

# Der Einsatz von Radardaten für wasserwirtschaftliche Zwecke bei Emschergenossenschaft und Lippeverband

Angela Pfister, Adrian Treis und Burkhard Teichgräber (Essen)

## Zusammenfassung

Die Bearbeitung von wasserwirtschaftlichen Fragestellungen unter Nutzung von Radardaten zur flächenhaften Erfassung des Niederschlags ist bei Emschergenossenschaft (EG) und Lippeverband (LV) mittlerweile zur täglichen Praxis geworden. Für die Lageeinschätzung im Hochwasserfall, aber auch zunehmend in der Nachbereitung von Ereignissen, spielen Radardaten eine entscheidende Rolle. In Kooperationen und Projekten wurden die Plattformen und Verfahren entwickelt, die eine Anwendung von Radardaten im Routinebetrieb möglich machen.

Der vorliegende Beitrag stellt anhand von Beispielen aus der täglichen Praxis die Anwendung von Radarinformationen vor und beschreibt die technischen Voraussetzungen zu ihrer Nutzung. Die Vorteile, aber auch die Grenzen ihres Einsatzes werden aus Sicht eines Wasserwirtschaftsverbands vorgestellt.

**Schlagwörter:** Radardaten, Niederschlag, Hochwasser, Starkregen, Emschergenossenschaft, Lippeverband, Regenschreiber, Radarkooperation, Hochwasser, Vorhersage

DOI: 10.3243/kwe2015.02.005

## Abstract

### The Employment of Radar Data for Water Management Purposes with the Emschergenossenschaft and Lippeverband

The processing of water management problems using radar data for extensive recording of precipitation has by now become daily practice with the Emschergenossenschaft [Emscher Water Management Association] (EG) and Lippeverband [Lippe Water Management Association] (LV). Radar data playing a crucial role for the assessment of the situation in the case of flooding and also increasingly in the post-processing of events. Platforms and procedures have been developed in cooperations and projects, which make an application of radar data possible.

This article presents the application of radar information on the basis of examples from daily practice and describes the technical requirements for its utilisation. The advantages and also the limits of its employment are presented from the point of view of a water management association.

**Key words:** radar data, precipitation, flooding, heavy rainfall, Emschergenossenschaft (Emscher Water Management Association), Lippeverband (Lippe Water Management Association), rainfall recorder, radar cooperation, flooding, forecast

## 1 Einführung

Die genaue Erfassung des Regengeschehens ist von zentraler Bedeutung für Hydrologie und wasserwirtschaftliche Aufgaben. Während Regenschreiber als Punktmessungen mit ihrer räumlich begrenzten Aussagefähigkeit bis heute die Grundlage für wasserwirtschaftliche Analysen und Planungen bilden, bietet die Niederschlagsmessung mittels Radar den Vorteil, das Regengeschehen weiträumig flächenhaft online erfassen zu können. Bei EG und LV sind beide Verfahren langjährig etabliert und neben den mehr als achtzig Jahren umfassenden Zeitreihen bodengebundener Punktmessungen des Niederschlags [1] wird die Nutzung der Radarerfassung des Niederschlags in verschiedenen Projekten weiter entwickelt und fortgeschrieben.

Die Historie der kontinuierlichen Radardatenerfassung bei EG und LV zeigt einen Meilenstein im Jahr 1994 mit dem F&E Projekt „Abflusssteuerung unter Verwendung radargemessener Niederschläge“, welches gemeinsam mit dem Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover durchgeführt wurde [2]. Ziel des Projektes war die Verwendung von Radardaten in der

siedlungswasserwirtschaftlichen Abflusssteuerung, was eine hohe zeitliche und räumliche Verfügbarkeit von Radardaten voraussetzt. Im Rahmen des Projektes wurde ein X-Band Radar auf dem Standort des heutigen Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) in Essen Bredeney errichtet. Im Anschluss an das Untersuchungsvorhaben wurde im Jahr 1998 das Radargerät von EG und LV übernommen und ein Projekt zur Umsetzung von radargestützten Niederschlagsmessungen und steuerungstechnischen Eingriffen in das Abflussgeschehen initiiert. In diesem Zusammenhang wurden insbesondere Erkenntnisse in einer mehrjährigen Messkampagne zur Bestimmung des streckenintegrierten Regengeschehens auf Grundlage der Dämpfung von Mikrowellensignalen erworben. Im Gegensatz zur Radarmessung wird bei Mikrowellenverbindungen nicht das Maß der vom Regentropfenvolumen zurückgestreuten Energie gemessen, sondern die Stärke des Signals, welches nach Durchquerung der Strecke zwischen Sender und Empfänger (hier 26,64 km) den Empfänger erreicht. Die Differenz der Sig-

nalstärken zwischen Ausgangs- und Empfangssignal wird als streckenintegrierte Dämpfung bezeichnet [16]. Die Besonderheit der Mirowellenverbindung, die innerhalb des EU-geförderten Forschungsprojektes MANTISSA (Microwave Attenuation as a New Tool for Stormwater Supervision Administration, EVKT1-CT-2000060) installiert wurde, bestand darin, dass zwei unterschiedliche Sendefrequenzen verwendet wurden, die sowohl einzeln für sich als auch in der Betrachtung ihrer Dämpfungsdifferenz eine Analyse zum streckenintegrierten Regengeschehen entlang der Verbindungsstrecke ermöglichen. Eine dieser Frequenzen wurde im Frequenzbereich des X-Band Radars gewählt, sodass Aussagen über die Dämpfung von Radarmessungen getroffen werden können. Dies ist von besonderem Interesse, weil die Dämpfung eine wesentliche Ursache für die Unterschätzung von radargemessenen Regenintensitäten ist.

Mit dem Einsatz von Radardaten in der operationellen Hochwasservorhersage bei EG und LV stiegen die Anforderungen an die Geräteverfügbarkeit und die Datenübertragung. Es wurde deutlich, dass der technisch bedingte eingeschränkte Sichtkreis des X-Band Radars sowie der hohe Aufwand für Betrieb und Wartung eine Neuausrichtung der Radardatenerfassung bei EG und LV notwendig machten. Da die Qualität und Verfügbarkeit der Radardaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) seit dem Jahr 2001 deutlich verbessert wurde und die räumliche und zeitliche Auflösung der C-Band Radardaten für eine Kopplung mit den hydrologischen Gebietsmodellen bei EG und LV optimal geeignet erschienen, wurden mit dem DWD Gespräche zur Nutzung der C-Band Radardaten des Standortes Essen geführt. Als Ergebnis folgte schließlich im Jahr 2008 die Unterzeichnung der Radarkooperationsvereinbarung der Wasserverbände NRW mit dem DWD, die den gegenseitigen Datenaustausch regelt [3].

Der Bedarf an einer integralen Betrachtung sowohl von Radardaten, als auch von terrestrischen Messungen und meteorologischen Vorhersagedaten sowie der Wunsch nach einer verbesserten Anbindung an die Hochwassermodellierung, führte im Jahr 2010 zu der Implementierung einer Vorhersageplattform auf Basis der Software Delft-FEWS. Diese wird in einer Kooperation von fünf Wasserverbänden betrieben und weiterentwickelt [4]. Die Software bildet das zentrale Element des Hochwasserinformationssystems (HOWIS) von EG und LV, welches intern den Betriebs- und Planungsbereich in der Einschätzung der Hochwasserlage unterstützt.

Eine zunehmende Bedeutung kommt der Nachbereitung von Ereignissen auf Grundlage von Radarniederschlagsinformationen zu. Trotz eines dichten Messnetzes von terrestrischen Niederschlagsstationen ist die Verortung kleinräumiger Niederschlagszellen häufig nur durch die Analyse von Radarbildern möglich und lokale Überflutungen können durch qualitative und quantitative Auswertungen der radarerfassten Niederschläge nachgewiesen werden. Hier werden EG und LV auch für ihre Mitgliedskommunen unterstützend tätig, indem Auswertungen für besonders betroffene Bereiche zur Verfügung gestellt werden [5].

Die positiven Erfahrungen in der Nutzung von Radardaten bewogen EG und LV dazu, sich auch aktiv an der Verbesserung von radargemessenen Niederschlagsinformationen zu beteiligen. Im Fokus steht dabei das speziell für die Wasserwirtschaft entwickelte DX-Produkt des DWD. Die Entwicklungen reichen dabei von der Erarbeitung von Konzepten zur physikalischen Korrektur der Radardaten [6], bis zur Umsetzung von Verfahren zur Aneichung von Radardaten mit terrestrischen Nieder-

schlagsinformationen [7]. Diese Entwicklungen werden in Form von Kooperationen vorangetrieben.

