

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Müller, Uwe; Philipp, Andy; Grundmann, Jens**

## **Niederschlagbasiertes Hochwasserfrühwarnsystem „HoWa-innovativ“**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108923>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Müller, Uwe; Philipp, Andy; Grundmann, Jens (2022): Niederschlagbasiertes Hochwasserfrühwarnsystem „HoWa-innovativ“. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Nachhaltigkeit im Wasserbau - Umwelt, Transport, Energie. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 68. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 191-198.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## **Niederschlagsbasiertes Hochwasserfrühwarnsystem „HoWa-innovativ“**

Uwe Müller  
Andy Philipp  
Jens Grundmann

Im Projekt „HoWa-innovativ“ ist ein Demonstrator eines neuartigen niederschlagsbasierten Hochwasserfrühwarnsystems unter Verwendung von Dämpfungswerten kommerzieller Mobilfunknetze entwickelt worden. Dabei sind Daten einer weltweit vorhandenen Infrastruktur durch künstliche Intelligenz (KI) opportunistisch für eine völlig neue Anwendung, hier für die Daseinsvorsorge, in Wert gesetzt worden.

In the project "HoWa-innovativ", a demonstrator of a new precipitation-based flood early warning system has been developed using attenuation data from commercial mobile phone networks. In the process, data from a globally existing infrastructure has been opportunistically valorised by artificial intelligence (AI) for a completely new application, in this case for public services.

Stichworte: Hochwasser, Frühwarnung, Mobilfunk, künstliche Intelligenz

### **1 Einleitung**

Durch über 700 Naturkatastrophen sind weltweit pro Jahr ca. 200 Mio. Menschen betroffen. Allein 2017 sind Schäden von ca. 340 Mrd. US-\$ und ca. 10.000 Todesopfer zu beklagen gewesen. Ca. 47% dieser Ereignisse sind auf Hochwasser und Sturzfluten zurückzuführen [12]. Die Wissenschaft ist sich einig (siehe auch IPCC-Berichte), dass die Klimaveränderung zur Zunahme von Starkregen- und Hochwasserereignissen führen wird, welche sich in den letzten vier Jahrzehnten weltweit schon mehr als vervierfacht haben.

Die Hochwasserereignisse im Sommer 2021 führten in Deutschland zu Schäden von ca. 35 Mrd. Euro und forderten über 150 Todesopfer. Das entspricht ca. 1/10 der 2017 weltweit aufgetretenen Schäden durch Naturkatastrophen.

Diese Zahlen belegen, wie wichtig verbesserte Anpassungs- und Warnstrategien zur Reduzierung von Todesopfern und existenzbedrohender Schäden sind.

Deshalb ist im Projekt „HoWa-innovativ“ ein Demonstrator eines neuartigen niederschlagsbasierten Hochwasserfrühwarnsystems unter Verwendung von Dämpfungswerten kommerzieller Mobilfunknetze entwickelt worden. Dabei sind Daten einer weltweit vorhandenen Infrastruktur durch künstliche Intelligenz (KI) opportunistisch für eine völlig neue Anwendung, hier für die Daseinsvorsorge, in Wert gesetzt worden.

## 2 Grenzen klassischer Hochwasservorhersagen

Klassische Hochwasserwarnungen basieren in der Regel auf Wasserstandsbeobachtungen und sind für kleine Einzugsgebiete meist zu ungenau und deshalb wenig nützlich. Die Hochwasservorhersagen werden vorrangig auf Basis von Niederschlagsinformationen (Ombrometer und Regenradar) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und Wasserstandsmessungen an Pegeln erzeugt. Die damit erreichbare Datenlage und die Reaktionszeiten vom Niederschlag bis zum Anstieg der Pegel erlauben aus diesem Grund meist keine rechtzeitige Hochwasserwarnung in kleinen und schnell reagierenden Fließgewässern.

