

Sonderdruck

# KW

# Korrespondenz Wasserwirtschaft

Wasser · Boden · Natur

2/15

[www.dwa.de/KW](http://www.dwa.de/KW)

Leistungsfähigkeit  
von Straßenein-  
läufen

Extremwertstatis-  
tische Starknieder-  
schlagshöhen

Nationales  
Hochwasserschutz-  
programm

SYNOPSIS

Rekordnieder-  
schläge in Münster

Tool zur Stark-  
regenanalyse

Starkregen-Risiko-  
management

Stark gegen  
Starkregen

Radardaten ver-  
bessern Hochwas-  
servorhersage



WasserWirtschafts-Kurs O/7, 4. bis 6. März 2015, Kassel

## Fließgewässer

mit begleitender Fachausstellung

[www.dwa.de](http://www.dwa.de)

Inkl. Exkursion



# DIE EMSCHER ENTDECKEN



[www.emscher-genossenschaft.de](http://www.emscher-genossenschaft.de)

# Das Projekt „Stark gegen Starkregen“

Jochen Stemplewski, Georg Johann, Patricia Bender und Björn Grün (Essen)

## Zusammenfassung

Schäden durch Hochwasser entstehen nicht nur durch Flusshochwasser, sondern auch durch Sturzfluten aus Starkregenereignissen. Dies zeigen die Schadenssummen der letzten Jahre deutlich. Im Rahmen der europäischen Kooperation „Future Cities – urban networks to face climate change“ wurde vom Lippeverband das Projekt „Stark gegen Starkregen“ initiiert. Dafür wurden vom Lippeverband gemeinsam mit Vertretern der Pilotkommune Unna anhand eines „Anpassungskompasses“ Starkregengefahrenkarten erarbeitet, die für das gesamte Stadtgebiet erstmalig vulnerable Räume bei Starkregen aufzeigen. Verschiedene Ressorts der Kommune können sich nun über mögliche Starkregengefahren informieren und schadensmindernde Maßnahmen initiieren und umsetzen. Im Rahmen der begleitenden Informationskampagne kann sich die Bevölkerung Unnas über ihre Gefährdung klar werden und Möglichkeiten der Eigenvorsorge ergreifen. „Stark gegen Starkregen“ schließt eine Lücke in der öffentlichen Kommunikation im Umgang mit Starkregenereignissen.

Schlagwörter: Starkregen, Lippeverband, Future Cities, Starkregengefahrenkarten, Eigenvorsorge

DOI: 10.3243/kwe2015.02.004

## Abstract

### The Project “Strong Action against Heavy Rainfall”

Damage due to flooding results not only through the flooding of rivers but also through flash floods from heavy rainfall events. This is clearly shown by the amount of the losses over recent years. Within the framework of the European cooperation “Future Cities – urban networks to face climate change” the project “Strong action against heavy rainfall” has been initiated by the Lippeverband (Lippe Water Management Association). For this, the Lippeverband together with representatives of the Unna pilot community, using an adaption compass, have elaborated heavy rainfall hazard charts which, for the first time, indicate vulnerable areas with heavy rainfall for the complete urban area. Various departments of the community can now inform themselves about possible heavy rainfall hazards and initiate and implement damage reducing measures. Within the scope of an associated information campaign, Unna’s population can be sure about the hazards and take actions for self-provision. “Strong action against heavy rainfall” closes a hole in public communication with the handling of heavy rainfall events.

Key words: heavy rainfall, Lippeverband (Lippe Water Management Association), future cities, heavy rainfall hazard charts, self-provision

## 1 Einleitung

Schäden durch Hochwasser entstehen sowohl durch Flusshochwasser als auch durch Sturzfluten aus Starkregenereignissen. Die Zahlen über die Hochwasserschäden der letzten Jahre zeigen: Flusshochwasser und durch lokale Starkregenereignisse ausgelöste Sturzfluten verursachen vergleichbar hohe Schäden. Eine Analyse des Gesamtverbandes Deutscher Versicherer vom Sommerhochwasser in Deutschland im Jahr 2013 kommt zu dem Schluss, dass 53 Prozent der Schäden außerhalb der Überschwemmungsgebiete, die öfter als statistisch einmal in 200 Jahren überflutet werden, lagen. Diese Schäden wurden durch heftige Starkregenfälle verursacht. Insgesamt zahlten die Versicherer 1,8 Milliarden Euro für rund 140 000 versicherte Schäden [1].

Die großen Schäden aus Sturzfluten durch Starkregen kommen auch dadurch zustande, dass die Ereignisse für die Betroffenen überraschend und ohne Vorwarnung auftreten. Denn Starkniederschläge sind zum einen nur mit großer Unsicherheit vorherzusagen, da das Entstehen und Ziehen konvektiver

Zellen von vielen nicht berechenbaren Parametern abhängt [2]. Zum anderen finden die Überschwemmungen weit ab vom Gewässer statt. Hinzu kommt, dass diese Ereignisse sehr schnell und dynamisch ablaufen, zumal Fließhindernisse zu inhomogen ablaufenden Fließprozessen führen [3]. Während der Sturzflut sind gegensteuernde Maßnahmen nur sehr schwer effektiv umzusetzen. Die Starkregenereignisse vom 26. Juli 2008 in Dortmund und vom 28. Juli 2014 in Münster belegen das exemplarisch.

Es liegt der Schluss nahe, dass die Vorsorge der Schwerpunkt des Hochwassermanagements für solche Ereignisse sein muss, um proaktives Handeln möglich zu machen. Schadensmindernde Maßnahmen können von der Wasserwirtschaft, den Kommunen und den betroffenen Menschen getroffen werden. Um eine effiziente Hochwasservorsorge umzusetzen, ist es jedoch zuerst notwendig zu wissen, wo die Gefahren bestehen (Risikoanalyse) [4]. Deshalb ist die Ermittlung der Fließwege des durch Starkregen induzierten wild abfließenden Wassers

eine wesentliche Grundlage. Denn nur dort, wo Wissen über die Hochwassergefahren und -risiken vorliegt, können risikomindernde Maßnahmen ergriffen werden. Auf Basis solcher Starkregengefahrenkarten können betroffene Stellen und Menschen informiert und Maßnahmen initiiert und umgesetzt werden. Diese Karten bieten darüber hinaus die Voraussetzung einer integralen Betrachtungsweise der verschiedenen Ressorts Wasserwirtschaft, Raumplanung, Umwelt usw. Dies bringt für das Hochwassermanagement wertvolle zusätzliche Informationen, welches ein gemeinsames und koordiniertes Vorgehen möglich macht [5].

Starkregengefahrenkarten liegen heute nicht flächendeckend vor. In den Hochwassergefahrenkarten, die im Rahmen der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie [6] erstellt worden sind, sind in Deutschland in der Regel Überflutungsflächen, die durch Flusshochwasser entstehen, abgebildet [7]. Diese Hochwassergefahrenkarten zeigen also, insbesondere in Hochwasserentstehungsgebieten, nur einen Teil der Überflutungen, die sich bei einem Hochwasserereignis ergeben.

Wie Fließwege des wild abfließenden Wassers bei Starkregen ermittelt werden können, ist bekannt und z. B. in [8] dokumentiert. Starkregengefahrenkarten sind beispielsweise für das Einzugsgebiet der Glems im Internet veröffentlicht [9]. Viele Kommunen haben bereits Karten mit solchen Fließwegen im Rahmen ihrer gesetzlichen Aufgaben erstellt, um die Funktionsfähigkeit der kommunalen Infrastruktur zu verbessern. In den meisten Fällen finden solche Karten nicht den Weg in die Öffentlichkeit, unter anderem auch, weil es gesetzlich nicht gefordert ist. Auf der anderen Seite ist laut § 5 (2) des Wasserhaushaltsgesetzes [10] jede Person verpflichtet, geeignete Vorsorgemaßnahmen zur Schadensminderung von nachteiligen Hochwasserfolgen zu treffen. Doch wie können Vorsorgemaßnahmen durchgeführt werden, wenn die Gefahren nicht bekannt sind?

## 2 Hochwassermanagement bei Emschergenossenschaft und Lippeverband

Auch in der Emscher-Lippe-Region ist in den letzten Jahren der größte Teil der Hochwasserschäden durch Sturzfluten aus Starkregenereignissen entstanden. Heute treten Starkregenereignisse in dieser Region bereits drei bis viermal im Jahr auf. Für dieses 4100 km<sup>2</sup> große Gebiet mit 3,7 Mio. Einwohnern sind Emschergenossenschaft und Lippeverband als regionale Träger der Wasserwirtschaft zuständig. Nach ihren Verbandsgesetzen sind sie für die Regelung des Wasserabflusses einschließlich Ausgleich der Wasserführung und Sicherung des Hochwasserabflusses verantwortlich. Emschergenossenschaft und Lippeverband haben 2003 ein Hochwassermanagementkonzept erstellt [11], das ständig weiterentwickelt und an neue Aspekte angepasst wird. Vor allem im Zuge der fortschreitenden ökologischen Umgestaltung der Gewässer im Emschergebiet werden laufend Kontrollen über Gültigkeit und Wirksamkeit einzelner Strategien durchgeführt. Die Verbindung von Planung, Bau und Betrieb ganzer Flussgebiete oder -abschnitte führt zu mannigfaltigen Synergien sowie zu einem integrierten Hochwassermanagementkonzept. Auch im Hinblick auf eventuelle Auswirkungen durch den Klimawandel müssen die Hochwassermanagementkonzepte dynamisch gestaltet sein. Gerade die regional voraussichtlich zunehmenden Starkregenereignisse als Folge der klimarelevanten Veränderung der Nie-

derschlagsverteilung [12] stehen in einem besonderen Fokus der Aufgaben von Emschergenossenschaft und Lippeverband. Dazu gehören zum einen die Messungen des Niederschlags und Fortschreibung der langjährigen Reihen [13], sowie zum anderen auch die Bewusstseinsbildung bei Verwaltung und Bevölkerung und die Stärkung der Eigenvorsorge. Ganz deutlich wird hierbei, dass nur in einem aktiven Dialog mit allen beteiligten Akteuren tragfähige Ergebnisse und Lösungsansätze, mit denen die Vulnerabilität verringert werden kann, erzielt werden können. Diesen Dialog weiter zu fördern und aktiv entsprechende Maßnahmen umzusetzen, sind wesentliche Ziele des Hochwassermanagements von Emschergenossenschaft und Lippeverband [14].

## 3 Das EU-Projekt „Future Cities“

Mit dem Ziel, Stadtregionen in Nordwesteuropa fit für die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels zu machen, startete 2009 „Future Cities“. Das Projekt wurde von der Europäischen Union (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung, INTERREG IVB NWE) gefördert, vom Lippeverband geleitet und lief von März 2009 bis September 2014. Die europäischen Projektpartner entwickelten Strategien, die die Schlüsselkomponenten Grünstrukturen, Wassersysteme und Energieeffizienz für eine vorsorgende Anpassung städtischer Infrastrukturen kombinieren [15]. Ergebnisse des Projekts sind:

- Praxisnahe Bewertungsmethoden (Future Cities Anpassungskompass)
- Maßnahmenpläne für die beteiligten Regionen
- bauliche Lösungen in acht Pilotprojekten
- Ansprache strategischer Akteure, Sensibilisierung und Öffentlichkeitsarbeit

### 3.1 Anwendung des Anpassungskompasses bei „Stark gegen Starkregen“

Eines der zentralen Produkte von Future Cities ist der „Anpassungskompass“ – ein Planungsinstrument, mit dem Handlungsbedarf und Vorgehensweise zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels systematisch ermittelt werden können. Für das Projekt „Stark gegen Starkregen“ nutzte der Lippeverband diese Erkenntnisse, die bis 2013 mit europäischen Partnern erarbeitet wurden und setzte sie praxisnah als Pilotprojekt in der Kreisstadt Unna um.

Unna ist repräsentativ für einen nah am Ballungsraum (Dortmund) liegenden, aber teilweise schon ländlichen Raum des Lippeverbandes, bringt sehr gutes Vorwissen durch das städtische „Strategiekonzept zum Klimawandel“ [16] mit und zeigt eine erhöhte Vulnerabilität gegenüber Starkregenereignissen aufgrund der Hanglage am Höhenrücken „Haarstrang“ und dem durch Bergsenkungen überprägten Gelände. Beteiligt an diesem Projekt waren neben verschiedenen Fachabteilungen des Lippeverbandes von Seiten der Stadt Unna Vertreter von Umwelt- & Planungsamt, Feuerwehr, Stadtbetriebe, Landwirtschaftskammer sowie von der Unteren Wasserbehörde des Kreises Unna. Durch diesen fachübergreifenden Arbeitskreis wurden die Module des Anpassungskompasses bearbeitet (Abbildung 1) und dabei konkrete, umsetzbare Ergebnisse für Unna entwickelt.

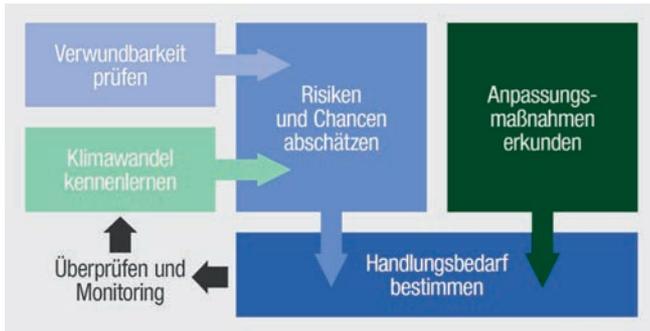


Abb. 1: Die 5 Module des Future Cities Anpassungskompasses

„Stark gegen Starkregen“ und die Anwendung des Anpassungskompasses führten innerhalb der Dienststellen Unnas zu einer großen Sensibilisierung für Klimafolgen, speziell für Starkregenprobleme und hat für Unna die möglichen Auswirkungen deutlich gemacht. Die gemeinsame und integrale Planung und Umsetzung der Anpassungsmaßnahmen erwies sich als zentral. Durch „Stark gegen Starkregen“ wurde das dafür notwendige Netzwerk gebildet, damit auch in Zukunft die Erkenntnisse des Anpassungskompasses in den jeweiligen Handlungsfeldern berücksichtigt werden, zum Beispiel bei der Bauleitplanung, dem Einsatz von Rettungskräften (siehe Kapitel 5) oder der Fortschreibung des Strategiekonzepts Klimawandel der Kreisstadt Unna.

