Erstellung einer radargestützten Niederschlagsklimatologie

(Volltitel: Erstellung einer dekadischen radargestützten hoch-auflösenden Niederschlagsklimatologie für Deutschland zur Auswertung der rezenten Änderung des Extremverhaltens von Niederschlag)

Ein Projekt der Strategischen Behördenallianz „Anpassung an den Klimawandel“ von UBA, THW, BBK, BBSR und DWD

Projektleiterin:

Dr. Tanja Winterrath
Deutscher Wetterdienst

Bearbeiter/in:
Christoph Brendel, Anna Schmitt
Deutscher Wetterdienst

3. Zwischenbericht

Projektlaufzeit: 01. Juni 2014 – 31. August 2016

Berichtszeitraum: 01. August 2015 – 15. November 2015

Datum: 13.11.2015

3. Zwischenbericht

Absender (Zuwendungsempfänger)

Name:	Dr. Tanja Winterrath
Straße:	Frankfurter Straße 135
Ort:	63067 Offenbach am Main
Tel.:	069/80622978
E-Mail:	Tanja.Winterrath@dwd.de

Projekt / Thema:	Erstellung einer dekadischen radargestützten hoch-auflösenden Niederschlagsklimatologie für Deutschland zur Auswertung der rezenten Änderung des Extremverhaltens von Niederschlag
Bearbeiter im BBSR	Dr. Fabian Dosch
Bearbeiterin im BBK	Susanne Krings
Bearbeiter im UBA	Dr. Achim Daschkeit
Bearbeiter im THW	Tobias Nothhelfer
Laufzeit	27 Monate; von 06/2014 – 08/2016

© 2015, Deutscher Wetterdienst

Inhaltsverzeichnis

1 Arbeitspakete und Ablauf des Projektes (Projektskizze) 4
2 Durchgeführte Arbeitsschritte und erreichte Ziele 5
a. Modul2: Komplette Re-Analyse ab 2001 5
b. Modul3: Nutzerberatungs-Modul 15
3 Vergleich des Projektstandes mit dem verbindlichen Arbeits-, Zeit- und Finanzierungsplan 18
4 Wichtige Ergebnisse und andere wesentliche Ereignisse des Berichtszeitraums 18
5 Zusammenfassung 19
6 Publikationen 19

1 Arbeitspakete und Ablauf des Projektes (Projektskizze)

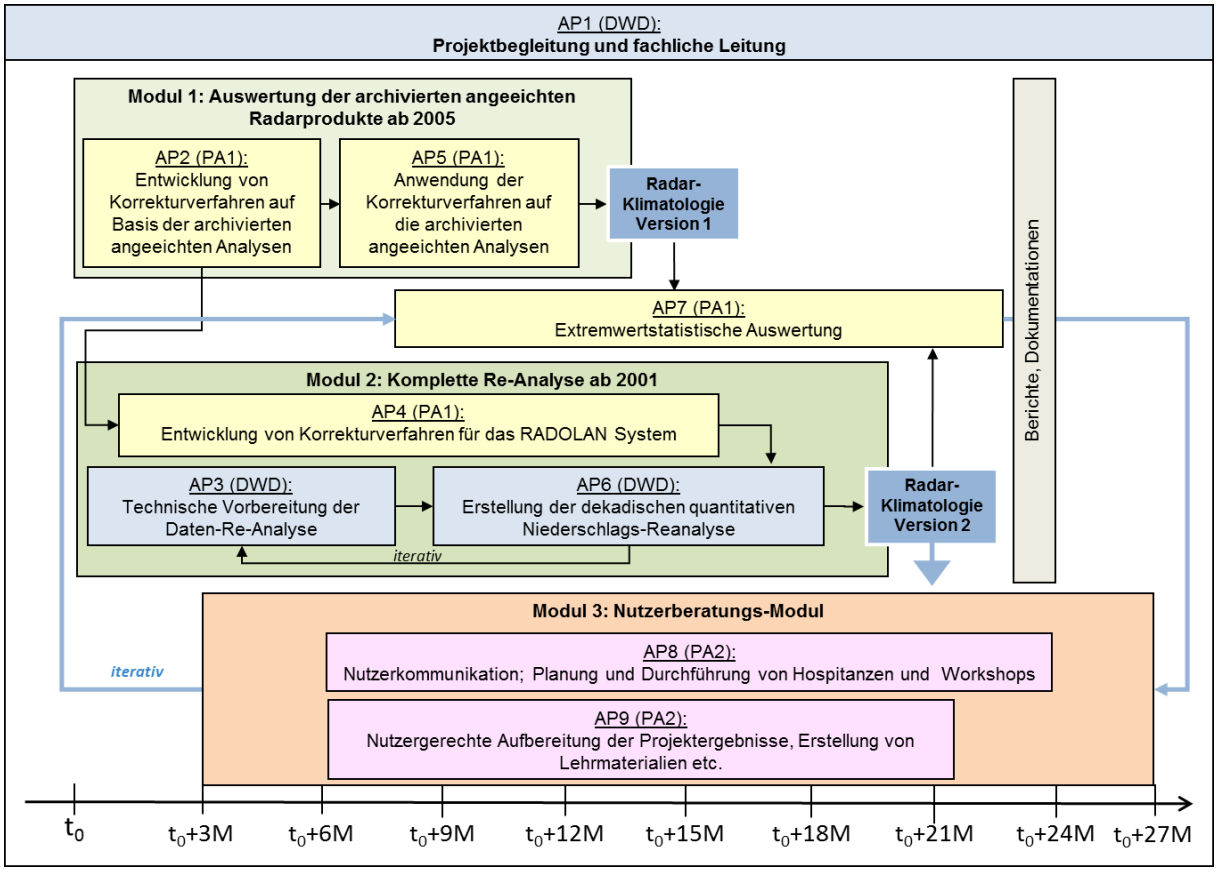

Abb. 1: Projektplan des Projekts „Radarklimatologie“

Im Rahmen des Projekts mit einer Laufzeit von 27 Monaten werden insgesamt, wie in der vorstehenden Abbildung 1 dargestellt, neun Arbeitspakete in drei Modulen bearbeitet. Die im Rahmen des Berichtszeitraums des vorliegenden dritten Zwischenberichts schwerpunktmäßig bearbeiteten Arbeitspakete sind die folgenden:

AP1: Projektbegleitung und fachliche Leitung

Modul2: Komplette Re-Analyse ab 2001:

AP3: Technische Vorbereitung der Daten-Re-Analyse
AP4: Entwicklung von Korrekturverfahren für das RADOLAN-System

AP7: Extremwertstatistische Auswertung

Modul3: Nutzerberatungs-Modul:

AP8: Nutzerkommunikation; Planung und Durchführung von Hospitanzen und Workshops
AP9: Nutzergerechte Aufbereitung der Projektergebnisse, Erstellung von Lehrmaterialien etc.

 © 2015, Deutscher Wetterdienst

2 Durchgeführte Arbeitsschritte und erreichte Ziele

a. Modul2: Komplette Re-Analyse ab 2001

AP3: Technische Vorbereitung der Daten-Re-Analyse

POLARA

Das POLARA-Softwarepaket wurde im Zuge der Umrüstung des DWD-Radarmessnetzes auf Dual-Pol-Technik entwickelt und wird derzeit für den operationellen Einsatz in der Echtzeitproduktgenerierung weiterentwickelt und getestet. Perspektivisch ist eine Verwendung der POLARA-Algorithmen notwendig, um auch in der Radarklimatologie von den zusätzlichen Informationen aus der Dual-Pol-Technik zu profitieren. Die Anwendung des Programmpakets im klimatologischen Modus erfordert umfangreiche Anpassungen und Optimierungen, die derzeit umgesetzt werden. Aufgrund der parallelen Bearbeitung der 17 Radarstandorte ist darüber hinaus ein deutlicher Aufwuchs der verfügbaren IT-Ressourcen notwendig, um eine Verwendung des Systems zu ermöglichen. Da die technischen Umsetzungen noch nicht abgeschlossen sind, werden die Entwicklungen im Rahmen der Radarklimatologie derart umgesetzt, dass eine Einbindung sowohl direkt in RADOLAN als auch perspektivisch in POLARA möglich sein wird.

Auswerteprogramme

Im Rahmen des Projekts wurden umfangreiche Auswerteprogramme für die Anwendung auf die Zeitreihen der Radarklimatologie entwickelt. Um die Laufzeit der Programme zu reduzieren, wurde das Rechencluster inklusive vorgeschalteter Jobsteuerung erweitert, so dass neben der Reprozessierungsroutine auch die Auswerteprogramme parallel abgearbeitet werden können.