Der zunehmenden Bedeutung der Verwendung radargemessener Niederschläge trägt auch die Kommission Reinhaltung der Luft im Verein Deutscher Ingenieure (VDI/KRdL) Rechnung, wie die Veröffentlichung der neuen VDI-Richtlinie zeigt. Sie gibt weitergehende Hinweise sowohl für den Betrieb als auch für die wasserwirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten von Radardaten [8].

## 2 Radarkooperation der Wasserverbände NRW mit dem Deutschen Wetterdienst

Die Nutzung von Radardaten ist in einer Kooperationsvereinbarung der Wasserverbände NRW mit dem DWD zur Zusammenarbeit in den Bereichen Hydrometeorologie und Wasserwirtschaft geregelt. Die Kooperationsvereinbarung wurde im Jahr 2008 von der Emschergenossenschaft stellvertretend für zehn Wasserverbände aus NRW unterzeichnet. Mittlerweile gehören der Radarkooperation neben Emschergenossenschaft und Lippeverband die neun folgenden Wasserverbände an: Aggervverband, Bergisch-Rheinischer Wasserverband, Erftverband, Wasserverband Eifel-Rur, Linksniederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft, Niersverband, Wasserverband Obere Lippe, Ruhrverband und Wupperverband. Im Rahmen der Kooperation verfügen die Verbände über einen Echtzeit-Zugriff auf die Prognosedaten des DWD und können eine Vielzahl von Radarprodukten und Spezialdienstleistungen kostenfrei im Rahmen des Hochwassermanagements nutzen. Zusätzlich werden die an den Bodenstationen des DWD gemessenen Daten übermittelt und aktuelle Wetterwarnungen zur Verfügung gestellt. Im Gegenzug haben sich die Wasserverbände verpflichtet, Stundensummen ausgewählter Niederschlagsstationen online zur Verfügung zu stellen. Derzeit werden Daten von 46 Stationen der Wasserverbände im BUFR-Format zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 1). Diese werden seitens des DWD für die Aneichung von Radarprodukten im operationellen RADOLAN-Betrieb (RADARonLineAneichung) herangezogen [9]. Mit der RADOLAN-Aneichung werden stündlich aktualisierte, räumlich hoch aufgelöste Radarniederschlagsanalysen für Deutschland im operationellen Routinebetrieb erzeugt. Die

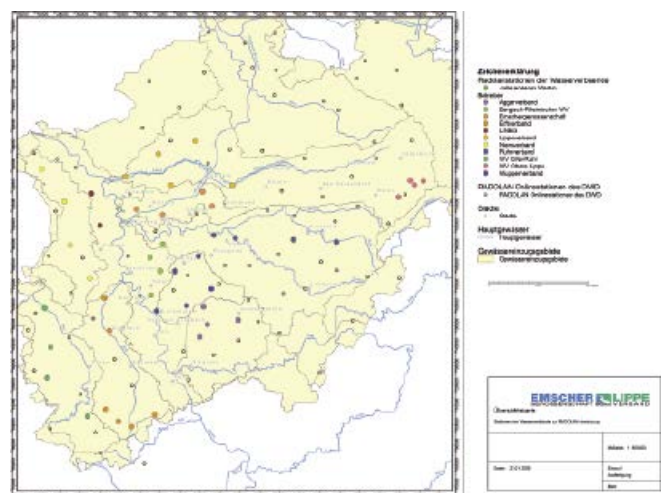


Abb. 1: Wasserverbände in der Radarkooperation und Aneichstationen

Wahl der Standorte der Niederschlagsstationen wurde möglichst repräsentativ für die Niederschlagsverteilung im jeweiligen Verbandsgebiet getroffen. Darüber hinaus sollten vorhandene Lücken im DWD-Netz geschlossen werden. Ferner sind eine gesicherte stündliche Fernübertragung und die Einhaltung der Qualitätsanforderungen des DWD an die Registrierung von Niederschlägen Voraussetzung für die Integration in die RADOLAN-Verarbeitung. EG und LV stellen insgesamt neun Stationen für die Aneichung zur Verfügung.

Die Wasserverbände betreiben einen gemeinsamen Kooperationsserver, auf dem die Datenflüsse organisiert sind und teilen sich die Kosten für den Betrieb und Support. Ein Überblick über die Datenflüsse gibt die Abbildung 2. Im Mittel beläuft sich das Transfervolumen auf rd. 3 GB pro Tag. Ausgewählte Produkte werden in einem Archivspeicher gesichert.

### 3 Einsatz von Radarinformationen im technischen Hochwassermanagement

Die Anwendung von Radardaten sollte angepasst an die hydrologischen Gegebenheiten der jeweiligen Einzugsgebiete sowie die Qualität der Radarprodukte erfolgen [10]. Hierzu stehen verschiedene Radarprodukte mit unterschiedlicher zeitlicher und räumlicher Auflösung sowie unterschiedlich angewandten Korrekturverfahren zur Verfügung. Unterschieden werden weiterhin Radardaten, die in Echtzeit zur Verfügung stehen und für die Online-Berechnung verwendet werden können sowie Daten, die in einer Offline-Bearbeitung noch einmal qualitätsgeprüft, korrigiert und gegebenenfalls auch an terrestrische Stationsdaten angeeicht wurden. Diese werden vorwiegend bei der Ereignisnachbereitung, Modellkalibrierung und Bauwerks-

Produkt	Inhalt	Auflösung		Intensitäten	Methode	On-line	Off-line	Anwendungsfall
		räuml.	zeitl.					
DX (DWD)	Reflektivitäten, hochaufgelöst	1km * 1° Azimuth	5 Min	256 Klassen (RVP-6 Units)	lokales Radarprodukt Standorte Essen, Flechtdorf, Neuheilenbach	✓		Visualisierung, Modellierung
RY (DWD)	qualitätsgeprüfte Radardaten, nach Abschattungskorrektur und nach Anwendung der verfeinerten Z-R-Beziehungen	1km * 1km	5 Min	1/100 mm/ 5 min	RADOLAN-Komposit	✓		Visualisierung; Modellierung
RZ (DWD)	Radardaten nach Abschattungskorrektur und nach Anwendung der verfeinerten Z-R-Beziehungen	1km * 1km	5 Min	1/100 mm/ 5 min	RADOLAN-Komposit	✓		Visualisierung, Modellierung
RW (DWD)	RADOLAN-Produkt nach Aneichung an Regenschreiber	1km*1km (DE)	60 Min	256 Klassen (1/10 mm/h)	RADOLAN-Komposit, Aneichung auf Stundensummen	✓	✓	Visualisierung, Modellierung, Nachbereitung, Radarklimatologie, Kalibrierung
EW (DWD)	RADOLAN-Produkt nach Aneichung an Ombrometerstationen	1km * 1km	60 Min	256 Klassen (1/10 mm/h)	RADOLAN-Komposit, Aneichung auf Stundensummen	✓	✓	Visualisierung, Modellierung
PF (DWD)	Reflektivitäten	1km * 1km	5 Min	16 Klassen (dBZ)		✓		Visualisierung, Modellierung
PC (DWD)	Deutschland-Komposit	4km * 4km	15 Min	7 Klassen (dBZ)		✓		Visualisierung
PI (DWD)	Internationales Komposit	4km * 4km	15 Min	7 Klassen (dBZ)		✓		Visualisierung
DX-Offline	Intensitäten	1km * 1° Azimuth	5 Min	1/100 mm/ 5 min	Datenkorrektur / Offline Aneichung		✓	Visualisierung, Modellierung, Kalibrierung, Radarklimatologie, Nachbereitung
DX-Dämpfung	Intensitäten	1km * 1km	5-Min	1/100 mm/ 5 min	Dämpfungskorrektur	✓	✓	Visualisierung, Modellierung, Nachbereitung

Tabelle 1: Übersicht über die verwendeten Radarprodukte sowie deren Anwendungsfälle  
 Quelle: ergänzt nach [9]

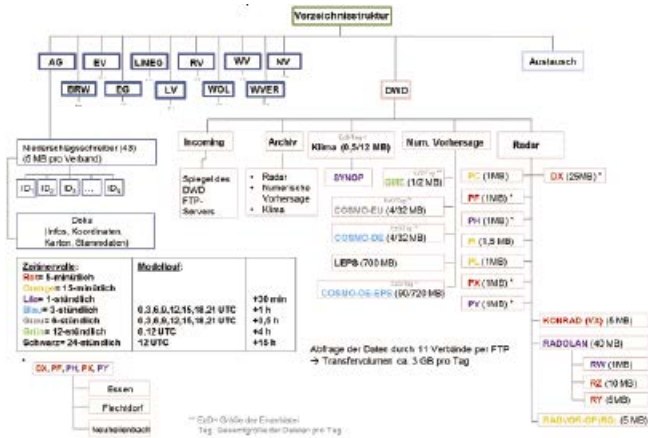


Abb. 2: Datenflüsse auf dem Radarkooperationsserver

bemessung sowie bei radarklimatologischen Betrachtungen eingesetzt.