#### 4 Starkregengefahrenkarte Unna

Für die Starkregengefahrenkarten für Unna wurde ein 150 km<sup>2</sup> großes Gebiet modelliert. Die Starkregengefahrenkarten stellen den Teil des Niederschlagsprozesses dar, bei dem sich das Wasser vom Auftreffen auf die Erdoberfläche bis zum nächsten Gewässer bewegt. Die Simulation wurde mit der Modellierungssoftware FloodAreaHPC [17] durchgeführt. Mit dieser Software können sowohl Abflussganglinien als auch zeitlich variable und flächig differenzierte Niederschlagszenarien modelliert werden. Die Ergebnisse wurden im Maßstab 1:5000 dargestellt (Abbildung 2). Die Tiefenklassen sind in unterschiedlichen Blautönen abgebildet, die Bereiche in Magenta stellen die nur gering überfluteten Flächen dar, hier ist überwiegend mit flächigem Abfluss zu rechnen, bei größeren Wassertiefen als ca. 5 cm verschiebt sich der Fließprozess hin zu einem linearen, konzentrierten Abfluss.

##### 4.1 Grundlagendaten

Als Datengrundlagen wurde ein digitales Geländemodell im 1 m-Raster eingesetzt. Im Rahmen der Modellierung wurde ein Niederschlag-Abfluss-Modell mit einem Hydraulikmodell fest gekoppelt. Hierzu mussten auch Boden- und Flächennutzungsdaten aufbereitet werden. Alle Grundlagendaten wurden auf Plausibilität geprüft und einer visuellen Kontrolle unterzogen. Stichprobenartig wurde die Erfassung von Kleinstrukturen geprüft. Aus den Ergebnissen der Qualitätskontrolle erfolgte dann die Korrektur und Optimierung relevanter Bereiche.

Bei der Modellierung wurde iterativ vorgegangen: Nach der Aufbereitung der Eingangsdaten wurde ein erster Simulationslauf gestartet. Die Ergebnisse wurden dann analysiert und unsichere Bereiche vor Ort einer Prüfung unterzogen. Bei Bedarf wurden noch Detailinformationen nacherhoben (z. B. fehlende

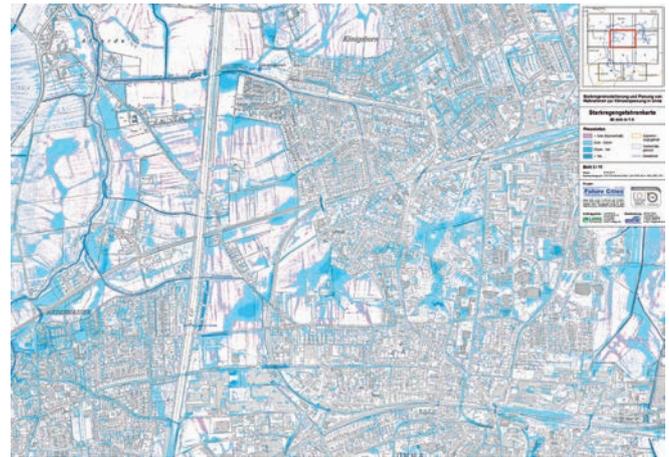


Abb. 2: Teilausschnitt der Starkregengefahrenkarte Unnas

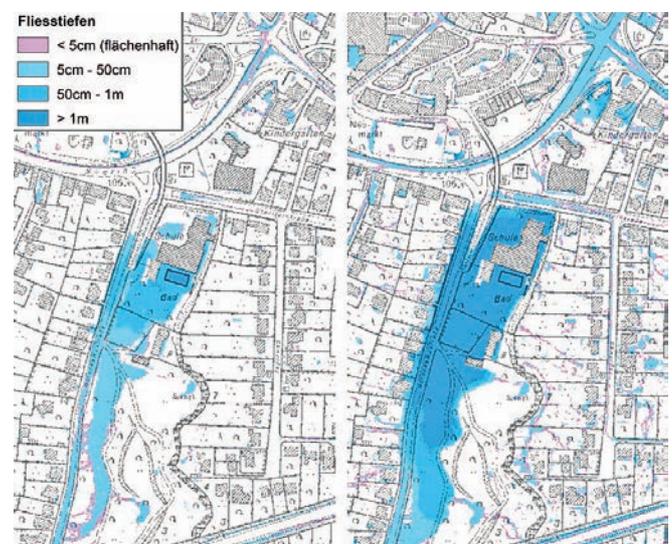


Abb. 3: Ausschnitt aus der Starkregengefahrenkarte Unna, links: Szenario 1 – 45 mm/h; rechts: Szenario 2 – 90 mm/h

Verdolungsstrecken). Mit den korrigierten Eingangsdaten wurde jeweils ein neuer Simulationslauf gestartet. Vorhandene Ereignisbeobachtungen konnten im Rahmen der Validierung hilfreiche Hinweise geben.

##### 4.2 Niederschlagsinput

Die für die Simulation zu verwendenden Niederschläge werden in Absprache mit dem Arbeitskreis Future Cities gewählt. Das erste Szenario entspricht einem 100-jährlichen einstündigen Niederschlag. Nach der Niederschlagsstatistik des Lippeverbandes liegt dieser bei rund 45 mm, beim zweiten Szenario wurde der doppelte Wert, also 90 mm verwendet.

- Szenario 1: 45 mm innerhalb einer Stunde
- Szenario 2: 90 mm innerhalb einer Stunde

An dieser Stelle sollen die Angaben zu Jährlichkeiten im Zusammenhang mit dem Phänomen, dass nicht selten lokal sehr extreme Niederschläge weit jenseits eines 100-jährlichen Niederschlages auftreten können, betrachtet werden. Meist besitzen konvektive Niederschlagszellen eine Ausdehnung von wenigen Kilometern und werden entweder gar nicht oder meist

nur randlich von den für diese Fragestellung weit entfernt auseinanderliegenden terrestrischen Messstationen aufgezichnet. Entsprechend sind diese sehr lokalen Niederschläge in der Statistik nicht immer repräsentiert und Angaben zur Jährlichkeit ortsbezogen und somit nur eingeschränkt möglich.

In den Bezeichnungen in den Starkregengefahrenkarten wurde bewusst auf eine Zuordnung der Jährlichkeit verzichtet. Die Bezeichnungen lehnen sich an die der EU-Hochwasserrichtlinie an (z. B. „mittleres Ereignis“). Zumal die Starkregengefahrenkarten die Vulnerabilität des Gebietes darstellen sollen. Dabei steht die Identifikation der Senken, die sich mit Wasser füllen, und der Hauptabflusswege im Fokus. Sie sollen nicht als Grundlage für die Bemessung von Hochwasserschutzanlagen dienen. Die Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt aus der Starkregengefahrenkarte Unna für die Szenarien 1 und 2. Das Szenario 2 zeigt noch deutlicher die potenzielle Starkregengefahr, jedoch sind die Gefahrenbereiche von Szenario 1 und 2 vergleichbar.

#### 4.3 Validierung

Die Validierung umfasst neben der Plausibilitätskontrolle die Diskussion der Zwischenergebnisse vor Ort, um evtl. fehlende Hauptstrukturen in das Modell zu integrieren. Nach Überarbeitung der Eingangsdaten wurden nacheinander die detaillierteren Rechenläufe durchgeführt und einzeln überprüft. Der nächste Rechenlauf wird jeweils erst gestartet, wenn der jeweils letzte validiert wurde. Die bereitgestellten Karten wurden bezüglich ihrer Plausibilität von dem das Projekt begleitenden Arbeitskreis geprüft. Eine weitere Möglichkeit der Plausibilisierung bestand in einem Abgleich der Modellergebnisse mit dokumentierten Feuerwehralarmierungen und verorteten Meldungen von Überflutungen durch Starkregen.

#### 4.4 Grenzen der Modellierung

Grenzen der Modellierung bestehen trotz der Verfügbarkeit hoch aufgelöster Daten vor allem durch die Datengrundlagen. Zum einen beeinflussen kleine Strukturen wie Gartenmauern oder Bordsteine stellenweise deutlich die Ergebnisse, zum anderen variieren die Auswirkungen von Nutzung und Bodeneigenschaften die Gesamtmenge des Abflusses lokal. D. h. sowohl lokale, fehlende Kleinstrukturen als auch Nutzungsänderungen relativieren die Ergebnisse von Gefahrenkarten stellenweise deutlich. Dies ist bei der Qualitätssicherung, Interpretation und daraus abgeleiteten Planungen zu berücksichtigen. Diese Effekte sind bei kleinen und mittleren Niederschlägen deutlich spürbar (bis  $T_n = 100$  a). Bei starken und extremen Niederschlägen nimmt die Wirkung ab [18].

Das Kanalnetz wurde nur über einen Abzug der Kanalleistungsfähigkeit berücksichtigt, d. h. der Niederschlag wurde im Siedlungsbereich um den entsprechenden Betrag reduziert. Dabei wurde vereinfachend vorausgesetzt, dass der Kanal über die volle geplante Leistungsfähigkeit verfügt. Bei den hier gerechneten Szenarien reicht die Leistungsfähigkeit des Kanalnetzes in keinem Fall aus, um das gesamte Niederschlagswasser abzuführen. Das bei Überlastung aus dem Kanalnetz austretende Wasser ist bei dieser Modellierung nicht berücksichtigt. Des Weiteren kann bei nicht ausgelastetem Kanalnetz Wasser

aus der Landfläche auch später in das Kanalnetz eintreten, dies ist bei der hier getroffenen Vereinfachung nicht mit einbezogen.

Jedoch bestehen auch bei der gekoppelten Modellierung mit Kanalnetz Unsicherheiten, besonders bei Ereignissen jenseits der Bemessungshöhe. Generell besteht dann die Frage, wie viel Wasser vom Oberflächenabfluss in die Kanalisation gelangen kann. Denn das Kanalnetz kann durch Sediment bzw. Schwemmgut teilweise nicht ausgenutzt werden, da das Wasser nicht eintreten kann [19].

## 5 Hochwassermindernde Maßnahmen

Auf der Grundlage der Starkregengefahrenkarte können Gefahren und Risiken analysiert und Maßnahmen initiiert werden.

### 5.1 Gefahrenanalyse

Eine gesonderte Gefahrenanalyse erfolgte zum einen für den Siedlungsraum und zum anderen speziell für Standorte der Strom- und Gasversorgung. Basierend auf einer Analyse der Ergebnisse der beiden Starkregenszenarien wurden zunächst besondere Gefahrenstellen, wie z. B. Staubereiche mit hohen Fließtiefen identifiziert. Darüber hinaus wurde die Betroffenheit von Schulen, Kindergärten/-tagesstätten, Alten-/Pflegeheimen, Krankenhäusern, Feuerwehr und Polizeiwachen untersucht und ein gegebenenfalls erforderlicher Handlungsbedarf ermittelt. Aus dieser Analyse ergaben sich über 100 Gefahrenpunkte und damit mögliche Maßnahmenstandorte. In dem Pilotprojekt „Stark gegen Starkregen“ in Unna wurden insgesamt 25 Standorte detaillierter erfasst und bearbeitet. Die Auswahl erfolgte basierend auf dem Handlungsbedarf, aber deckt diesen nicht vollständig.

Für die Standorte der Strom- und Gasversorgung wurden die Fließtiefen in der Umgebung der Anlagen für die untersuchten Szenarien ausgewertet und als Attribute der Polygone gespeichert (gerundet auf 10 cm). Dabei wurden jeweils die durchschnittliche und die maximale Fließtiefe für jede Anlage ermittelt. Zudem wurde der von einer Überflutung betroffene prozentuale Anteil der Grundfläche jedes Anlagenpolygons ermittelt. Abbildung 4 zeigt beispielhaft maximale Fließtiefen für die drei verschiedenen Anlagentypen bei einem Ereignis mit 90 mm Niederschlag innerhalb einer Stunde.

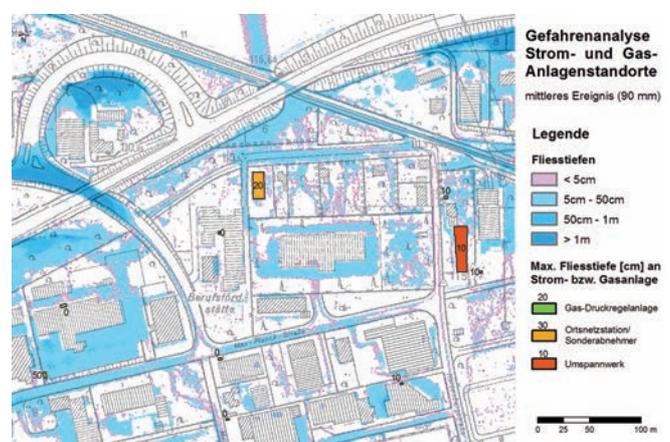


Abb. 4: Ausschnitt der Gefahrenanalyse von Strom- und Gas-Anlagenstandorten für ein Starkregenereignis von 90 mm/h.



Abb. 5: Wirkungsanalyse möglicher Hochwasserschutzmaßnahmen in Unna-Mühlhausen für ein Starkregenereignis von 90 mm/h

## 5.2 Maßnahmen

Zahlreiche hochwasserschadensmindernde Maßnahmen können vor dem Ereignis ergriffen werden. Sie können in verschiedenen Bereichen stattfinden:

- Krisenmanagementplanungen (z. B. Hochwasseralarm- und Einsatzplanung)
- Objektschutzmaßnahmen
- Städtebauliche Infrastrukturmaßnahmen zur Leitung von Wasserströmen
- Retentionsmaßnahmen zur Dämpfung des Abflusses
- Informationsmaßnahmen für betroffene Menschen und Stellen

Die Krisenmanagementplanung „Starkregenereignisse“ ist mit der für Flusshochwasser vergleichbar. Oft sind Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben selbst betroffen, sei es weil das Ordnungsamt auch unter Wasser steht oder die Feuerwehrleute wegen der überfluteten Straße erst gar nicht in ihr Feuerwehrhaus einrücken können. Hier bieten die Gefahrenkarten die Chance, grundsätzliche Prioritäten zu setzen, zum Beispiel welche Straßen für die allgemeine Sicherheit besonders wichtig und deshalb gegen die Überflutung zu verteidigen, beziehungsweise als erste wieder befahrbar zu machen sind. Weiterhin kann mit der Identifikation, Bewertung und Priorisierung kritischer Objekte (Kindergärten, Schulen, Krankenhäuser, Energieversorgung etc.) die Maßnahmenplanung vorangetrieben werden.