AP4: Entwicklung von Korrekturverfahren für das RADOLAN-System

Behandlung latenter Negativ-Speichen

Im zweiten Zwischenbericht wurden bereits die Problematik der Negativ-Speichen und der manuelle Lösungsansatz auf der Basis von Jacobi (2014, s. Abb. 3) vorgestellt. Aufgrund der Vielzahl an auftretenden Negativ-Speichen ist es notwendig ein automatisiertes Verfahren zur Detektion der einzelnen Speichen zu entwickeln, da mit einer manuellen Identifizierung jeder einzelnen Speiche ein nicht zu vertretender zeitlicher Aufwand verbunden wäre.

Um Negativ-Speichen automatisiert zu detektieren, wird methodisch auf das Prinzip der Einhüllenden (Hüllkurve, engl. Enveloppe) zurückgegriffen (Abb. 3h, rot). Die Einhüllende wird für einen Zentralwert des Signalverlaufs (Median über 30-100km Entfernung vom Radarstandort) entlang des Azimuts (1-360°) bestimmt und soll den „wahren“, unbeeinträchtigten Signalverlauf der Radarmessung wiedergeben.

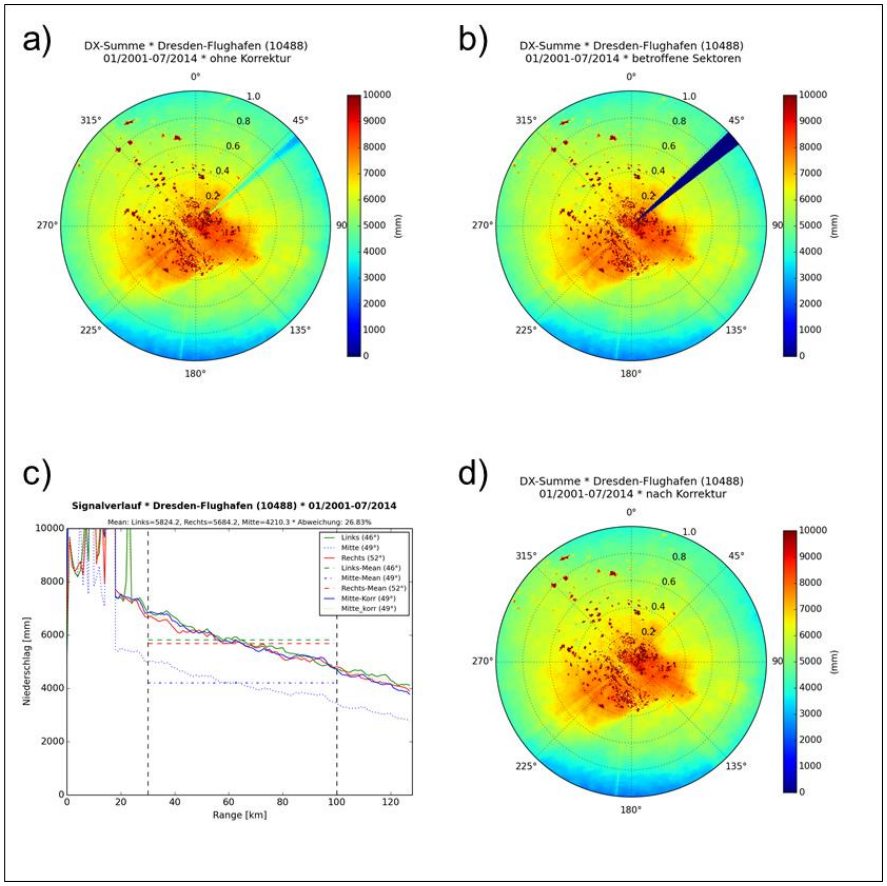

Abb. 2: Korrektur einer Negativspeiche nach JACOBI et al. (2014) am Beispiel des Radars Dresden.

Für dieses Vorgehen wird angenommen, dass abrupte und signifikante Signalverluste nicht natürlichen Ursprungs sind und durch eine Abschattung des Radarstrahls verursacht werden. Da sich der Signalverlauf bei allen lokalen Radarstandorten sehr asymmetrisch und „willkürlich“ verhält und dadurch durch keine einfache Funktion beschrieben werden kann, wurde ein alternatives Verfahren entwickelt, das geeignete Stützpunkte für eine spätere Interpolation der Einhüllenden identifiziert.

Abbildung 3 zeigt dieses Verfahren am Beispiel des Radarstandortes Hamburg. Als Ausgangsbasis für die Stützstellen der Einhüllenden dienen entlang des Signalverlaufs auftretende lokale Maxima (Abb. 3a rot), da von ihnen angenommen wird, dass sie von Abschattungseffekten und Signalverlusten weitestgehend unbeeinträchtigt sind. Aus Abb. 3a wird jedoch bereits ersichtlich, dass diese Annahme nicht auf alle lokalen Maxima zutrifft. So treten einzelne dieser lokalen Maxima auch innerhalb von klar erkennbaren größeren Negativ-Speichen auf. Diese weisen jedoch gegenüber ihren benachbarten Stützpunkten einen starken Signalverlust auf und werden so anschließend über einen iterativen Prozess identifiziert und verworfen (Abb. 3b-f).

Der iterative Prozess startet in Abb. 3b mit einer weiteren Untergliederung der in Abb. 3a ausgewählten Datenbasis. Um zu überprüfen welche Stützstellen verworfen werden müssen, wird diese Datenbasis in lokale Maxima (rot) und Minima (blau) unterteilt, wobei die lokalen Minima potentiell zu verwerfende Stützpunkte darstellen (Abb. 3b). Die restlichen Stützpunkte der in Abb. 3a ausgewählten Datenbasis finden zunächst keine Berücksichtigung.

 © 2015, Deutscher Wetterdienst

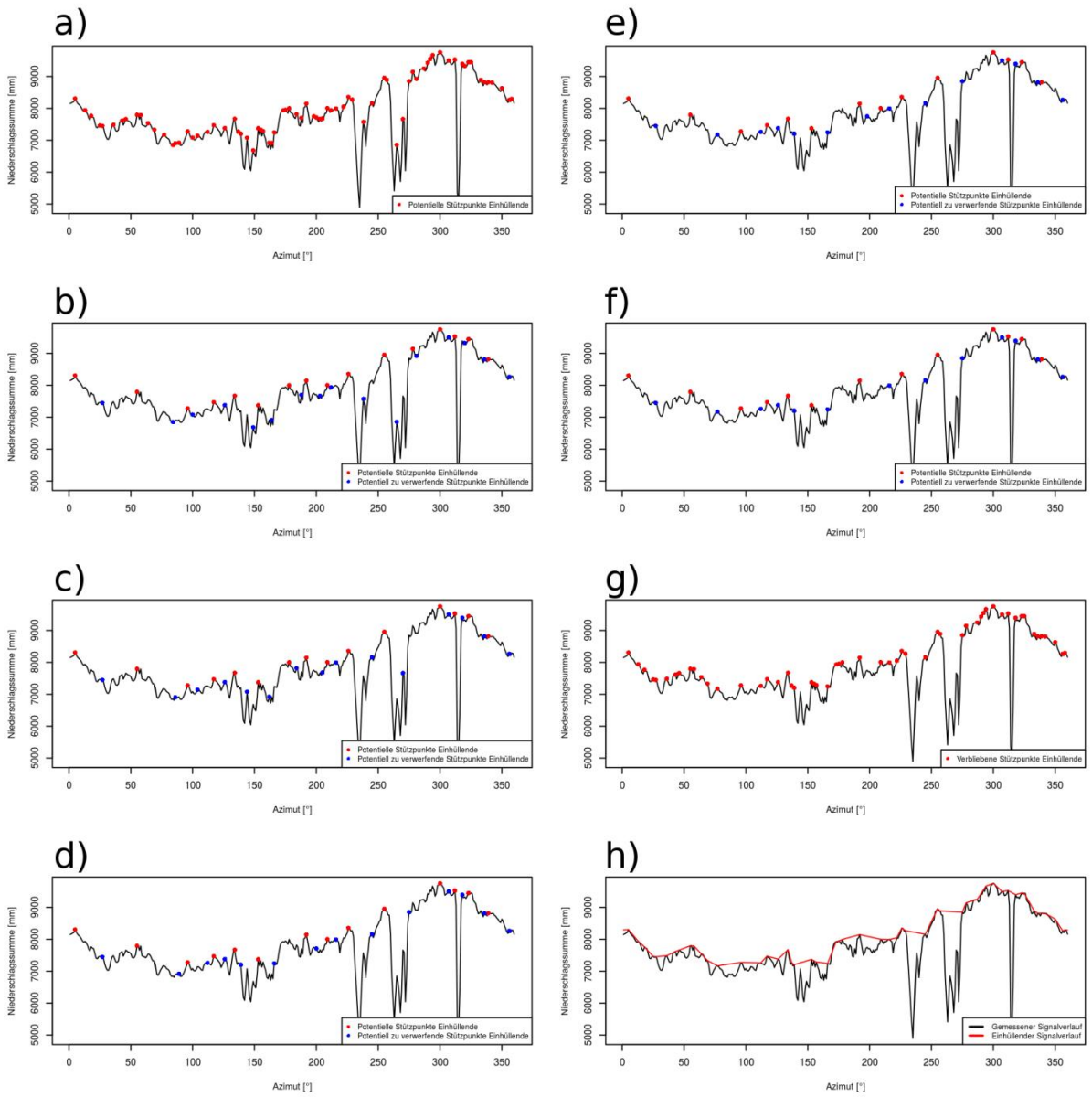

Abb. 3: Bestimmung der Einhüllenden zur automatischen Eliminierung der Speichen; Erläuterungen im Text.