Kleinere Gewässer in Einzugsgebieten mit Flächen bis zu einigen hundert Quadratkilometern können infolge intensiver Niederschläge (Starkregen) innerhalb kurzer Zeit stark anschwellen; im Extremfall steigt der Abfluss fast zeitgleich mit dem Einsetzen des Niederschlags an. Die Einsatzkräfte der Wasser- und Katastrophenabwehr können in diesen Regionen bisher lediglich auf Wetterwarnungen und ggf. einfache Frühwarnsysteme zurückgreifen, die ihnen jedoch keine quantitativen Informationen über den Abfluss und die damit einhergehende tatsächliche Gefährdung durch Hochwasser vermitteln. Warnungen auf Basis von Wasserstandsbeobachtungen an Hochwassermeldepegeln und modellbasierten Vorhersagen des Was-

serstandes, ähnlich zu den großen Flusssystemen, sind bisher in diesen Gebieten nicht möglich.

## 3 Neuartiges Frühwarnsystem

### 3.1 Beschreibung des Frühwarnsystems

Im Projekt „HoWa-innovativ“ ist deshalb eine räumlich wesentlich präzisere Vorhersage von Hochwasser unter Nutzung innovativer Niederschlagsmess- und Vorhersageverfahren mit dem Fokus auf kleinere Flusseinzugsgebiete bis 1.000 km<sup>2</sup> entwickelt worden. Diese Einzugsgebiete sind u.a. durch Sturzfluten infolge Starkregen mit verheerenden Folgen gekennzeichnet (z.B. 2021 – Ahr: ca. 900 km<sup>2</sup>, 2002 – Müglitz: ca. 200 km<sup>2</sup>).

Zur Niederschlagsmessung wurden erstmals klassische Radardaten mit fast in Echtzeit verfügbaren Daten der Mobilfunknetze in einem sog. „Merging-Produkt“ kombiniert. Grundlage des Verfahrens ist die Nutzung der durch Niederschlag entstehenden starken Signalabschwächung entlang der mittels Richtfunkstrecken untereinander verbundenen Mobilfunkmasten [1, 2]. Mit dieser aus den kommerziellen Richtfunkstrecken (Commercial Microwave Links, CMLs) abgeleiteten Niederschlagsinformation wurden die Genauigkeit und räumliche Abdeckung der bodennahen Niederschlags Erfassung signifikant erhöht und die zeitnahe Verfügbarkeit von Niederschlagsdaten für die Kombination mit Radardaten wesentlich verbessert. Vor allem bei den bisher schwer erfassbaren räumlich stark begrenzten Niederschlagszellen und hohen Niederschlagsraten zeigt sich der positive Effekt der aktuell deutschlandweit verwendbaren 4.000 CMLs sehr deutlich. Dort, wo das Regenradar hoch über Grund misst oder abgeschattet wird (z.B. in Tälern), ist die Kombination von CMLs und Radar besonders effektiv.

Diese neu entwickelte Generation von Hochwasservorhersagesystemen ermöglicht auf Basis dieser neuartigen Niederschlagsinformationen und probabilistischer Vorhersagen der DWD-Ensemble-Wettervorhersagen nun Frühwarnungen mit bis zu 48 Stunden Vorwarnzeit. Seit einem Jahr wird die international einzigartige Technologie mit einem auf die Anforderungen der Akteure der Katastrophenwarnung und -abwehr zugeschnittenen Demonstrator (<https://www.howa-innovativ.sachsen.de/>) getestet.

Das neue Frühwarnsystem ermöglicht damit insbesondere in kleinen und schnell reagierenden Einzugsgebieten wesentlich frühere und zuverlässige-

re Warnungen für die Katastrophenabwehr und versetzt die von Hochwasser oder Starkregen betroffenen Regionen in die Lage, rechtzeitig vorge dachte oder operationelle Schutzvorkehrungen zur Verhinderung von Personen- und enormen Sach- und Wirtschaftsschäden umzusetzen. Die 2021 auch in Sachsen aufgetretenen Starkregenereignisse konnten unter Zuhilfenahme des Demonstrators teilweise bereits vor der Unwetterwarnung des DWD identifiziert und der Hochwassernachrichten- und Alarmdienst aktiviert und die Betroffenen rechtzeitig gewarnt werden.

