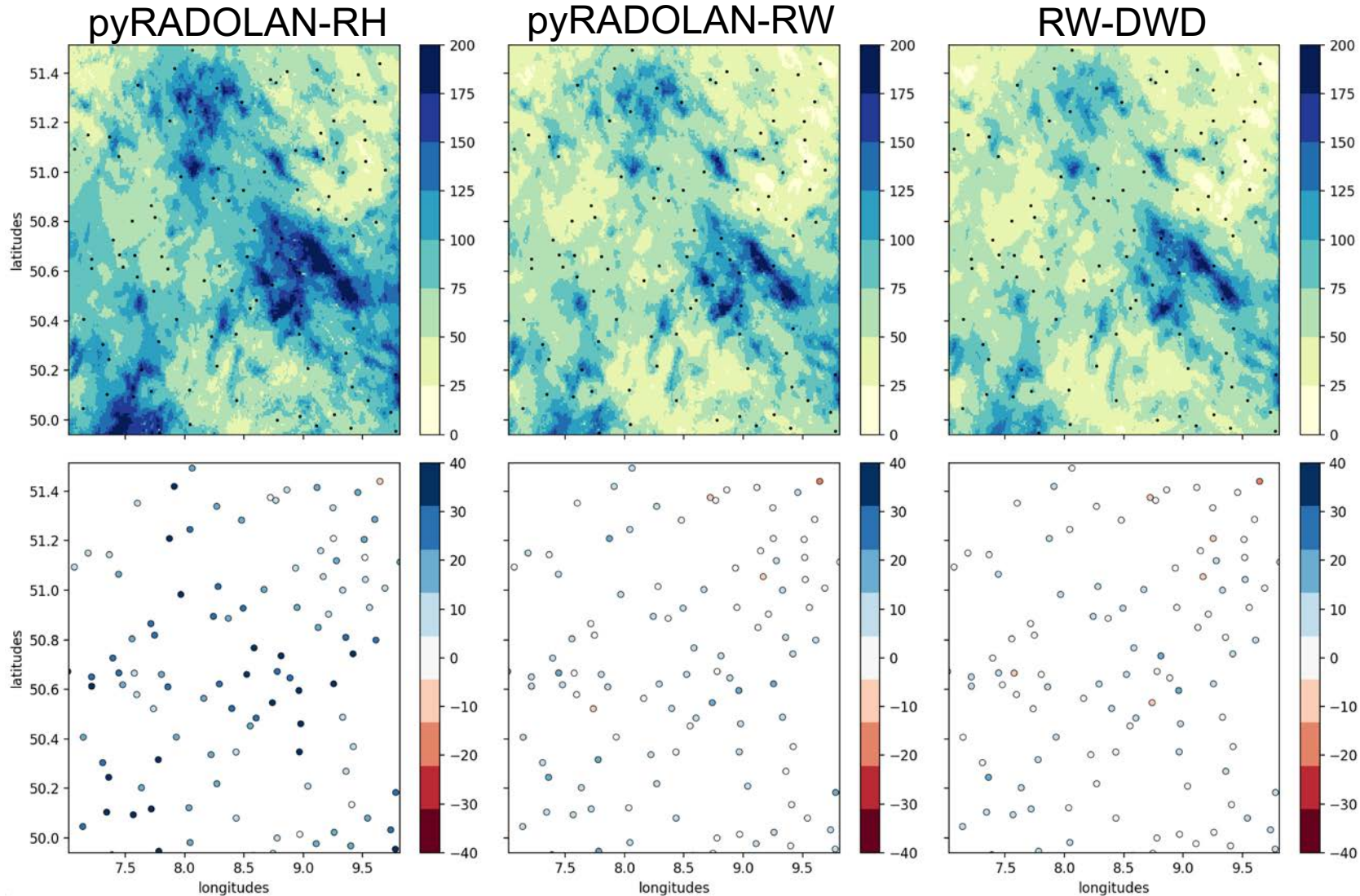
# pyRADOLAN-RW (Nachbau in Python) vs. RW-DWD für Mai 2018