Als nächstes wird nun eine Bedingung vorgegeben, die definiert ob sich eine Stützstelle innerhalb einer Negativ-Speiche befindet. In dem hier gezeigten Beispiel durfte der mittlere Signalverlust pro einem Grad Azimut eines lokalen Minimums zu seinen beiden benachbarten lokalen Maxima jeweils nicht mehr als 0,2% betragen. War dies nicht der Fall, so wurde diese Stützstelle in der Ausgangsdatenbasis aus Abb. 3a verworfen.

Der beschriebene Prozess wiederholt sich nun so oft, bis sich keine Stützstellen mehr über die weiter oben definierte Bedingung identifizieren lassen. Die Ausgangsdatenbasis aus Abb. 3a wird hierdurch sukzessive reduziert und besteht schließlich nur noch aus den Stützstellen über die die Einhüllende interpoliert werden soll (Abb. 3g u. Abb. 3h).

Über die Differenz zwischen dem gemessenen Signalverlauf und der Einhüllenden können nun anschließend Korrekturfaktoren bestimmt werden. An dieser Stelle besteht die Möglichkeit entweder nur einzelne markante Negativ-Speichen oder, wie für die Zwischenergebnisse in diesem Bericht gezeigt, den kompletten Signalverlauf zu korrigieren.

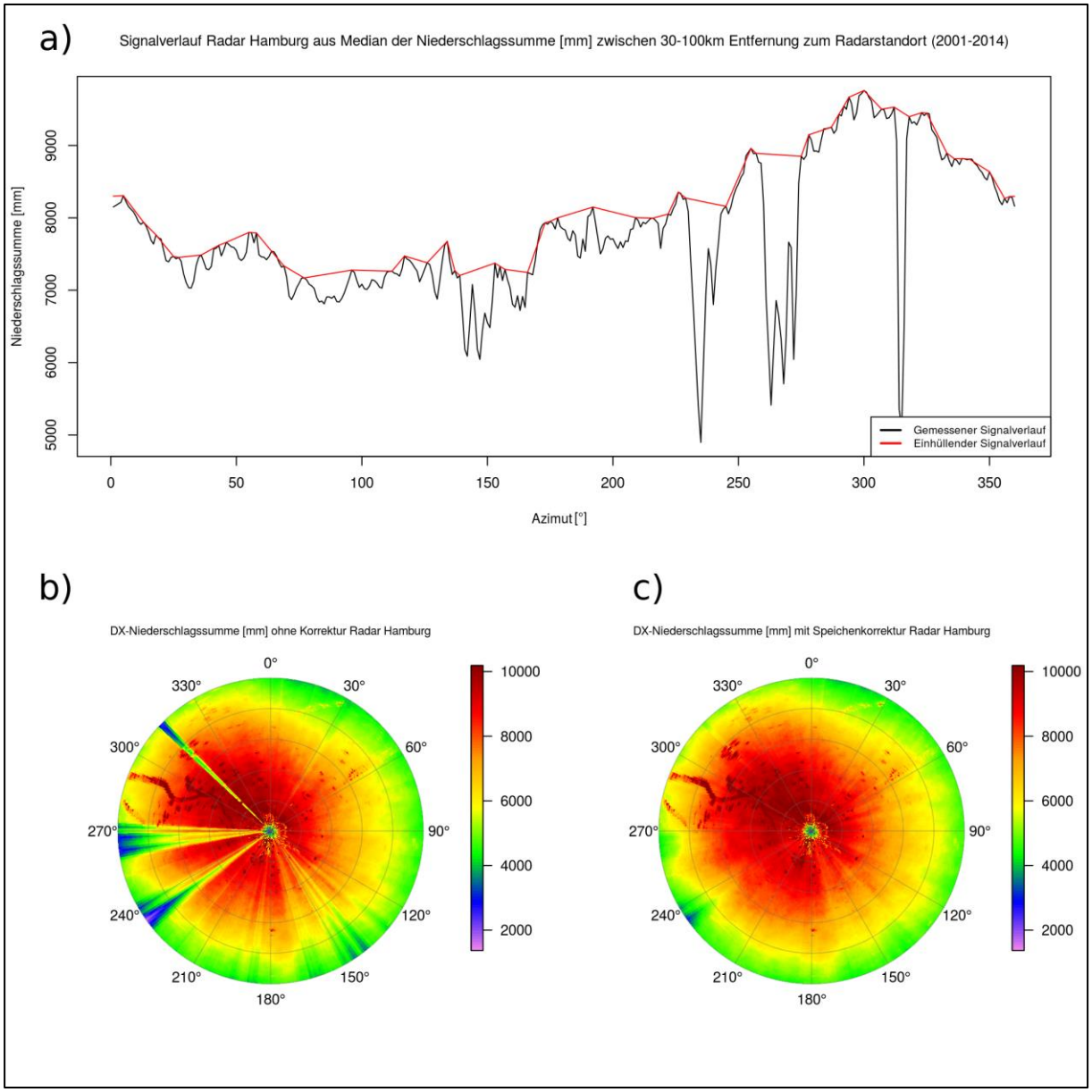

Abb. 4: Automatisches Korrekturverfahren von Negativ-Speichen für den Radarstandort Hamburg (2001-2014), a) Signalverlauf entlang des Azimuts, b) Niederschlagssumme ohne Korrektur, c) Niederschlagssumme mit Korrektur der Negativ-Speichen

Dies wurde für die Radarstandorte Hamburg (Abb. 4) und Berlin (Abb. 5) beispielhaft durchgeführt, da vor allem diese Standorte eine hohe Anzahl an latenten Negativ-Speichen aufweisen und sich eine automatisierte Detektion dieser Speichen hier bestens eignet. Der Radarstandort Hamburg zeigt nicht nur einzelne markante Negativ-Speichen, wie zum Beispiel bei 320°, sondern auch größere Bereiche, bei denen es innerhalb einer Signalreduktion noch zu vereinzelt stärkerem Abfall des Radarsignals kommt (250-270°) (Abb. 4a u. Abb. 4b). Beide Fälle lassen sich durch die Einhüllende sehr gut korrigieren (Abb. 4c). Auch für den Standort Berlin zeigt sich insgesamt eine sehr gute Korrektur der Negativ-Speichen (Abb. 5c). Nur sehr markante Speichen sind nach Anwendung des Korrekturverfahrens noch vereinzelt schwach sichtbar.