### **3.2 Demonstrator des Frühwarnsystems**

Zur Testung ist ein KI-gestützter webbasierter Demonstrator des niederschlagsbasierten Hochwasserfrühwarnsystems, der die Vorhersageunsicherheit berücksichtigt und damit auch Zuverlässigkeitsaussagen kommuniziert, entwickelt worden. Die Entwicklung des Demonstrators erfolgte zusammen mit Anwendern – dem Landeshochwasserzentrum Sachsen – und den potentiellen Nutzern – den Verantwortlichen des Katastrophenschutzes in lokalen Verwaltungen, Freiwilligen Feuer- und Wasserwehren sowie Betreibern von Talsperren. Damit sind wichtige Lösungen zu den Fragen der zivilen Sicherheit, wie z.B. Schutz und Rettung von Menschen, Katastrophenschutz, Schutz kritischer und weiterer Infrastrukturen sowie Aus- und Weiterbildung, erarbeitet worden.

Mit der Onlineschaltung des Demonstrators [4] und Bekanntgabe an die Nutzer in den drei Test-regionen im April 2021 wurde in Fortführung des sächsischen Frühwarnsystems ein wesentlicher technologischer Fortschritt mit hohem Mehrwert erreicht [5]. Der Demonstrator ermöglicht Vorhersagen und Frühwarnungen, basierend auf der aktuellen und zurückliegenden raumzeitlichen Niederschlags schätzung sowie den probabilistischen Vorhersagen eines numerischen Ensemble-Wettervorhersagesystems (betrieben beim DWD) mit bis zu 48 Stunden Vorwarnzeit. Die gemessenen Niederschläge und vorhergesagten Ensembles werden mit gebietsspezifischen Niederschlag-Abfluss-Modellen in Abflussensembles umgerechnet und zur Ableitung probabilistischer Warnungen und für die Visualisierung im Demonstrator aufbereitet [6].

### 3.3 Anwender-Nutzer-Dialog zum Frühwarnsystem

Um den Einsatz und die Akzeptanz probabilistischer Warnungen bei der Abwehr und Bewältigung von Hochwasserkatastrophen zu fördern und zu begleiten, wurde ein breit angelegter Anwender-Nutzer-Dialog durchgeführt [7]. In drei Testregionen in Sachsen (Vogtland – Oberlauf Weiße Elster bis Oelsnitz, Osterzgebirge – Müglitz, Oberlausitz – Mandau) erfolgte eine umfangreiche Erfassung der Sichtweisen und Anforderungen unterschiedlicher Nutzer auf die Problematik der Hochwasser(früh)warnung sowie die Entwicklung möglichst einfach verständlicher Visualisierungen zur Kommunikation der Unsicherheiten. Parallel dazu wurde ein Schulungs- und Trainingskonzept erarbeitet, das den Nutzern ermöglicht, die im Demonstrator implementierten Visualisierungen angemessen zu interpretieren, um optimal darauf reagieren zu können.