Werden die Radarniederschläge als Inputdaten für wasserwirtschaftliche Simulationsrechnungen verwendet, so ist auf eine geeignete Aggregation der Radarpixel auf die Modellgebiete zu achten. Die Güte der radarbasierten Berechnungsergebnisse sollte mittels geeigneter Parameter im Vergleich zum gemessenen Abfluss betrachtet werden. Da wasserwirtschaftliche Modelle häufig an terrestrischen Daten kalibriert sind, gibt die Betrachtung der Güteparameter auch Hinweise darauf, ob eine zusätzliche Modellkalibrierung auf der Grundlage von Radardaten sinnvoll ist.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die bei EG und LV am häufigsten verwendeten Produkte in Bezug auf den Anwendungsfall.

Das Emschergebiet, aber auch einige Nebenläufe des Lippegebietes, sind geprägt durch eine hohe Bevölkerungsdichte und hohe Versiegelung. Durch die Dichte der Bebauung, die bergbaulich bedingte Absenkung großer Areale und damit verbunden die Eindeichung langer Flussabschnitte, können die Fließgewässer bei extremen Wetterlagen in kurzer Zeit erheblich ansteigen. Die Konzentrationszeit der Hochwasserabflüsse beträgt an der Emscher sechs bis zwölf Stunden, an den Nebenläufen unter zwei Stunden. An den Nebenläufen der Lippe liegt die Konzentrationszeit bei zwei bis sechs Stunden. Besondere Gefahr geht hier von lokalen Starkregen und Unwettern aus. In diesem Fall sind kurzfristig verfügbare Radarprodukte in hoher räumlicher Auflösung zu bevorzugen. Als geeignete Produkte kommen das DX-, das RY- und das RZ-Produkt zur Anwendung.

Als überwiegend sandgeprägter Fluss des Tieflands mit stärker landwirtschaftlich geprägtem Einzugsgebiet und geringerer Versiegelung sind die Reaktionszeiten an der Lippe naturgemäß geringer. Sie betragen zwei bis vier Tage. Hohe Abflüsse werden hier durch lang anhaltende Niederschläge, auch in Kombination mit Schneeschmelze, erreicht. Vor diesem Hintergrund ist eine Berechnung mit stündlich verfügbaren, angeichteten Radarprodukten ausreichend. Als Produkte kommen das RW- und das EW-Radarprodukt zur Anwendung.

Zur qualitativen Betrachtung des aktuellen Niederschlagsgeschehens können das nationale Radarkomposit (PC-Produkt) sowie das internationale Radarkomposit (PI-Produkt) verwendet werden. Sie dienen ausschließlich zur Visualisierung der großräumigen Niederschlagsverteilung. Eine Kopplung mit Vorhersagemodellen ist aufgrund der groben räumlichen Auflösung und Klasseneinteilung nicht sinnvoll.

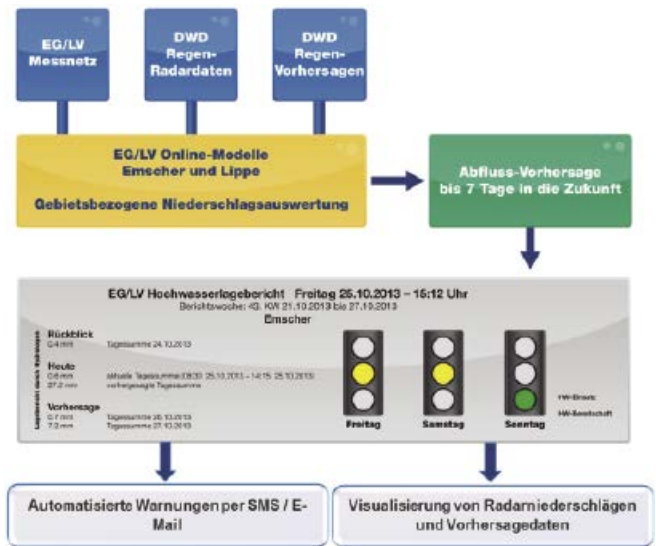


Abb. 3: Überblick über den Aufbau des Hochwasserinformationssystems (HOWIS) bei EG und LV

**3.1 Das Hochwasserinformationssystem (HOWIS)**

Zur Unterstützung des Anlagenbetriebs und als Auskunftssystem für die hydrologische Situation an ihren Gewässern haben EG und LV ein Hochwasserinformationssystem (HOWIS) etabliert, in dem eine integrale Betrachtung sowohl von terrestrischen Messdaten, als auch von Radarprodukten und meteorologischen Vorhersagedaten möglich ist. Durch Kopplung mit den hydrologischen Vorhersagemodellen für die Emscher und die Lippe ist eine Analyse und Vorhersage sowohl der Niederschlags- als auch der Abflusssituation möglich.

Wichtigster Bestandteil des Warnmanagements von EG und LV ist eine tägliche Lageeinschätzung des diensthabenden Hydrologen in Bezug auf die Hochwassersituation in Form von Lageberichten im Intranet der Verbände. In einer dynamisch generierten Lageübersicht im HTML-Format wird der zum Zeitpunkt der Berichterstellung vorliegende aktuelle Zustand in Form von Ganglinien, Tabellen und Animationen bereitgestellt. Hier werden Radardaten verwendet, um den aktuellen Niederschlag in Form von Radarbildern zu visualisieren und den Gebietsniederschlag für die Einzugsgebiete zu ermitteln. Die Berechnung der Tagessummen erfolgt auf Basis des RW-Produktes. Die Bilder werden laufend aktualisiert, die Berichte bei Bedarf mehrmals täglich. In Form einer Ampelschaltung mit hinterlegter, automatisierter SMS- und E-Mail-Warnung wird die Lageeinschätzung durch den Hydrologen vorgenommen.

Grundlage des HOWIS bildet die Software Delft-FEWS. Die Vorhersageplattform wurde in einem gemeinsamen Projekt mit den Wasserverbänden Ruhrverband, Wasserverband Eifel-Rur, Wupperverband, EG und LV implementiert und an die verbandsspezifischen Anforderungen hin angepasst. Sie wird gemeinsam betrieben und fortentwickelt. Die Vorhersageplattform ist als Client-Server System ausgelegt, mit einem zentralen Vorhersage- und Datenbankserver und den lokalen Clients auf Seiten der Wasserverbände [4]. Der Betrieb und der Support für das Produktionssystem werden von einem kommerziellen Provider sichergestellt. Neben einem Produktivsystem wird ein paralleles Test- und Entwicklungssystem betrieben. Es trägt auch zur Ausfallsicherung bei. Die jährlichen Kosten für Support, Wartung und Serverbetrieb werden zwischen den Beteiligten aufgeteilt und liegen in einer Größenordnung von unter 10000 € pro Verband.

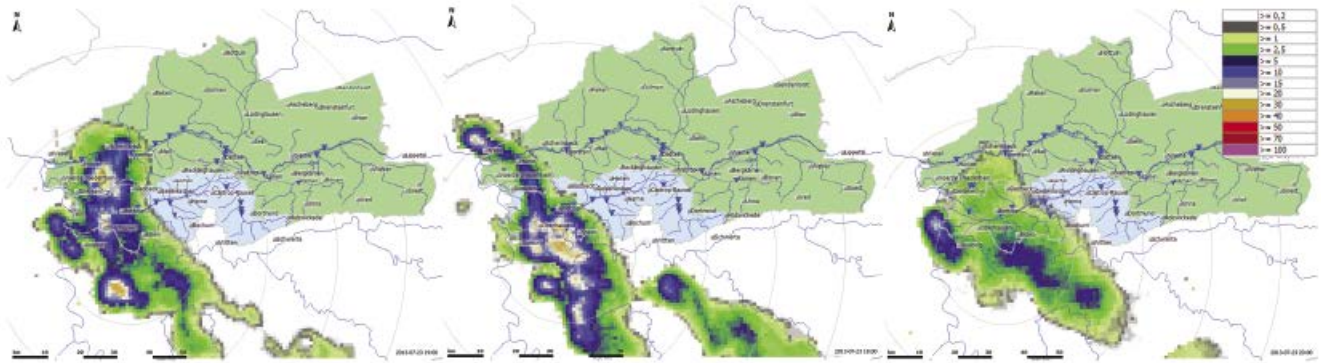


Abb. 4: Stundensumme der Niederschläge in mm (RW-Produkt) im Hauptereigniszeitraum des Ereignisses vom 23. Juli 2013 (17:00 Uhr–20:00 Uhr MESZ)

### 3.2 Online-Anwendungen

Die Vorhersageplattform ist seit Januar 2011 im operationellen Betrieb und stellt eine Reihe von Analysewerkzeugen zur Verfügung, die eine qualitative und quantitative Auswertung, bezogen auf die jeweiligen Einzugsgebiete ermöglichen, wie am Beispiel des Starkregenereignisses vom 23. Juli 2013 (siehe Abbildung 4) gezeigt ist.