 © 2015, Deutscher Wetterdienst

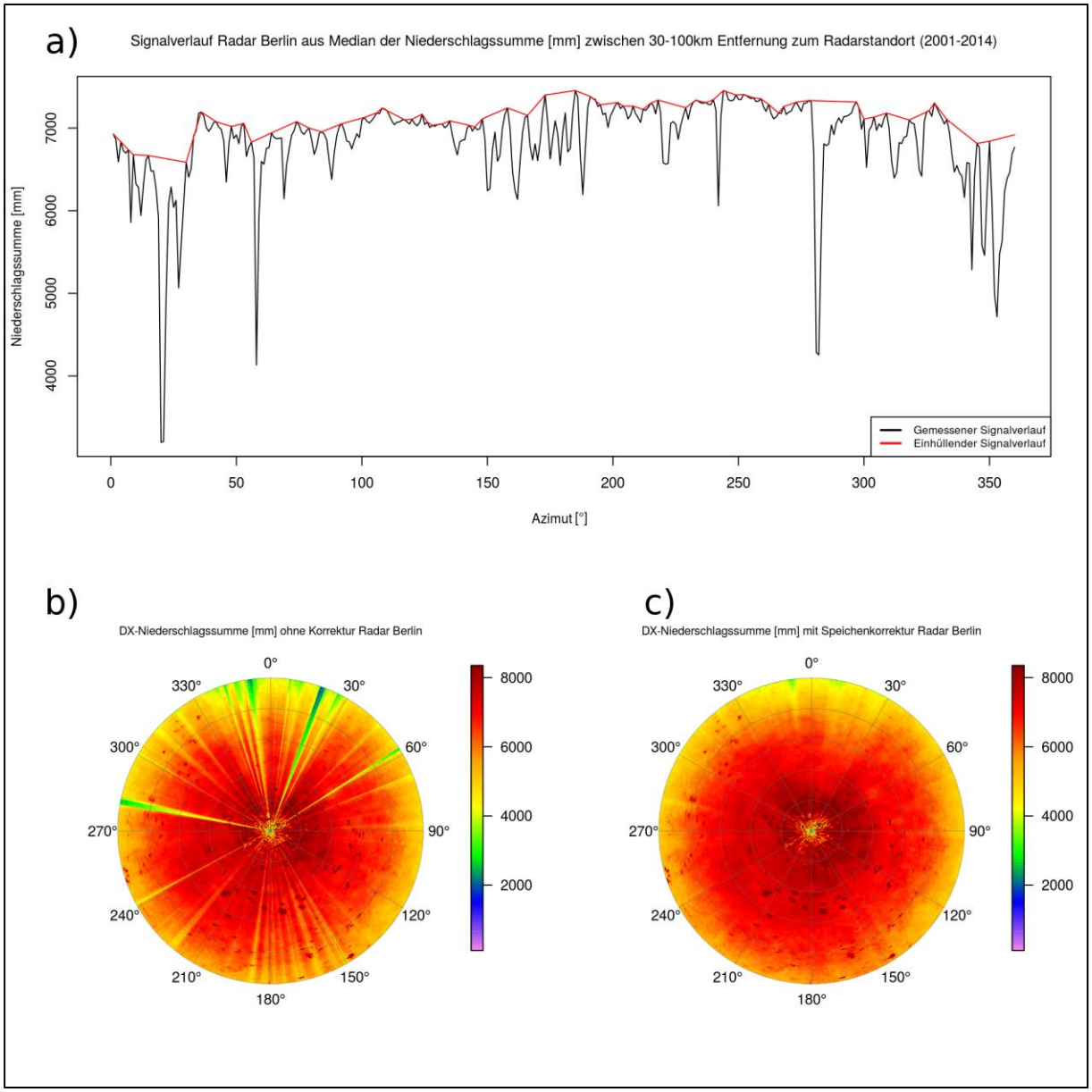

Abb. 5: Automatisches Korrekturverfahren von Negativ-Speichen für den Radarstandort Hamburg (2001-2014), a) Signalverlauf entlang des Azimuts, b) Niederschlagssumme ohne Korrektur, c) Niederschlagssumme mit Korrektur der Negativ-Speichen

Zunächst wurde die automatisierte Detektion auf den gesamten Zeitraum eines sich in Betrieb befindlichen Radarstandortes angewendet. Während zahlreiche Negativ-Speichen über den gesamten untersuchten Zeitraum latent vorhanden sind, treten einige Speichen nur in bestimmten Zeitabschnitten auf. Dies lässt sich beispielsweise durch den Auf- und Abbau von Hindernissen nahe einem Radarstandort erklären, wie es zum Beispiel häufig durch Baukräne geschieht. Um fehlerhafte Korrekturfaktoren zu vermeiden muss das Auftreten solcher temporären Negativ-Speichen zeitlich möglichst exakt bestimmt werden.

Aufgrund der präsentierten Zwischenergebnisse ist durch Implementierung der automatisierten Korrektur von latenten Negativ-Speichen mit einer deutlichen Verbesserung der Datenqualität für die Radarklimatologie zu rechnen.

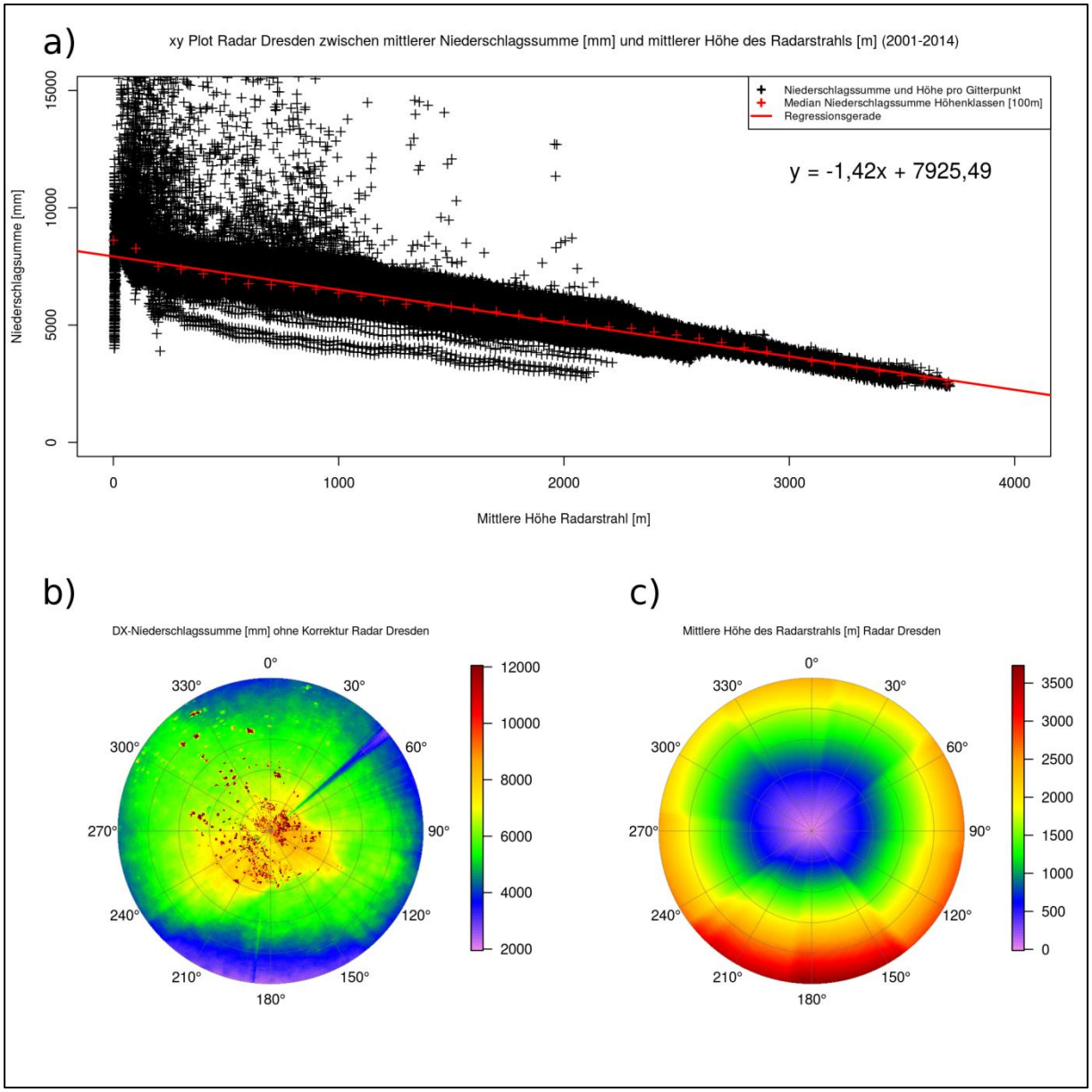

Abb. 6: Automatisches Korrekturverfahren von Negativ-Speichen für den Radarstandort Hamburg (2001-2014), a) Signalverlauf entlang des Azimuts, b) Niederschlagssumme ohne Korrektur, c) Niederschlagssumme mit Korrektur der Negativ-Speichen

Entfernungsabhängige Signalverstärkung

Bei Betrachtung lokaler Radardaten fällt auf, dass mit zunehmender Entfernung vom Radarstandort die langjährige Niederschlagssumme deutlich abnimmt (Abb. 6b). Dieser als entfernungsabhängige Signalreduktion bekannte Effekt wird sowohl durch den Elevationswinkel des Radars als auch den Öffnungswinkel des Radarstrahls beeinflusst.

Je weiter sich der Radarstrahl von seinem Ausgangsort entfernt, desto größer wird der Abstand zwischen Radarstrahl und Erdoberfläche. Verstärkt wird dieser Effekt noch durch die Erdkrümmung. Am Beispiel des Radars Dresden ist zu erkennen, dass sich der Radarstrahl