Ein wirksamer Schutz vor den Folgen des Starkregens beginnt auch bei der städtebaulichen und verkehrstechnischen Konzeption. Bereits bei der Planung und Genehmigung von Straßen und Bebauung sollten gefährdete Bereiche ausgespart und sogenannte Retentionsräume (Flächen, die vorübergehend größere Wassermengen aufnehmen können) vorgesehen werden. Im Idealfall handelt es sich dabei um bewachsene Naturflächen und Versickerungsanlagen. Eine systematische Verknüpfung von stadt- und freiraumplanerischen Handlungsfeldern mit Themen der Regenwasserbewirtschaftung und der Gewässerentwicklung ist daher ein effektives Instrument, um multifunktionale Projekte zu generieren und zur Entfaltung zu bringen [20].

Dezentrale Maßnahmen wie z. B. kleine Retentionsmaßnahmen können auch Hochwasserschadensmindernd wirken. Das

DWA-Merkblatt M 550, das Hinweise zur Umsetzung und Wirksamkeit dieser Maßnahmen gibt, liegt im Gelbdruck vor [21].

Die Abbildung 5 zeigt exemplarisch die Wirkung eines Ensembles dezentraler Retentionsmaßnahmen. Die Maßnahmen wurden im Rahmen des Projektes „Stark gegen Starkregen“ entwickelt. Darüber hinaus hat die Stadt Unna erste Maßnahmen eingeleitet, um die neuen Erkenntnisse aus den Fließweganalysen und Starkregengefahrenkarten umzusetzen.

## 6 Die Informationskampagne zu „Stark gegen Starkregen“

Einem großen Teil der Bevölkerung in Deutschland sind die Gefahren, welche extreme Niederschläge mit sich bringen, nicht oder noch zu wenig bewusst. Durchaus übertragen lassen sich hier Untersuchungen der Internationalen Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR) zum Risikobewusstsein von Bevölkerung und Entscheidungsträgern bei Hochwasserereignissen. So ist ohne eine ständige Erinnerung bzw. Kommunikation über latent vorhandene Gefahren das Bewusstsein für Hochwasserereignisse spätestens sieben Jahre nach einer Überschwemmung auf dem gleichen, niedrigen Niveau wie vor dem Hochwasser [22]. Doch wie sollen, wie eingangs ausgeführt, Vorsorgemaßnahmen zur Schadensminderung getroffen werden, wenn die Gefahren nicht bekannt sind?

Vor diesem Hintergrund ist eine breit angelegte Information der Kommunen und der Bevölkerung innerhalb der Em-scher-Lippe-Region – und natürlich auch darüber hinaus – der Ausgangspunkt für die begleitende Informationskampagne zu „Stark gegen Starkregen“.

Sensibilisieren, informieren und aktivieren heißen die zentralen Ziele der Informationskampagne. Bei der ersten Bewusstmachung der Risiken durch Starkregen geht es darum, über die eingangs ausgeführten spezifischen Gefahren wie sehr kurze Vorwarnzeiten und geringe Prognostizierbarkeit der lokalen Betroffenheit zu informieren. Denn daraus folgt, dass nur vorausschauendes Handeln eine besonders gefährdete Ortslage einer Kommune oder ein möglicherweise betroffenes Eigenheim schützen kann. Innerhalb ländlich geprägter Räume der Lipperegion sind neben den kommunalen Ansprechpartnern und den Bürgern (Haus- und Grundstückseigentümern) auch Landwirte eine wichtige Zielgruppe, da sie über entsprechende Flächen verfügen, um großflächige Retentionsräume für Wassermassen bereitzustellen.

Die Informationskampagne bündelt vor allem online wesentliche Informationen darüber, wie Starkregen entstehen bzw. welche besonderen Gefahren sich ergeben können – dies zeigt beispielsweise ein fünfminütiger, bewusst einfach gehaltener, Film. Zu sehen ist er auf dem Herzstück der Kampagne, der Internetseite [www.stark-gegen-starkregen.de](http://www.stark-gegen-starkregen.de) (und auch auf YouTube).

Die Website veranschaulicht in Bildern und Texten, wie Kommunen und Hauseigentümer Vorsorge treffen können. So wird eine Übersicht von möglichen Präventionsmaßnahmen auf administrativer, städtebaulicher, land- und forstwirtschaftlicher Ebene zur Überflutungsvorsorge bzw. für den Bürger Informationen hinsichtlich Bestands- und Neubauten gegeben. Ebenfalls auf der Website ist die in Kapitel 4 genannte Starkregengefahrenkarte, die hier frei zugänglich ist. Verwiesen wird außerdem auf den „Hochwasserpass“ [23], einem Service des HochwasserKompetenzCentrums (HKC,



Abb. 6: Startseite des Internetauftritts „Stark gegen Starkregen“

Köln), mit dem Bürger anhand eines Fragebogens die Gefährdung des eigenen Gebäudes abschätzen können. Die Website liefert auch Hintergrundinformationen zu Future Cities und dem Lippeverband. Ein besonderer Fokus liegt auf der Pilotstadt Unna, die sich hier „Stark gegen Starkregen“ macht. Die Kreisstadt nennt bereits realisierte und aktuelle Maßnahmen der Prävention. Der modulare Aufbau der Website lässt eine Ergänzung um weitere, an der Kampagne zukünftig teilnehmende, Kommunen zu.

Als Kampagnendach fungiert die Wort-Bildmarke „Stark gegen Starkregen“. Alle begleitenden „Kommunikationsprodukte“ wie Flyer, Poster, Anzeigen und die Website sind durch dieses Logo gekennzeichnet.

Die Motive der Plakatkampagne (Abbildung 7) zeigen, dass Starkregen jeden betrifft: Bilder vom heimischen Sofa, einem Baby oder ein Heuballen bzw. ein Schaf verweisen darauf, dass wild abfließendes Wasser bei einem Starkregen Souterrain- oder Erdgeschosswohnungen ebenso trifft wie landwirtschaftliche Nutzflächen. Eine in die Motive eingebauter Pegellatte nennt reale Überflutungstiefen lokaler Starkregenereignisse, in Unna waren dies 50 cm im Ortsteil Stockum am 23. Mai 2012. Durch diese Verknüpfung eines echten Ereignisses mit einer fiktiven Situation ergibt sich eine direkte Betroffenheit der Zielgruppen, die zum Handeln auffordert. Begleitet wurden diese, in vielfältigen lokalen Medien erschienenen, Plakatkampagne durch eine Info-Ausstellung in der Bürgerhalle Unna über den gesamten Aktionsmonat September. Eine erste Auswertung der Ergebnisse der Kommunikationskampagne (Nutzer Website, Presseergebnisse, Reichweiten etc.) zeigt, dass trotz der kurzen Kampagnenlaufzeit von einem Monat (September 2014) eine Sensibilisierung und Information der Bevölkerung in Unna erreicht wurde. Die Kampagne „Stark gegen Starkregen“ lässt sich nach den positiven Ergebnissen mit der Pilotstadt Unna auch auf andere Kommunen übertragen.

## 7 Fazit und Ausblick

Starkregengefahrenkarten können mit einer hohen Qualität erstellt werden. Sie bringen für das Hochwasserrisikomanagement wertvolle Informationen, die in den heute existierenden Hochwassergefahrenkarten nicht ersichtlich sind. Der Aufwand liegt hauptsächlich in der Beschaffung/Aufnahme von lokalen Daten, wenn hoch aufgelöste Laserscans vorliegen. Auch für



Abb. 7: Plakatbeispiel der Kampagne „Stark gegen Starkregen“

die weiteren Arbeitsschritte des Hochwassermanagements bieten Kooperationen (Wasserwirtschaft, Kommunen, betroffene Menschen) vielfältige Synergien. Daneben lassen sich viele Fragestellungen auch nur durch interkommunale Zusammenarbeit sinnvoll lösen.

Die Frage ist lediglich, ob ein Starkregenereignis abgewartet wird, bis sich der Handlungsdruck verstärkt oder ob bereits davor Chancen genutzt werden können, solchen Ereignissen deutlich besser vorbereitet entgegen sehen zu können.

Das Projekt „Stark gegen Starkregen“ schließt eine Lücke innerhalb der öffentlichen Kommunikation hinsichtlich Starkregenereignissen. Durch die öffentliche Bereitstellung der Starkregengefahrenkarten im Internet auf der Kampagnensite [www.stark-gegen-starkregen.de](http://www.stark-gegen-starkregen.de) und diverse Kommunikationsmaßnahmen sollen sowohl kommunale Verwaltungen als auch Bürger informiert und aktiviert werden. Durch vorbeugende Maßnahmen innerhalb der Stadtentwicklung, Freiraumplanung, Wasserwirtschaft etc., aber auch von Seiten der Gebäudeeigentümer (betroffene Menschen) bzw. Flächeneigentümer in eher ländlich geprägten Räumen (Landwirte, Landwirtschaftskammer) sollen so die Folgen von Starkregenereignissen reduziert werden. Dem positiven Beispiel der Pilotstadt Unna können viele Kommunen folgen und Teil des Projekts „Stark gegen Starkregen“ werden. Der Lippeverband will diese Aufgaben gemäß seinem gesetzlichen Auftrag als Wasserwirtschaftsverband gerne zusammen mit weiteren Kommunen angehen.

## Literatur

- [1] GDV (2014): *Hochwasser 2013 – Zahlen und Fakten: Die meisten Schäden entstanden weitab der großen Flüsse.* <http://www.gdv.de/2014/05/die-meisten-schaeden-entstanden-weitab-der-grossen-fluesse/>
- [2] K. Bogner et al. (2014): *Korrektur von Modell- und Vorhersagefehlern und Abschätzung der prädikativen Unsicherheit in einem probabilistischen Hochwasservorhersagesystem.* In: *Hydrologie und Wasserwirtschaft*. 58/H2. S. 73
- [3] G. Johann & Ch. Pohl (2010): *Hochwassergefahren durch Flusshochwasser und Sturzflut im urbanen Raum – eine integrale Betrachtung.* In: *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 2010 (3) Nr.10, S. 545
- [4] U. Grünwald (2009): *Hochwasserrisikomanagement – aktueller Forschungsbedarf.* *WasserWirtschaft* 11/2009, S. 50
- [5] Informations- und Beratungszentrum Hochwasservorsorge Rheinland-Pfalz und WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwick-

- lung mbH (2013): *Leitfaden „Starkregen – Was können Kommunen tun?“*
- [6] Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken.
- [7] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser LAWA (2010): *Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten*. [http://www.lawa.de/documents/HWGK15062010\\_b72.pdf](http://www.lawa.de/documents/HWGK15062010_b72.pdf)
- [8] BWK-Fachinformation 1 \ 2013 (2013): *Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge*.
- [9] A. Assmann, S. Jäger, K. Fritsch & C. Brauner (2012): *Starkregengefahrenkarten und Risikomanagement im Glens-Einzugsgebiet*. In: Weiler, M. (Hrsg.) (2012) *Wasser ohne Grenzen*, Beiträge zum Tag der Hydrologie am 22./23. März 2012, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 31.12: 195–200
- [10] Deutschland (2009): *Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts (Wasserhaushaltsgesetz WHG)* vom 31. Juli 2009 (BGBl.1, Jg. 2009)
- [11] Emschergenossenschaft/Lippeverband (2003): *Hochwasserschutz an der Lippe und an der Neuen Emscher*. Emschergenossenschaft/Lippeverband, Dezember 2003
- [12] M. Quirnbach, E. Freistühler, I. Papadakis (2012): *Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region; Analysen zu den Parametern Lufttemperatur und Niederschlag*. In: Dynaklim-Publikationen 2012: [http://dynaklim.ahu.de/dynaklim/index/wissensmanagement/publikationen/dynaklim\\_Publikationen-2012.html](http://dynaklim.ahu.de/dynaklim/index/wissensmanagement/publikationen/dynaklim_Publikationen-2012.html)
- [13] Krüger, M. et al. (2015): *Vorstellung eines Tools zur Analyse von Starkregen an einem Beispiel im westlichen Emschergebiet*. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft (8), Heft 2, Februar 2015.
- [14] Grün, E., Johann, G. und Pfister, A. (2014): *Hochwassersicherheit im urbanen Raum*. Schriftenreihe zur Essener Tagung 19.-21.03.2014, Gewässerschutz – Wasser – Abwasser, ISBN 978-3-938996-40-9, S. 34, 1–15, Aachen, 2014
- [15] Future Cities (2014): [www.future-cities.eu/en/](http://www.future-cities.eu/en/)
- [16] Kreisstadt Unna (2012): *Strategiekonzept Klimawandel – Klimaschutz und Klimaanpassung in der Kreisstadt Unna Strategiekonzept zum Klimawandel*. [http://www.unna.de/cms/upload/pdf/Pressestelle/Strategiekonzept\\_Klimawandel.pdf](http://www.unna.de/cms/upload/pdf/Pressestelle/Strategiekonzept_Klimawandel.pdf)
- [17] Assmann, A. (2013): *Starkregenmanagement*. In: Die Gemeinde (BWGZ) 136(11): 443–447
- [18] Assmann, A. (2013): *Modellierung von extremen Starkregeneignissen – was ist möglich?* In: Schriftenreihe des Verbandes Rhein-Neckar, Heft 12 Hochwasserschutzforum Rhein-Neckar, S. 56 – 64
- [19] A. Schlenkhoff, S. Kemper & A. Mayer A. (2015): *Physikalische Modellversuche zur hydraulischen Leistungsfähigkeit von Straßeneinläufen*. In: gwf – Wasser|Abwasser (noch nicht veröffentlicht)
- [20] J. Stemplewski, M. Becker & R. Schumacher (2014): *Zukunftsinitiative „Wasser in der Stadt von morgen“: Wasser als Motor der Stadt- und Freiraumentwicklung in der Emscherregion*. Korrespondenz Abwasser (61), (noch nicht veröffentlicht)
- [21] DWA (2014): *Merkblatt 550 – Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung* (Gelbdruck)
- [22] Internationale Kommission zum Schutze des Rheins (2014): *Hochwasserbewusstsein*, vgl. <http://www.iksr.org/Hochwasser/Bewusstsein>
- [23] HochwasserKompetenzCentrum (2014): *Hochwasserpass*, <http://www.hochwasser-pass.de/>