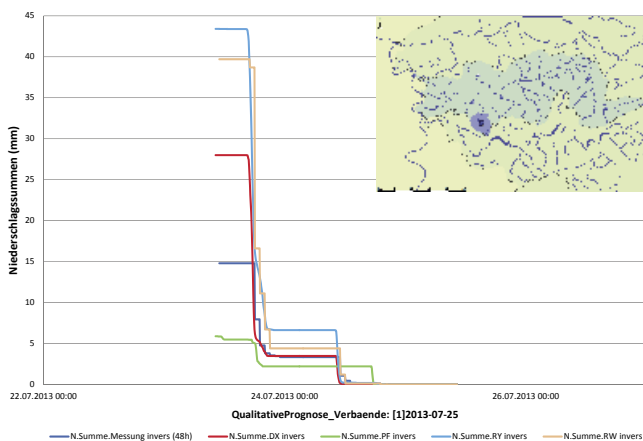


Abb. 5: Inverse Niederschlagssummen über 48 h für die Radarniederschlagsprodukte DX, PF, RY und RW sowie für den terrestrischen Niederschlag am 24. Juli 2013

Im Ereignisverlauf kam es im westlichen Emscher- und Lippegebiet zu heftigen Regenfällen, was zu sehr hohen Wasserständen im Einzugsgebiet des Hochwasserrückhaltebeckens (HRB) Borbecker Mühlenbach führte.

Abbildung 5 zeigt die für das Einzugsgebiet des HRB Borbecker Mühlenbach ermittelten Gebietsniederschläge als inverse Niederschlagssummen für verschiedene Niederschlagsprodukte. Diese sind vom jeweiligen Betrachtungszeitraum aus rückwärtig für die letzten 48 Stunden aufsummiert.

In dem gezeigten Beispiel erreichen die aus der terrestrischen Messung errechneten Gebietsniederschläge eine Größenordnung von 15 mm, während die radargemessenen Niederschläge eine Spannweite von 6 mm (PF-Produkt) bis 42 mm (RY-Produkt) aufweisen. Das angeeichnte RW-Produkt liegt bei rd. 40 mm, die DX-Daten des Radars Essen bei rd. 27 mm. In der folgenden Abbildung 6 sind die im HRB Zulauf gemessenen Abflüsse und Wasserstände den auf Basis der verschiedenen Niederschlagsinputs simulierten Werten gegenübergestellt.

Deutlich wird die Unterschätzung der Simulation auf Grundlage der terrestrischen Messung (Q Messung) und die gute Übereinstimmung der Messungen mit den Simulationsergebnissen auf Basis der RW- und RY-Daten. Das PF-Produkt ist aufgrund seiner geringen Klassenzahl nicht geeignet, den Wasserstand und Abfluss angenähert wiederzugeben. Zu beachten ist generell, dass die Güte der Produkte wetterlagenabhängig durchaus unterschiedlich ausfallen kann. Für die Parameter BIAS und RMSE sind die Ergebnisse für das beschriebene Ereignis in Abbildung 7 dargestellt.

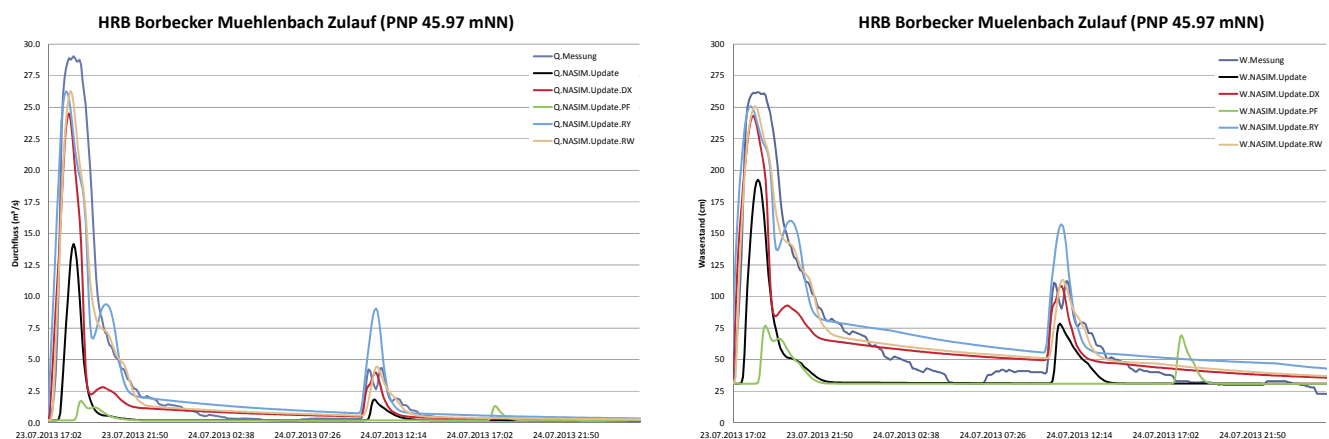


Abb. 6: Simulationsergebnisse für den Zulauf des HRB Borbecker Mühlenbach für verschiedene Niederschlagsprodukte im Vergleich zu den gemessenen Werten vom 23. und 24. Juli 2013

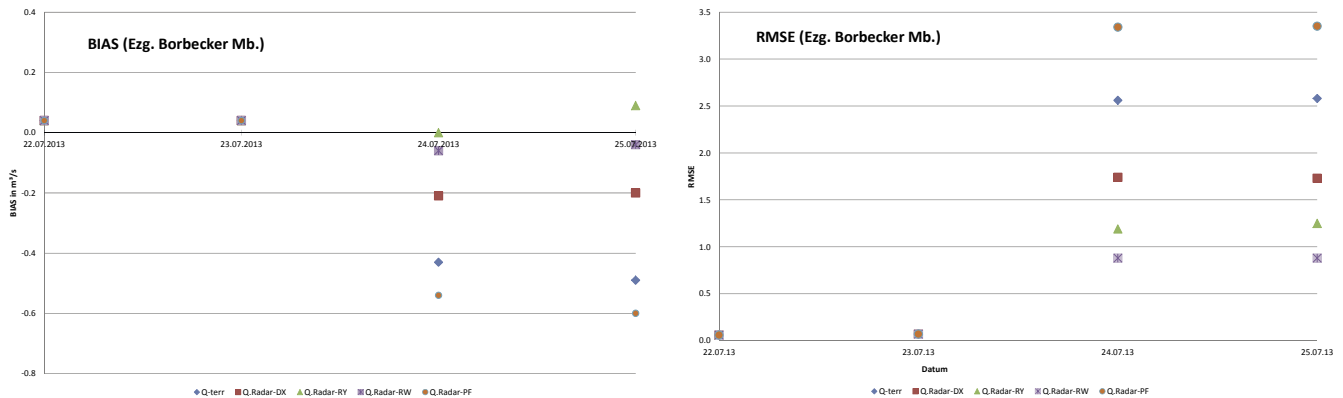


Abb. 7: Einschätzung der Güte der Modellsimulationen auf Basis der Parameter BIAS und RMSE im Zeitraum vom 22. bis 25. Juli 2013

Die Güteparameter unterstützen die visuelle Einschätzung bezüglich der Produkteignung für das betrachtete Ereignis. Das RY- und das RW-Produkt liegen in der BIAS-Betrachtung am 24. und 25. Juli nahe dem optimalen Wert Null, bezüglich des Parameters RMSE weisen sie ebenfalls die geringsten Abweichungen auf und stellen somit die geeigneten Produkte zur Modellierung und Nachbereitung des Ereignisses dar.

Über die reine Visualisierung des aktuellen Niederschlagsgeschehens hinaus, können Radarprodukte gekoppelt mit hydrologischen Modellen und meteorologischen Vorhersagedaten zur Einschätzung der aktuellen Hochwassersituation eingesetzt werden. Die Nutzung von Radardaten in der Hochwasservorhersage setzt eine geeignete Anbindung der Daten an die Vorhersagemodelle sowie eine Kopplung mit meteorologischen Vorhersagesystemen voraus. Abbildung 8 gibt eine Übersicht über die Modelleingangsdaten und die Einbindung der Radardaten. Neben den terrestrischen Eingangsdaten und den Radarprodukten kommen die meteorologischen Vorhersagemodelle COSMO-DE, COSMO-EU, GME sowie ensemblebasierte Vorhersagesysteme wie das COSMO-LEPS und das COSMO-DE EPS zur Anwendung [11]. Das RQ-Produkt liefert eine Kurzfristvorhersage auf Basis von Radartracking-Algorithmen [12]. Für die Berücksichtigung winterlicher Schneebedeckung gehen auch Berechnungen und Vorhersagen des SNOW Modells des DWD in das Vorhersagesystem ein [13].