 © 2015, Deutscher Wetterdienst

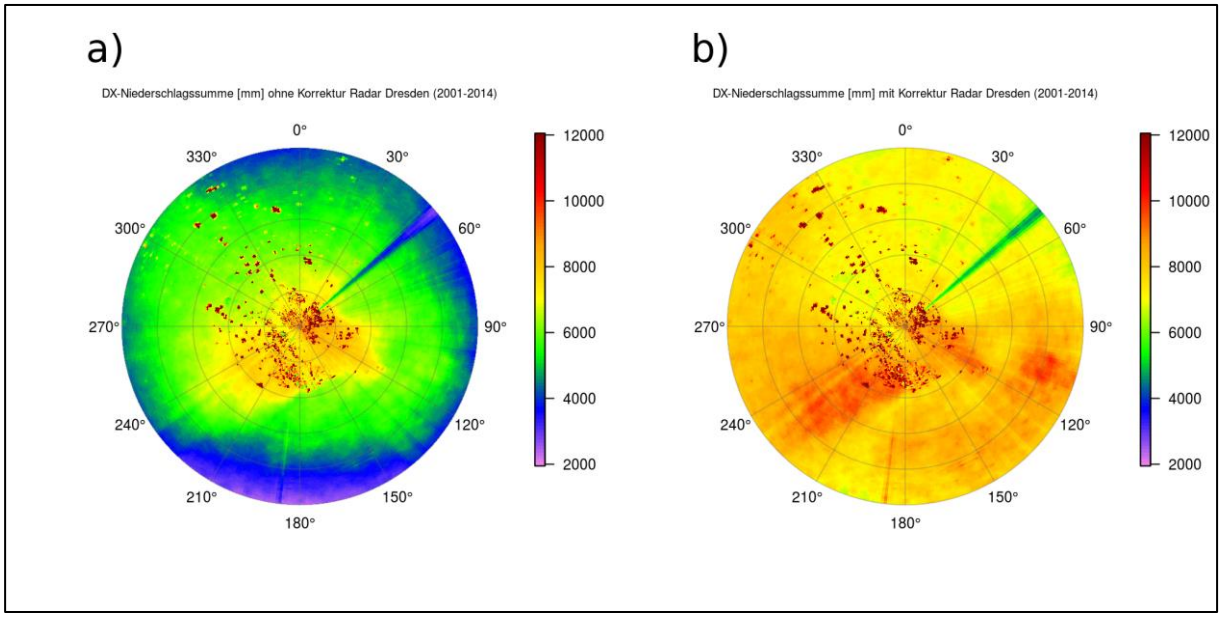

Abb. 7: Niederschlagssumme (2001-2014) am Radar Dresden ohne (a) und mit (b) Korrektur der höhenabhängigen Signalreduktion.

bei einer Entfernung von 100 km vom Radarstandort bereits in einer Höhe zwischen 2000 m und 3000 m befindet (Abb. 6c). Niederschlagsgebiete, die nur eine geringe vertikale Ausdehnung besitzen, können ab einer gewissen Entfernung nur noch teilweise oder überhaupt nicht mehr durch den Radarstrahl erfasst werden („Overshooting“-Effekt).

Darüber hinaus vergrößert sich das vom Radar erfasste Volumen, wodurch die Energiedichte der ausgesandten elektromagnetischen Strahlung pro Volumeneinheit abnimmt. Dies hat zur Folge, dass Niederschlag mit gleicher Intensität in größerer Entfernung eine schwächere Reflektivität zeigt als in der direkten Umgebung des Radars.

Somit sind Niederschlagswerte, die in unterschiedlichen Entfernungen vom Radarstandort gemessen werden nicht direkt miteinander vergleichbar. Dies kann zur Folge haben, dass selbst auffällige klimatologische Effekte, wie eine Niederschlagsverstärkung an einem Gebirge, nicht mehr sichtbar sind.

Abbildung 6a zeigt die Niederschlagssumme am Radar Dresden über die Jahre 2001-2014 in Abhängigkeit der Messhöhe. Für das langjährige Mittel lässt sich dieser Effekt mit Hilfe einer linearen Funktion beschreiben und ebenfalls korrigieren (WAGNER et al. 2012). Die starke Streuung im Nahbereich des Radars ist auf eine Häufung von Clutterpixeln zurückzuführen. Eine weitere Ursache für eine Überschätzung des Niederschlags stellen Messungen im Höhenbereich der Schmelzschicht dar, die in den hier verwendeten Radardaten nicht korrigiert wurden. Die „Streifen“, die eine Unterschätzung des Niederschlags aufweisen, ist auf Negativ-Speichen zurückzuführen.

Abbildung 7 zeigt den Vergleich zwischen der vom Radar gemessenen Niederschlagssumme (Abb. 7a) und der nach Anwendung der linearen Korrekturfunktion korrigierten Niederschlagssumme (Abb. 7b) für das Radar Dresden. Deutlich zu sehen ist die beachtliche Zunahme der Niederschlagssumme in Regionen die sich in einer größeren Entfernung zum Radarstandort befinden. Vor allem die erhöhten Niederschlagsmengen des Erz- und Riesengebirges (im Südwesten bzw. Südosten), die sich deutlich vom Umland abheben, sind nun sichtbar und entsprechen einem realistischeren Bild, das durch langjährige Stationszeitreihen beleget ist.

Ausblick

Für die Korrektur der latenten Negativ-Speichen ist nun, unter Anwendung der bisher entwickelten Methode, eine Anpassung auf deutlich kürzere Zeiträume vorgesehen. Hierdurch soll gewährleistet werden, dass auch Negativ-Speichen, die nur periodisch auftreten, gezielt korrigiert werden können. Hier gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass der Zeitraum zu Erfassung von Negativ-Speichen so ausgedehnt gewählt werden muss, dass das Niederschlagsfeld ausreichend homogen ist, um Negativ-Speichen in ihrer gesamten Ausprägung sichtbar und durch das Verfahren detektierbar zu machen.

Die Bestimmung der entfernungsabhängigen Korrekturfunktion erfolgt im gezeigten Beispiel auf der Basis der Jahresniederschlagssummen. Eine bereits beschriebene Ursache für die Abnahme des Signals mit der Höhe über dem Erdboden ist das sogenannte „Overshooting“. In diesem Fall liegt die maximale vertikale Ausdehnung eines Niederschlagsgebietes unterhalb des messenden Radarstrahls und wird somit nicht erfasst oder unterschätzt. Im Fall hochreichender Konvektion ist dieser Effekt weniger stark ausgeprägt. Aus diesem Grund wird derzeit die Variabilität der Korrekturfunktion untersucht. Erste Ergebnisse deuten bereits an, dass sich die Korrekturfunktion zwischen Sommer und Winter deutlich unterscheidet. Denkbar wäre somit z. B. eine jahreszeitabhängige Bestimmung der Funktion. Zusätzlich wurde begonnen intensitätsabhängige Korrekturfaktoren zu testen, da sich je nach Intensität des Niederschlags ebenfalls unterschiedliche Korrekturfunktionen ergeben. Zu beiden Ansätzen sind weitere Untersuchungen notwendig. Die Anwendung der ermittelten Korrekturfunktionen ist im Rahmen des nächsten kompletten Reanalyselaufs geplant.

 © 2015, Deutscher Wetterdienst

AP7: Extremwertstatistische Auswertung

Untersuchung der Flächenabhängigkeit

Das Arbeitsblatt DWA-A 531 „Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer“ (DWA, 2012) beschreibt die grundlegenden Schritte für die extremwertstatistische Auswertung von Niederschlagszeitreihen zur Bestimmung von Wiederkehrzeiten, wie sie z. B. auch bei der Erstellung der KOSTRA-Daten angewendet werden. Die grundlegenden Arbeiten zur automatisierten Umsetzung der Richtlinie wurden bereits im zweiten Zwischenbericht vorgestellt. Im aktuellen Berichtszeitraum wurde im Rahmen einer Praktikumsarbeit (SCHOGER, 2015) die Abhängigkeit der ermittelten Bemessungsniederschläge von der Wahl der Bezugsfläche untersucht. Die Untersuchungen erfolgten wiederum am Beispiel des Köln21-Gebiets. Die Berechnungen wurden dabei schrittweise für konfigurierbare Pixelgruppen durchgeführt, z. B. bei step=2 für den Mittel- bzw. Maximalwert aus jeweils 2 x 2 Pixeln.

Abbildung 8 zeigt die Bemessungsniederschläge für eine Wiederkehrzeit von einem Jahr und einer Dauerstufe von einer Stunde. Die oberen vier Abbildungen zeigen die Ergebnisse unter Verwendung des jeweiligen Maximums aus „step x step“ Pixeln bei der Bestimmung der ranghöchsten Niederschläge. Die unteren vier Abbildungen basieren auf Auswertungen, bei denen jeweils der Mittelwert verwendet wurde.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Verwendung des Mittelwerts ein Verhalten wie eine Glättung zeigt. Da die Niederschlagswerte im RADOLAN-Raster jeweils einen Mittelwert über ein Rasterpixel mit der festgelegten Größe 1 km x 1 km darstellen, zeigt diese Untersuchung, dass eine Anpassung der Rastergröße keine grundlegenden Unterschiede in den Ergebnissen der extremwertstatistischen Auswertung erwarten lassen.

Bei der Verwendung des Maximums steigen die Bemessungsniederschläge erwartungsgemäß stark mit der Schrittweite an, da die Verwendung des Maximums einer Aussage „irgendwo in der Fläche tritt ein entsprechendes Ereignis auf“ entspricht. Die unterschiedlichen Ansätze entsprechen somit folgenden Aussagen:

Der Bemessungsniederschlag gilt…

- … an jedem Punkt innerhalb des Rasters (stationsbasiert).
- … für den mittleren Niederschlag im Gesamtgebiet (Mittelwert Radar).
- … für den Niederschlag pro Originalrasterpixel irgendwo im Gesamtgebiet (Maximum Radar).