Differenz zu  
manuellen Pluviometern

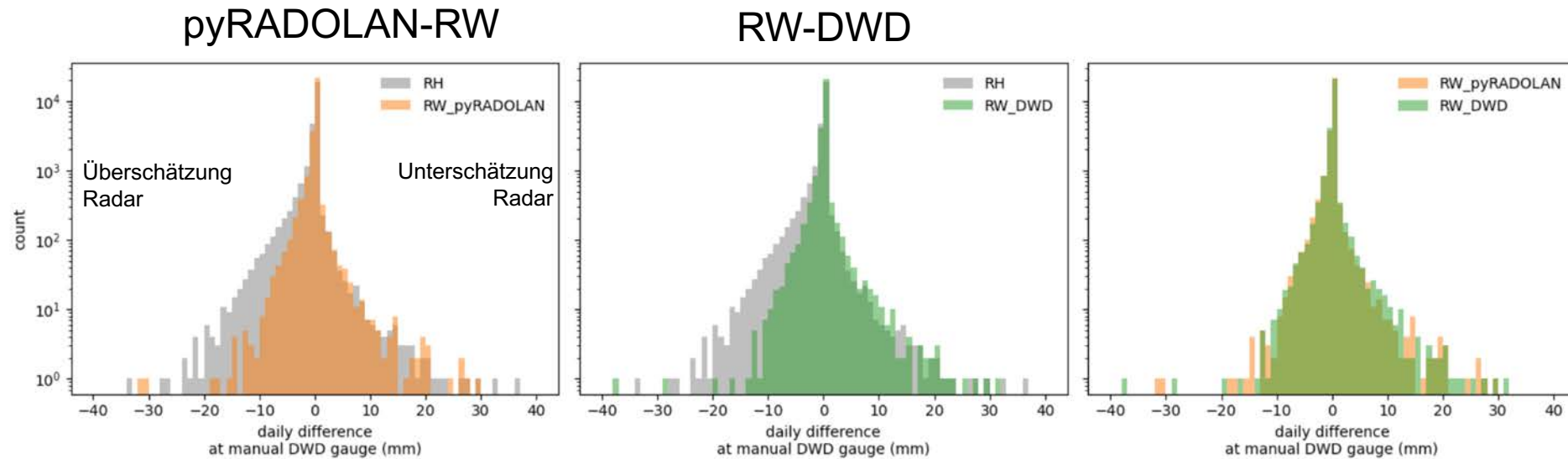


# pyRADOLAN-RW (Nachbau in Python) vs. RW-DWD für Mai 2018

Differenz zu  
manuellen Pluviometern



# RW-pyRADOLAN (Nachbau in Python) vs. RW-DWD für Mai 2018

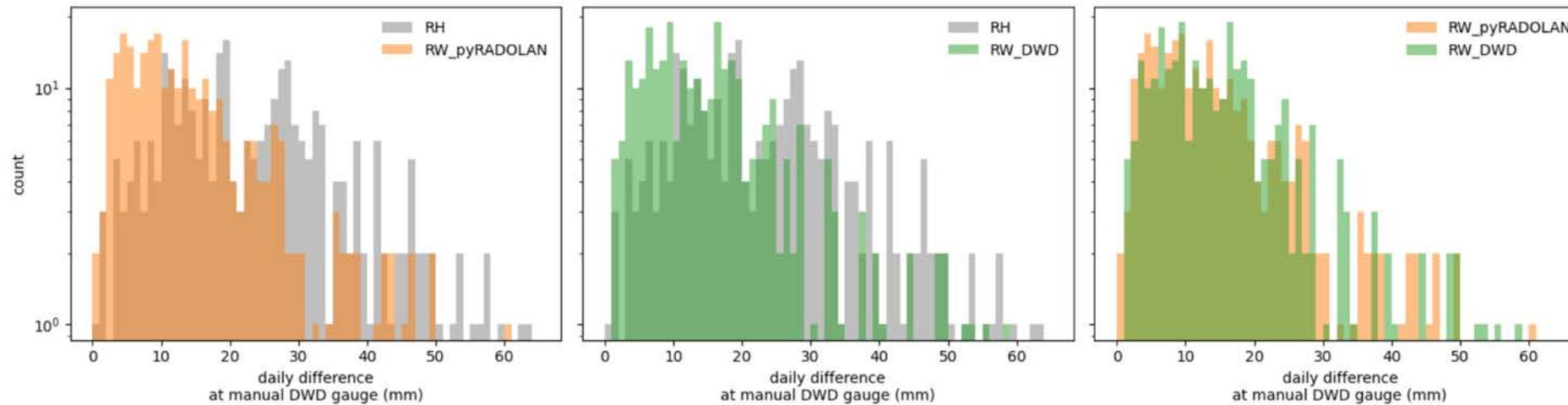


→ hohe Übereinstimmung beider RWs

Differenz zu manuellen 24h Pluviometern

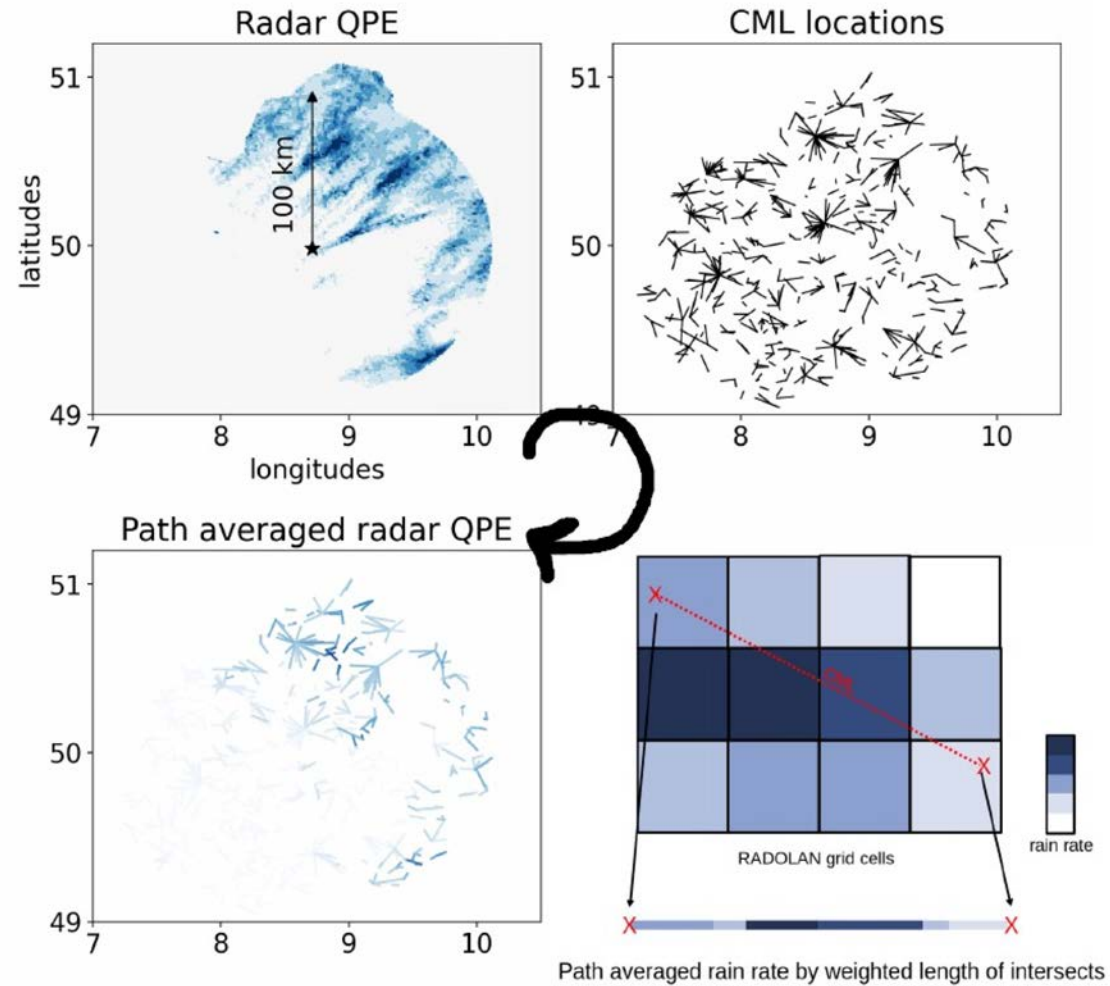
# RW-pyRADOLAN (Nachbau in Python) vs. RW-DWD für Mai 2018