### 3.4 Innovation des Frühwarnsystems

Für die Verbesserung der raumzeitlichen Niederschlagsschätzung (QPE – Quantitative Precipitation Estimation) wurde ein neuartiger Ansatz durch kombinierte Nutzung von Radar- und Stationsdaten des DWD mit Niederschlagsinformationen von kommerziellen Richtfunkstrecken (Commercial Microwave Links, CMLs - aus den vorhandenen Mobilfunknetzen) erprobt. Eine Herausforderung bei der Verwendung von CMLs für die QPE ist die korrekte Identifikation von Niederschlagsereignissen in den unterschiedlich stark verrauschten Rohdaten. Hierfür wurde ein adaptives [8] und KI-/Deep-Learning-basiertes [9] Verfahren entwickelt, in der Open-Source-CML-Toolbox pycomlink implementiert [10] und mittels deutschlandweiter CML-Daten validiert, was eine grundsätzliche Eignung der CML-Daten für die Hochwasservorhersage zeigte. Das am DWD operationell betriebene Standard-Radarverfahren (RADOLAN-Aneichverfahren) [11] wurde als Experimentiersystem in der Programmiersprache Python geklont und die Integration der CML-Daten als pfadgemittelte Niederschlagsinformation ergänzt. Es konnte gezeigt werden, dass die Hinzunahme von CML-Daten eine signifikante Verbesserung des angeeichten Radarfeldes und damit der Niederschlagsschätzung ermöglicht. Weiterhin erfolgte eine retrospektive Validierung im Demonstrator zur Frühwarnung und es wurde testweise eine kontinuierliche Radaraneichung mit CML-Daten implementiert.

Die in „HoWa-innovativ“ erarbeiteten Lösungen zur Unsicherheitsquantifizierung, die Radar-CML-Aneichung („Merging“) sowie der webbasierte, nut-

zerorientierte Demonstrator zur Hochwasser-frühwarnung befördern damit den aktuellen Stand der Forschung. Sie werden derzeit als Demonstrationslösungen von den beteiligten Partnern betrieben und genutzt. Die positiven Rückmeldungen seitens der Anwender und Nutzer und der damit einhergehende Bedarf führten zum Folgeantrag „HoWa-PRO“ um die nächsten Entwicklungs- bzw. Verwertungsschritte umzusetzen. So wird z.B. der DWD die CML-Daten auf Basis der entwickelten Technologie zur Verbesserung seiner Niederschlagsprognosen einsetzen und das Landeshochwasserzentrum des Freistaates Sachsen wird sein bisheriges Frühwarnsystem um diese Technologie erweitern und damit weiter verbessern.

In den durch „HoWa-innovativ“ bearbeiteten Bereichen (1) Niederschlags-schätzung unter Einbeziehung von CML-Daten, (2) hydrologische Ensemble-Modellierung zur Propagierung von Vorhersage-Unsicherheit sowie (3) Design von Warnprodukten gab es sowohl international als auch national erste Methoden, die jedoch durch das vorgestellte Vorhaben entscheidend weiterentwickelt worden sind. Insbesondere wurden mit „HoWa-innovativ“ zum ersten Mal alle vorgenannten Aspekte in einer nutzerorientierten Art und Weise in einem quasi-operationellen Warnsystem zusammenfassend implementiert und damit für die Aufgaben der Hochwasser- und Katastrophenabwehr gesamtheitlich in Echtzeit verfügbar gemacht.

Die Projektpartner haben unter Verwendung der verfügbaren Radar- und CML-Daten den Beleg für die Übertragbarkeit dieser anwendernahen und technisch innovativen Technologie auf alle hochwassergefährdeten Regionen in Deutschland erbracht und arbeiten nun an der Umsetzung in den operationellen Regelbetrieb. Da weltweit Mobilfunknetze bestehen, ist diese Technologie geeignet, in Regionen mit weniger oder keinen klassischen Niederschlagsmessstationen, bessere oder überhaupt Niederschlagsinformationen bereitzustellen. Diese können neben der Warnung auch für viele Steuerungs- und Planungsprozesse eingesetzt werden. Das als Demonstrator vorliegende Frühwarnsystem kann, wie die frühzeitige Warnung 2021 in Sachsen zeigt, entscheidend zur Reduzierung enormer nachteiliger Folgen durch Starkregen- und Hochwasserereignisse beitragen und damit, nicht nur in Deutschland, einen wesentlichen Beitrag zur noch besseren Umsetzung des Hochwasserrisikomanagements leisten.

## 4 Partner

Partner im Projekt sind das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Landeshochwasserzentrum als Verbundkoordinator), die Technische Universität Dresden (Lehrstuhl Hydrologie) sowie die Universität Augsburg (Lehrstuhl für Regionales Klima und Hydrologie) zusammen mit dem Karlsruher Institut für Technologie. Assoziierte Partner sind Ericsson GmbH, Hamburg; Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach; Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg sowie das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, München.