Zur Berechnung der aktuellen Niederschlags- und Abflusssituation sowie zur Vorhersage der zukünftigen Entwicklung werden im HOWIS in verschiedenen Workflows Berechnungen zur

Ermittlung der aktuellen und prognostizierten Gebietsniederschläge durchgeführt. In parallelen Rechenläufen für das Emscher- und Lippegebiet wird die Abflussvorhersage auf Basis der unterschiedlichen Radarprodukte, des terrestrischen Niederschlags und der Vorhersagedaten berechnet. Die Aktualisierungszeiten sind entsprechend des hydrologischen Verhaltens für die Einzugsgebiete unterschiedlich festgelegt. Um einen geglätteten Übergang zwischen Messwerten und Vorhersageergebnissen zu erzielen, wird in der Zeitreihe bei jeder Simulation eine ARMA (Auto Regressive Moving Average) Korrektur zur Anpassung an die gemessenen Wasserstände und Abflüsse durchgeführt.

#### 4 Projekte zum DX-Produkt

Das DX-Produkt, welches vom DWD speziell für die Wasserwirtschaft bereitgestellt wird, wird alle fünf Minuten aus dem „precipitation scan“ der lokalen Radare abgeleitet. Mittlerweile umfasst es eine Reichweite von 150 km. Die Vorteile für die Verwendung in wasserwirtschaftlichen Fragestellungen liegen neben der hohen zeitlichen Verfügbarkeit auch in der hohen räumlichen Auflösung (1 km \* 1° Azimuth) sowie in der hohen Auflösung der Reflektivitäten in 256 Klassen. Dies ermöglicht eine Einteilung in wasserwirtschaftlich sinnvolle Klassen. Da noch keine Umrechnung in Intensitäten stattgefunden hat, ist die Verwendung unterschiedlicher Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Intensitäten aus den Radarreflektivitäten (Z-R Beziehungen) möglich. Ebenso können Verfahren zur physikalischen Korrektur des DX-Produktes angewandt werden. Für schnell reagierende Einzugsgebiete wie das Emschersystem ist das DX-Produkt zur Visualisierung und auch zur Modellierung gut geeignet, um die hohe Dynamik der Abflussbildung wiederzugeben. EG und LV nutzen Daten der lokalen Radare Essen und Flechtendorf (Abbildung 9).

In Form verschiedener Projekte und Kooperationen beteiligen sich EG und LV an der Entwicklung und Erprobung von Methoden zur Verbesserung der DX-Rohdaten. Unterschieden werden kann hier in Methoden für nicht-zeitkritische Aufgaben im Offline-Betrieb sowie in Verfahren zur Korrektur der physikalischen Fehlerquellen der Radarmessung in Echtzeit.

##### 4.1 DX-Offline

Ziele dieses Projektes, an dem zehn Wasserverbände gemeinsam mit dem DWD beteiligt sind, ist die gemeinsame Verbesserung und Auswertung zeitlich und räumlich hoch aufgelöster Radarniederschlagsprodukte für nicht-zeitkritische Aufgaben im Offline-Betrieb [7]. Hierzu werden die DX-Radarniederschlagsda-

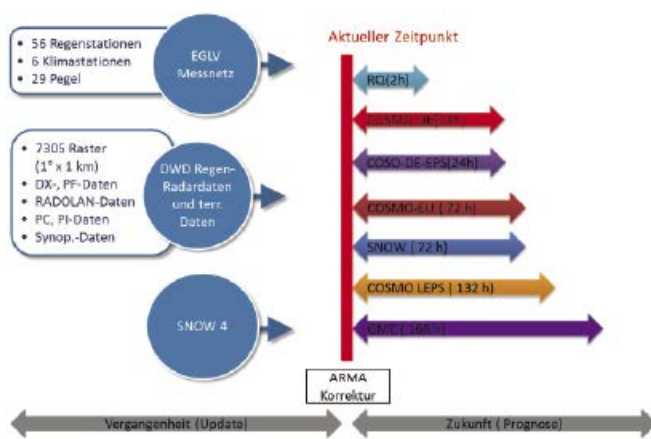


Abb. 8: Einbindung der Radardaten in das Hochwasservorhersagesystem bei EG und LV

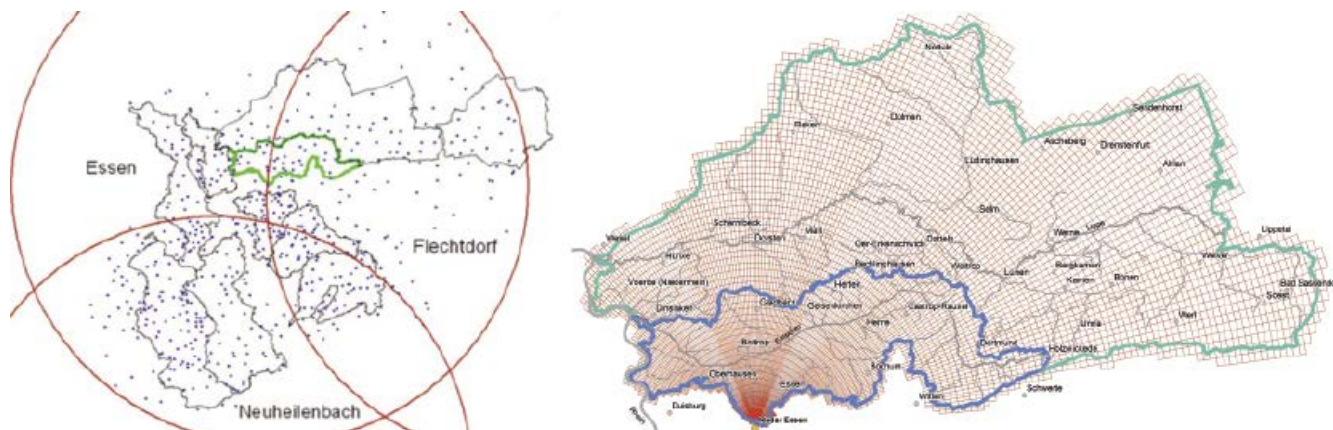


Abb. 9: Abdeckung der Verbandsgebiete durch die Reichweiten der Radarstandorte Essen, Flechtdorf und Neuheilenbach (links) und DX-Radarpixel im Emscher und Lippe Gebiet (rechts)

ten mit verschiedenen Verfahren korrigiert und an Regenschreiberdaten angeeicht. Neben den Messdaten der Wasserverbände werden auch Daten des LANUV sowie von Kommunen und sonstigen Betreibern in die Aneichung mit einbezogen. Allein im Zeitraum 2001 bis 2010 wurden 740 Regenschreiber-Zeitreihen ausgewertet. Nicht alle Zeitreihen gehen in die Aneichung ein, rund zehn Prozent der Stationen werden zur Verifizierung herangezogen. Dieses große Datenkollektiv ermöglicht die Erstellung eines qualitativ sehr hochwertigen Radarproduktes, welches mit fortschreitender Zeitreihenlänge künftig neben Wasserhaushaltsbilanzierungen auch für Kalibrierungs- und Bemessungszwecke sowie für statistische Analysen und radarklimatologische Auswertungen verwendet werden kann. Mittlerweile liegen 13 Jahre (2001–2013) an aufbereiteten Daten vor. Die Fortschreibung erfolgt jährlich. Voraussetzung für die Erstellung des Produktes ist eine sorgfältige Qualitätsprüfung sowohl der Radar- als auch der Regenschreiberdaten [15].

Zur Korrektur der Radardaten erfolgt zunächst eine Lückenfüllung, anschließend werden Bodenechos und Strahlabschattungen korrigiert und die Daten geglättet. Eine Berücksichtigung der Dämpfung und von Bright Band Effekten ist indirekt durch die Aneichung möglich. Nach dieser Korrektur erfolgt die Aneichung auf Basis eines tageweise erstellten Faktorenfelds der Niederschlagsschreiber unter Berücksichtigung festgelegter Randbedingungen. Die Interpolation der Faktoren erfolgt mittels Inverse Distance Weighting (IDW)-Verfahren [14].

Durch die Verknüpfung hoch aufgelöster Punktinformationen aus den terrestrischen Messungen mit der flächendeckenden Erfassung der korrigierten Radarniederschläge im Rahmen der Aneichung liegen Daten mit einer hohen Qualität vor, für die die mittleren Jahresniederschläge z. B. für den Zeitraum 2001–2012 für das Emscher- und Lippegebiet in Abbildung 10 dargestellt sind.