pyRADOLAN: absolute Differenz für Events > 25 mm

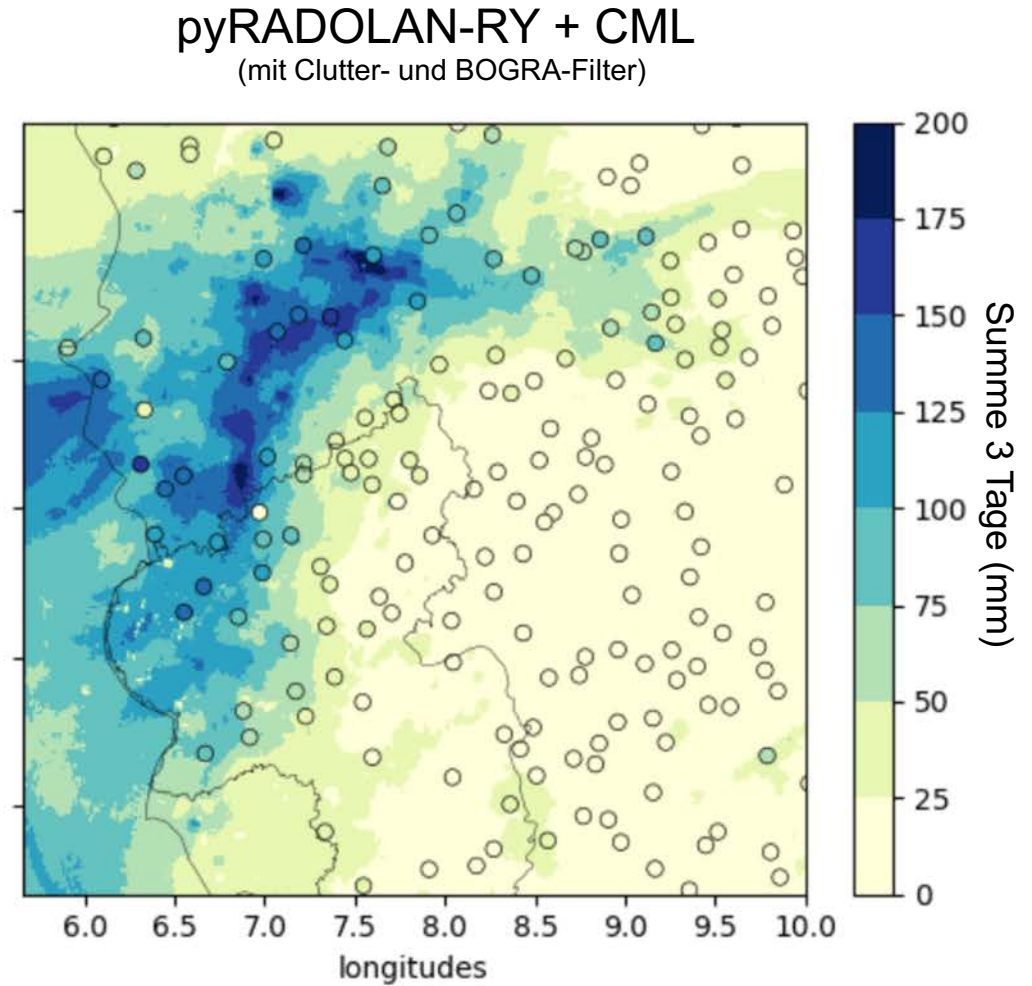
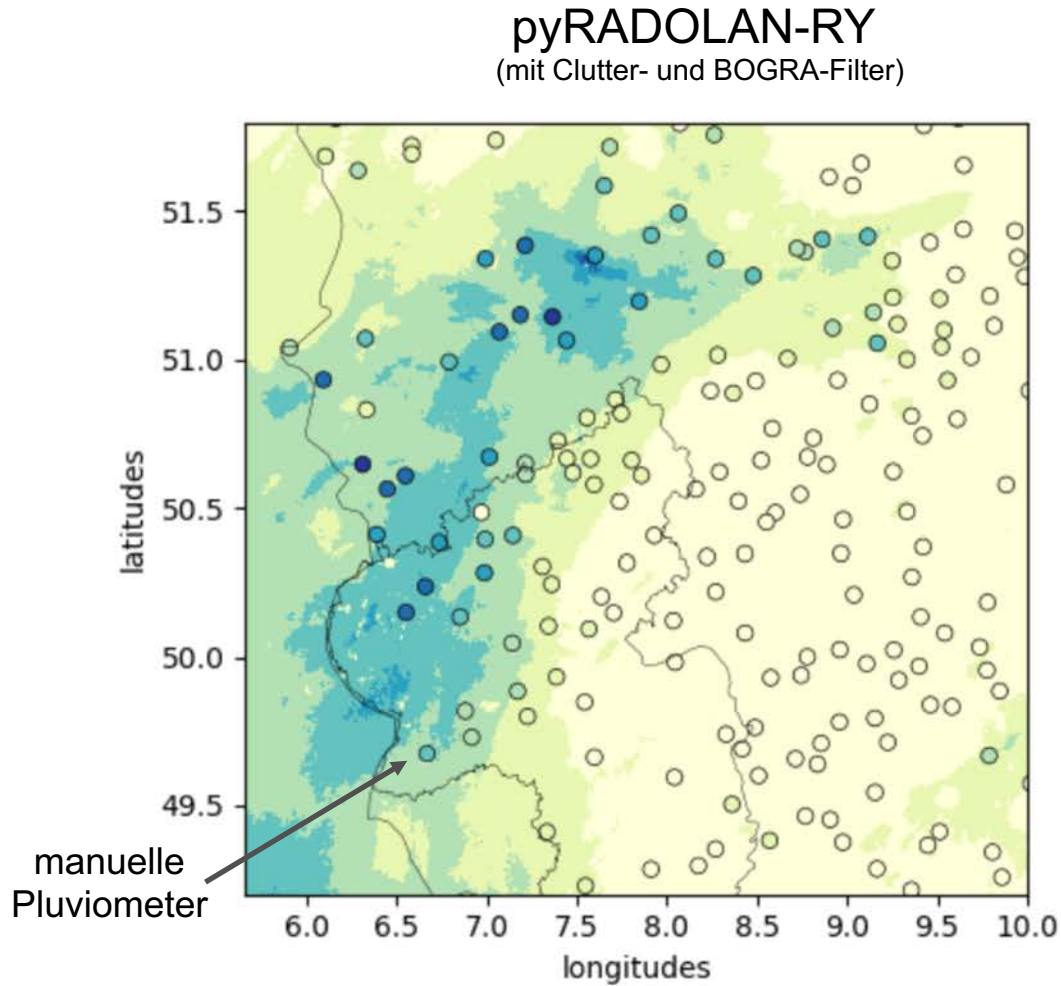