Die Ergebnisse dienen der Verdeutlichung des Einflusses der betrachteten Messgröße auf die resultierenden Bemessungsgrößen. Die Arbeit dient damit auch dem Verständnis bei der Interpretation der potenziellen Unterschiede zwischen den Auswertungen stationsbasierter Punktmessungen und radarbasierter Volumenmessungen.

Weather Extremity Index

Die flächenhafte Erfassung von Niederschlägen, insbesondere extremen Niederschlagsereignissen, eröffnet neue Perspektiven in der Charakterisierung einzelner Ereignisse aber auch der statistischen Untersuchung von Niederschlagsereignissen. Ein Ansatz zur Bestimmung der sogenannten „Extremität“ von Niederschlagsereignissen in Abhängigkeit von der flächenhaften Ausdehnung und der dauerstufenabhängigen Wiederkehrzeit wird in MÜLLER und KASPAR (2014) vorgestellt. Vergleichbare Indizes werden bereits zur Analyse von Klimaprojektionsdaten verwendet. Eine Anwendung auf die Radarklimadaten ermöglicht eine Erfassung der räumlichen und zeitlichen Variation von Extremereignissen seit 2001. Die Untersuchungen werden im Rahmen einer Masterarbeit durchgeführt werden.

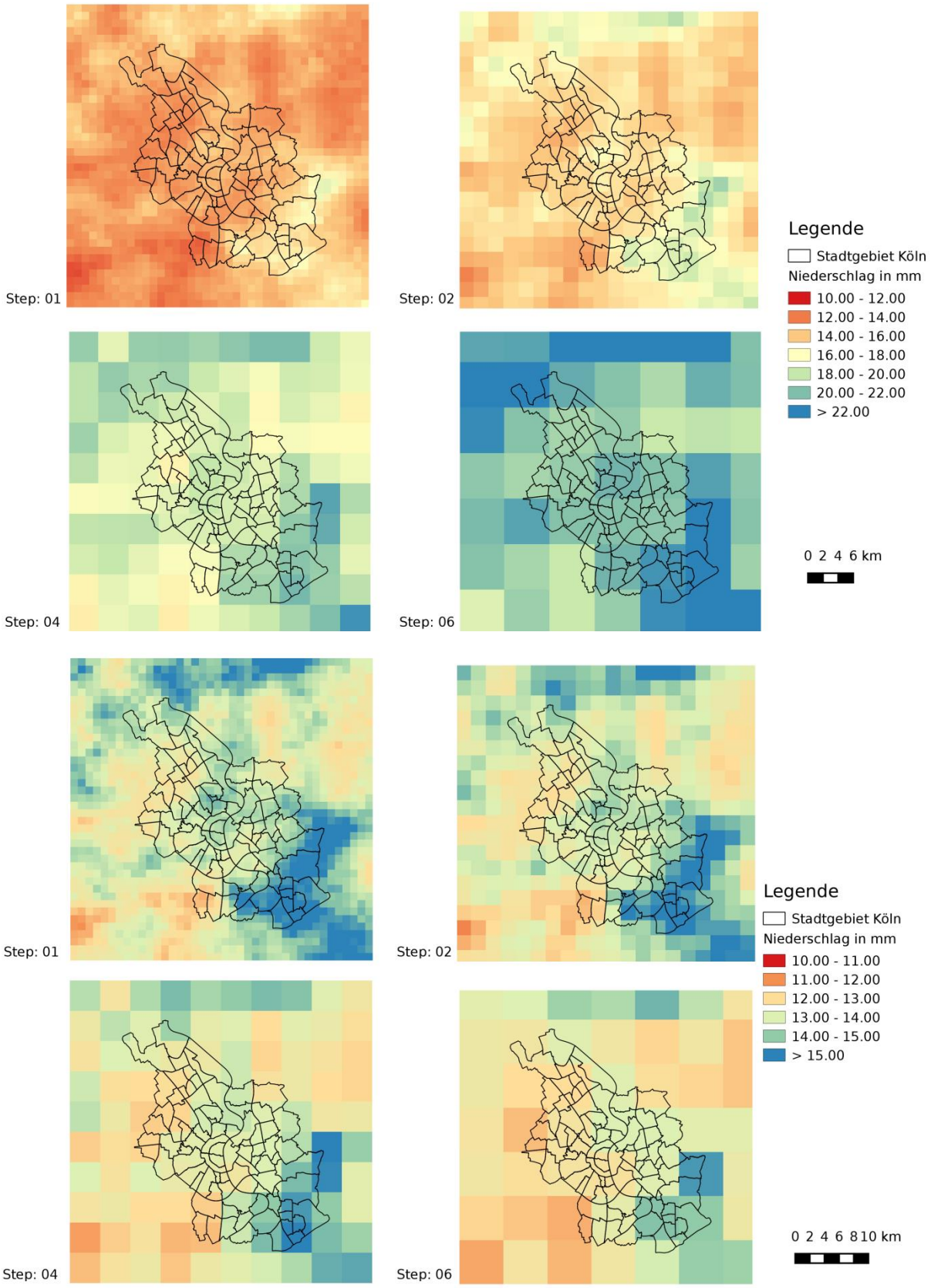

Abb. 8: Bemessungsniederschläge in Abhängigkeit der Flächengröße unter Verwendung des Maximums (oben) und des Mittelwerts (unten); Wiederkehrzeit=1a, Dauerstufe=1h, max. 2 Ausreißer automatisch entfernt.

 © 2015, Deutscher Wetterdienst

b. Modul3: Nutzerberatungs-Modul

Im Modul 3 wurden im Berichtszeitraum folgende Arbeiten durchgeführt:

AP8: Nutzerkommunikation; Planung und Durchführung von Hospitanzen und Workshops

Am 03.09.2015 fand in Offenbach ein Treffen der Behördenallianzpartner in Verbindung mit einem Projekttreffen statt. Neben der Vorstellung und Diskussion der Projektinhalte und -fortschritte wurden die Termine der weiteren Nutzerveranstaltungen abgestimmt. So wird im Frühjahr 2016 – mittlerweile wurde der Termin auf den 21.04.2016 festgelegt – ein weiterer Workshop stattfinden. Veranstaltungsort wird Offenbach sein, entsprechende Räumlichkeiten wurden bereits reserviert. Im Sommer ist eine Abschlussveranstaltung mit Pressekonferenz geplant, ein Termin steht hier noch nicht fest. Das Protokoll zum zweiten Projekttreffen kann im Projektbereich auf dem BSCW-Server eingesehen werden.

Ebenfalls wurde auf dem BSCW-Server im den Teilnehmern aus dem ersten Nutzerworkshop zugänglichen Bereich, eine Literatursammlung eingerichtet. Der Ordner enthält frei zur Verfügung stehende Literatur, bestehend aus Abschlussberichten, Informationsbroschüren, Leitfäden usw. rund um die Thematiken Starkregen und Anpassung an den Klimawandel/an Extremwetter. Diese Sammlung kann von den Nutzern des Forums ergänzt werden.

Auf der Projektwebseite wurde das „Lebende Dokument“ auf den neuesten Stand gebracht.

AP9: Nutzergerechte Aufbereitung der Projektergebnisse, Erstellung von Lehrmaterialien etc.

Im Hinblick auf die späteren Ergebnisdarstellungen und Produkte wurden im Berichtszeitraum hauptsächlich GIS-Arbeiten durchgeführt. Hierbei wurden einerseits neue Datensätze generiert, andererseits Datensätze, z. B. die Bevölkerungsdaten von GEOSTAT, weiter aufbereitet und beispielhafte Verschneidungen vorgenommen.

Abbildung 9 zeigt beispielhaft die GIS-Verschneidung eines Digitalen Geländemodells (DGM 50) mit RADOLAN-Niederschlagsdaten für die Beispielregion Köln21.

Auf Basis eines Digitalen Geländemodells mit einer Auflösung von 200 m konnten Fließrichtungen und Abflussakkumulationen mit einem in QGIS verfügbaren Algorithmus namens Terraflow (s. auch TOMA et al. 2001 und ARGE et al. 2003) berechnet werden. Weitere Tests mit einem höher aufgelösten Geländemodell (50 m) folgen. Generell können mit diesen Berechnungen Informationen darüber getroffen werden, woher Wasser in eine Rasterzelle fließt und wo sich Wasser im Gelände natürlicherweise akkumuliert.

Die Vorgehensweisen bei hydrologischen Berechnungen auf Basis eines Digitalen Geländemodells sind dabei in vielen Algorithmen oftmals recht ähnlich und werden hier daher kurz erläutert. Zunächst werden Senken (Gebiete, die von höhergelegenen Gebieten umrundet sind und keinen Abflusspunkt haben) und Plateaus im DGM ausfindig gemacht. Den Plateaus werden über einen Algorithmus ihre jeweiligen Abflusspunkte zugewiesen. Senken werden aufgefüllt, da diese störend für die Berechnung von Fließrichtungen sind, auch wenn sie geographische Gegebenheiten darstellen. Wasser würde hierin gesammelt und die Abflüsse nicht weiter mit in die Berechnungen eingehen.