In einem nächsten Schritt ist nun geplant, die positiven Ergebnisse aus dem DX-Offline Projekt auch in den operationellen Einsatz in Echt-Zeit zu überführen (DX-Online Projekt). Ziel ist die Online-Bereitstellung hoch aufgelöster, korrigierter und angeeichter Radardaten als verbesserter Input für Vorhersagesysteme.

#### 4.2 Dämpfungskorrektur der DX-Radardaten in Echt-Zeit

In diesem Projekt wurde ein Verfahren zur deterministischen Korrektur der physikalischen Einflüsse auf die Radarmessdaten

in Echt-Zeit umgesetzt [6]. Ziel des Projektes ist es, hochaufgelöste und qualitätsgeprüfte Radardaten Online zur Verfügung zu stellen und zur Abflussmodellierung und Visualisierung heranzuziehen. Im Gegensatz zum oben genannten Offline-Verfahren findet hier keine Aneichung an Bodenstationsdaten statt. Vielmehr sollen die beiden bedeutenden Fehlerquellen Dämpfung und die Umrechnung der gemessenen Radarreflektivitäten in Niederschlagsintensitäten (R-Z Beziehung) minimiert werden.

Die Korrekturalgorithmen sind in [15] und [16] detailliert beschrieben. Durch Algorithmen zur Dämpfungskorrektur und zur Berücksichtigung ereignisspezifischer R-Z Beziehungen soll eine räumlich differenzierte Korrektur der Radardaten in Abhängigkeit des aktuellen Regenprozesses erreicht werden. Hierzu werden beispielsweise unterschiedliche R-Z Beziehungen für konvektive Ereignisse und advektive Niederschläge verwendet. Die Unterscheidung erfolgt auf Basis einer automatisierten Analyse der Niederschlagsstrukturen.

Die Auswirkungen dieser Dämpfungskorrektur werden gut am Beispiel des Starkregenereignisses vom 20. Juni 2013 deutlich (Abbildung 11). Im Laufe des Ereignisses wurden beispielsweise an der Station Rorup (8843) im Lippegebiet innerhalb einer Stunde 62,8 mm Niederschlag gemessen. In der linken Abbildung sind die Reflektivitäten des Radars Essen abgebildet. In der unteren Bildhälfte finden sich zahlreiche Fehlechos, hervorgerufen beispielsweise von Windkraftanlagen oder Flugzeugen. Deutlich erkennbar wird das „Aufblühen“ der Starkniederschlagszellen in der mittleren Abbildung. Hier werden nach der Korrektur deutlich höhere Intensitäten er-



Abb. 10: Einzugsgebietsbezogene mittlere Jahresniederschlags-summe (Wasserwirtschaftsjahr)

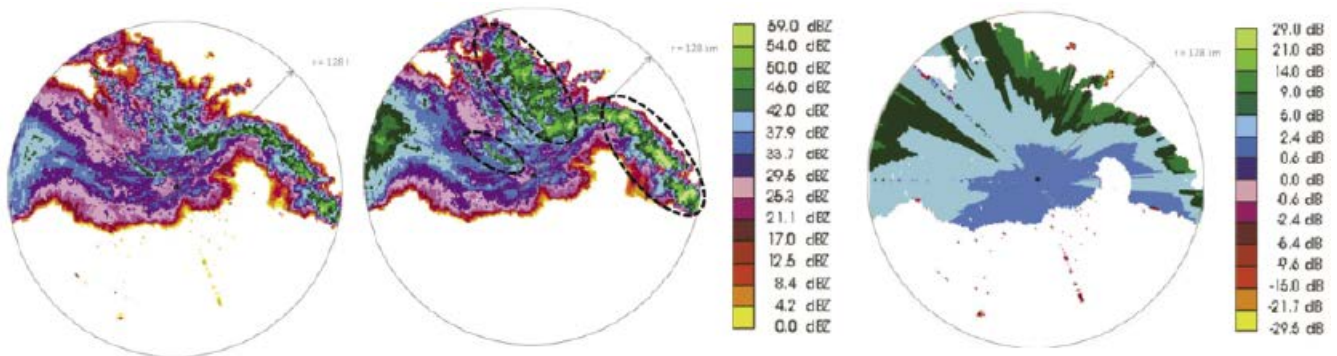


Abb. 11: Reflexivitäten des Radarstandortes Essen (DX-Produkt) für den 20. Juni 2013, 14:35 Uhr; links: unkorrigiert, Mitte: mit Korrekturalgorithmen, rechts: korrigierter Dämpfungsanteil

kennbar. Die maximalen Radarniederschläge liegen jetzt in einer Größenordnung von über 70 mm im Ereigniszeitraum. Auch sind die Fehlechos verschwunden. Die rechte Seite zeigt die Größe der Intensitätsänderung im Radarbild. Eine Erhöhung der Reflexivität um 8 dB z. B. von 42 dBZ auf 50 dBZ bewirkt eine Erhöhung der Niederschlagsintensität von 15 mm/h auf über 40 mm/h. Als nächster Schritt ist nun eine Validierung der Ergebnisse geplant. Hierzu wird für relevante Ereignisse ein Abgleich mit Tropfenspektrografenmessungen des DWD durchgeführt. Ebenso soll die automatisierte Zuweisung der Reflexivitäten in Regenhöhen durch Bilderkennung optimiert werden.

In einem weiteren Ergebnis aus der Dämpfungskorrektur liegen für die drei Radarstandorte Essen, Neuheilenbach und Flechtdorf korrigierte Einzelbilder der Radarniederschläge vor, die mittels einer Schnittstelle auch direkt in geografischen Informationssystemen (GIS) visualisiert werden können.

## 5 Siedlungswasserwirtschaftliche Aspekte

Einen zunehmend stärker werdenden Raum nehmen Radar auswertungen in der Nachbereitung von Starkregenereignissen mit hohem Schadenspotenzial ein. Gerade bei lokal eng be-

grenzten Starkregen reicht die Messnetzdicke der terrestrischen Stationen oft nicht aus, die Schwerpunkte des Ereignisses zu erfassen. Hier können Radardaten sowohl qualitativ als auch quantitativ einen wichtigen Beitrag zum Nachweis des Ereignisses liefern. Dies ist bei der Aufbereitung von heftigen Starkregenereignissen sehr hilfreich für die Kommunikation mit den betroffenen Kommunen.

Der unmittelbare Nutzen wird am Beispiel des Starkregens vom 28. April 2011 deutlich, in dessen Verlauf es in dem in Abbildung 12a gezeigten Bereich zu Schäden durch Überflutungen in einem Stadtteil von Bottrop kam. Der an der nächstgelegenen Niederschlagsstation Bottrop-Eigen Pumpwerk registrierte Niederschlag im Hauptereigniszeitraum zwischen 16:51 Uhr und 17:50 Uhr betrug 7 mm. Wie die Radardaten des RW-Produktes in Abbildung 12b zeigen, handelte es sich um ein lokal eng begrenztes Starkregenereignis, dessen höchste Intensitäten in einem Bereich von 4 km<sup>2</sup> fielen. Der Stundenwert der Radarzelle über dem Betrachtungsgebiet liegt bei rd. 38 mm. Dies entspräche einer Jährlichkeit von 50 bis 100 Jahren, wenn der Niederschlag an der Station gemessen worden wäre.

Weiterhin werden bei EG und LV beispielsweise rein qualitativ Radardaten zur Plausibilisierung von Betriebsdatenaufzeichnungen verwendet. Im Fall des Starkregenereignisses vom