→ Unterschiede durch z.T. durch andere Aneich-Stationen

# Radar-CML Aneichung



# Additive Radar-CML Aneichung Ahrtal-Event (13. - 15. Juli 2021)



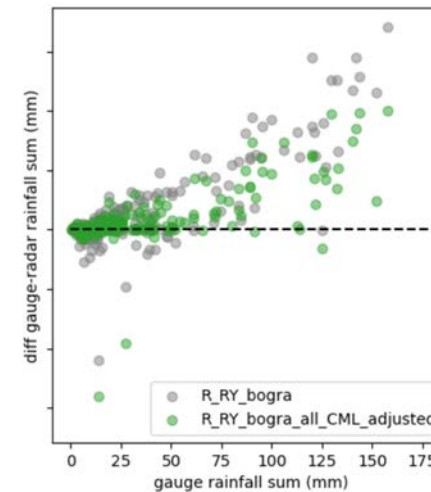
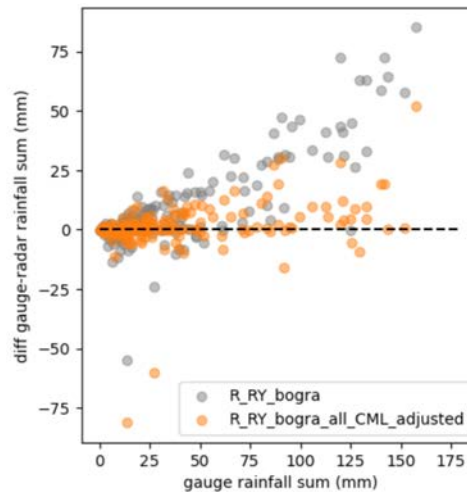
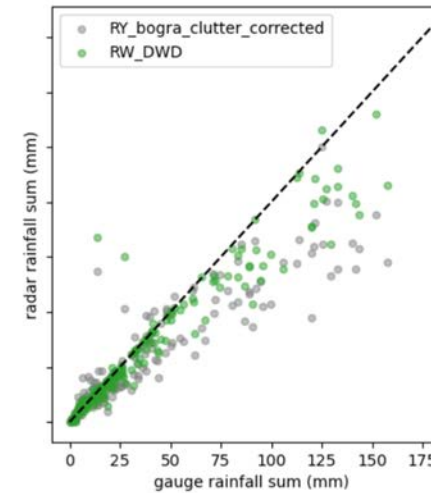
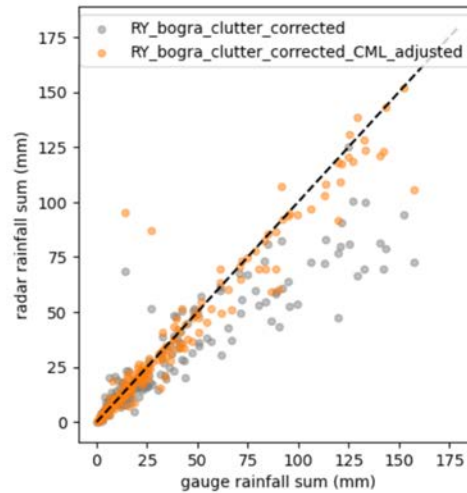


# Additive Radar-CML Aneichung Ahrtal-Event (13. - 15. Juli 2021)

RADOLAN-RY  
(mit Clutter- und BOGRA-Filter)

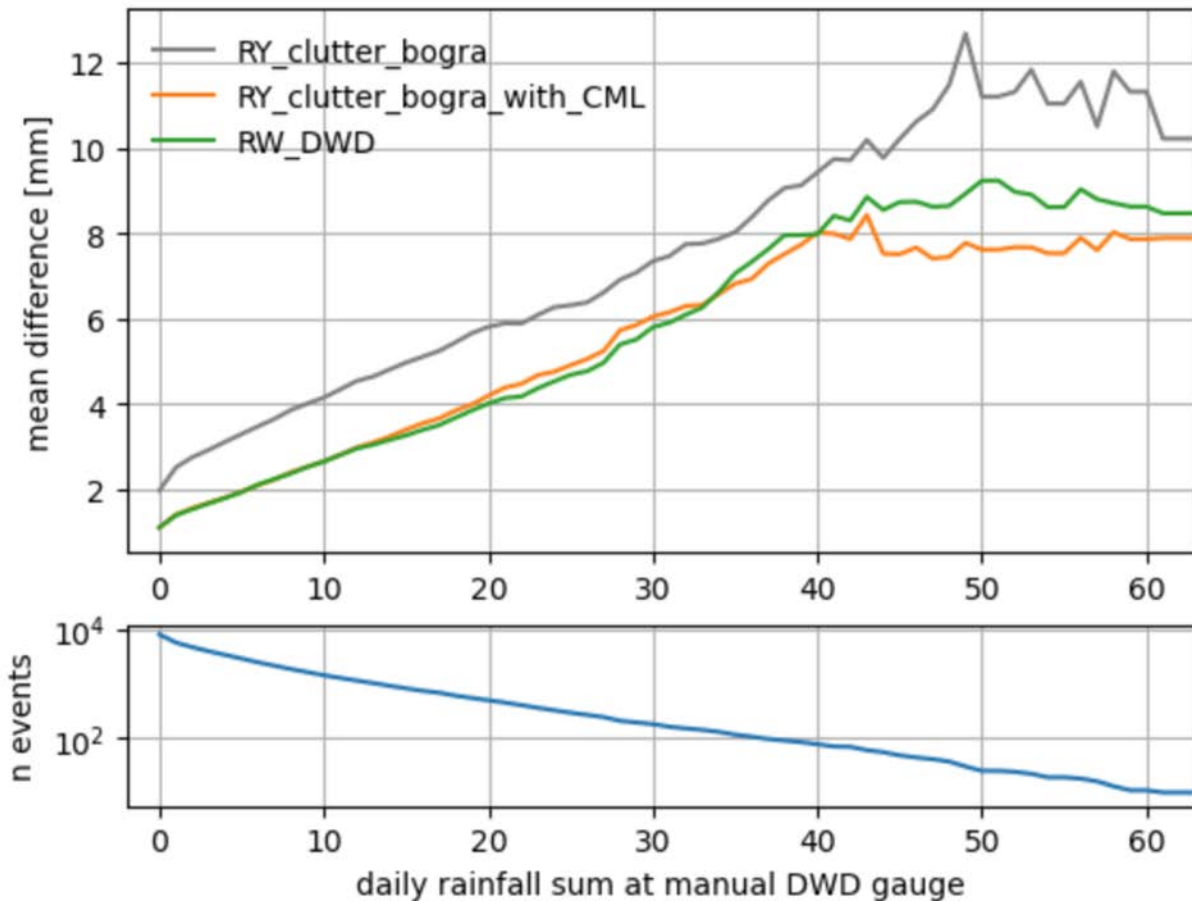
**RADOLAN-RY + CML**  
(mit Clutter- und BOGRA-Filter)