Die Bestimmung der Fließrichtung erfolgt über die Berechnung von Gradienten zwischen acht benachbarten und einem zentralen Pixelfeld (D8-Methode). Als Eingangsdaten dienen

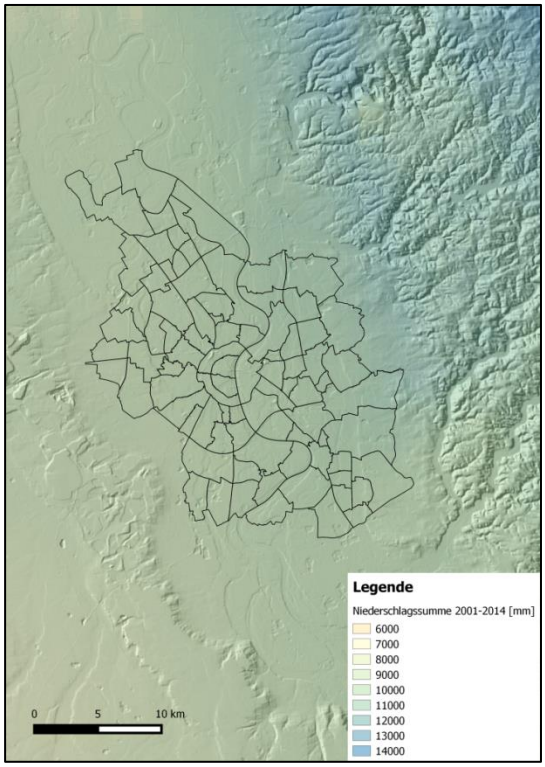

Abb. 9: Gesamtniederschlagssumme 2001-2014 (Reanalyse 1) für Köln.

hierbei die Geländehöhen. Der Gradient selbst berechnet sich aus der Höhendifferenz zwischen einer benachbarten Zelle und der zentralen Zelle geteilt durch die Distanz zwischen den jeweiligen Zentren der Zellen. Dabei wird angenommen, dass Wasser in die Richtung des steilsten Gradienten (Single-flow-direction (SFD)) oder in mehrere Richtungen (Multi-flow-direction (MFD)) aus der zentralen Zelle abfließt und die Zelle mit dem entsprechenden Richtungscode versehen. Dieser ist aus Zweierpotenzen aufgebaut, wobei die Zelle rechts neben der zentralen Zelle, also die östlich gelegene, den Wert 1 bekommt. Im Uhrzeigersinn wird der Code mit 2 für Südosten, 4 für Süden, 8 für Südwesten, 16 für Westen, 32 für Nordwesten, 64 für Norden und 128 für Nordosten fortgeführt (s. Abb. 10). Fließt also das Wasser aus einer Zelle aufgrund der berechneten Gradienten nach Norden ab, wird die Zelle mit dem Wert 64 belegt. Aus der Fließrichtung können dann weiterhin Wasserscheiden und Entwässerungsgebiete abgeleitet werden. Eine Fließrichtungskarte für Deutschland sowie das Bundesland Hessen, berechnet auf der Basis des DGM 200, ist in Abb. 11 dargestellt.

Ausgehend von den bestimmten Fließrichtungen können weiter Abflussakkumulationen berechnet werden. Hierbei wird die Annahme getroffen, dass auf jede Zelle eine Einheit Wasser regnet und über die Fließrichtung die Abflussakkumulation, also die Einheiten Wasser

32	64	128
16		1
8	4	2

Abb. 10: Codierung der Abflussrichtung bei der Fließrichtungsbestimmung

 © 2015, Deutscher Wetterdienst

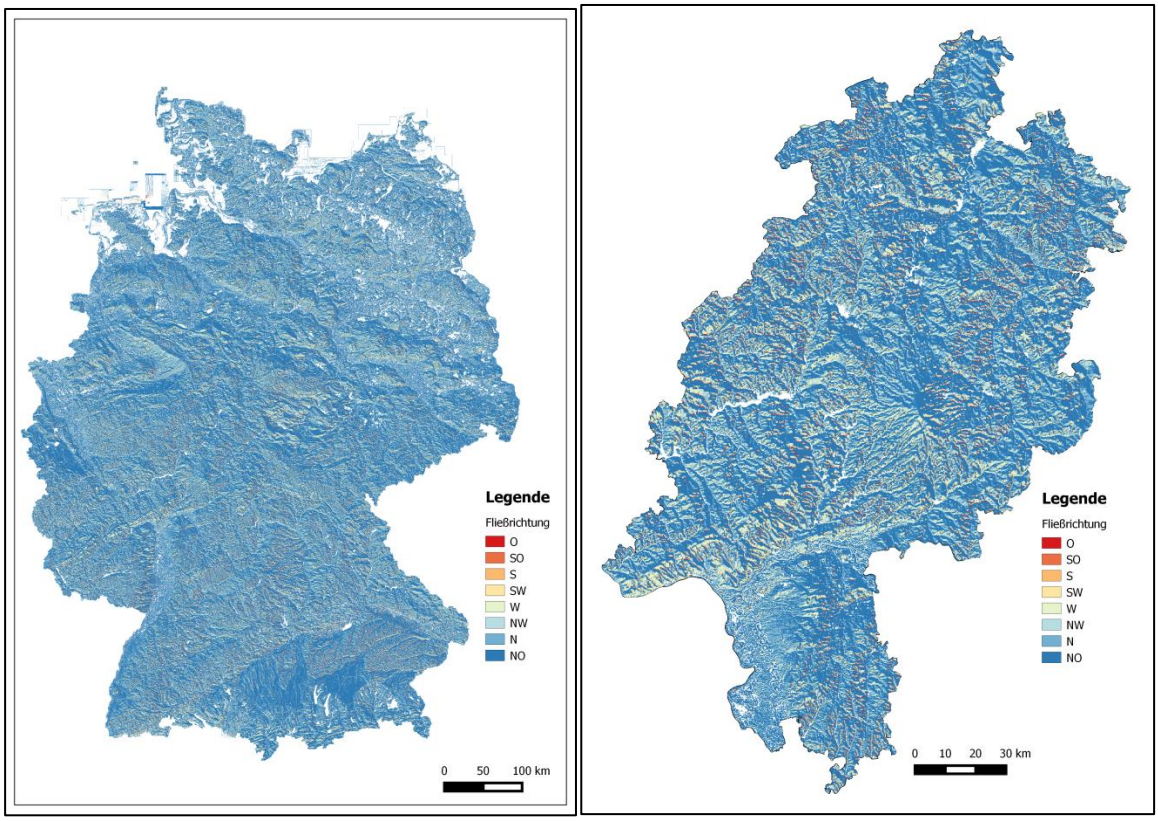

Abb. 11: Beispielhafte Fließrichtungskarten für Deutschland und Hessen

berechnet, die in einer Zelle ankommen. Verdeutlicht wird diese Systematik durch Abb. 12. Undefinierte Zellen erhalten hierbei nur Wassereinheiten, verteilen sie aber nicht weiter. Zellen mit einer hohen Abflussakkumulation können beispielsweise Flussläufe identifizieren, Zellen mit einem Wert von 0 können lokale topographische Erhöhungen darstellen. Insgesamt kann damit abgelesen werden, wo sich Niederschlag bei einer konstanten Beregnung natürlicherweise bevorzugt ansammelt. Abbildung 13 zeigt die Abflussakkumulationen für Deutschland sowie Hessen.

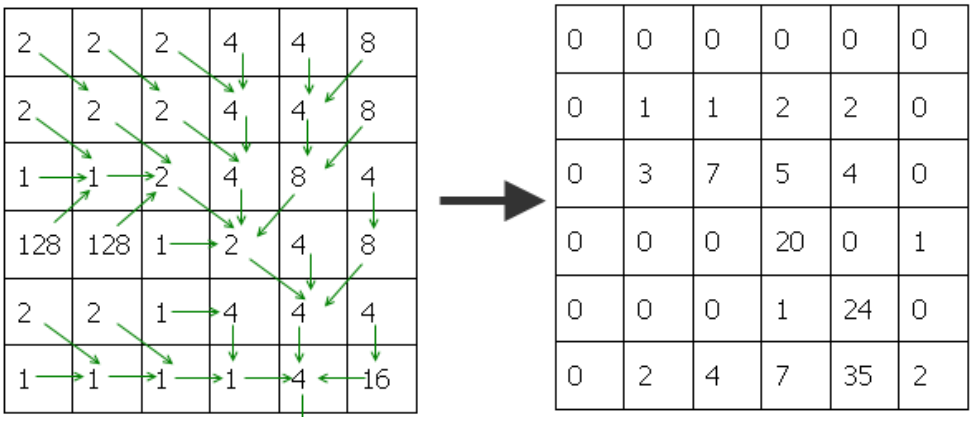

Abb. 12: Systematik bei der Berechnung der Abflussakkumulation aus Fließrichtungen.

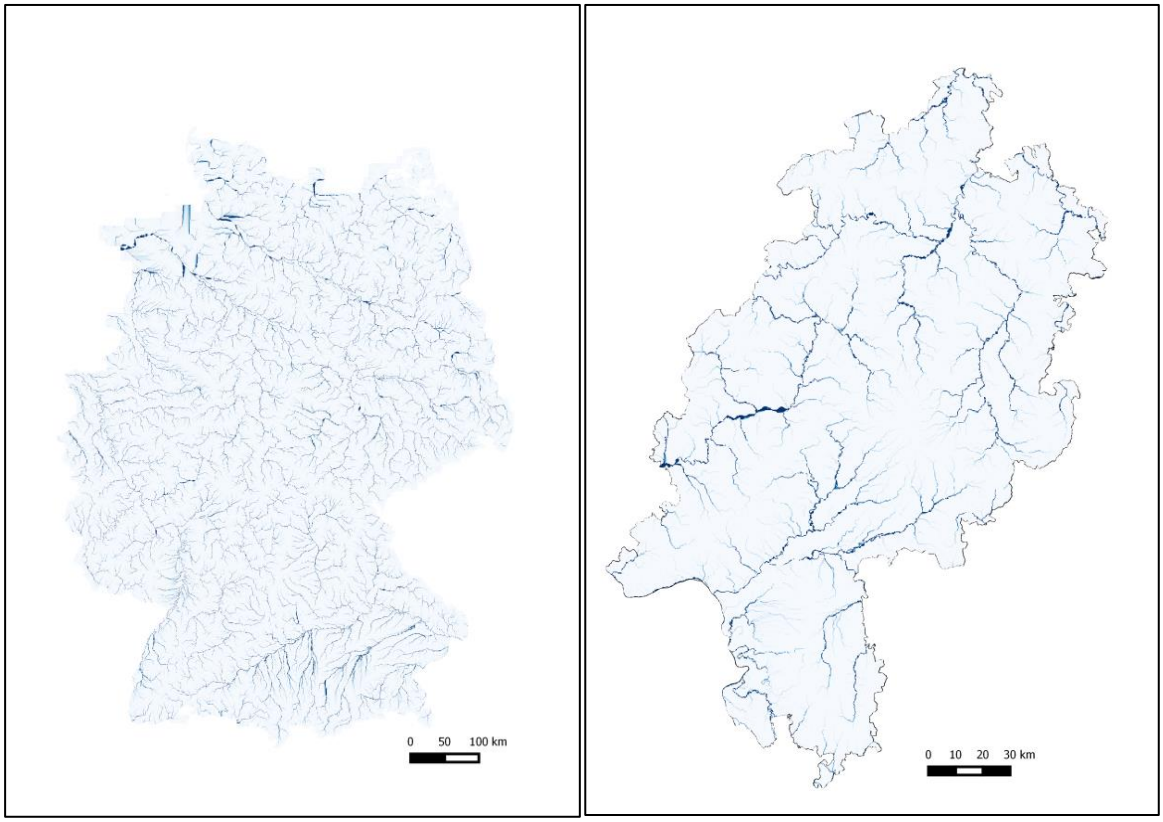

Abb. 13: Beispielhafte Karten der Abflussakkumulation für Deutschland und Hessen

3 Vergleich des Projektstandes mit dem verbindlichen Arbeits-, Zeit- und Finanzierungsplan

Wie in Kapitel 2 dargelegt, konnten alle vereinbarten Zwischenziele des Projekts erreicht werden. Es liegen keine grundlegenden Änderungen der Projektplanung vor. Die Neubesetzung der Vollzeitstelle erfolgte zum 01.08.2015, so dass eine Fortführung der Projektarbeiten gewährleistet ist. Es sind keine Risiken bekannt, die die weitere erfolgreiche Durchführung des Projektes beeinflussen können.

4 Wichtige Ergebnisse und andere wesentliche Ereignisse des Berichtszeitraums

- Entwicklung von Korrekturverfahren auf der Basis lokaler Radardaten
- Arbeiten zur technischen Umsetzung der Korrekturverfahren
- Datenakquise
- Sensitivitätsstudien zur extremwertstatistischen Auswertung (DWA-A 531)
- Erste Arbeiten zur Umsetzung eines Starkregenindexes für die automatische Auswertung der Niederschlagsdaten

 © 2015, Deutscher Wetterdienst

- Ausbau der Nutzerkommunikationsstruktur
    - Pflege der Internetseite
- GIS-basierten Aufarbeitung und Visualisierung der Ergebnisse
- Anwendung eines hoch aufgelösten DGM
- Erfolgreiche Einarbeitung des neuen Mitarbeiters ab 01. August 2015

5 Zusammenfassung

Im Rahmen des Projekts „Erstellung einer dekadischen radargestützten hoch-auflösenden Niederschlagsklimatologie für Deutschland zur Auswertung der rezenten Änderung des Extremverhaltens von Niederschlag“ liegt der 3. Zwischenbericht nach einer Projektlaufzeit von insgesamt 17,5 Monaten vor. Im Berichtszeitraum wurden dem Projektplan (s. Abb. 1) entsprechend Arbeiten in den Modulen 2 und 3 durchgeführt.
Es konnten somit alle Zwischenziele des Projekts erreicht und keine Projektrisiken für die anstehenden Aufgaben erkannt werden.

6 Publikationen

Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt:

Vorträge:

JUNGHÄNEL, T., BRENDEL, C., WINTERRATH, T., SCHMITT, A., HAFER, M., WEIGL, E., BECKER, A.: Towards a radar-based precipitation climatology for Germany – first results and future perspetives; Vortrag auf der 37th Conference on Radar Meteorology, 14.-18. September 2015, Norman, Oklahoma, USA.

Textpublikationen:

BRENDEL, C., JUNGHÄNEL, T., WINTERRATH, T., SCHMITT, A., HAFER, M., WEIGL, E., BECKER, A.: Towards a Radar-Based Precipitation Climatology for Germany – The Importance of Surface Precipitation Observations; short paper für 10th International Workshop on Precipitation in Urban Areas, 01.-05. Dezember 2015, Pontresina, Schweiz.

JUNGHÄNEL, T., BRENDEL, C., WINTERRATH, T., SCHMITT, A., HAFER, M., WEIGL, E., BECKER, A.: Towards a radar-based precipitation climatology for Germany – first results and future perspetives; extended abstract für die 37th Conference on Radar Meteorology, 14.-18. September 2015, Norman, Oklahoma, USA.

SCHMITT, A., JUNGHÄNEL, T., WINTERRATH, T.: The German radar precipitation climatology and its fields of application in urbanized areas and urban flood risk mapping; short paper für 10th International Workshop on Precipitation in Urban Areas, 01.-05. Dezember 2015, Pontresina, Schweiz.

Webpublikationen:

Kontinuierliches Update der Projektwebseite mit Informationen zum Projekt unter: ftp://ftp.dwd.de/pub/data/gpcc/radarklimatologie/index.html.

Zitierte Literatur:

ARGE, L., CHASE, J., HALPIN, P., TOMA, L., URBAN, D., VITTER, J. S. und WICKREMESINGHE, R.: Flow computation on massive grid terrains. GeoInformatica 7(4):283–313, 2003.

DWA (2012): Arbeitsblatt DWA-A 531 “Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer“, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

JACOBI, S., A. BRONSTERT, M. HEISTERMANN (2014): Rain rate retrieval of partially blocked beams from single-polarized weather radar data. 8th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD), Garmisch-Partenkirchen, Germany, September 2014.

MÜLLER, M, KASPAR, M. (2014): Event-adjusted evaluation of weather and climate extremes. Natural hazards and Earth System Sciences 14, 473-483.

SCHOGER, S. Y. (2015): Praktikumsbericht, Deutscher Wetterdienst.

TOMA, L., WICKREMESINGHE, R., ARGE, L., CHASE, J. S., VITTER, J. S., HALPIN, P. N. und URBAN, D. (2001, November). Flow computation on massive grids. In *Proceedings of the 9th ACM international symposium on Advances in geographic information systems* (pp. 82-87). ACM.

WAGNER, A., SELTMANN, J., KUNSTMANN, H. (2012): Joint statistical correction of clutters, spokes and beam height for a radar derived precipitation climatology in southern Germany. Hydrology and Earth System Sciences 16, 4101-4117.

 © 2015, Deutscher Wetterdienst

Dritter Zwischenbericht

Dr. Tanja Winterrath
Deutscher Wetterdienst
Geschäftsbereich Klima und Umwelt
Abteilung Hydrometeorologie

November 2015

ftp://ftp.dwd.de/pub/data/gpcc/radarklimatologie/index.html

 © 2015, Deutscher Wetterdienst