## Autoren

Dr. Jochen Stemplewski, Dipl.-Hydr. Georg Johann

M.A. Patricia Bender

Dipl.-Geol. Björn Grün

Emschergenossenschaft/Lippeverband

Kronprinzenstraße 24, 45128 Essen

E-Mail: [stemplewski.jochen@eglv.de](mailto:stemplewski.jochen@eglv.de)

[johann.georg@eglv.de](mailto:johann.georg@eglv.de)

[bender.patricia@eglv.de](mailto:bender.patricia@eglv.de)

[gruen.bjoern@eglv.de](mailto:gruen.bjoern@eglv.de)

# Vorstellung eines Tools zur Analyse von Starkregen an einem Beispiel im westlichen Emschergebiet

Marc Krüger (Essen), Sebastian Niehüser (Siegen), Angela Pfister (Essen), Christoph Mudersbach (Bochum), Burkhard Teichgräber (Essen) und Jürgen Jensen (Siegen)

## Zusammenfassung

Die Emschergenossenschaft betreibt zur Erfüllung ihrer Verbandsaufgaben im Einzugsgebiet der Emscher ein langjähriges Messnetz zur kontinuierlichen Erfassung des Niederschlags. Mit ihren zum Teil mehr als 80 Jahren umfassenden Niederschlagszeitreihen können fundierte hydrologische Untersuchungen zur Entwicklung des Niederschlagsverhaltens im Emschergebiet durchgeführt werden. Vor dem Hintergrund der beobachteten, vermehrten Auftretenshäufigkeit von Starkregen mit hohem Schadenspotenzial und entsprechender Wahrnehmung in der Öffentlichkeit fokussiert die Emschergenossenschaft ihren Blick seit einiger Zeit auch auf weiterführende Analysen von Starkregenereignissen in der Region. Hierzu wurde in Kooperation mit der Universität Siegen ein Softwaretool zu detaillierten Untersuchungen hinsichtlich vordefinierter Auswahlkriterien und Schwellenwertmethoden entwickelt. Dieses wird am Beispiel eines Starkregenereignisses im westlichen Emschergebiet erläutert. Dabei wird das Softwaretool plausibilisiert und die Berechnungsergebnisse werden verifiziert. Es wird gezeigt, dass ein solches Werkzeug in der Praxis unterstützend zur Beantwortung unterschiedlicher hydrologischer Fragestellungen herangezogen werden kann.

**Schlagwörter:** Starkregen, Niederschlag, Klassifikation, Schwellenwerte, Rang, räumliche Verteilung, Messnetz, Zeitreihen, Softwaretool

DOI: 10.3243/kwe2015.02.002

## Abstract

### Presentation of a Tool for the Analysis of Heavy Rainfall Using an Example in the West Emscher Area

The Emschergenossenschaft (Emscher Water Management Association) is operating a long-term monitoring network for the continuous recording of precipitation in fulfilment of their association tasks in the Emscher catchment area. With its in part more than 80 years' experience of comprehensive precipitation time series, well-founded hydrological investigations can be carried out for the development of the precipitation characteristics in the Emscher area. With the background of the observed increased frequency of occurrence of heavy rainfall with high potential for damage and the corresponding perception with the public, the Emschergenossenschaft has for some time focused its attention also on the advanced analysis of heavy rainfall events in the region. For this, in cooperation with Siegen University, a software tool for detailed investigations with regard to predefined selection criteria and threshold criteria has been developed. This is explained using the example of a heavy rainfall event in the West Emscher area. With this, the software tool was plausibilised and the calculation results verified. It is shown that such a tool can, in practice, be drawn on to support the response to various hydrological problems.

**Key words:** heavy rainfall, precipitation, classification, threshold value, order of priority, spatial distribution, monitoring network, time series, software tool

## 1 Einführung und Hintergrund

Die Emschergenossenschaft (EG) ist als Körperschaft öffentlichen Rechts regionaler Träger der Wasserwirtschaft für das 865 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet der Emscher mit einer Einwohnerdichte von 2.700 Einwohnern/km<sup>2</sup>. Zusammen mit dem Lippeverband ist sie der größte Abwasserentsorger in der Bundesrepublik Deutschland. Ihre Mitglieder sind die Kommunen der Region sowie der Bergbau und die großen Industrien. Zu den ge-

setzlichen Aufgaben der EG gehören insbesondere die Regelung des Wasserabflusses, die Pflege und Unterhaltung von Gewässern sowie die Sicherung des Hochwasserabflusses. Dabei ist vor allem vor dem Hintergrund des Emscherumbaus [1], der zurzeit größten Wasser-Infrastruktur Maßnahme in Europa, das Monitoring der Niederschlag-Abfluss-Verhältnisse im Einzugsgebiet der Emscher von essentieller Bedeutung. Insofern betreibt die

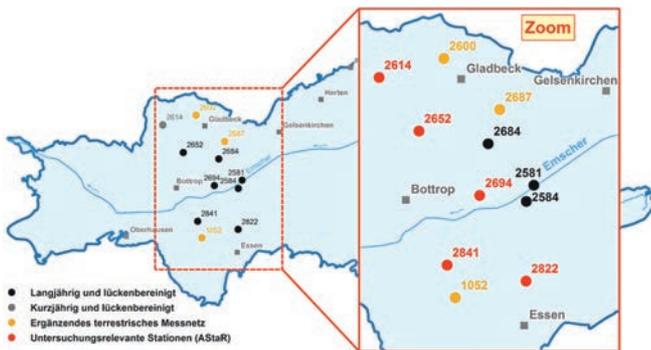


Abb. 1: Lage und Teilausschnitt des Niederschlagsmessnetzes im westlichen Emschergebiet

EG zur Durchführung ihrer Verbandsaufgaben ein dichtes Messnetz von überwiegend langjährigen und kontinuierlichen Niederschlagszeitreihen mit einer Länge von zum Teil über 80 Jahren. Diese Messdaten werden mithilfe elektronisch registrierender Niederschlagsmesser (Pluviometer) in einer zeitlichen Auflösung von einer Minute hochaufgelöst aufgezeichnet und innerhalb eines Zeitreihenmanagementsystems (ZRMS) verwaltet. Das ZRMS wird neben der umfangreichen Prüfung und Aufbereitung der Datenbestände auch für die extremwertstatistische Analyse von Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer nach dem DWA-Arbeitsblatt A 531 [2] genutzt.

Abbildung 1 zeigt exemplarisch einen Teilausschnitt des Niederschlagsmessnetzes im westlichen Emschergebiet. Die dieser Untersuchung zugrunde liegenden Reihen sind rot markiert. Vier dieser Stationen sind langjährig, die Station 2614 ist kurzjährig. Hier bedeutet kurzjährige lückenbereinigte Niederschlagsstation eine Zeitreihenlänge von weniger als 30 Jahren.

Eine hohe Bedeutung kommt bei der EG der weiterführenden Analyse von Starkregenereignissen im Hinblick auf spezielle Auswahlkriterien der nach DWA-A 531 [2] ermittelten Datenkollektive, insbesondere aus der partiellen Serie zu. Diese enthalten die tatsächliche Anzahl der größten Ereignisse innerhalb des Beobachtungszeitraums über einem definierten Schwellenwert (i. d. R. dem zwei- bis e-fachem der Länge der jeweiligen betrachteten Zeitreihe). Von Relevanz sind daher z. B. Auswahlkriterien, die automatisiert eine Kategorisierung nach räumlichem und zeitlichem Auftreten von Starkregenereignissen an mehreren Stationen untereinander, eine Rangordnung der  $x$ -größten Ereignisse inklusive statistischer Einordnung nach Wiederkehrzeit und Dauerstufe, aber auch die zusätzliche Reduzierung der aus dem ZRMS ermittelten partiellen Serie nach vor- bzw. benutzerdefinierten Schwellenwertgrenzen und schließlich eine aussagekräftige grafische Auswertung für Ergebnisinterpretationen zulassen.

Um das ZRMS hinsichtlich dieser Anforderungen zu optimieren, wurde seitens der EG die Neuentwicklung einer eigenständigen Softwareroutine veranlasst und fachlich begleitet. In Kooperation mit der Universität Siegen, Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu), wurde hierzu innerhalb eines einjährigen Entwicklungszeitraums ein Softwaretool zur „Analyse von Starkregenereignissen“ (AStAR) entwickelt.

Mit AStAR ist es möglich, zu den o. a. Anforderungen zusammenfassende Analysen mit einer variablen Anzahl von Niederschlagsstationen über 21 Dauerstufen zu je zehn Wiederkehrintervallen und dem jeweiligen, sich dynamisch entwickelnden Stichprobenumfang der partiellen Serie in Abhängig-

keit der Beobachtungsjahre (der Informationsgehalt des Datenkollektivs nimmt stetig zu) innerhalb der Dauerstufen an diesen Stationen automatisiert durchzuführen. Demnach werden umfangreiche Datenmengen in Form von Ergebnismatrizen im Hintergrund software-technisch bewegt, analysiert und zur Unterstützung des Fachanwenders bei seinen Ergebnisinterpretationen detailliert und übersichtlich ausgewertet.

Dieser Beitrag beschreibt zunächst die Analysestruktur der Softwareroutine AStAR mit Fokus auf die Entwicklungsphase und Auswertungsmethodik. Anhand eines ausgewählten, registrierten Starkregenereignisses im Einzugsgebiet der EG wird die Untersuchungsmethodik von AStAR an einem praxisrelevanten Aufgabenprozess beispielhaft ausgewertet und präsentiert. Abschließend werden die Ergebnisse reflektiert und weitergehende Empfehlungen zur Anwendung des Softwaretools abgeleitet. Das hier vorgestellte Softwaretool AStAR erhebt keinen Anspruch auf eine vollständige Ereignisanalyse. Es handelt sich um ein Tool mit exemplarischen Auswertungsmöglichkeiten für den Fachanwender.

## 2 Analysestruktur von AStAR

### 2.1 Entwicklungsphase und Auswertung

In der Entwicklungsphase wurde die Analysestruktur von AStAR in die folgenden drei Punkte gegliedert:

- die Entwicklung des eigentlichen Rechenkerns in der Programmierumgebung von Matlab<sup>®</sup>,
- die Erweiterung des Rechenkerns zur räumlichen Analyse mehrerer Niederschlagsstationen und
- die Überführung des Kerns in ein eigenständiges Tool mit grafischer Benutzeroberfläche (s. Abbildung 2).

Der erste Arbeitsschritt umfasst den Import und die Aufbereitung der Ausgangsdaten der ausgewählten Niederschlagsstationen zur weiteren Bearbeitung. Hieraus wird die deskriptive Statistik der

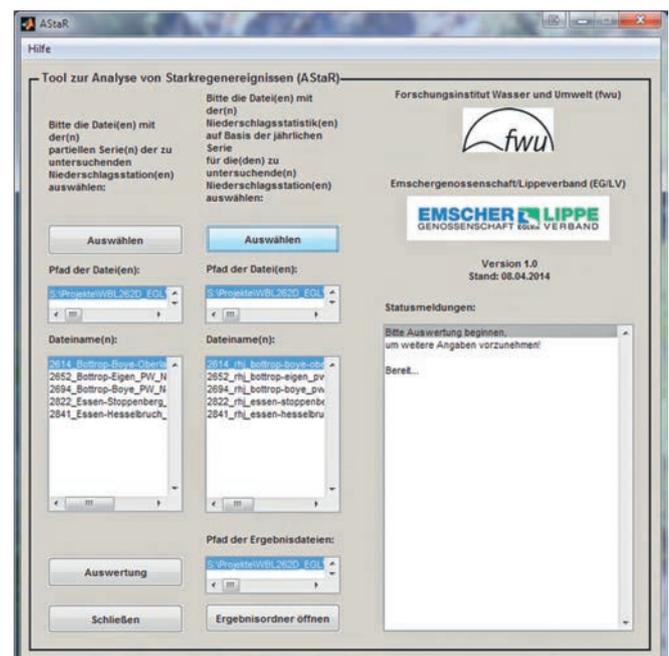


Abb. 2: Grafische Benutzeroberfläche von AStAR

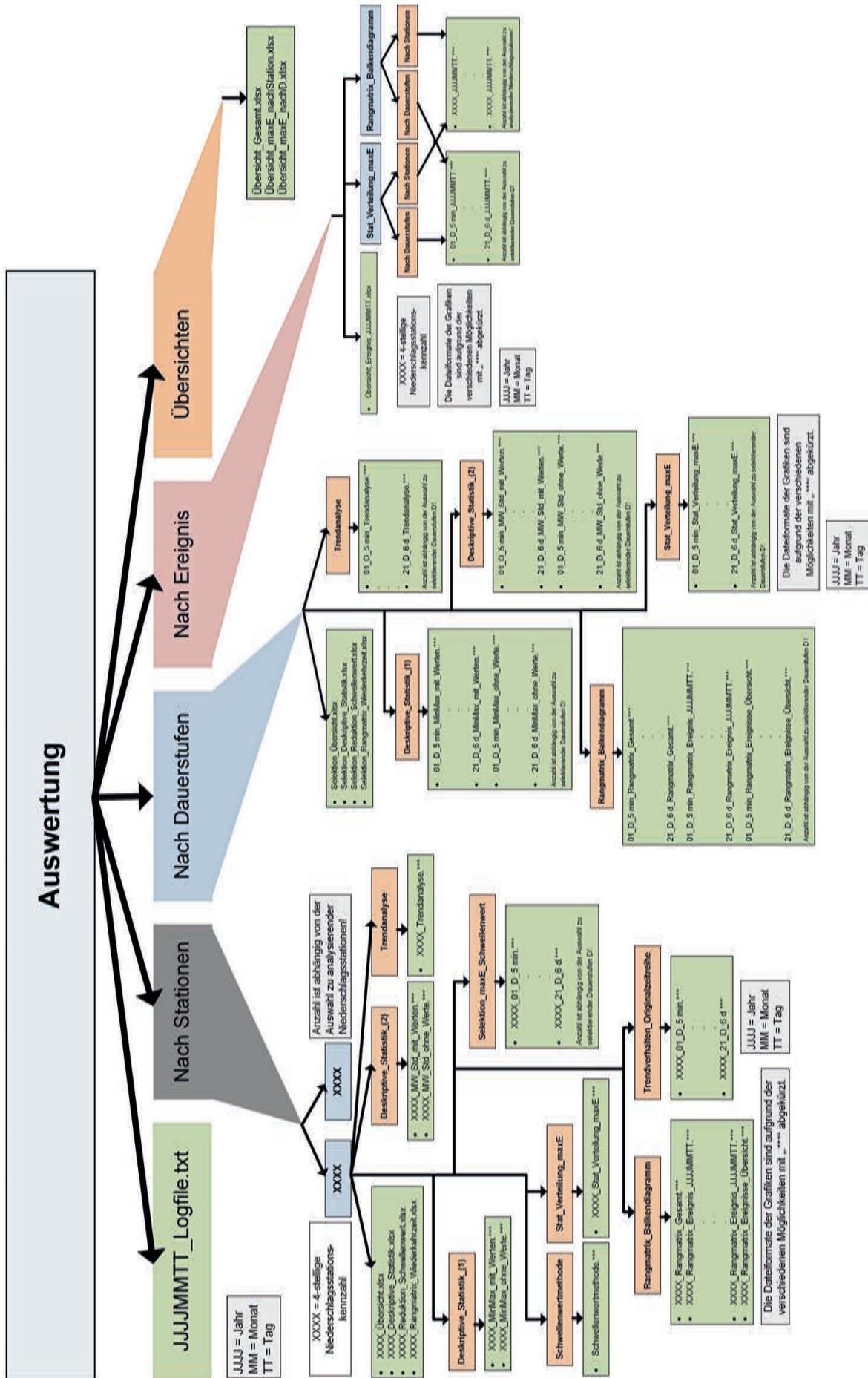


Abb. 3: Übersicht der Ausgabeergebnisse einer Auswertung mit AStar

partiellen Serien erzeugt. Darunter fallen z.B. die Bestimmung der Maxima/Minima, der Mittelwerte inklusive Standardabweichungen und Disziplinen der Zeitreihenanalyse (z.B. Trendanalysen mit Signifikanztest). In einem nächsten Schritt erfolgt die Kollektivbildung aus den Starkregen anhand definierter Schwellenwerte. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, eigene benutzerdefinierte Erfahrungswerte einfließen zu lassen. Ein weiteres Datenkollektiv wird gebildet, indem nur die x-größten Werte einer Dauerstufe nach ihrem Rang sortiert ausgegeben werden.

Durch die Zuordnung der statistischen Wiederkehrzeiten aus dem ZRMS zu den einzelnen Ereignissen ist eine übersichtliche Möglichkeit vorhanden, aktuelle Ereignisse und deren Bedeutung innerhalb des Aufzeichnungszeitraums einer Niederschlagsstation aufzuzeigen. Alle Ergebnismatrizen werden sowohl grafisch als auch mittels implementierter Software Routinen nach MS Excel® exportiert. Im Anschluss kann auf Basis der Analyse für jede Niederschlagsstation sowohl eine räumliche Auswertung als auch die Betrachtung eines speziellen Niederschlagsereignisses vorgenommen werden. Es findet dann eine entsprechende Anpassung der Ausgabegrafiken und MS Excel®-Dateien statt, die nicht mehr nach den einzelnen Niederschlagsstationen, sondern nach einer selektierbaren Anzahl an Dauerstufen stationsübergreifend ausgewertet werden. Abbildung 3 zeigt die komplexen Möglichkeiten, mit AStAr Auswertungen zu generieren.

## 2.2 Benutzerangaben zur Auswertung

Für den Anwender von AStAr besteht je nach wasserwirtschaftlicher Fragestellung eine Vielzahl an Möglichkeiten, die durchzuführenden Analysen und die Ergebnisdarstellung durch die Wahl von Randbedingungen zu beeinflussen. Ferner stehen konventionelle Grafikformate zur Verfügung (z.B. .jpg oder .png). Somit wird die nachträgliche Bearbeitung der Grafiken für individuelle Fragestellungen ermöglicht. Zudem können z.B. lückenbehaftete Niederschlagszeitreihen mit entsprechender Information an AStAr übergeben werden, was wiederum bei der Ergebnisinterpretation von Bedeutung sein kann. Ebenso können beliebige sonstige Textinformationen an AStAr übergeben werden.

Für die maßgebende Auswahl einer Schwellenwertmethode der Niederschlagshöhen  $h_N$  für Starkniederschlagsereignisse in Abhängigkeit der Dauerstufen  $D$  unterstützt die Software AStAr verschiedene Möglichkeiten zur weiteren Reduzierung der partiellen Serien. Aufgrund der stark variierenden Niederschlagsmengen in unterschiedlichen Klimazonen liegt keine einheitliche Definition für diese Art der Grenzwerte vor. Detaillierte Hintergründe und Anwendungsgrenzen zu den verfügbaren Schwellenwertmethoden sind im Abschlussbericht von AStAr [3] zu finden. An dieser Stelle wird lediglich eine Übersicht zu verschiedenen Schwellenwertmethoden geliefert.

### Schwellenwerte nach WUSSOW

Die WUSSOW-Formel wurde im Jahre 1922 entwickelt. Hierbei handelt es sich um eine einfache analytische Beschreibung der Ergebnisse von KASSNER und HELLMANN [4] (s. Gleichung 1):

$$h_N = \sqrt{5 \cdot D - \left(\frac{D}{24}\right)^2} \quad \text{Gleichung 1}$$

	„Starkregen“	„Heftiger Starkregen“	„Extrem heftiger Starkregen“
Dauerstufe D	Niederschlagshöhe $h_N$		
5 min	5,0 mm		
10 min	7,1 mm		
20 min	10,0 mm		
60 min	17,1 mm	25,0 mm	40,0 mm
6 h		35,0 mm	60,0 mm

Tabelle 1: Klassifikation von Starkregen anhand von Schwellenwerten für Deutschland [6–9], ergänzt

mit:

$h_N$ : Niederschlagshöhe [mm],  
 $D$ : Dauerstufe [min].

### Schwellenwerte nach SCHIMPF

Die Grundlage für diesen Ansatz bildeten 713 Niederschlagsstationen in Österreich mit mindestens 20 Jahren Aufzeichnungszeitraum [5]. Die Auswertung erfolgte auf Basis von Tagesniederschlagssummen mit einem statistischen Wiederkehrintervall zwischen  $T_n = 0,5$  a und  $T_n = 1$  a, die aufgrund der großen Anzahl an Messstationen entsprechend schwankten. Deshalb wurden pro Dauerstufe vier Kriterien für die Ermittlung des Schwellenwertes definiert, die der Charakteristik einer Niederschlagsstation im gesamten österreichischen Einzugsgebiet genügen. Deren Bezeichnungen lauten K25, K35, K45 und K55. Liegen beispielsweise 90 % der Jahreshöchstwerte des Tagesniederschlags einer Messstation zwischen 20 und 30 mm, gilt das Kriterium K25. Eine Umrechnung der Niederschlagshöhen auf die übrigen Dauerstufen  $D$  in Abhängigkeit der vier Kriterien erfolgt über die folgenden Formeln [5] (s. Gleichung 2 bis Gleichung 5):

$$K25: h_N = 6,49 \cdot D^{0,1855} \quad \text{Gleichung 2}$$

$$K35: h_N = 4,85 \cdot D^{0,2715} \quad \text{Gleichung 3}$$

$$K45: h_N = 3,89 \cdot D^{0,3365} \quad \text{Gleichung 4}$$

$$K55: h_N = 3,25 \cdot D^{0,3891} \quad \text{Gleichung 5}$$

mit:

$h_N$ : Niederschlagshöhe [mm],  
 $D$ : Dauerstufe [min].

### Kombination der Schwellenwerte nach WUSSOW und SCHIMPF

Eine Verbindung der beiden Methoden ist aufgrund der im Folgenden aufgeführten Einschränkungen in der praktischen Anwendung sinnvoll:

- Schwellenwerte für Dauerstufen  $D > 30$  min werden von der Formel nach WUSSOW überschätzt.
- Ab der Dauerstufe  $D > 1$  d können die Schwellenwerte nach der Formel von WUSSOW nicht verwendet werden oder

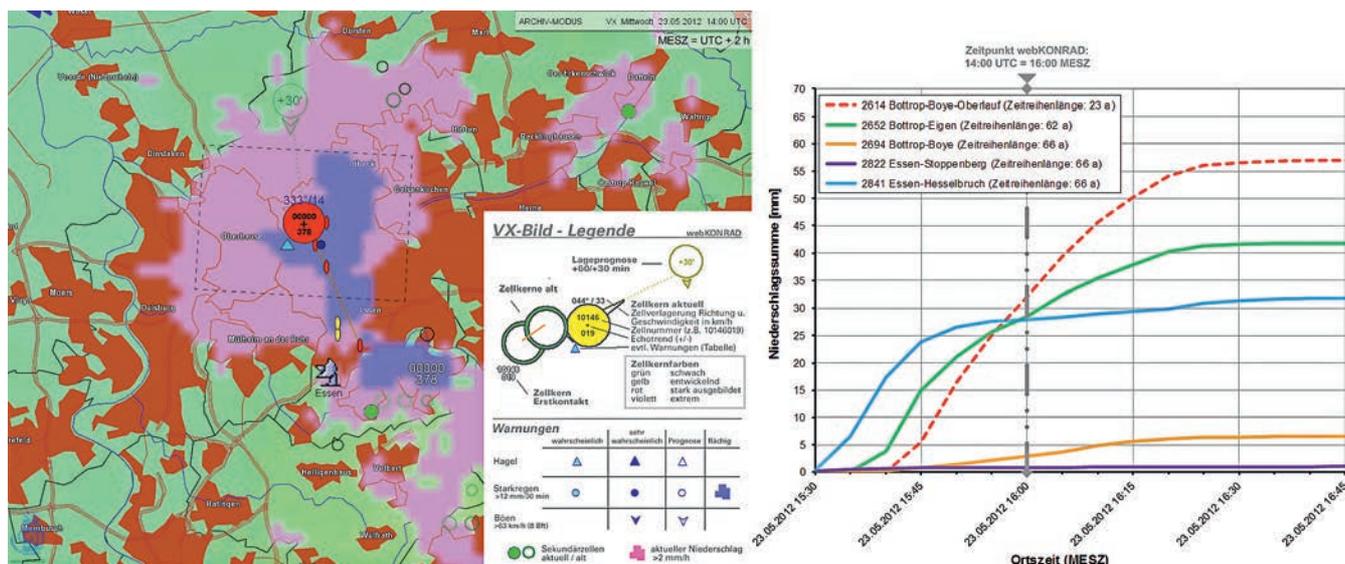


Abb. 4: Aktivität der Gewitterzelle Nr. 378 mit Zentrum über dem Raum Bottrop zum Zeitpunkt 16:00 Uhr, Ortszeit MESZ (links: DWD-Portal „webKONRAD“ [11], ergänzt) und registrierte Niederschlagshöhen im Raum Bottrop/Essen während des Durchzugs der Gewitterzelle zwischen 15:30 Uhr und 16:45 Uhr, Ortszeit MESZ (rechts), gestrichelte Linie: Niederschlagsstation mit kurzer Zeitreihenlänge

werden mathematisch komplex. Für  $D = 2$  d würde der Wurzelterm zu null und für  $D > 2$  d negativ werden.

- Gültigkeit der Formeln nach SCHIMPF lediglich für Dauerstufen  $D > 30$  min.

Starkregenklassifikation nach Kriterien des Deutschen Wetterdienstes

Auf den Internetseiten des Climate Service Center (CSC) [6] und des Deutschen Wetterdienstes (DWD) [7] sowie in [8] sind die in Tabelle 1 aufgeführten Schwellenwerte für eine Klassifikation von Starkregen in Deutschland aufgeführt. Die Schwellenwerte vor „extrem heftigen Starkregen“ sind seit dem 01.03.2013 zudem in den Warnkatalog des DWD zur Warnung vor Unwettern aufgenommen [9] und wurden in Tabelle 1 entsprechend ergänzt.

Sonstige Auswahlmöglichkeiten

Neben den genannten Schwellenwertmethoden können des Weiteren benutzerdefinierte Werte übergeben werden, die beispielsweise auf Erfahrungen oder auch Schwellen mit bestimmten Wiederkehrzeiten beruhen. Darüber hinaus kann auch auf eine Reduzierung des Kollektivs durch Schwellenwerte verzichtet werden.

Neben den bereits erläuterten Benutzerangaben sind weitere Informationen an das System des Softwaretools AStAR zu übergeben. Zum Beispiel besteht die Option der Wahl von  $x$ -größten Starkregenereignissen, auf das das Kollektiv einer Serie reduziert werden kann. Außerdem werden Angaben benötigt, damit jedem Starkregenereignis des verbleibenden Kollektivs im Zuge der Auswertung eine Wiederkehrzeit zugeordnet werden kann. Dafür wird eine entsprechende Toleranz festgelegt, ab welcher Abweichung z. B. von einem 100-jährlichen Niederschlagsereignis die jeweilige Niederschlagshöhe  $h_N$  noch einem 100-jährlichen Niederschlagsereignis entspricht oder zwischen einem 50- und 100-jährlichem Niederschlagsereignis einzuordnen ist. Für spezielle Fragestellungen kann die Aus-

wertung zusätzlich auf bestimmte Dauerstufen reduziert werden.

Die räumliche Auswertung wird, wie auch die Auswertung eines speziellen Ereignisses, nicht automatisch durchgeführt. Beide müssen separat durch den Fachanwender ausgewählt werden. Das Datum eines speziellen Ereignisses kann entweder manuell eingegeben oder aber anhand einer Dauerstufe und dem Rang innerhalb einer Niederschlagsstation bestimmt werden. Um die Reproduzierbarkeit der durch AStAR generierten Ergebnisse zu gewährleisten, werden während der Analyse sämtliche getätigte Angaben in einer Protokolldatei gespeichert.

Im folgenden Abschnitt werden exemplarisch Analyseergebnisse von AStAR am Beispiel eines ausgewählten Starkregenereignisses im Mai 2012 für einen aus der Praxis definierten Aufgabenprozess vorgestellt. Es wird dabei kein Anspruch auf eine vollständige Ereignisanalyse erhoben.

### 3 Auswertung am Beispiel des Starkregenereignisses vom 23.05.2012

#### 3.1 Niederschlagssituation

Am Nachmittag des 23.05.2012 überzog eine aus einer labilen Wetterlage entstandene Gewitterfront aus süd-östlicher Richtung das Verbandsgebiet der EG. Damit einhergehend bildete sich über dem westlichen Emschergebiet eine Gewitterzelle mit Unwetterpotenzial, die nur sehr langsam von Ost nach West abzog und insbesondere im Raum Bottrop und Essen für flächendeckende Starkniederschläge sorgte.

Während des operationellen Hochwasservorhersagedienstes bei der EG [10] wurde dieses Unwetterereignis im Echtzeitbetrieb mit dem DWD-Onlineportal „webbasierte KONvektionsentwicklung in RADarprodukten (webKONRAD)“ [11] verfolgt, das als detailliertes radargestütztes Gewitterdiagnose- und -prognosesystem arbeitet und im Speziellen auf die Überwachung von Gewitterlagen ausgelegt ist. Die Datenbasis ist hier das RX-Produkt des DWD mit 5-Minuten-Auflösung der

Daten im 1 km \* 1 km-Raster [12]. Dabei konnte über einen Gesamtaktivitätszeitraum von etwa 90 Minuten, d. h. vom Entstehen des Zellkerns bis zum Zerfall, innerhalb eines Zeitfensters von etwa 40 Minuten eine stark ausgebildete Aktivität der Gewitterzelle beobachtet werden.

Die Abbildung 4, links, illustriert den Zeitpunkt der Gewitterzelle Nr. 378 und deren Ausprägung (rote Farbe = stark ausgebildet) um 16:00 Uhr Ortszeit MESZ mit Zentrum über Bottrop als Screenshot. Gut zu erkennen ist darauf die sich seit Zellkernentstehung über Essen verlagernde Gewitterzelle (rote ovale Punkte mit zurückliegender Zellverbindungsline), deren aktuelle Zugrichtung und Geschwindigkeit (blaue Beschriftung oberhalb des Zellrings der Gewitterzelle), eine Positionsprognose der Gewitterzelle in den nächsten 30 Minuten (transparenter Kreis oberhalb der Gewitterzelle), der aktuelle Radarniederschlag (violette Pixelfelder mit einer Niederschlagsintensität größer 2 mm in einer Stunde) und die Verteilung des ortsechten Starkregens (dunkelblaue Pixelfelder mit einer Niederschlagsintensität größer 12 mm in 30 Minuten) mit Hagel (hellblaues Dreieck unterhalb des Zellrings der roten Gewitterzelle). Weitere Details zur Interpretation von webKONRAD können [12] entnommen werden.

Zudem werden in Abbildung 4, rechts, die im Raum Essen und Bottrop registrierten Niederschlagssummen während des Starkregenereignisses zwischen 15:30 Uhr und 16:45 Uhr (Ortszeit MESZ) anhand der fünf terrestrischen Niederschlagsstationen Bottrop-Boye Oberlauf (2614), Bottrop-Eigen (2652), Bottrop-Boye (2694), Essen-Stoppenberg (2822) und Essen-Hesselbruch (2841) dargestellt (vgl. auch rot hervorgehobene Stationen in Abbildung 1).

Es zeigt sich, dass an der kurzjährigen Station 2614 (Zeitreihenlänge seit Registrierungsbeginn 23 Jahre, lückenbereinigt, rot gestrichelte Linie) innerhalb einer Stunde die größte Niederschlagshöhe mit 56,9 mm aufgezeichnet wurde. Zum Zeitpunkt der um 16:00 Uhr über Bottrop noch stark ausgeprägten Gewitterzelle sind an dieser Station bereits etwa 56 %

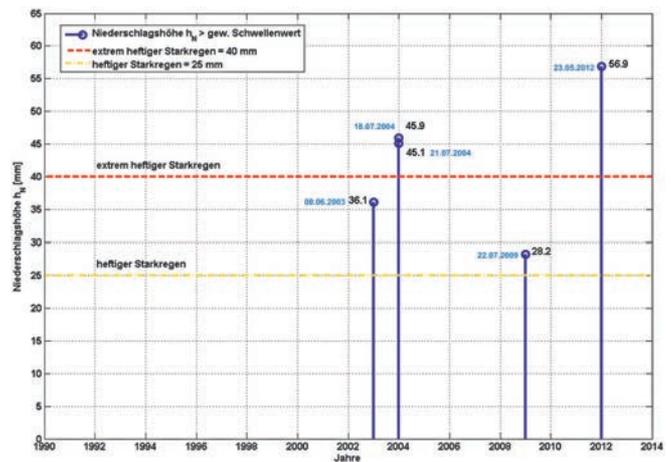


Abb. 6: Die fünf größten Starkregenereignisse an der Station 2614 und deren Klassifizierung nach DWD-Schwellenwerten „heftiger“ (orange gestrichelt) bzw. „extrem heftiger“ (rot gestrichelt) Starkregen für die Dauerstufe D = 60 min (vgl. Tabelle 1)

der Stundensumme an Niederschlag gefallen (vgl. grau gestrichelt-punktierte Linie in Abbildung 4).

Neben der Station 2614 bilden die Stationen 2652 (blau) und 2841 (grün) die infolge der Gewitterzelle verursachten Starkregenfälle und deren Schwerpunkt im Raum Bottrop und Essen gut ab. Hingegen verzeichneten die Stationen 2694 (orange) und 2822 (lila) im Ereigniszeitraum kaum Niederschlag. Sie wurden von der Gewitterzelle mit Starkregen nur im Randbereich tangiert.

### 3.2 Aufgabenprozess und Analyseergebnisse

Der für dieses Fallbeispiel an AStAr übergebene vordefinierte Aufgabenprozess zur automatisierten Detailanalyse und Ergebnisauswertung wird anhand der fünf terrestrischen Niederschlagsstationen 2614, 2652, 2694, 2822 und 2841 wie folgt realisiert:

- Ermittlung der fünf größten Starkregenereignisse am Beispiel der Dauerstufe 60 Minuten.
- Erstellung einer Raumanalyse für die betrachteten Niederschlagsstationen.
- Kategorisierung der fünf Maximalereignisse nach statischer Wiederkehrzeit unter Berücksichtigung der Rangordnung an allen betrachteten Niederschlagsstationen sowie Darstellung des Auftretens des Starkniederschlagsereignisses vom 23.05.2012 innerhalb dieser Maximalereignisse der Niederschlagsstationen.
- Klassifizierung der fünf Maximalereignisse anhand der DWD-Schwellenwertgrenze für „heftigen“ und „extrem heftigen“ Starkregen am Beispiel der Niederschlagsstation 2614 als Einzelanalyse.
- Ermittlung des Verlaufs des Starkregenereignisses vom 23.05.2012 über alle Dauerstufen inklusive statistischer Einordnung am Beispiel der Niederschlagsstation 2614 als Einzelanalyse.

Die aus dieser Aufgabenstellung resultierenden Ergebnisse werden nachfolgend charakterisiert. In Abbildung 5 ist ein Teilergebnis der aus AStAr ermittelten Raumanalyse (Abszisse) in-

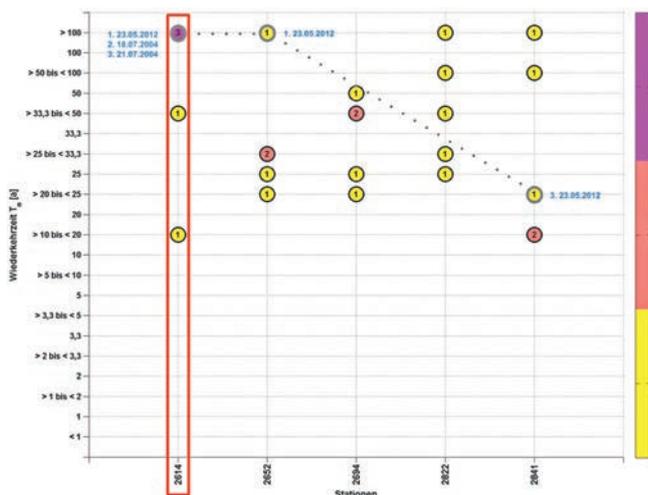


Abb. 5: Räumliche Verteilung mit statistischer Einordnung der fünf größten Ereignisse an den untersuchungsrelevanten Stationen und Auftreten des Starkregenereignisses vom 23.05.2012 innerhalb dieser fünf Maximalereignisse für die Dauerstufe D = 60 min. Der in roter Farbe hervorgehobene Umrandungsrahmen bezieht sich auf die weitere Einzelanalyse am Beispiel der Station 2614.

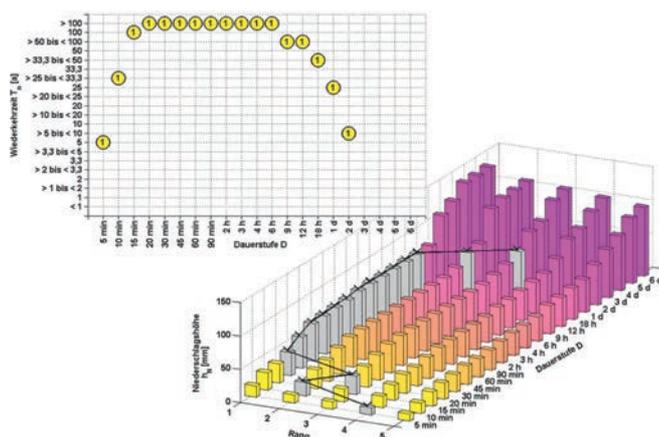


Abb. 7: Verteilung des Starkregenereignisses vom 23.05.2012 nach statistischer Wiederkehrzeit (links oben) und Rangordnung in Abhängigkeit der Niederschlagshöhe über 21 Dauerstufen (rechts unten) am Beispiel der Station 2614

klusive Einordnung nach statistischer Wiederkehrzeit (linke Ordinate), Ereignisanzahl (rechte Ordinate) und Rangordnung der fünf größten Ereignisse für die Dauerstufe 60 Minuten visualisiert. Die rechte Ordinate definiert dabei die Ereignisanzahl zur jeweiligen auf der linken Ordinate zugeordneten Wiederkehrzeit, auf die betrachteten Niederschlagsstationen verteilt. In der vertikalen Summe ergeben sich somit für jede Niederschlagsstation die zugehörigen fünf Maximalereignisse, die aufgrund ihrer Größenordnung zugleich die Information der Rangordnung beinhalten. Des Weiteren ist das Starkregenereignis vom 23.05.2012 an den betroffenen Niederschlagsstationen grafisch hervorgehoben (graue kreisförmige Umrandung um Ereignisanzahl mit punktierter Verbindungslinie).

In Bezug auf die Niederschlagsstationen 2614 und 2652 kann demnach festgestellt werden, dass infolge des Starkregens am 23.05.2012 die bisher höchsten Niederschläge innerhalb einer Stunde, mit einer statistischen Wiederkehrzeit von deutlich größer als 100 Jahren, seit Registrierungsbeginn aufgezeichnet wurden (Rang 1). Dabei wurde aus hydrologischer Sicht zur Einordnung der statistischen Wiederkehrzeit an der kurzjährigen Niederschlagsstation 2614 die belastbare Vergleichsstatistik der benachbarten langjährigen Niederschlagsstation 2652 (etwa 3,5 km Entfernung zueinander) herangezogen.

Weiterhin belegt das Starkregenereignis vom 23.05.2012 an der Niederschlagsstation 2841 mit einer statistischen Wiederkehrzeit von 20 bis 25 Jahren den dritten Rang. Betrachtet man nur die beiden Niederschlagsstationen 2694 und 2822, so zeigt sich, dass das Starkregenereignis vom 23.05.2012 bei der Rangordnung der fünf größten Ereignisse hier nicht von Relevanz ist. Die Erkenntnis, dass an diesen Stationen nur geringfügige Niederschlagshöhen aufgezeichnet wurden (vgl. Abbildung 4, rechts) und der Schwerpunkt des Ereignisses an den weiter westlich gelegenen Niederschlagsstationen aufgetreten ist (vgl. Abbildung 1), wird somit bestätigt.

Eine Klassifikation der von AStAR generierten Ergebnisse nach den DWD-Schwellenwertgrenzen „heftiger“ und „extrem heftiger“ Starkregen für die Dauerstufe 60 Minuten an der Niederschlagsstation 2614 ist exemplarisch als Übersicht in Abbildung 6 veranschaulicht.

Für den Fachanwender ist in dieser Grafik schnell zu erkennen, wann, und in welcher Niederschlagshöhe, die fünf größten Starkregenereignisse aufgetreten sind und welche Klassifikationsart diese erreichen. Es wird z. B. deutlich, dass alle fünf Maximalereignisse nach DWD-Schwellenwertgrenzen als „heftiger“ Starkregen einzuordnen sind und seit Registrierungsbeginn an dieser Niederschlagsstation vermehrt in den letzten elf Jahren aufgetreten sind. Von diesen fünf Maximalereignissen überschreiten zudem drei die Schwellenwertgrenze „extrem heftiger“ Starkregen, insbesondere in der letzten Dekade. Diese Ereignisse sind als außergewöhnlich einzustufen. Das hier betrachtete Starkregenereignis vom 23.05.2012 mit der bisher größten gemessenen Niederschlagshöhe von 56,9 mm fällt auch darunter.

Einen weiteren detaillierten Überblick erhält der Fachanwender aus der Einzelanalyse für die Niederschlagsstation 2614 zur Verteilung des Starkregens vom 23.05.2012 nach statistischer Wiederkehrzeit und Rangordnung in Abhängigkeit der Niederschlagshöhe über alle Dauerstufen (21 Dauerstufen von 5 Minuten bis 6 Tage) als 2D/3D-Plot (s. Abbildung 7).

Im Gegensatz zu Abbildung 5 fokussiert diese Grafik auf das analysierte Ereignis selbst und seine Entwicklung über die jeweiligen Dauerstufen innerhalb einer umhüllenden Rangmatrix (grau hinterlegte Säulen), wobei die Informationen zur Einordnung der statistischen Wiederkehrzeit ergänzend verknüpft werden (gelbe Kreise).

Beispielsweise erzielt der dritte Rang beim Starkregenereignis vom 23.05.2012 in der Dauerstufe 15 Minuten eine statistische Wiederkehrzeit von etwa 100 Jahren, d. h. zwei Ereignisse an dieser Station erreichen in dieser Dauerstufe eine noch höhere Rangordnung als das analysierte Ereignis selbst, bei einer noch größeren Niederschlagshöhe und einer Wiederkehrzeit von deutlich größer als 100 Jahren.

Ab der Dauerstufe 20 Minuten bis 18 Stunden belegt das Ereignis vom 23.05.2012 dann den ersten Rang, wovon bis zur Dauerstufe sechs Stunden eine statistische Wiederkehrzeit von deutlich größer als 100 Jahren erreicht wird.

Insgesamt lässt sich mit dieser durch AStAR automatisch durchgeführten und beispielhaft aufgeführten Auswertungsmethodik zusammenfassen, dass das analysierte Starkregenereignis vom 23.05.2012 an der Niederschlagsstation 2614 ein außergewöhnliches Ereignis (zwölf von 21 Dauerstufen erreichen den ersten Rang) darstellt. Nicht nur die Dauerstufe 60 Minuten einzeln betrachtet, sondern beginnend ab der Dauerstufe 20 Minuten bis hin zur Dauerstufe sechs Stunden, führten die registrierten Niederschlagshöhen dieses Ereignisses zu den jeweils höchsten seit Aufzeichnungsbeginn.

Die umfangreichen Analyseergebnisse von AStAR unterstreichen demnach die Erkenntnisse der Niederschlagsituation aus Abschnitt 3.1 in der Form, dass kongruente, plausible und verifizierbare Ergebnisse erzielt werden.

## 4 Fazit und Ausblick

Mit der hier vorgestellten Expertensoftware AStAR wird dem versierten Fachanwender ein geeignetes Werkzeug zur automatisierten Analyse von Starkregenereignissen zur Hand gegeben, das zur Beantwortung von unterschiedlichsten Fragestellungen in der hydrologischen Praxis unterstützend dienen kann. Der korrekte Umgang mit Niederschlagsdaten und dem zugehö-

gen Arbeitsblatt DWA-A 531 „Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer“ ist dabei stets Voraussetzung für die konkrete Anwendung in Untersuchungen.

Die mittels AStAR produzierten Auswertungen zeigen am Beispiel des Starkregenereignisses vom 23.05.2012 im Raum Bottrop/Essen plausible Untersuchungsergebnisse und lassen somit den Schluss zu, dass Analogieauswertungen hinsichtlich diverser Auswahlkriterien (z. B. Anzahl an Maximalereignissen, Schwellenwertmethoden etc.), Rangbildung, räumlich und zeitlichem Auftreten von Starkregenereignissen über sämtliche Dauerstufen sowie deren Einordnung nach statistischer Wiederkehrzeit an weiteren Niederschlagsstationen angewandt werden sollten. Zukünftig können mithilfe von AStAR Detailuntersuchungen bzgl. der Auftretenshäufigkeit maximaler Starkregenereignisse und deren ereignisbezogenen Entwicklung untereinander im gesamten terrestrischen Niederschlagsmessnetz der Emschergenossenschaft durchgeführt werden, um Zusammenhänge in urban geprägten Einzugsgebieten hinsichtlich evtl. klimabedingter Einflussfaktoren ableiten zu können. Die Fortschreibung solcher zeitskalenbezogenen Auswertungsmethoden hilft in der Risikokommunikation bei der Sensibilisierung der Bevölkerung auch aufgrund der aktuell vermehrt wahrgenommenen Auftretenshäufigkeit von Starkregenereignissen in den letzten Jahren. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund möglicher, bzw. erforderlicher Vergleichsuntersuchungen zu historischen Starkniederschlagsereignissen. Die Fortschreibung der für langjährige Untersuchungen wesentlichen Datenbasis im Niederschlagsmessnetz der Emschergenossenschaft ist von daher äußerst wichtig.

## Literatur

- [1] EG (2014): <http://www.eglv.de/wasserportal/emscher-umbau.html>, zuletzt aufgerufen am 02.10.2014.
- [2] DWA (2012): *Arbeitsblatt DWA-A 531: Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Hennef.
- [3] EG (2014): *Erstellung einer Softwarelösung zur automatisierten Auswertung von maximalen Starkregenereignissen*, interner Bericht, 68 S., unveröffentlicht.
- [4] P. Kahlig (1991): *On Deterministic Criterie for Heavy Rainfall at a Point*, Institute of Meteorology and Geophysics, University of Vienna, *Theor. Appl. Climatol.* 46, Seite 203-208.
- [5] H.P. Nachtnebel (2004): *Studienblätter Gewässerkunde: „Hydrometrie und Hydroinformatik“*, Universität für Bodenkultur Wien, [http://iwfw.boku.ac.at/gewaesserkunde\\_alt/html/Kapitel5.html](http://iwfw.boku.ac.at/gewaesserkunde_alt/html/Kapitel5.html), zuletzt aufgerufen am 02.10.2014.
- [6] CSC (2014): [http://www.climate-service-center.de/033610/index\\_0033610.html.de](http://www.climate-service-center.de/033610/index_0033610.html.de), Climate Service Center (CSC), Hamburg, zuletzt aufgerufen am 02.10.2014.
- [7] DWD (2014): <http://www.dwd.de/warnungen/unwetterkriterien.html>, Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, zuletzt aufgerufen am 02.10.2014.
- [8] S. Bender, M. Schaller (2014): *Vergleichendes Lexikon: Wichtige Definitionen, Schwellenwerte und Indices aus den Bereichen Klima, Klimafolgenforschung und Naturgefahren*, 2. Auflage, Climate Service Center (CSC), Hamburg, 126 S.
- [9] DWD (2013): *Schreiben an die Nutzer der (Unwetter-)Warnungen vor Starkregen: Veränderung der Schwellenwerte der Warnung vor Starkregen*, Deutscher Wetterdienst (DWD), Essen.
- [10] E. Grün, G. Johann und A. Pfister (2014): *Hochwassersicherheit im urbanen Raum*. Schriftenreihe zur Essener Tagung 19.-21.03.2014, Gewässerschutz – Wasser – Abwasser, ISBN 978-3-938996-40-9, Aachen, 15 S.
- [11] DWD (2014): *Feuerwehr-Wetterinformationssystem (FeWIS)*: Online-Portal „webbasierte KONvektionsentwicklung in RADarprodukten (webKONRAD)“, <http://www.dwd.de/fewis>, Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, zuletzt aufgerufen am 02.10.2014 (Verfügbarkeit nur für geschlossene Nutzergruppe).
- [12] DWD (2011): *Webbasierte KONvektionsentwicklung in RADarprodukten (webKONRAD): Systembeschreibung: Ein Online-Tool zur schnellen Erkennung und Verfolgung sommerlicher Unwetter mittels Wetterradar*, Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, 17 S., unveröffentlicht (Verfügbarkeit nur für geschlossene Nutzergruppe).

## Autoren

*Dipl.-Ing. Marc Krüger, M.Sc.*

*Dipl.-Geogr. Angela Pfister*

*Prof. Dr.-Ing. Burkhard Teichgräber*

*Emschergenossenschaft/Lippeverband*

*Kronprinzenstraße 24, 45128 Essen*

*E-Mail: [krueger.marc@eglv.de](mailto:krueger.marc@eglv.de)*

*Prof. Dr.-Ing. Christoph Mudersbach*

*Hochschule Bochum*

*Fachbereich Bauingenieurwesen*

*Institut für Wasser und Umwelt*

*Lennerhofstraße 140, 44801 Bochum*

*E-Mail: [christoph.mudersbach@hs-bochum.de](mailto:christoph.mudersbach@hs-bochum.de)*

*Sebastian Niehüser, M.Sc.*

*Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen*

*Universität Siegen*

*Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu)*

*Abteilung Wasserbau und Hydromechanik*

*Paul-Bonatz-Straße 9-11*

*57068 Siegen*

*E-Mail: [sebastian.niehueser@uni-siegen.de](mailto:sebastian.niehueser@uni-siegen.de)*

# 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 ermöglichten. 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

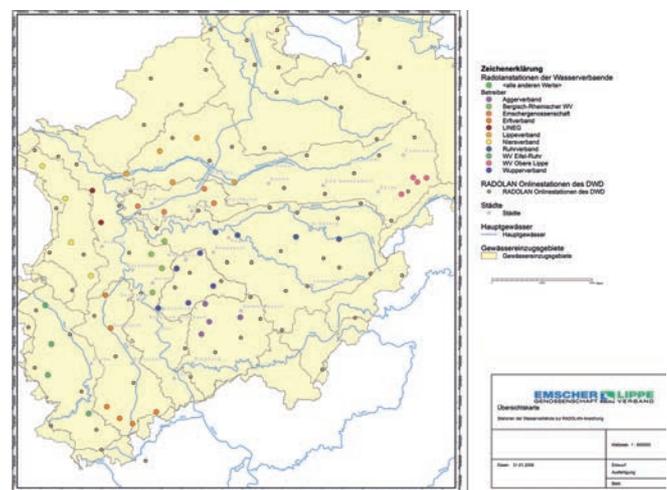


Abb. 1: Wasserverbände in der Radarkooperation und Aneichstationen

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]

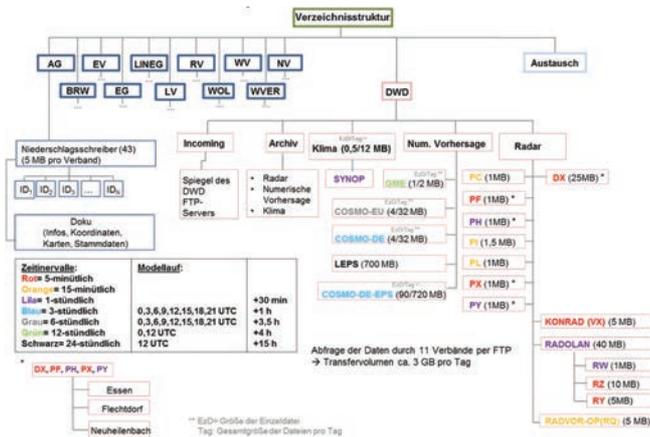


Abb. 2: Datenflüsse auf dem Radarkooperationsserver

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.

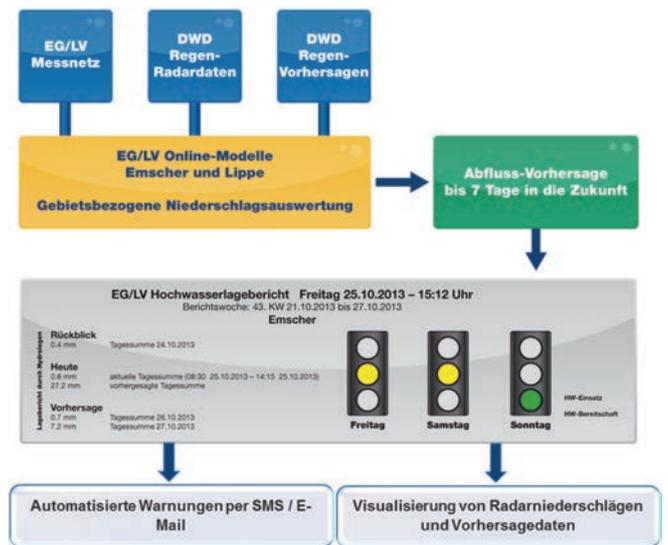


Abb. 3: Überblick über den Aufbau des Hochwasserinformationssystems (HOWIS) bei EG und LV

### 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 verbandspezifischen 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.

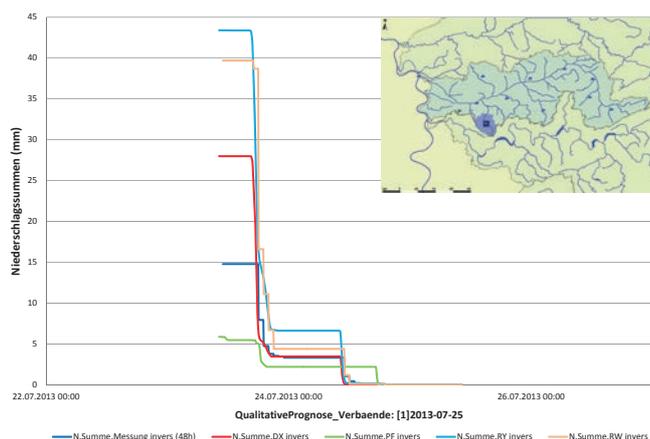


Abb. 5: Inverse Niederschlagssummen über 48 h für die Radarniederschlagsprodukte DX, PF, RY und RW sowie für den terrestrischen Niederschlag am 24. Juli 2013

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.

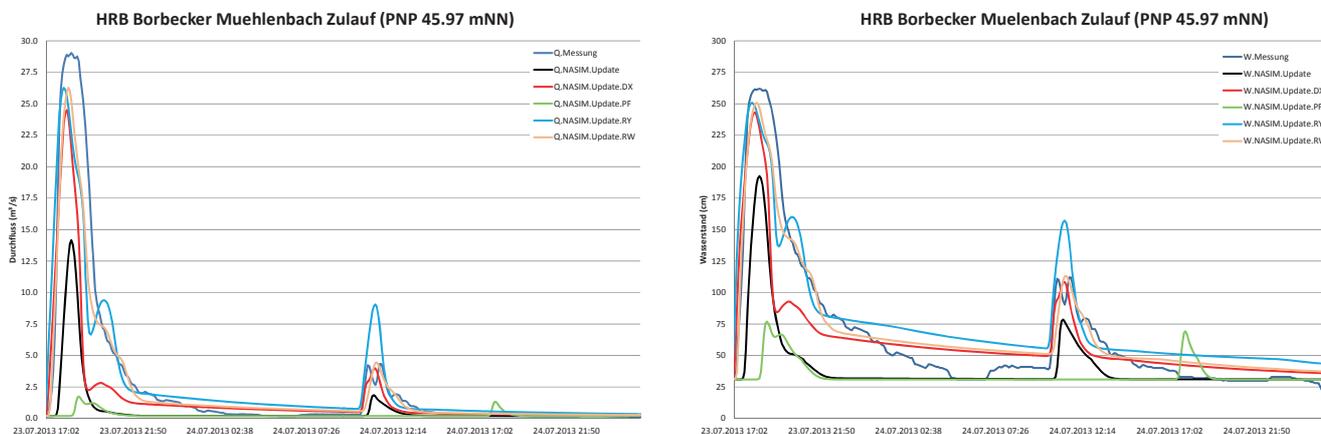


Abb. 6: Simulationsergebnisse für den Zulauf des HRB Borbecker Mühlenbach für verschiedene Niederschlagsprodukte im Vergleich zu den gemessenen Werten vom 23. und 24. Juli 2013

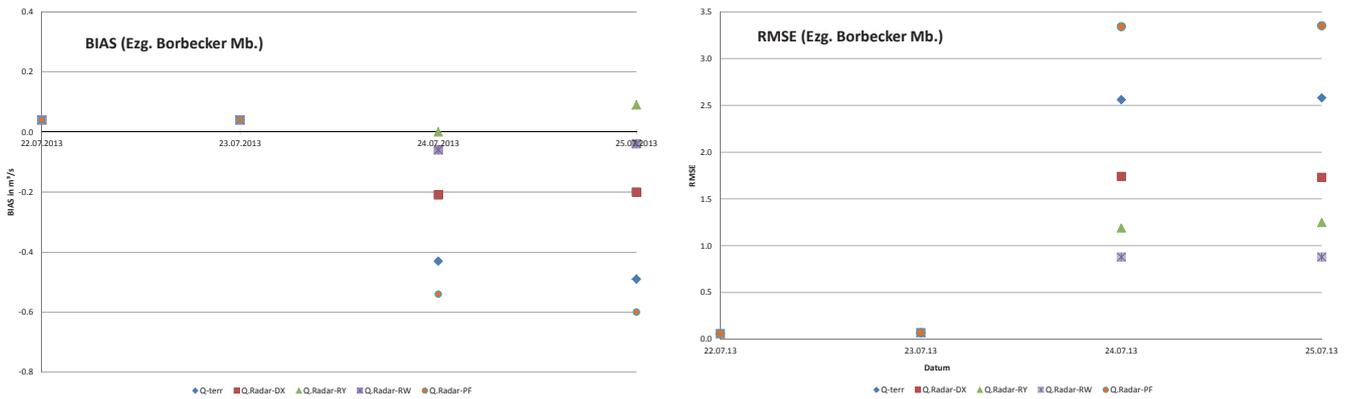


Abb. 7: Einschätzung der Güte der Modellsimulationen auf Basis der Parameter BIAS und RMSE im Zeitraum vom 22. bis 25. Juli 2013

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 Flechtdorf (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-

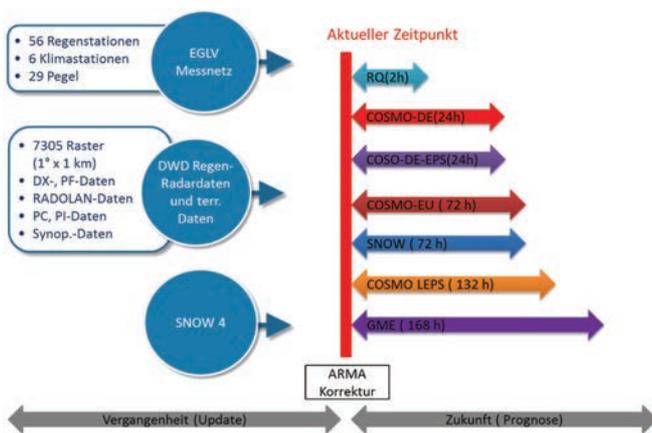


Abb. 8: Einbindung der Radardaten in das Hochwasservorhersagesystem bei EG und LV

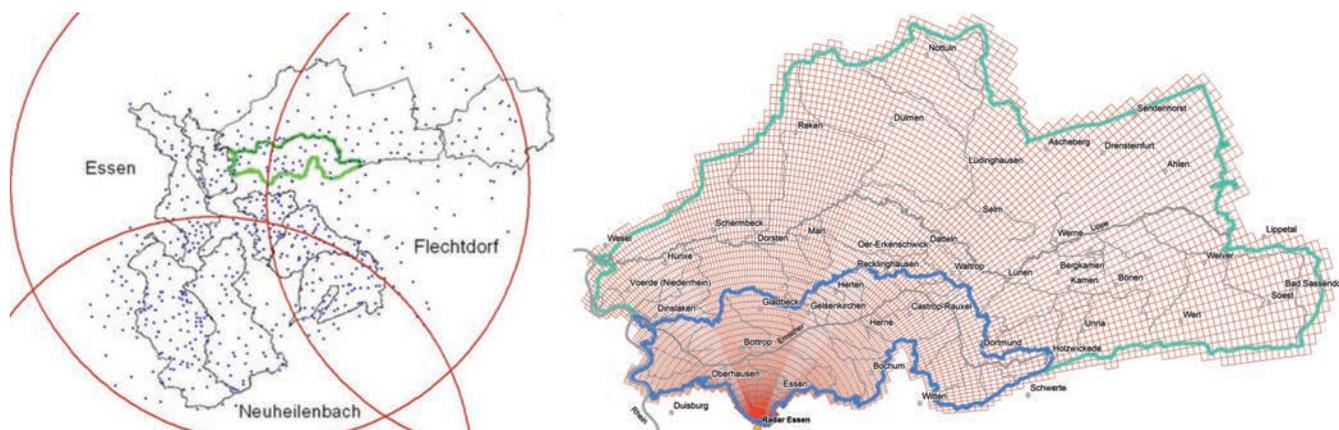


Abb. 9: Abdeckung der Verbandsgebiete durch die Reichweiten der Radarstandorte Essen, Flechtdorf und Neuheilenbach (links) und DX-Radarpixel im Emscher und Lippe Gebiet (rechts)

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 angeeichteter 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)

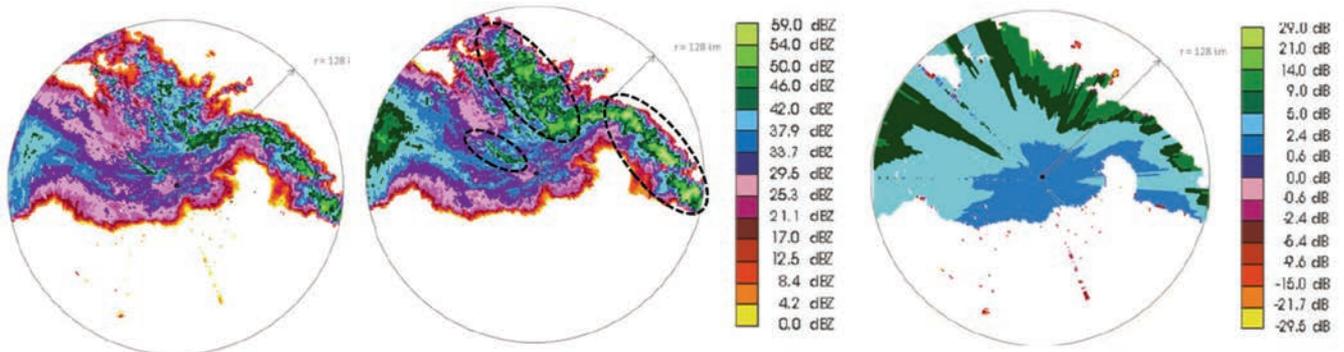


Abb. 11: Reflektivitäten des Radarstandortes Essen (DX-Produkt) für den 20. Juni 2013, 14:35 Uhr; links: unkorrigiert, Mitte: mit Korrekturalgorithmen, rechts: korrigierter Dämpfungsteil

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 Reflektivität 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 Reflektivitäten 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 Messnetzdichte 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

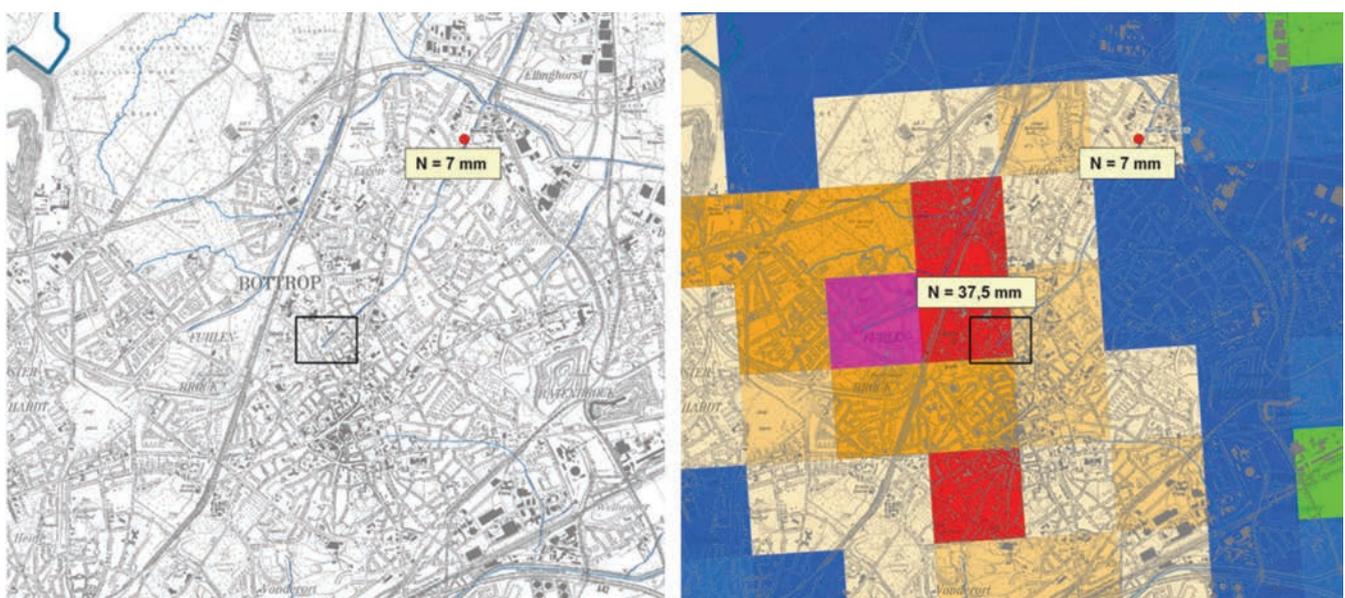


Abb. 12 a und b: Radarniederschlag (RW-Produkt) und terrestrische Messung am 28. April 2011 in Bottrop (Zeitraum 16:51 Uhr – 17:50 Uhr, MESZ)

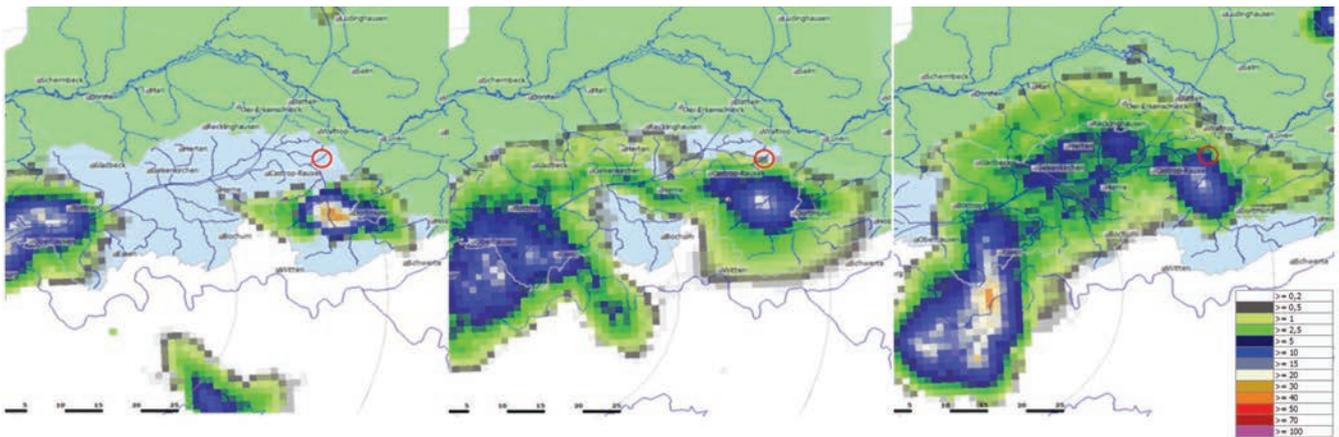


Abb. 13: Stündliche Niederschlagssummen RW-Produkt am 9. Juni 2014 im Zeitraum: 03:00 Uhr – 06:00 Uhr, MESZ

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 IV immer häufiger mit der Auswertung von Radardaten auch für ihre Mitgliedsgemeinden unterstützend tätig. Neben einer Bereitstellung von Radarbildern und Videos, können GIS-gestützt, automatisiert Karten erzeugt werden, die eine ereignisbezogene Auswertung von Radardaten 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 Übereinstimmung der Schadensorte mit den höchsten Radarniederschlagssummen. Die nächstgelegene terrestrische Niederschlagsstation 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 bestimmten Niederschlagsereignis ein Modellgebiet vollständig überregnet war und der Niederschlag als Gebietsbelastung verwendet werden kann.

Maximale 3-Stundensumme [mm] über Ereigniszeitraum von 19:55 Uhr – 00:50 Uhr (MESZ)



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, radardatenbasierete, 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.
- [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., Schwabenberg, 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)



# DIE LIPPE ENTDECKEN



[www.lippeverband.de](http://www.lippeverband.de)