**RADOLAN-RW**  
(Online-Produktion)



# Additive Radar-CML Aneichung für Mai 2018

Differenz zu 24h manuellen Pluviometern über Regensummen

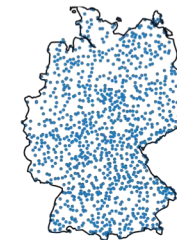


→ RW-ähnliche Verbesserung durch reine CML Aneichung (nur additiv)

CML

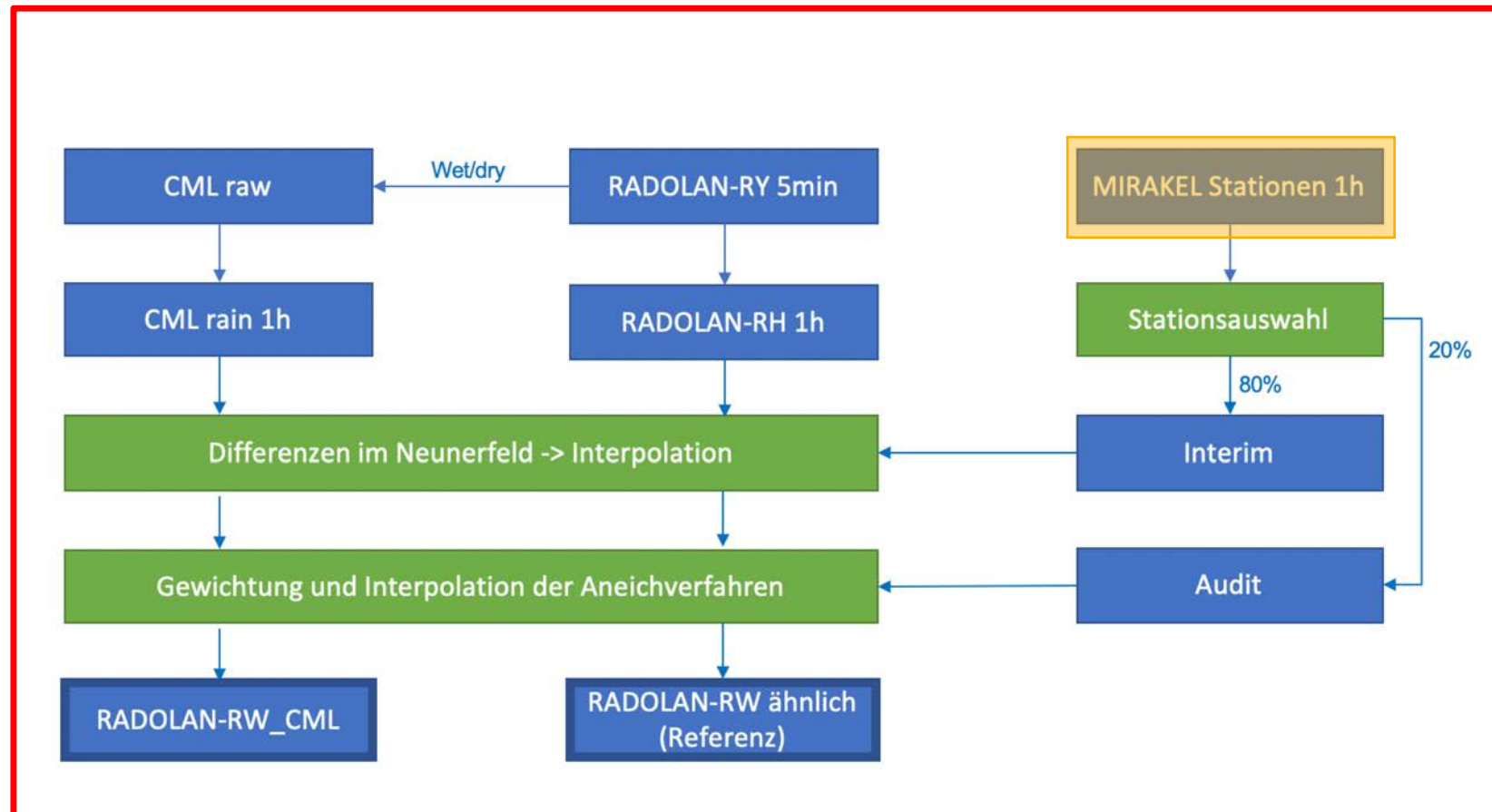


24h Pluvio

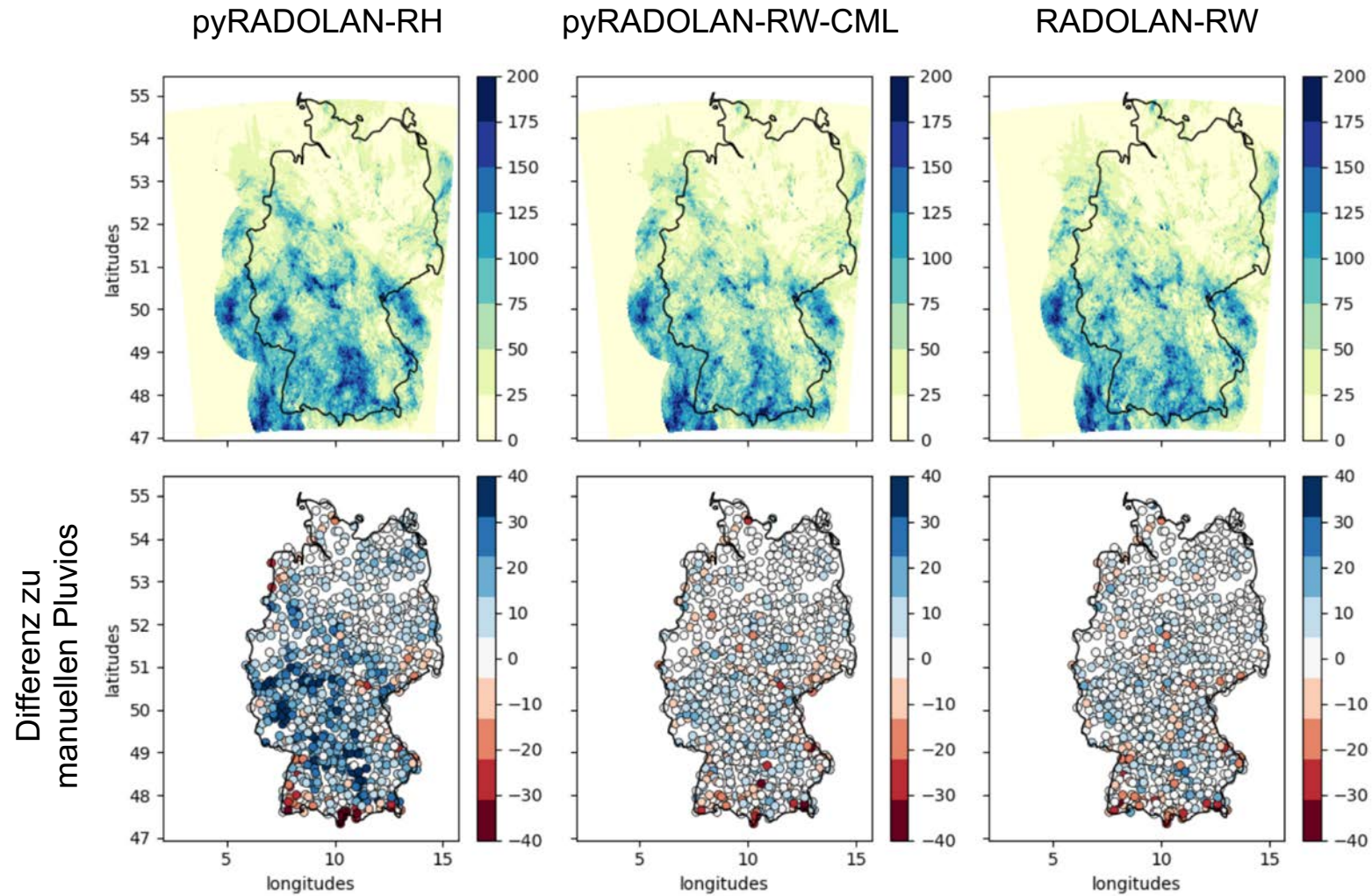


# RADOLAN-RW - Nachbau in Python und weitere Entwicklung

pyRADOLAN

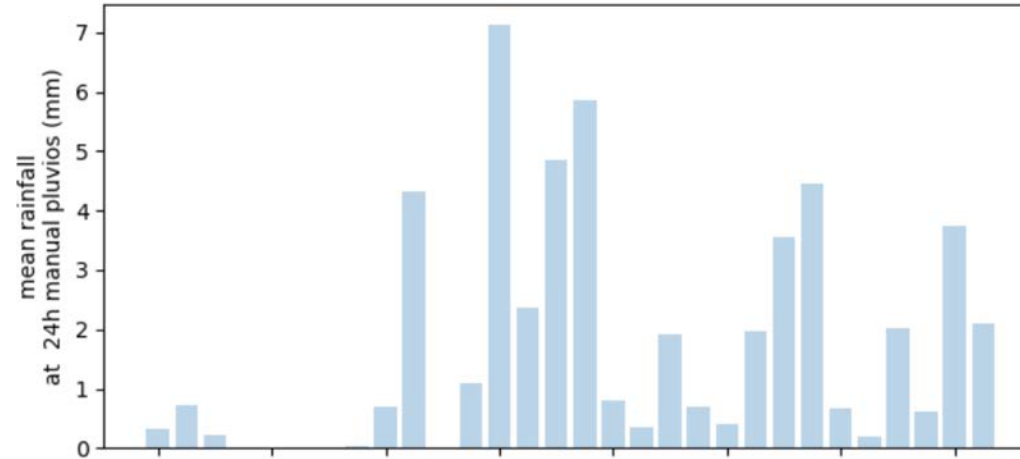