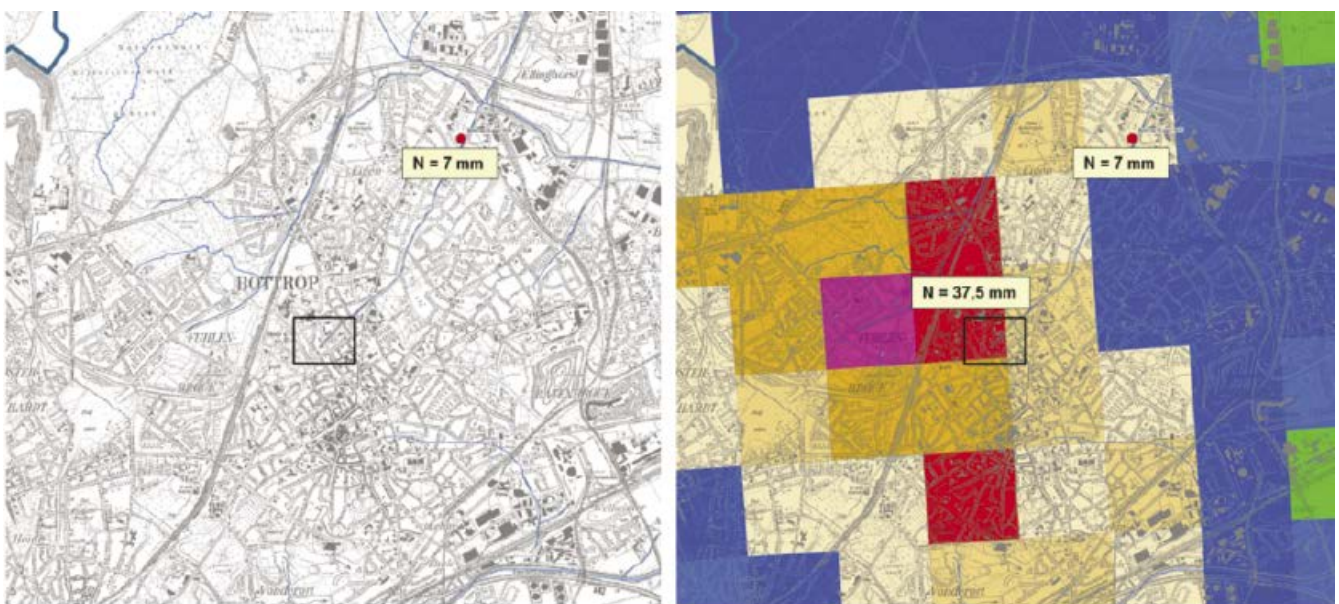


Abb. 12 a und b: Radarniederschlag (RW-Produkt) und terrestrische Messung am 28. April 2011 in Bottrop (Zeitraum 16:51 Uhr – 17:50 Uhr, MESZ)



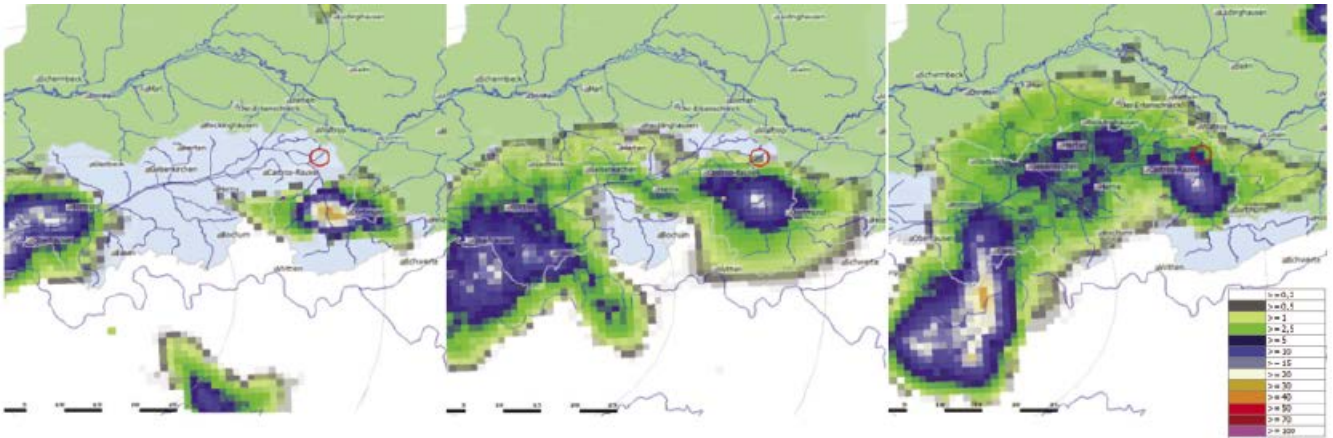


Abb. 13: Stündliche Niederschlagssummen RW-Produkt am 9. Juni 2014 im Zeitraum: 03:00 Uhr – 06:00 Uhr, MESZ

9. Juni 2014 wurden am Stauraumkanal Dortmund Brocken-scheidter Weg, trotz hoher gemessener Niederschläge an den Nachbarstationen, kein Einstau registriert, sodass sich die Frage nach einem Fehler in der Beckenaufzeichnung stellte.

Demgegenüber zeigt die Analyse der Radardaten den Ereignisschwerpunkt außerhalb des Einzugsgebietes (roter Kreis in Abbildung 13), sodass die Aufzeichnungen der Beckenpegel als korrekt angesehen werden können.

In jüngster Zeit werden EG und LV immer häufiger mit der Auswertung von Radardaten auch für ihre Mitgliedsgemeinden unterstützend tätig. Neben einer Bereitstellung von Radarbil-dern und Videos, können GIS-gestützt, automatisiert Karten erzeugt werden, die eine ereignisbezogene Auswertung von Ra-dardaten in Bezug auf unterschiedliche Betrachtungsräume er-

möglichen. In Abbildung 14 ist z. B. für das Ereignis vom 12. Juli 2014 die maximale 3-Stundensumme (DX-Produkt) über den Ereigniszeitraum von 19:55 Uhr bis 00:50 Uhr dargestellt. Die Stadtentwässerung Herne GmbH meldete Straßenzüge, in denen Schäden auftraten. Sehr deutlich wird hier die Überein-stimmung der Schadensorte mit den höchsten Radarnieder-schlagssummen. Die nächstgelegene terrestrische Nieder-schlagsstation lag außerhalb des Ereignisschwerpunktes.

Ein weiterer Anwendungsfall ergibt sich im Zusammenhang mit der Kalibrierung wasserwirtschaftlicher Modelle. So helfen Radardaten bei der Beantwortung der Frage, ob zu einem be-stimmten Niederschlagsereignis ein Modellgebiet vollständig überregnet war und der Niederschlag als Gebietsbelastung ver-wendet werden kann.

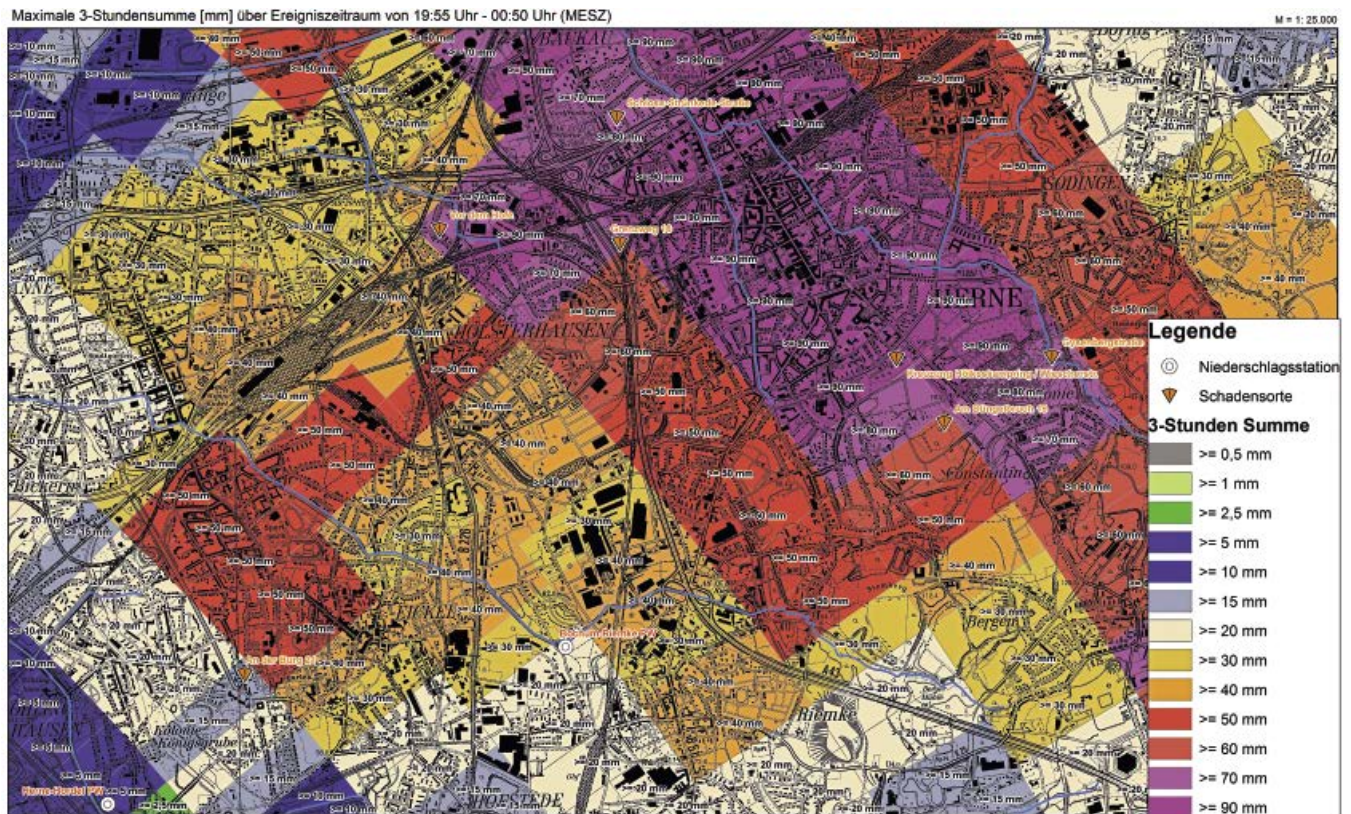


Abb. 14: Maximale 3-Stundensumme [mm] im Stadtgebiet von Herne vom 12. Juli 2014 einschließlich Schadensorte (Zeitraum 19:55 Uhr – 00:50 Uhr, MESZ)

Im Zuge des Emscherumbaus [17] ist die Einrichtung zahlreicher Baustellen an den Gewässern und in der Kanalisation notwendig. Zukünftig wird es möglich sein, radardatenbasierte, automatisierte Warnungen für ausgewählte Teilgebiete einzurichten. In Abhängigkeit vom Anwendungsfall werden bei Überschreitung relevanter Intensitäten oder Niederschlagssummen per SMS und E-Mail Warnungen generiert und an ausgewählte Empfängerkreise versandt. Ebenso wird derzeit für den Anlagenbetrieb bei EG und LV ein Konzept zur Information bei länger andauerndem Trockenwetter entwickelt. Die technischen Plattformen liegen vor, die Umsetzung wird innerhalb des Hochwasserinformationssystems erfolgen.