Danksagung – Die Autoren bedanken sich einerseits beim Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung über das Sicherheitsforschungsprogramm SIFO.de und andererseits bei allen Partnern und assoziierten Partnern für die gewinnbringende Zusammenarbeit.

## 5 Literatur

- [1] Chwala, C. und Kunstmann, H. (2020), Landesweite Niederschlagsmessung mit dem Handynet, Praxis Wasserwirtschaft, 10/2020, Seite 42-43, <https://doi.org/10.1007/S35147-020-0447-2>
- [2] Chwala, C. and Kunstmann, H. (2019) Commercial microwave link networks for rainfall observation: Assessment of the current status and future challenges, Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, Volume 6, Issue 2, doi: 10.1002/wat2.1337
- [3] Projektwebseite „HoWa-innovativ“ (07.06.2021), unter: <https://www.howa-innovativ.sachsen.de>.
- [4] Webbasierter Demonstrator „Hochwasserfrühwarnung“ des Projektes „HoWa-innovativ“ im operativen Betrieb (07.06.2021), verfügbar unter: <http://howa-innovativ.hydro.tu-dresden.de/WebDemoLive>
- [5] Grundmann, J., Six, A., Philipp, A. (2021): A web based demonstration platform for flood warning in small catchments using ensemble hydrological forecasting. EGU21-15111, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-15111>, EGU General Assembly 2021.
- [6] Grundmann, J., Six, A., Philipp, A. (2020): Ensemble hydrological forecasting for flood warning in small catchments in Saxony, Ger-many. EGU2020-15220, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-15220>, EGU General Assembly 2020.



- [7] Grundmann, J., Chwala, C., Six, A., Philipp, A., Schütze, N., Kunstmann, H., Müller, U. (2020): Perspektiven für die Vorhersage und Warnung vor Extremniederschlägen und Hochwasser in kleinen Einzugsgebieten in Sachsen. Tag der Hydrologie, Potsdam, 2020.
- [8] Graf, M., Chwala, C., Polz, J., & Kunstmann, H. (2020): Rainfall estimation from a Germanwide commercial microwave link network: Optimized processing and validation for 1 year of data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(6), 2931–2950. <https://doi.org/10.5194/hess-24-2931-2020>.
- [9] Polz, J., Chwala, C., Graf, M., & Kunstmann, H. (2020): Rain event detection in commercial microwave link attenuation data using convolutional neural networks. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(7), 3835–3853. <https://doi.org/10.5194/amt-13-3835-2020>.
- [10] Chwala, C., Polz, J., Graf, M. and Blettner, N. (2021): pycomlink CML processing toolbox, version 0.3.2. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4810169>.
- [11] Winterrath, T., Rosenow, W., & Weigl, E. (2012): On the DWD quantitative precipitation analysis and nowcasting system for real-time application in German flood risk management, *Weather Radar and Hydrology (Proceedings of a symposium held in Exeter, UK, April 2011)*, IAHS Publ. 351.
- [12] Munich RE: Topics Geo, Naturkatastrophen 2017; München 2018

Autoren:

Dr.-Ing. habil. Uwe Müller  
Dr. Andy Philipp  
Sächsisches Landesamt für Umwelt,  
Landwirtschaft und Geologie  
Abteilung Wasser, Boden,  
Wertstoffe  
Pillnitzer Platz 3  
01326 Dresden

Tel.: +49 351 89284000  
Fax: +49 351 89284099  
E-Mail: Uwe.Mueller@sme  
kul.sachsen.de

Dr. Jens Grundmann  
TU Dresden  
Institut für Hydrologie und  
Meteorologie  
01062 Dresden

Tel.: +49 351 463 35556  
Fax: +49 351 463037162  
E-Mail: jens.grundmann@tu-  
dresden.de