# pyRADOLAN-RW-CML im Mai 2018

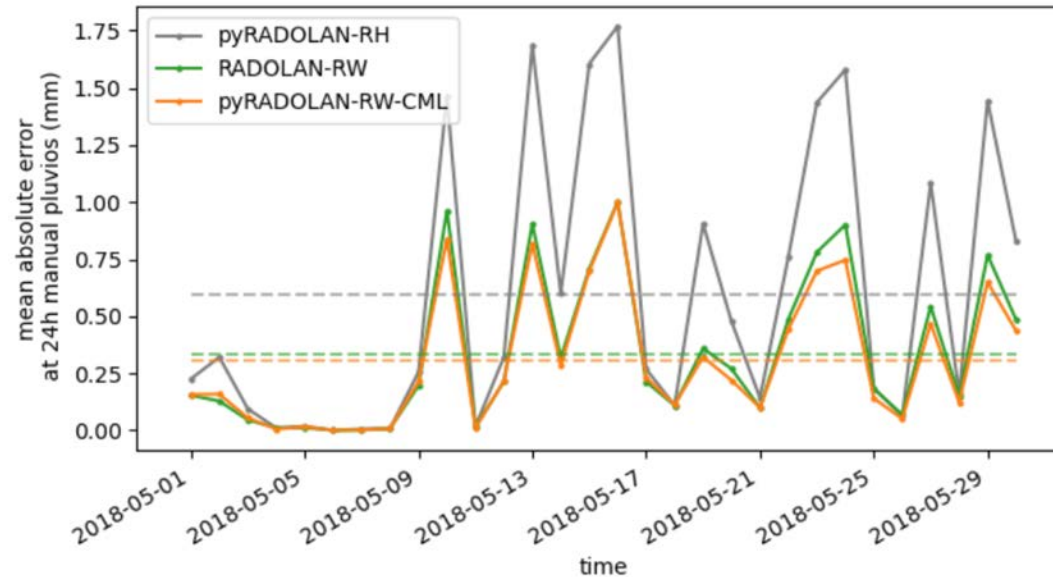


# pyRADOLAN-RW-CML im Mai 2018

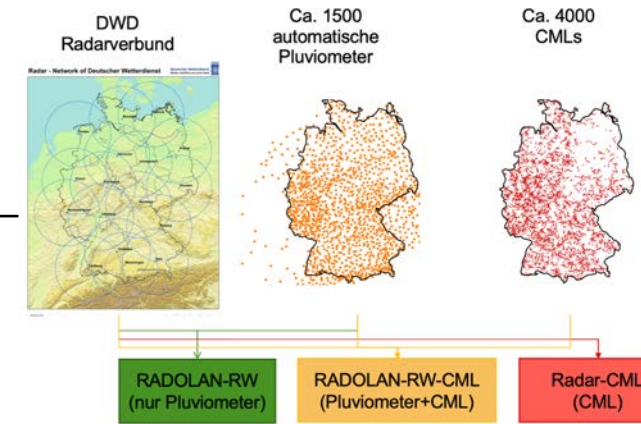
mittlerer Niederschlag  
an 24h manuellen Pluviometern



mittlerer Fehler der  
Radarprodukte



# Zusammenfassung



pyRADOLAN-RW  
(nur Pluviometer)

→ RADOLAN Routine erfolgreich in Python implementiert

Radar-CML  
(CML)

→ Potential der CMLs beispielhaft am Ahrtal-Event