## 6 Fazit

Der vorliegende Beitrag stellt die Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten von radarerfassten Niederschlägen im Hochwassermanagement bei EG und LV dar. Für die Bearbeitung wesentlicher wasserwirtschaftlicher Fragestellungen ist die Nutzung dieser Radardaten aus der täglichen Praxis nicht mehr wegzudenken. Sie ist bei den Verbänden in rund 20-jähriger Erfahrung gewachsen und heute in der operationellen Hochwasservorhersage integriert. Die Technik der flächenhaften Niederschlagserfassung mittels Radar hat sich in Fachkreisen weltweit seit vielen Jahren durchgesetzt und fortentwickelt. So werden künftig langjährige Reihen zeitlich und räumlich hochaufgelöster Radardaten für hydrometeorologische Auswertungen und wasserwirtschaftliche Anwendungsfälle verfügbar sein. Seitens EG und LV ist der sehr hohe Nutzen in der Hochwasservorhersage, insbesondere in urban geprägten Einzugsgebieten mit schnellen Abflussreaktionen, in den Vordergrund zu stellen.

## Literatur

- [1] Krüger, M., Niehüser, S., Pfister, A., Mudersbach, C., Teichgräber, B. (2015): *Vorstellung eines Tools zur Analyse von Starkregen an einem Beispiel im westlichen Emschergebiet*. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft (8), Heft 2, Februar 2015.

Anzeige

### Unser Expertentipp





<p><b>Exkursion Abflussmessungen an Gewässern</b> 19./20. März 2015 in Hennef 430,00 €/350,00**) €</p>	<p><b>Zertifikatskurs Abflussmessungen an Gewässern</b> 15. – 19. Juni 2015 im Sauerland (Möhnesee) 1.600,00 €/1.300,00**) €</p>	<p><b>Merkblatt DWA-M 151 Messdatenmanagementsysteme (MDMS) in Entwässerungssystemen</b> August 2014, 51 Seiten, DIN A4 ISBN 978-3-944328-67-6 75,50 €/60,40**) €</p>
--	--	---

\*) für fördernde DWA-Mitglieder  
) für DWA-Mitglieder

- [2] Emschergenossenschaft / Lippeverband (Hrsg.) (1998): *Abflußsteuerung unter Verwendung radargemessener Niederschläge*. Abschlussbericht zum F&E Projekt. Essen.
- [3] Treis, A., Krüsken, B. (2011): *Vorhersageplattform FEWS der Wasserverbände NRW im operationellen Einsatz*. In: Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): Newsletter Hydrometeorologie. Nr. 5, April 2011.
- [4] Buchholz, O., Schwanenberg, D., Sommer, B. (2011): *Anforderungen an Hochwasservorhersagesysteme – Erfahrungen mit der Software Delft-FEWS*, Korrespondenz Wasserwirtschaft, Nr. 10, S. 564–568.
- [5] Treis, A. (2013): *Einsatz von Radardaten bei Emschergenossenschaft und Lippeverband*. In: KRdL – Schriftenreihe Nr. 47, S. 53-63, Oktober 2013, Düsseldorf.
- [6] Krämer, S., Treis, A., Pfister, A., Verworn H.R. (2012): *Real time radar rainfall processing for flood management in the Emscher catchment*. Proc. 9th int. Workshop on Precipitation in Urban Areas, St. Moritz, CH.
- [7] Frerk, I., Treis, A., Einfalt, T., Jessen, M. (2012): *Ten years of quality controlled and adjusted radar precipitation data for North-Rhine Westphalia – Methods and objectives*. Proc. 9th int. Workshop on Precipitation in Urban Areas, St. Moritz, CH.
- [8] VDI 3786 Blatt 20 (2014-09): *Umweltmeteorologie; Bodengebundene Fernmessung des Niederschlags; Wetterradar (Environmental meteorology; Ground-based remote sensing of precipitation; Weather radar)*. Berlin: Beuth Verlag
- [9] Deutscher Wetterdienst (2004): *Projekt RADOLAN – Routineverfahren zur Online-Aneicherung der Radarniederschlagsdaten mithilfe von automatischen Bodenniederschlagsstationen (Ombrometer)*. Abschlussbericht.
- [10] Johann, G., Ott, B., Treis, A. (2009): *Einfluss von terrestrisch gemessenen und radarbasierten Niederschlagsdaten auf die Qualität der Hochwasservorhersage*. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft (2), Nr. 9, S.487–493.
- [11] Deutscher Wetterdienst (2014): [http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=\\_dwdwww\\_spezielle\\_nutzer\\_wasserwirtschaft\\_niederschlag&activePage=&\\_nfls=false](http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_spezielle_nutzer_wasserwirtschaft_niederschlag&activePage=&_nfls=false) Stand: 28.08.2014.
- [12] Deutscher Wetterdienst (2012): *Projekt RADVOR-OP – Radargestützte, zeitnahe Niederschlagsvorhersage für den operationellen Einsatz (Niederschlag-Nowcasting-System)*. Abschlussbericht Teil 2, Offenbach
- [13] Deutscher Wetterdienst (2014): [http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=dwdwww\\_menu2\\_kontakt&T13002038801142856457410gsbDocumentPath=Navigation%252FOeffentlichkeit%252FKlima\\_\\_Umwelt%252FHM%252FUnsere\\_\\_Leistungen%252FSNOW4\\_\\_Kurzbeschreibung\\_\\_node.html%253F\\_nnn%253Dtrue&switch\\_Lang=en](http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_menu2_kontakt&T13002038801142856457410gsbDocumentPath=Navigation%252FOeffentlichkeit%252FKlima__Umwelt%252FHM%252FUnsere__Leistungen%252FSNOW4__Kurzbeschreibung__node.html%253F_nnn%253Dtrue&switch_Lang=en) Stand 31.10.2014
- [14] Einfalt, T., Treis, A., Frerk, I., Pfister, A., Jessen, M. (2013): *Zehn Jahre qualitätsgeprüfter und angeeichteter Radardaten für die Wasserverbände in NRW – Methodik und Anwendungen*. Tag der Hydrologie 2013 – Wasserressourcen im globalen Wandel. Poster, Bern, CH.
- [15] Krämer, S., Verworn H.R., Treis, A., Pfister, A., Becker, M. (2009): *Korrektur von C-Band-Radardaten für die Niederschlag-Abfluss Modellierung – Grundlagen, Algorithmen und Verifikation*. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2 (9), 479 – 486.
- [16] Krämer, S., Verworn H.R., Treis, A., Pfister, A. (2012): *Streckenintegrierte Regenmessung mit dem Mikrowellendämpfungsdifferenzverfahren und Quantifizierung von Radarsignaldämpfung*, Hydrologie und Wasserwirtschaft, 56(2), 59–77, DOI: 10.5675/HyWa\_2012,2\_2
- [17] EG (2015): <http://www.eglv.de/wasserportal/emscher-umbau.html>, zuletzt aufgerufen am 21.01.2015

## Autoren

Dipl.-Geogr. Angela Pfister  
Dipl.-Geogr. Adrian Treis  
Prof. Dr.-Ing. Burkhard Teichgräber  
Emschergenossenschaft/Lippeverband  
Kronprinzenstraße 24, 45128 Essen

E-Mail: [pfister.angela@eglv.de](mailto:pfister.angela@eglv.de)  
[treis.adrian@eglv.de](mailto:treis.adrian@eglv.de)  
[teichgraeber.burkhard@eglv.de](mailto:teichgraeber.burkhard@eglv.de)