pyRADOLAN-  
RW-CML  
(Pluviometer+CML)

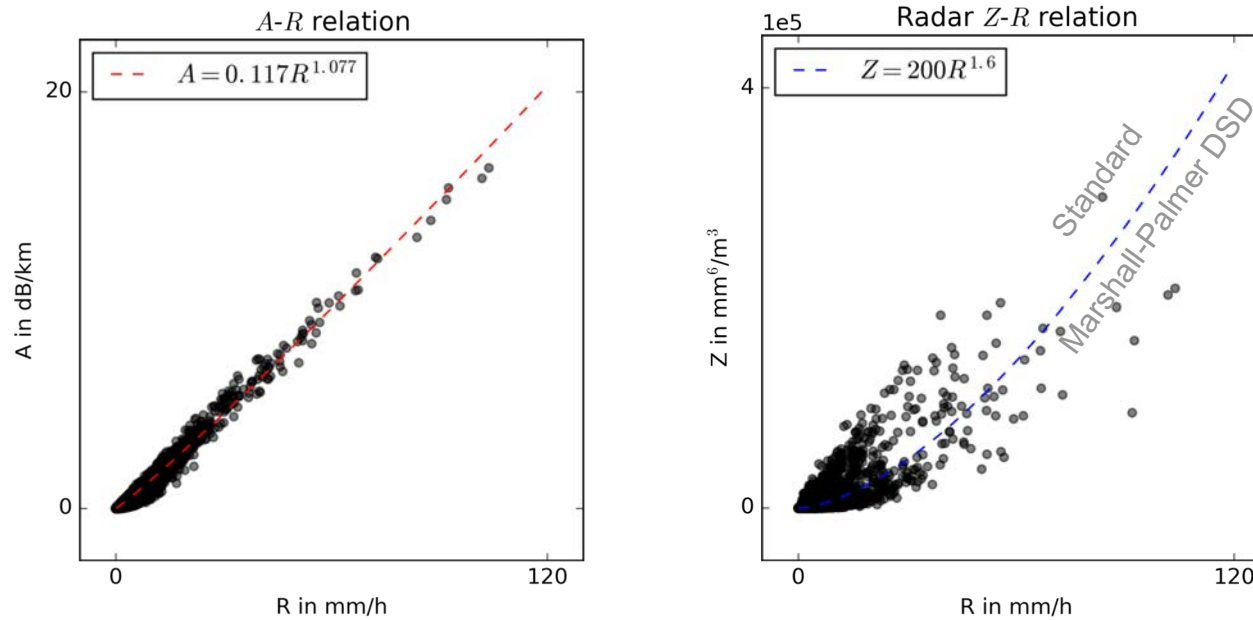
→ erfolgreiche Durchführung der pyRADOLAN Aneichung mit Pluviometern und CMLs  
→ Reduktion des mittleren Fehlers an Referenzstationen

Ausblick:



→ langfristige Analysen  
→ Erweiterung der CML Datenerfassung  
→ flexiblere Aneichung (höhere zeitliche Auflösung, neue Aneichmethoden)  
→ Testbetrieb pyRADOLAN-RW-CML durch DWD als pyRADMAN

# A-R relation



[mm/h]

↓

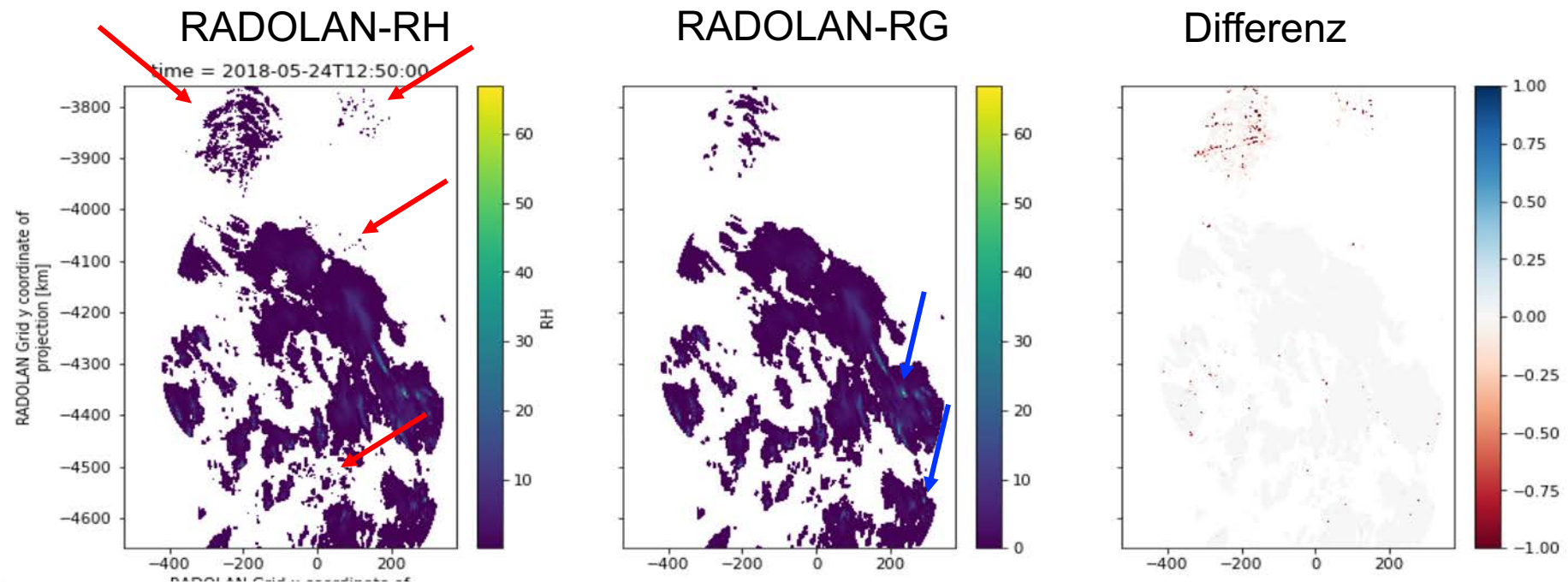
A-R power law:  $A = aR^b$

↑

[dB/km]

# BOGRA Filter

Schnelle Implementierung mit 2D-Convolution Filter





# DWD Radarprodukt-Bezeichnungen (Auszug)

Produkt-kennung	Inhalt	räumliche Auflösung	Ausdehnung	zeitliche Auflösung	Intensitäten	Einheit	Archiv (Beginn)	verfügbar nach	Anwendung	Produkt-Abgabe
<b>RX</b>	Radardaten ohne Korrektur	1 km * 1 km	900 km * 900 km (Deutschland)	5 Minuten	256 Klassen	RVP6-units	ja (23.02.04)	2 Minuten	KONRAD, CellMOS	entgeltfreie Geodaten
<b>WX</b>	qualitätsgeprüfte Radardaten	1 km * 1 km	1100 km * 900 km (Deutschland+)	5 Minuten	256 Klassen	RVP6-units	ja (12.12.12)	2 Minuten	EuRadCom	entgeltfreie Geodaten
<b>RO</b>	Radardaten nach Anwendung der Standard Z-R-Beziehung in Niederschlagshöhen umgerechnet	1 km * 1 km	1100 km * 900 km (Deutschland+)	5 Minuten	nicht-klassifiziert	1/100mm/5 min	ja (01.01.01)	Reanalyse	Radarklima	für amtliche Aufgaben im Rahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes
<b>RZ</b>	Radardaten nach Abschattungskorrektur und nach Anwendung der verfeinerten Z-R-Beziehungen in Niederschlagshöhen umgerechnet	1 km * 1 km	900 km * 900 km (Deutschland) bzw. 1100 km * 900 km (Deutschland+)	5 Minuten	nicht-klassifiziert	1/100mm/5 min	ja (23.02.04 bzw. 01.01.01)	2 Minuten bzw. Reanalyse	Radarwetter, Radarklima	für amtliche Aufgaben im Rahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes
<b>RY</b>	qualitätsgeprüfte Radardaten nach Abschattungskorrektur und nach Anwendung der verfeinerten Z-R-Beziehungen in Niederschlagshöhen umgerechnet	1 km * 1 km	900 km * 900 km (Deutschland) bzw. 1100 km * 900 km (Deutschland+)	5 Minuten	nicht-klassifiziert	1/100mm/5 min	ja (24.04.06 bzw. 01.01.01)	2 Minuten bzw. Reanalyse	COSMO-DE, quantitatives RADAR-Nowcasting, AutoWARN, Radarklima	entgeltfreie Geodaten
<b>YW</b>	quasi-angeeichte Radardaten auf der Basis der RY-, RH- und RW-Produkte)	1 km * 1 km	900 km * 900 km (Deutschland) bzw. 1100 km * 900 km (Deutschland+)	5 Minuten	nicht-klassifiziert	1/100mm/5 min	ja (13.04.21 bzw. 01.01.01)	25 - 30 Minuten bzw. Reanalyse	HVZ	für amtliche Aufgaben im Rahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes
<b>ZW</b>	quasi-angeeichte Radardaten auf der Basis der RY-, RH- und RW-Produkte)	1 km * 1 km	900 km * 900 km (Deutschland)	10 Minuten	nicht-klassifiziert	1/100mm/10 min	ja (13.04.21)	25 - 30 Minuten	HVZ	für amtliche Aufgaben im Rahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes
<b>RH</b>	(qualitätsgeprüfte) Radardaten nach Abschattungskorrektur und nach Anwendung der verfeinerten Z-R-Beziehungen in Niederschlagshöhen umgerechnet und auf eine Stunde aufsummiert <sup>2</sup>	1 km * 1 km	900 km * 900 km (Deutschland) bzw. 1100 km * 900 km (Deutschland+)	60 Minuten; verfügbar alle 5 Minuten (nicht bei der Reanalyse)	nicht-klassifiziert	1/10 mm/h	ja (27.04.04 bzw. 01.01.01)	5 Minuten bzw. Reanalyse	Warnwesen, AutoWARN, Radarklima	für amtliche Aufgaben im Rahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes