

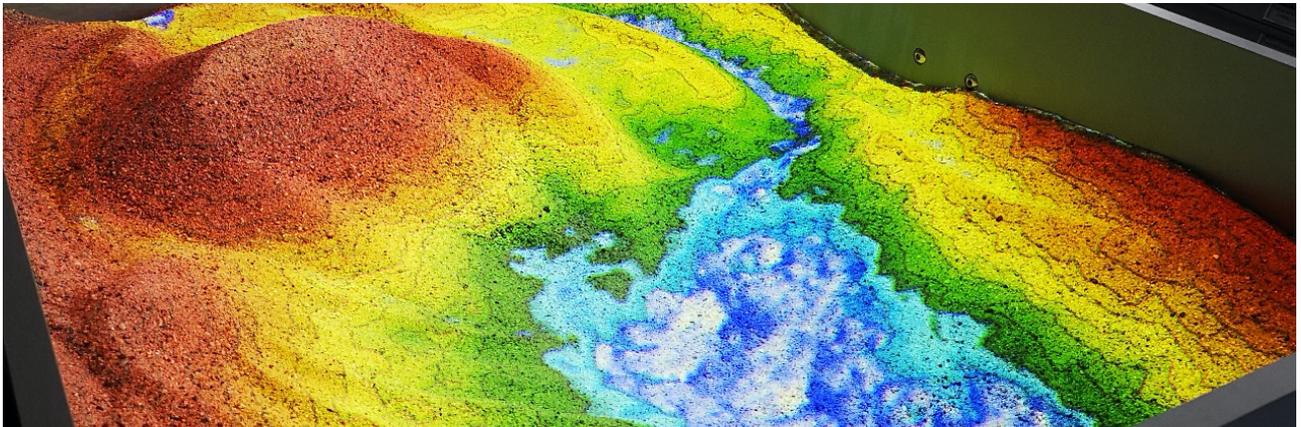


# Abstract-Band

## Tag der Hydrologie 2023

Nachhaltiges Wassermanagement – Regionale und Globale Strategien

22. & 23.03.2023 Ruhr-Universität Bochum & Hochschule Bochum



ausgerichtet von:

mit freundlicher Unterstützung von:



Ingenieurhydrologie  
und Wasserwirtschaft

Landesamt für Natur,  
Umwelt und Verbraucherschutz  
Nordrhein-Westfalen



Deutsche  
Hydrologische  
Gesellschaft



Hochschule Bochum  
Lehrgebiet Wasserbau  
und Hydromechanik (LWH)



EGLV  
Emschergenossenschaft  
Lippeverband



Klare Konzepte. Saubere Umwelt.



Hydrologische Wissenschaften  
Fachgemeinschaft in der DWA



## Vorträge: Monitoring und Analyse hydrologischer Extreme

### **Wirkung von Ereignisbündeln (*Compound events*) auf Binnenhochwasserereignisse in den Küstenniederungen**

Helge Bormann<sup>1</sup>, Jenny Kebschull<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth, Referat Forschung und Transfer, [helge.bormann@jade-hs.de](mailto:helge.bormann@jade-hs.de)

<sup>2</sup>Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth, Referat Forschung und Transfer, [jenny.kebschull@jade-hs.de](mailto:jenny.kebschull@jade-hs.de)

Neben Sturmfluten stellen Binnenhochwasserereignisse eine zunehmend große Gefährdung für die Küstenniederungen dar. Die Entwässerungsverbände an der Nordseeküste betreiben ihre Systeme immer häufiger am Rande der Leistungsfähigkeit und sind sich dessen bewusst, dass die Auswirkungen des Klimawandels zukünftig noch größere Anforderungen an die Entwässerungsinfrastruktur stellen werden (Bormann et al., 2020).

Neben den oben genannten Einzelereignissen stellen insbesondere Ereignisbündel (*Compound events*) eine besondere Herausforderung für Hochwasserschutz und Binnenentwässerung dar. Treten z.B. Sturmfluten und ergiebige Regenfälle gleichzeitig auf, führt oft schon eine Kombination moderater Einzelereignisse zu schwerwiegenden wasserwirtschaftlichen Folgen (van den Hurk et al., 2015). Eine Typologie meteorologischer Ereignisbündel wurde von Zscheischler et al. (2020) vorgeschlagen. Diese unterscheidet zwischen

- Multivariaten *Compound Events* (gleichzeitiges Auftreten verschiedener Ereignisse, die auf das gleiche System wirken),
- Räumlichen *Compound Events* (Auftreten von Ereignissen in verschiedenen Regionen, die das gleiche System beeinflussen),
- Zeitlichen *Compound Events* (mehrere aufeinander folgende Ereignisse, die auf dasselbe System wirken), sowie
- Ereignissen, die nur unter bestimmten Voraussetzungen auftreten (*preconditioned Compound Events*).

Die Analyse historischer Binnenhochwasserereignisse an der Deutschen Nordseeküste zeigt, dass in der Vergangenheit vor allem moderate Sturmtiefserien (zeitliche *Compound Events*) in Kombination mit großräumigen, ergiebigen Niederschlägen zu einer Überlastung der Binnenentwässerung geführt haben (Multivariate *Compound Events*), die sich in den Küstenniederungen v.a. durch erhöhte Binnenwasserstände und damit verbundene Ausuferungen der Gewässer geäußert hat. Besonders starke Überlastungen traten dann auf, wenn die Böden aufgrund einer langanhaltend nassen Wetterlage bereits wassergesättigt waren (*preconditioned Compound Events*). Entsprechend der Typologie nach Zscheischler et al. (2020) ergeben sich die größten Probleme für die Binnenentwässerung also bei einer Kombination verschiedener Typen von Ereignisbündeln.



Basierend auf diesem Verständnis der Entstehung historischer Ereignisse wird anhand aktueller Klimaprojektionen analysiert, welche Auswirkungen des Klimawandels auf Häufigkeit und Intensität von Ereignisbündel an der Nordseeküste zu erwarten sind. Mithilfe von Überlastungsrechnungen (Bormann et al., 2022) lässt sich quantifizieren, welche potenziellen Überschwemmungen zu erwarten wären, wenn die Entwässerungsinfrastruktur nicht an die Folgen des Klimawandels angepasst würde.

## Literatur

- Bormann, H., Kebschull, J., Ahlhorn, F. (2020): Challenges of Flood Risk Management at the German Coast. In: Negm, A.M., Zelenakova, M., Kubiak-Wojcicka, K. (Hrsg.): Water Resources Quality and Management in Baltic Sea Countries. Springer Water. S. 141-155.
- Bormann, H., Kebschull, J., Spiekermann, J., Kramer, N. (2022): Eine Methodik zur Ableitung szenariobasierter Binnenhochwassergefahren- und -risikokarten im nordwestdeutschen Küstenraum. Wasser und Abfall, 24(6), 14-20.
- van den Hurk, B., van Meijgaard, E., de Valk, P., van Heeringen, K.-J., Gooijer, J. (2015) Analysis of a compounding surge and precipitation event in the Netherlands. In: Environmental Research Letters 10, 035001.
- Zscheischler, J., Martius, O., Westra, S., Bevacqua, E., Raymond, C., Horton, R.M., van den Hurk, B., AghaKouchak, A., Jézéquel, A., Mahecha, M.D., Maraun, D., Ramos, A.M., Ridder, N.N., Thiery, W., Vignotto, E. (2020) A typology of compound weather and climate events. In: Nature Reviews Earth & Environment 1, S. 333–347. DOI: 10.1038/s43017-020-0060-z



# Stand und Entwicklungen in der Hochwasservorhersage des Landes Nordrhein-Westfalen

Marc Scheibel<sup>1</sup>, Sebastian Hansmann<sup>2</sup>, Isabel Menzer<sup>3</sup>, Tim Holst<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Marc.Scheibel@lanuv.nrw.de

<sup>2</sup>Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Sebastian.Hansmann@lanuv.nrw.de

<sup>3</sup>Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Isabel.Menzer@lanuv.nrw.de

<sup>4</sup>Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Tim.Holst@lanuv.nrw.de

Die Hochwasserkatastrophe im Juli 2021 führte in Deutschland an vielen Gewässern Nordrhein-Westfalens und Rheinland-Pfalz zu extremen Abflüssen und daraus resultierend zu großräumigen Überschwemmungen mit hohen materiellen Schäden und Todesopfern. Als Reaktion auf diese Flut veröffentlichte das Umweltministerium des Landes Nordrhein-Westfalen den 10-Punkte Arbeitsplan „Hochwasserschutz in Zeiten des Klimawandels“ mit dem Ziel verbesserter Vorsorge und Schutzes im gesamten Land [MUNV, 2022]. Der Arbeitsplan beschreibt die Aufgaben und Herausforderungen der kommenden Jahre, um die Menschen in Nordrhein-Westfalen so gut wie möglich vor den Folgen von Hochwasser- und Starkregenereignissen zu schützen.

Zur Verminderung des Schadensrisikos von Hochwasserereignissen sind möglichst zeitnahe Kenntnisse in der Entwicklung der Ereignisse durch modell- und datengetriebene Vorhersagesysteme eine entscheidende Komponente. Hochaufgelöste Niederschlags- und Abflussvorhersagen liefern gemeinsam mit flächendeckenden Messdaten der Niederschlags- und Pegelmessnetze vor, während und nach einer Wetterlage mit erhöhter Hochwasserwahrscheinlichkeit qualitative Daten, die für die Information der Öffentlichkeit wie auch des Katastrophenschutzes zentral sind. Die Umsetzung einer solchen optimierten Hochwasservorhersage für so viele Gewässer in NRW wie möglich ist in dem Arbeitsplan als einer der 10 Punkte benannt und wird zurzeit prioritär bearbeitet.

Dabei machte das letztjährige Hochwasserereignis deutlich, dass neue Strategien in der Vorhersage entwickelt werden müssen, um ein komplementäres Vorhersagesystem für NRW zu schaffen, das den Anforderungen, möglichst viele – auch kleine – Gewässer bzw. deren Einzugsgebiete abzudecken, gerecht wird. Insbesondere die Erhöhung der zeitlichen Verfügbarkeit hydrologischer Vorhersagen, die Ergänzung um ein Frühwarnsystem für kleine Einzugsgebiete sowie eine niederschlagsbasierte Alarmierung stehen hierbei im Fokus. Ein Blick auf die historische Entwicklung des Hochwasserinformationsdienstes (HID) in Nordrhein-Westfalen mit den Schwierigkeiten eines bevölkerungsreichen und stark versiegelten Flächenlandes sowie die bereits umgesetzten Maßnahmen in der Hochwasservorhersage werden exemplarisch vorgestellt. Darüber hinaus wird aufgezeigt, welche Maßnahmen zur erhöhten Resilienz gegenüber Hochwasser- und Starkregenereignissen zurzeit realisiert oder angestrebt werden.

## Literatur / References

MUNV Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr NRW (2022) Umweltministerin stellt Arbeitsplan "Hochwasserschutz in Zeiten des Klimawandels" vor;

<https://www.umwelt.nrw.de/presse/detail/umweltministerin-stellt-arbeitsplan-hochwasserschutz-in-zeiten-des-klimawandels-vor-1642681404>



# **Einfluss des hydrologischen Modellkonzeptes auf die Prognosegüte extremer Niedrigwasser im Rheingebiet**

Christoph Tyralla

Seit Juli 2022 veröffentlicht die Bundesanstalt für Gewässerkunde wahrscheinlichkeitsbasierte 14-Tage-Vorhersagen des Wasserstandes für die schiffahrtsrelevanten Pegel des Rheins, um das mittelfristige Transport- und Logistikmanagement entlang Europas wichtigstem Binnenschiffahrtsweg weitergehend zu unterstützen. Die Simulation der Rhein-Zuflüsse erfolgt dabei mit dem jüngst erstellten Vorhersagemodell HydPy-H-Rhein375. Dieses basiert auf dem hydrologischen Open-Source-Framework HydPy, das die Prozessbeschreibungen zahlreicher Konzeptmodelle umfasst und in standardisierter Form flexibel zugänglich macht.

Für HydPy-H-Rhein375 wurde eine Kombination der Prozessbeschreibungen der Modelle HBV96 und PREVAH gewählt, die mit dem Rhein-Niedrigwasser 2022 einem ersten operationellen Härtetest unterzogen wurde. Während die Zuflusssimulation insgesamt zu guten Wasserstandsvorhersagen führte, zeigen sich in der Rückschau für einzelne regionale Niederschlagsperioden Verbesserungspotenziale. Aktuell laufende Untersuchungen bewerten die Vorhersagen des Niedrigwassers 2022 anhand der Nachrechnung früherer Niedrigwasserereignisse, insbesondere der ebenfalls extremen Niedrigwasser 2003, 2015 und 2018. Eine zentrale Frage ist, inwieweit die Prognosegüte derartiger Extreme in Abhängigkeit zur Modellstruktur und -parametrisierung steht. Hierfür werden unter Verwendung des HydPy-Frameworks verschiedene Kombinationen der Prozessbeschreibungen der Modelle HBV96, PREVAH, COSERO und LARSIM erprobt. Neben weiteren Maßnahmen, wie der Nachkalibrierung von HydPy-H-Rhein375 unter Berücksichtigung des hydrologischen Jahres 2022 und der Einbeziehung von Datenassimilations-Methoden in den Prognose-Workflow, sollen diese Erkenntnisse zur weiteren Verbesserung der Wasserstandsvorhersage am Rhein sowie an weiteren Bundeswasserstraßen beitragen.



# Zur Fortschreibung des DWA-Merkblattes 552 „Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten“

Svenja Fischer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ruhr-Universität Bochum, SPATE-Forschungsgruppe, svenja.fischer@ruhr-uni-bochum.de

Die extremen, oftmals durch lokale Starkregen bedingten Hochwasser der letzten Jahre zeigten, wie problematisch die Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten ist, wenn die Entstehung und der Verlauf dieser Ereignisse nicht differenziert berücksichtigt wird. Insbesondere die zunehmende Zahl von Sturzfluten in Folge von Starkregen erfordert ein neues Verständnis der Hochwassergefährdung in Deutschland. Dabei ist zu beachten, wie sich Sturzfluten von den herkömmlichen Flusshochwassern unterscheiden: extrem kurze Anstiegszeiten, hohe Fließgeschwindigkeiten, schießende Abflüsse, starke hydraulische Belastung der Gewässer und der Überflutungsflächen und oftmals extreme Schäden. Die Erfahrung derartiger Extremhochwasser bildeten den Ausgangspunkt für den Vorschlag an die DWA, das Merkblatt M-552 zu überarbeiten. Die DWA hat hierzu im Frühjahr 2022 eine Arbeitsgruppe (HW 4.11 „Hochwasserwahrscheinlichkeiten“) berufen, die nach mehreren Sitzungen in diesem Jahr einen Entwurf in das Gelbdruck-Verfahren einbringen wird. Schwerpunkt der Überarbeitung war dabei die kausale Informationserweiterung, für die nunmehr quantitative Ansätze vorgeschlagen werden. Durch die Hinzunahme von Erkenntnissen zur Entstehung und meteorologischen Ursachen von Hochwassern können nunmehr belastbare Aussagen zum Verlauf der oberen Äste der Verteilungsfunktionen und damit zu den Bestimmungsgrößen extremer Hochwasser gemacht werden. Hierzu wird auch die Erweiterung der Datenbasis durch partielle Serien empfohlen. Neu sind ebenso Ausführungen zur multivariaten Statistik oder zu Trend- und Bruchpunkttests. Wie bereits im Merkblatt M-552 wird auch hier die parallele Anwendung mehrerer Verfahren empfohlen. Ziel ist die Ermittlung einer Spannbreite für das gesuchte Hochwasserquantil, welche mittels objektiver Kriterien aus den verschiedenen Verfahren bestimmt werden kann. Der zugehörige Erwartungswert kann dann als Anhaltspunkt für die Schätzung von Hochwasserquantilen verwendet werden. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die wesentlichen Neuerungen im Vergleich zur aktuellen Version des Merkblattes M-552.



# How climate change is shifting hazards paradigms

Rholan Hougue<sup>1</sup>, Adrian Almoradie<sup>1</sup>, Mariele Evers<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geography, University of Bonn, adrian.almoradie@uni-bonn.de, rholan.hougue@uni-bonn.de, mariele.evers@uni-bonn.de

Flooding are prominent in west Africa and are expected to exacerbate due to global changes. Recent studies in the Mono river catchment of Benin and Togo indicate a decrease of forest and an increase of built-up areas (Koubodana et al., 2019; Thiam et al., 2022), whereas high variability in precipitation and an increase of temperature were reported over the past 30 years (Batablinle et al., 2018; Lawin et al., 2019). Longer dry seasons and rainfall intensification are projected for the next 50 years (Hougue et al., 2022). In this study, we assessed the impact of future climate and land use changes on flood extremes in the Mono river catchment. Climate scenarios from the representative concentration pathways, RCP 4.5 and RCP 8.5, and land use projection at the horizon 2070 were used to simulate floods. The planned Adjarala dam was also simulated to evaluate its potential impact. Flood maps were based on three discharge return periods: 2, 10 and 100 years. The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) was used to investigate the impact of the projected changes on runoff, while flood water extent was simulated using the two-dimensional TELEMAC-2D model. Results show an increase of the magnitude of flood extremes under future climate and land use change scenarios. Events of 10-years return periods during 1987-2010 are expected to become 2-years return period events during the period 2022-2070, under the climate and land use change scenarios considered. The planned Adjarala dam showed potentials for extreme peak and flood extent reduction. However, the dam may also affect water availability during low flow periods. Adaptation measures as well as sustainable land use and dam management options should be identified to alleviate the projected changes.

## References

- Batablinle, L., Lawin, E., Agnide, S., & Celestin, M. (2018). Africa-Cordex simulations projection of future temperature, precipitation, frequency and intensity indices over Mono Basin in West Africa. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 09(09), 1–12. <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000490>
- Hougue, N. R., Almoradie, A. D. S., & Evers, M. (2022). A Multi Criteria Decision Analysis Approach for Regional Climate Model Selection and Future Climate Assessment in the Mono River Basin , Benin and Togo. *Atmosphere*, 13, 1–19. <https://doi.org/10.3390/atmos13091471> Academic
- Koubodana, D. H., Diekkrüger, B., Näschen, K., Adoukpè, J., & Atchonouglo, K. (2019). Impact of the accuracy of land cover data sets on the accuracy of land cover change scenarios in the Mono River Basin , Togo , West Africa. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 8(1), 3073–3095. <https://doi.org/10.23953/cloud.ijarsg.422>
- Lawin, E., Hougue, N. R., Biauou, C. A., & Badou, D. F. (2019). Statistical analysis of recent and future rainfall and temperature variability in the Mono River watershed (Benin, Togo). *Climate*, 7(8). <https://doi.org/10.3390/cli7010008>
- Thiam, S., Salas, E. A. L., Hougue, N. R., Almoradie, D. A. S., Verleysdonk, S., Adoukpe, J. G., & Komi, K. (2022). Modelling Land Use and Land Cover in the Transboundary Mono River Catchment of Togo and Benin Using Markov Chain and Stakeholder's Perspectives. *Sustainability*, 14(4160). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su14074160>



## **Ergebnisse der DFG-Forschungsgruppe „Räumliche- und zeitliche Dynamik Extremer Hochwasser- SPATE“**

Andreas Schumann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik

Im Dezember 2016 bewilligte die DFG die Einrichtung der Forschungsgruppe SPATE. In diesem Forschungsverbund bearbeiten Lehrstühle und Institute der Leibniz-Universität Hannover, der Goethe-Universität Frankfurt a.M., des GFZ Potsdam, des UFZ Leipzig-Halle, der Universität Stuttgart, der TU Wien und der Ruhr-Universität Bochum gemeinsam vier Forschungsthemen: Prozesse der Entstehung und der Verläufe extremer Hochwasser, die langzeitliche Variabilität der Häufigkeit derartiger Ereignisse, die räumliche Verteilung extremer Hochwasser und die Möglichkeiten der Prognose extremer Hochwasser auf Grundlage der Statistik mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen. Die Spannweite der Untersuchungen reicht von großräumigen Wetterlagen (Zirkulationsmustern) bis hin zu einzugsgebietspezifischen Analysen der regionalen Besonderheiten der Hochwasserentstehung. Neben der Grundlagenforschung werden praxisbezogen neuartige Ansätze der typbasierten Hochwasserstatistik sowie Modellsysteme zur Kopplung von Wettergeneratoren mit hydrologischen Modellen und extremwertstatistischen Ansätzen entwickelt. Damit werden die gewonnenen Kenntnisse in Methoden und Verfahren zur Ableitung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten für unbeobachtete Einzugsgebiete umgesetzt. Der Beitrag gibt einen Überblick über die wichtigsten Ergebnisse der Forschungsgruppe.



# Wege zu einer integralen Bewertung von Hochwasser- und Starkregengefahren

Christoph Mudersbach<sup>1</sup>, Oliver Buchholz<sup>2</sup>, Holger Hoppe<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserbau und Hydromechanik, [christoph.mudersbach@hs-bochum.de](mailto:christoph.mudersbach@hs-bochum.de)

<sup>1</sup>Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen, [oliver.buchholz@hydrotec.de](mailto:oliver.buchholz@hydrotec.de)

<sup>1</sup>Dr. Pecher AG, Erkrath, [holger.hoppe@pecher.de](mailto:holger.hoppe@pecher.de)

Die Flutkatastrophe im Juli 2021 in Teilen von Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen hat die Dringlichkeit von gezielter, ortsbezogener Vorsorge für Hochwasser und Starkregenüberflutungen nachdrücklich unterstrichen. Ein zentrales Element im Hochwasser- und Starkregenrisikomanagement ist die Erstellung von Gefahren- und Risikokarten. Der Koalitionsvertrag der Bundesregierung nimmt darauf unmittelbar Bezug: „Wir schaffen bundeseinheitliche Standards für die Bewertung von Hochwasser- und Starkregenrisiken und die Erstellung und Veröffentlichung von Gefahren- und Risikokarten.“

Während für die Bewertung von Hochwassergefahren an Fließgewässern (fluviale Überflutungen) durch die Einführung der EU-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie im Jahr 2007 und den nachfolgenden rechtlichen Regelungen und Arbeitshilfen (z.B. WHG 2009, LAWA 2018a) weitgehend bundeseinheitliche Regelungen vorliegen, ist dies bei Starkregengefahren (pluviale Überflutungen) nicht gegeben. Zwar existieren Leitfäden und Regelwerke für die Erstellung von Starkregengefahrenkarten (z.B. LAWA 2018b, MULNV 2018, LUBW 2016), aber weder für die Starkregengefahrenkarten noch für eine erforderliche integrale Betrachtung der Gefahren aus Hochwasser und Starkregen liegen einheitliche Standards vor. Dies betrifft sowohl die technischen Aspekte einer integralen Analyse der Überflutungsgefährdung, als auch gesetzliche und administrative Vorgaben bzw. Zuständigkeiten. Die identifizierten Defizite sollen im Rahmen einer DWA-Arbeitsgruppe ES-2.8 „Integrale Starkregen- und Hochwassergefahrenkarten“ bearbeitet werden.

Eine integrale Betrachtung von Starkregen- und Hochwassergefahren ist unerlässlich, kann jedoch nicht gleichermaßen für alle Gebiete erfolgen. Ein wesentlicher Parameter ist das Verhältnis  $g$  aus der Flächengröße des betrachteten Untersuchungsgebietes ( $A_U$ ) zu dem zugehörigen hydrologischen Einzugsgebiet ( $A_E$ ):

$$g = A_U/A_E$$

Liegt der Verhältniswert  $g$  nahe bei 1, dann kann die modelltechnische Betrachtung (Überregnung) des Untersuchungsgebietes gleichzeitig zu einer flächigen Sturzflut und einem Hochwasserereignis im Gewässer führen. Eine modelltechnische Trennung der Berechnung und Darstellung eines solchen Ereignisses führt zu einem Informationsverlust, da der Zufluss durch die flächige Sturzflut zum Gewässer (in einem hydraulischen Gewässermodell) nicht abgebildet wird. Bei dieser Betrachtungsweise ist zu berücksichtigen, dass die absolute Größe von  $A_U$  (hier  $A_{U,grenz}$ ) eine Rolle spielt. In HKC (2021) wird eine erste Abschätzung zur Quantifizierung von  $A_{U,grenz}$  mit ca. 25 km<sup>2</sup> vorgenommen. Bis zu diesem Wert sind pluviale und fluviale Ereignisse nicht voneinander zu trennen. Bei größeren  $A_U$ -Werten und einem Verhältniswert  $g < 1$  kann durch einen Starkregen im Untersuchungsgebiet eine flächige Sturzflut ausgelöst werden, die nicht zwingend zeitgleich mit einem Hochwasser im Gewässer stattfinden muss. Je nach Gebietsgröße muss jedoch auch mit



einem signifikanten Hochwasserzufluss gerechnet werden, da ein zeitliches Zusammentreffen beider Ereignisse möglich ist. Länger anhaltende Niederschlagsereignisse geringerer Intensitäten können auch zu Hochwasserzuflüssen im Gewässer führen, ohne dass eine gleichzeitige Sturzflut stattfindet. Ob eine modelltechnische Abbildung des gesamten Einzugsgebietes einschließlich des gesamten Gewässermodells sinnvoll ist, muss im Einzelfall entschieden werden. Starkregenmodelle werden aktuell zwar bereits für große Flächen erstellt (Bundesländer), die Aussagekraft liegt aber nur auf einer lokalen, kleinräumigen Ebene. Dies wird modelltechnisch berücksichtigt, in dem die Niederschlagsdauer (1h) und die Simulationszeit (2h) begrenzt werden. Für größere Einzugsgebiete  $A_E \gg A_{U,grenz}$  sind Ereignisdauern maßgebend, die sich nicht wirtschaftlich und praktikabel mit hochaufgelösten 2D-Starkregenmodellen rechnen lassen wegen zu langer Rechenzeiten. Hier ist die Modelltrennung in Hydrologie und Gewässermodell angebracht. Daher ist für solche Gebiete eine Methodik zu entwickeln, welche die Überflutungs- und Überschwemmungsprozesse physikalisch und/oder statistisch kombiniert und holistisch abbildet, um zu einer integralen Bewertung der Gefahren aus Starkregen und Hochwasser zu gelangen.

Eine Herausforderung bei der Arbeit der DWA-AG ES-2.8 ist, dass für einige skizzierten Problemstellungen derzeit noch keine ausreichenden wissenschaftlichen Grundlagen vorliegen, die es erlauben würden, diese in den Stand der Technik zu überführen. In dem Vortrag werden erste Ergebnisse der Arbeitsgruppe vorgestellt und methodische Ansätze diskutiert, wie eine integrale Bewertung von Hochwasser- und Starkregengefahren erfolgen kann.

## Literatur

- HKC (2021): Umgang mit hydrologischen Belastungsgrößen in Zeiten des Klimawandels – Hochwasser und Starkregen, HKC Werkstattbericht 2021; Hrsg.: HochwasserKompetenzCentrum e. V. Köln
- LAWA (2018a): Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten; Hrsg.: Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz; Mainz
- LAWA (2018b): LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenisikomanagement; Hrsg.: Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz; Erfurt
- LUBW (2016): Leitfaden Kommunales Starkregenisikomanagement in Baden-Württemberg; Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg; Karlsruhe
- MULNV (2018): Arbeitshilfe kommunales Starkregenisikomanagement – Hochwasserrisikomanagementplanung in NRW; Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen; Düsseldorf
- WHG (2009): Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1237); [https://www.gesetze-im-internet.de/whg\\_2009/](https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/)



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

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

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

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

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

Die Erfassung von Niederschlag ist durch die hohe raum-zeitliche Variabilität mit großen Unsicherheiten behaftet. Häufig werden besonders Extreme unterschätzt. Pluviometer, die Niederschlagsmengen zwar meist präzise messen können, mangelt es an räumlicher Repräsentativität. Wetterradare hingegen bieten eine räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Erfassung von Niederschlag. Die Messungen sind jedoch indirekt und unterliegen weiteren Unsicherheiten, beispielsweise durch die Z-R Beziehung, die Messhöhe über Grund oder unerwünschte Bodenechos. Durch die Aneichung von Radardaten an Bodenmessstationen (Pluviometern) können die individuellen Vorteile beider Messungen kombiniert werden und so zu einer verbesserten Niederschlagsabschätzung genutzt werden. In Deutschland wird mit dem RADOLAN-Verfahren des Deutschen Wetterdienstes ein solcher Ansatz verfolgt.

Eine weitere Möglichkeit, Niederschlag zu erfassen, bieten kommerzielle Richtfunkstrecken (engl. commercial microwave links - CMLs). Aus der Dämpfung des CML-Signals durch Regentropfen kann die mittlere Regenrate entlang des CML-Pfades bestimmt werden. Die potenziell große Anzahl an CMLs, die für diese opportunistische Niederschlagserfassung verwendet werden kann, ist einer der ausschlaggebenden Vorteile. Deutschlandweit werden seit 2017 Dämpfungsdaten von über 4.000 CMLs mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute erfasst und in pfadgemittelte Regenraten umgerechnet.

Um CML-Niederschlagsabschätzungen in das RADOLAN-Verfahren einzubinden, wurde eine Implementierung des RADOLAN-Verfahrens in Python (pyRADOLAN) durchgeführt. Dies ermöglicht eine schnelle und dynamische Weiterentwicklung des Quellcodes. So können in pyRADOLAN nun beispielsweise Linieninformationen zur Aneichung verwendet werden, um so die Aneichung mit CML-Daten zu ermöglichen. Dabei wurden die bisherigen Schritte des RADOLAN-Verfahrens größtenteils beibehalten.

In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse aus dieser erweiterten Aneichung (Radar+Pluviometer+CML) für die Sommermonate 2019 bis 2021 gezeigt, mit der bestehenden Aneichung (Radar+Pluviometer) verglichen und mit unabhängigen Stationsdaten validiert. Dabei konnte ein positiver Effekt durch die Hinzunahme der CMLs festgestellt werden. Für das Ereignis des Ahrtal-Hochwassers im Juli 2021 wurde eine ausschließlich auf CMLs basierende Aneichung (Radar+CML) getestet. Das resultierende Produkt zeigt eine hohe



Übereinstimmung mit der bestehenden Aneichung (Radar+Pluviometer). Zukünftig kann durch die in Echtzeit verfügbaren CMLs potenziell eine geringere zeitliche Latenz der Aneichung erreicht werden.

Die aus diesen Ergebnissen resultierenden Möglichkeiten und Herausforderungen für die Weiterentwicklung des RADOLAN-Verfahrens werden in einem Beitrag des Deutschen Wetterdienstes von Vogel et al. diskutiert.



# Ein Framework für die abgeleitete Hochwasserstatistik mit Wettergenerator und hydrologischer Modellierung

Uwe Haberlandt, Ross Pidoto, Luisa-Bianca Thiele

Leibniz Universität Hannover, Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, haberlandt@iww.uni-hannover.de

Unter abgeleiteter Hochwasserstatistik wird hier die Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten aus der kontinuierlichen hydrologischen Modellierung mit stochastisch erzeugten Eingangsdaten verstanden. Ein entsprechendes Framework wurde im Rahmen der DFG-Forschungsgruppe SPATE (Space-Time Dynamics of Extreme Floods) entwickelt. Es besteht aus einem stochastischen Niederschlagsmodell, einem Wettergenerator zur Simulation der zusätzlich benötigten Klimavariablen, einem hydrologischen Modell und einer entsprechenden Kalibrierungsstrategie. Es ermöglicht die Ableitung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten für die Gegenwart und die Zukunft sowie die Abschätzung von deren Unsicherheiten. Innovativ ist speziell die Kopplung des Niederschlagsmodells mit dem Wettergenerator sowie die Simulation der räumlichen Konsistenz des Niederschlages für große Skalen. Im vorliegenden Beitrag werden die Entwicklung und Testung der Komponenten des Frameworks vorgestellt. Die Kalibrierung und Validierung des Niederschlagsmodells und des Wettergenerators Variablen erfolgt für 400 Einzugsgebiete in Deutschland mit Flächengrößen zwischen 50 km<sup>2</sup> und 20.000 km<sup>2</sup> unter Verwendung von ca. 700 Niederschlagsstationen und dem HYRAS Klimadatensatz. Die hydrologische Validierung erfolgt für 140 Einzugsgebiete, für die beobachtete langjährige Scheitelabflüsse vorliegen. Die Ergebnisse zeigen skalenübergreifend eine gute Reproduktion der statistischen Eigenschaften der Niederschläge, der weiteren Klimavariablen und der Hochwasserstatistik. Die Modellgüte ist vergleichbar mit bisherigen Untersuchungen, wobei hier deutlich mehr Einzugsgebiete berücksichtigt wurden.



# Trockenheit im Stresstest: Modellexperimente für Niedrigwasser und Quellschüttungen in Baden-Württemberg

Kerstin Stahl<sup>1</sup>, Jost Hellwig<sup>1</sup>, Michael Stölzle<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universität Freiburg, Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen, kerstin.stahl@hydrology.uni-freiburg.de, jost.hellwig@hydrology.uni-freiburg.de

<sup>2</sup>Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Kompetenzzentrum Klimawandel, michael.stoelzle@lubw.bwl.de

Die Trockenheit der vergangenen Jahre zeigte die Notwendigkeit auf, eine bessere Planungsgrundlage für konkurrierende Wassernutzungen und Schutzziele zu schaffen. Neben klassischen Bemessungsgrundlagen kommt hierfür hydrologischen Modellexperimenten eine wichtige Rolle zu. Solche Experimente untersuchen die Reaktion hydrologischer Systeme auf verschärfte Trockenheit unter kontrollierten Bedingungen. Zur Abschätzung der Sensitivität von Quellschüttungen und Basisabfluss gegenüber Trockenperioden in Baden-Württemberg wurden deshalb Simulationen mit Stresstestszenarien basierend auf den Ansätzen früherer Modellexperimente (Stoelzle et al. 2020; Hellwig et al. 2021) weiterentwickelt und ausgewertet. Entscheidende Komponenten sind dabei sind die Grundwasserneubildung als Modellinput, die Basisabflusssparation und die Modellkalibrierung von konzeptuellen Grundwasserspeichermodellen. Variationen dieser bilden in der Studie ein Modellensemble. Der Stress, simuliert als systematische Reduktion der Grundwasserneubildung über verschiedene Zeitspannen mit verschiedenen Stärken in der Zeit vor dem Trockenereignis, verursachte in allen Experimenten deutliche Reduktionen von Niedrigwasser und Quellschüttung. Der Beitrag arbeitet systematische Schwellenwerte heraus: so zeigt sich z.B., dass die Reaktion des Niedrigwasserabflusses mancher Einzugsgebiete bereits nach wenigen Monaten, in anderen erst nach zwei Jahren Trockenstressdauer maximal wird. Die Experimente bilden die räumlich heterogenen, aber naturräumlich systematisch unterschiedlichen, Sensitivitäten in Baden-Württemberg ab. Dabei zeigt sich jedoch die Bedeutung einer spezifisch angepassten Modellarchitektur sowie der Abschätzung von Modell-bedingten Unsicherheiten. In Zukunft potentiell weiter verstärkte Effekte von Trockenheit werden durch die Anwendung auf konkrete bekannte Ereignisse wie die Niedrigwasserphase im Jahr 2018 mit den Stresstests so vorstellbar und kommunizierbar.

## Literatur

Hellwig, J., Stoelzle, M., and Stahl, K. (2021). Groundwater and baseflow drought responses to synthetic recharge stress tests, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 25, 1053–1068, <https://doi.org/10.5194/hess-25-1053-2021>.

Stoelzle, M., Staudinger, M., Stahl, K., Weiler, M. (2020). Stress testing as complement to climate scenarios: recharge scenarios to quantify streamflow drought sensitivity, *Proc. IAHS*, 383, 43–50. <https://doi.org/10.5194/piahs-383-43-2020>.



# Auswirkungen des Klimawandels auf hydrologische Extreme und Wasserkrafterzeugung im tropischen Afrika: Einzugsgebiete des Malawi-Sees und des Shire-Flusses in Malawi

Lucy Mtilatila<sup>1,2</sup>, Axel Bronstert<sup>1</sup>, Klaus Vormoor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Potsdam, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, Lehrstuhl für Hydrologie und Klimatologie, axelbron@uni-potsdam.de

<sup>2</sup> Department of Climate Change and Meteorological Service, Ministry of Forestry and Natural Resources, Malawi;

Die Studie untersucht die Sensitivität von Wasserressourcen, Dürren und Stromerzeugung aus Wasserkraft gegenüber Klimaänderungen im Einzugsgebiet des Lake Malawi und Shire Rivers und umfasst dabei drei verschiedene Aspekte:

- i. Analyse der Variabilität und Trends von meteorologischen und hydrologischen Dürren basierend auf Beobachtungsdaten von 1970 bis 2013;
- ii. Dürreanalyse für zukünftige Bedingungen und Untersuchung potentieller Änderungen der Wasserbilanz und verschiedener Dürreindikatoren;
- iii. Hydrologische Simulation und Sensitivitätsanalyse des Wasserhaushaltes und Wasserstandes des Malawi-Sees sowie dessen Abflusses und der damit verknüpften Wasserkrafterzeugung im Shire River.

Die wichtigsten Erkenntnisse dieser Analysen sind:

- Zwischen 1970 und 2013 haben meteorologische Dürren hinsichtlich ihrer Intensität und Dauer zugenommen. Das lässt sich auf einen Rückgang im Niederschlag und einen Anstieg der Temperaturen und der Verdunstung zurückführen.
- Das hydrologische System des Malawi-Sees reagiert zeitverzögert auf meteorologische Dürren (bis zu 24 Monate), so dass hydrologische Dürren bis zu 10 Monate im Voraus durch meteorologische Dürreparameter vorhergesagt werden können. Hydrologische Dürren sind gekennzeichnet durch Wasserstände unterhalb von 474,1 m+NN im Malawi-See.
- Trotz aller Unterschiede und Unsicherheiten in den Klimaprojektionen, stimmen diese darin überein, dass meteorologische Dürren in Zukunft weiter zunehmen werden, und zwar in Form steigender Dürreintensitäten DI (+25% bis +50% zwischen 2021-2050 und +131% bis +388% zwischen 2071-2100) und zunehmender Dürremonate DM (3-5 bzw. 7-8 mehr Dürremonate pro Jahr).
- Der Wasserstand im Lake Malawi reagiert als Restgröße der Wasserbilanz des Einzugsgebietes sehr sensitiv auf Änderungen im Niederschlag und der Verdunstung. Der Ausfluss aus dem See ist eine direkte Funktion des Seewasserstandes und die Kombination von projektiertem Niederschlagsrückgang und Temperaturanstieg führt letztendlich zu einem deutlich reduzierten Durchfluss im Shire River und einem Rückgang der jährlichen Wasserkraftproduktion zwischen 1% und 2,5% (2021-2050) bzw. 5% und 24% (2071-2100). Mitunter legen einzelne Projektionen sogar nahe, dass der Ausfluss aus dem Malawi-See zeitweise versiegt und die Stromversorgung im Land unterbrochen würde.

Es wird gezeigt, dass eine Nichteinhaltung der angestrebten Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs 1,5°C die Dürren und die Wasserressourcen in Malawi nachhaltig beeinträchtigen wird. Das hat wiederum Auswirkungen auf die Wasserkraftproduktion, infolgedessen die Erreichung der meisten Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDG) gefährdet sein wird.



# Vom Starkregenindex zum Sturzflutindex (SFI): ein neuer Ansatz für die Warnung vor Sturzfluten

Markus Weiler<sup>1</sup>, Ingo Haag<sup>2</sup>, Andreas Hänsler<sup>3</sup>, Julia Krumm<sup>4</sup>, Hannes Leistert<sup>5</sup>, Paulina Mederos<sup>6</sup>, Andreas Steinbrich<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Universität Freiburg, Professur für Hydrologie, [markus.weiler@hydrology.uni-freiburg.de](mailto:markus.weiler@hydrology.uni-freiburg.de)

<sup>2</sup>HYDRON, Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft mbH, Karlsruhe, [Ingo.Haag@hydron-gmbh.de](mailto:Ingo.Haag@hydron-gmbh.de)

<sup>3</sup>Universität Freiburg, Professur für Hydrologie, [andreas.haensler@hydrology.uni-freiburg.de](mailto:andreas.haensler@hydrology.uni-freiburg.de)

<sup>4</sup>HYDRON, Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft mbH, Karlsruhe, [Julia.Krumm@hydron-gmbh.de](mailto:Julia.Krumm@hydron-gmbh.de)

<sup>5</sup>Universität Freiburg, Professur für Hydrologie, [hannes.leistert@hydrology.uni-freiburg.de](mailto:hannes.leistert@hydrology.uni-freiburg.de)

<sup>6</sup>Universität Freiburg, Professur für Hydrologie, [p.mederosleber@t-online.de](mailto:p.mederosleber@t-online.de)

<sup>7</sup>Universität Freiburg, Professur für Hydrologie, [andreas.steinbrich@hydrology.uni-freiburg.de](mailto:andreas.steinbrich@hydrology.uni-freiburg.de)

Während insbesondere in Deutschland in den letzten Jahrzehnten beachtliche Fortschritte im Risikomanagement von großräumigen Flusshochwassern (fluviale Überschwemmungen) erzielt wurden, besteht bezüglich Starkregen und Sturzfluten (pluviale Überschwemmungen) noch erheblicher Handlungsbedarf. In den letzten Jahren entstand aber ein Konsens zur Notwendigkeit von Starkregenmanagementkonzepten mit verschiedenen Leitfäden und Arbeitshilfen. Diese beruhen jedoch mehrheitlich auf Starkniederschläge und nicht auf die daraus resultierenden Sturzfluten.

Seit einigen Jahren wird zur Gefahrenkommunikation vielfach der Starkregenindex (SRI) genutzt, der Niederschlagsereignissen in zwölf Gefahrenstufen zuordnet. Dieser soll dann im Rahmen der Risikokommunikation über die von einem Starkregen ausgehende Überflutungsgefahr in Siedlungsgebieten und kleinen Einzugsgebieten aufklären. Er basiert jedoch nur auf pluvialen Faktoren, die hydrologischen und hydraulischen Prozesse des Einzugsgebiets werden dabei nicht berücksichtigt. Um dieses Defizit zu beheben, stellen wir einen neuen Sturzflutindex (SFI) vor, in dem Gebietseigenschaften wie die Landbedeckung, die Bodenbeschaffenheit oder Geländeneigungen sowie die aktuellen Vorbedingungen (z.B. Bodenvorfeuchte) berücksichtigt werden.

Um einen hydrologischen Sturzflutindex aus den Starkregendaten berechnen zu können, muss einerseits eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Vorfeuchtebedingungen flächendeckend vorliegen um daraus für verschiedene Szenarien als Funktion der Saison, Dauerstufe, Vorfeuchte und Landbedeckung und für verschiedene räumliche Skalen die Abflussbildung, Abflussganglinie und Überflutungsbereiche zu simulieren. Durch die Kombination des SRI mit Radar-Vorhersagen (Radar und Wettermodell) und des hydrologischen Sturzflutindex (SFI) können somit großflächige Vorhersageprodukte entwickelt werden, die die räumlich spezifische Gefährdung durch Starkregen und Sturzfluten visualisieren und somit eine große Relevanz für die Überflutungsvorsorge bzw. die akute Ergreifung gefahrenabwehrender Maßnahmen haben.

In dieser Studie werden mehrere Methoden der Definition eines solchen Sturzflutindex vorgeschlagen und vergleichend untersucht: es werden unterschiedliche hydrologische Bezugsgrößen, die die Abflussbildung oder die Abflusskonzentration charakterisieren, gewählt und anhand von absoluten und relativ definierten



Schwellenwerten vier Gefahrenstufen zugeordnet. Mithilfe von zahlreichen Niederschlag-Abfluss-Modellierungen und hydraulischen Modellierungen mit den Modellen RoGeR, RoGeR\_dyn und LARSIM werden gebietsspezifische Übersetzungsmatrizen (von SRI zu SFI) für verschiedene Test-Einzugsgebiete hergeleitet und analysiert. Diese Untersuchungen ergaben, dass die Wahl der Bezugsgrößen und Schwellenwerte einen großen Einfluss hat. Die größten Gefahren gehen mit Ausnahme der Betrachtung des Abflussbeiwerts und der maximalen Überflutungstiefen sowie der Einstufung der Abflussbildung gemäß Wiederkehrzeiten von Extremniederschlägen mittlerer Dauerstufen aus. Bei den anderen Methoden werden die höchsten Warnstufen bei hohen Intensitäten bzw. den geringsten Dauerstufen erreicht.

Schließlich ist für die Erstellung eines Sturzflutindexes jedoch entscheidend, welche Gefahren betrachtet werden sollen. Richtet sich die Warnung an schnell abfließendem Hangwasser, so eignet sich das gebildete Oberflächenabflussvolumen als Bezugsgröße, soll hingegen eine Warnung bezüglich über die Ufer tretender Fließgewässer erfolgen, ist der Scheiteldurchfluss als Bezugsgröße besser geeignet. Aufgrund dessen scheint die Etablierung von zwei Indizes empfehlenswert. Auch eine Integrierung der Sturzflutanfälligkeit des Einzugsgebiets in die Schwellenwerte erscheint sinnvoll, da dies ggf. eine Möglichkeit darstellt, ausreichend genaue Prognosen trotz simpler Bezugsgrößen zu treffen. Weiterer Untersuchungen bedarf es insbesondere bezüglich der Übertragbarkeit und Operationalisierung eines solchen Sturzflutindexes.



# Niedrigwasser in Bayern: Ableitung von Dürre-Charakteristika und deren zukünftige Entwicklung in einem hydrologischen *single-model large ensemble*

Alexander Sasse<sup>1</sup>, Andrea Böhnisch<sup>1</sup>, Ralf Ludwig<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department für Geographie, Ludwig-Maximilians-Universität München, 80333 München, a.sasse@iggf.geo.uni-muenchen.de

In den vergangenen zwei Jahrzehnten war Europa in den Sommermonaten mehrfach von außergewöhnlichen Hitzewellen und Dürreereignissen betroffen, die schwerwiegende Auswirkungen auf Ökologie, Wirtschaft und Zivilgesellschaft hatten. Neben dem erhöhten Risiko für Ernteauffälle und Waldbrände sowie einer zunehmenden Gefährdung der menschlichen Gesundheit führen langanhaltende Trockenperioden zu Niedrigwasser in den Flüssen und einer allgemeinen Wasserknappheit. Niedrige Wasserstände schränken die Schifffbarkeit der Flüsse ein und führen zu Nutzungskonflikten im Bereich der Landwirtschaft und der Kühlwassernutzung. Außerdem wird der ökologische Zustand des Flusses durch eine erhöhte Schadstoffkonzentration zusätzlich beeinträchtigt. Klimamodelle projizieren für die Zukunft eine signifikante Zunahme der Häufigkeit und Intensität von meteorologischen Zuständen, die hydrologische Dürreereignisse stark begünstigen.

Um die Folgen dieser Veränderung abschätzen und fundierte Anpassungsmaßnahmen entwickeln zu können, liefert die hydrologische Modellierung auf Basis eines Klimamodellensembles die erforderliche Datengrundlage, um die Wasserverfügbarkeit unter zukünftigen Hitze- und Dürrebedingungen zu bewerten (Emissionsszenario RCP 8.5). Das verwendete *single-model initial condition large ensemble* (SMILE) CRCM5-LE (CRCM5-Large Ensemble) besteht aus 50 transienten Simulationen (50 Member) eines regionalen Klimamodells von jeweils 150 Jahren (1950-2099 → 7500 Modelljahre, stündlicher Zeitschritt, 0.11° räumliche Auflösung) und stellt die meteorologischen Antriebsdaten, nach Biaskorrektur und Skalierung auf die hydrologische Modellanwendung, für 98, mit dem Wasserhaushaltsmodell WaSiM-ETH simulierte Pegel zur Verfügung (Leduc et al. 2019, Willkofer et al., 2020). Aufgrund der hohen Anzahl an Modelljahren wird in dieser Modellkette zum einen eine neuartige Möglichkeit zur Übertragung der nicht-linearen Zusammenhänge der natürlichen Variabilität des Klimasystems mit dem hydrologischen System geschaffen, zum anderen resultiert eine ausreichend große Anzahl von Extremereignissen, um robuste Statistiken und fundierte Aussagen über die Veränderungen der Intensität, Häufigkeit und Saisonalität von Niedrigwasser zu ermöglichen (von Trentini et al. 2019).

Basierend auf den Modellierungsergebnissen wird die Dynamik der Niedrigwassersituation in Bayern für die Referenzperiode (1981-2010) dargestellt, räumliche Muster der Trockenheit hervorgehoben und gegebenenfalls regionale Zusammenhänge identifiziert. Um die negativen Anomalien des Abflussgeschehens saisonal vergleichbar zu machen, wird der *variable-threshold* Ansatz verwendet (Beyene et al. 2014). Der Schwellenwert ist dabei definiert als 15. Perzentil für das gleitende 30-Tagesmittel des Abflusswerts für jeden Tag des Jahres, gemittelt über die Referenzperiode. Eine mindestens 20 Tage andauernde Unterschreitung dieses Grenzwertes wird als Dürreereignis gewertet (Brunner et al. 2021). Die Verwendung der Klimasimulationsdaten erlaubt eine Analyse, wie sich diese Charakteristika (Intensität, Dauer, räumliches Auftreten des Dürreereignisses) in Zukunft durch den Klimawandel verändern werden. Ein besonderes



Augenmerk liegt hier auf der potentiellen Änderung des saisonalen Regimes und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Nutzung der Flusssysteme. Durch die Abbildung der natürlichen Variabilität des Klimasystems durch den Ensembleansatz werden die Ergebnisse besonders in Bezug auf Extreme robuster und stärken das Vertrauen in die zu beobachtenden Änderungssignale.

Ergebnisse dieser Analysen werden anhand einer für das gesamte Untersuchungsgebiet repräsentativen Auswahl von Einzugsgebieten dargestellt und Gemeinsamkeiten sowie Besonderheiten herausgearbeitet. Die Auswertungen liefern wichtige Anhaltspunkte zur grundlegenden Definition von Niedrigwasserereignissen und eine robuste Abschätzung, wie sich deren Intensität, Häufigkeit und Saisonalität in Zukunft durch die Folgen des Klimawandels verändert.

## Literatur / References

- Beyene S, Van Loon AF, Van Lanen HAJ, Torfs PJJF (2014). Investigation of variable threshold level approaches for hydrological drought identification. *Hydrol Earth Syst Sci Discuss* 2014, 11:12765–12797. doi:10.5194/hessd-11-12765-2014.
- Brunner MI, Swain DL, Gilleland E, Wood AW (2021). Increasing importance of temperature as a contributor to the spatial extent of streamflow drought. *Environ. Res. Lett.* 16 024038. doi: 10.1088/1748-9326/abd2f0.
- Leduc M, Mailhot A, Frigon A, Martel J-L, Ludwig R, Brietzke GB, Giguère M, Brisette F, Turcotte R, Braun M, Scinocca J (2019). ClimEx project: a 50-member ensemble of climate change projections at 12-km resolution over Europe and northeastern North America with the Canadian Regional Climate Model (CRCM5). *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. doi: 10.1175/JAMC-D-18-0021.1
- von Trentini F, Leduc M, Ludwig R (2019). Assessing natural variability in RCM signals: comparison of a multi model EURO-CORDEX ensemble with a 50-member single model large ensemble. *Climate Dynamics*. doi: 10.1007/s00382-019-04755-8
- Willkofer F, Wood R, von Trentini F, Weismüller J, Poschlod B, Ludwig R (2020). A Holistic Modelling Approach for the Estimation of Return Levels of Peak Flows in Bavaria. *Water* 2020, 12(9), 2349. doi: 10.3390/w12092349



# Kontinuierliche, räumlich verteilte Langzeitsimulation zur Abschätzung des Hochwasserrisikos für Deutschland

Bruno Merz<sup>1,2</sup>, Mostafa Farrag<sup>1</sup>, Xiaoxiang Guan<sup>1</sup>, Björn Guse<sup>1</sup>, Li Han<sup>1</sup>, Heidi Kreibich<sup>1</sup>, Dung Nguyen<sup>1</sup>, Nivedita Sairam<sup>1</sup>, Kai Schröter<sup>3</sup>, Sergiy Vorogushyn<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Sektion Hydrologie, bmerz@gfz-potsdam.de

<sup>2</sup>University Potsdam, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie

<sup>3</sup>Technische Universität Braunschweig, Leichtweiß-Institut für Wasserbau

Hochwasserrisikoabschätzungen sind eine wichtige Grundlage für das Risikomanagement. Für größere Regionen basieren diese Abschätzungen typischerweise auf kleinräumigen Modellierungen, die anschließend zu einem großräumigen Bild zusammengetragen werden. Dieses Vorgehen vernachlässigt allerdings räumliche Interaktionen und liefert keine realistischen Risikoaussagen für größere Regionen. Dieser Beitrag stellt als alternativen Ansatz die „abgeleitete Hochwasserrisikoanalyse“ und seine Implementierung für Deutschland vor (Falter et al., 2015, Sairam et al., 2021). Eine Modellkette, bestehend aus flächendetaillierten hydrologischen, hydraulischen und Schadens-Modellen, simuliert das Auftreten von extremen Abflüssen, Überflutungsflächen und direkten ökonomischen Schäden. Diese Modellkette wird durch einen Wettergenerator angetrieben, der räumlich konsistente Felder von Klimavariablen liefert. Die Generierung von sehr langen (mehrere tausend Jahre) Zeitreihen mit täglicher Auflösung erlaubt die Abschätzung von extremen Abflüssen und den entsprechenden Schäden. Die Berücksichtigung der räumlichen Bezüge in allen Modellkomponenten, vom Wettergenerator bis zum Schadensmodell, ist in der Lage, konsistente großräumige Risikoaussagen bereitzustellen. Dadurch werden die deutlichen Überschätzungen vermieden, die typisch sind für die herkömmlichen großräumigen Ansätze.

## Literatur

- Falter, D., Schröter, K., Dung, N. V., Vorogushyn, S., Kreibich, H., Hundecha, Y., Apel, H. und Merz, B. (2015). Spatially coherent flood risk assessment based on long-term continuous simulation with a coupled model chain. *Journal of Hydrology*, 524, 182–193.
- Sairam, N., Brill, F., Sieg, T., Farrag, M., Kellermann, P., Nguyen, V. D., Lüdtke, S., Merz, B., Schröter, K., Vorogushyn, S. und Kreibich, H. (2021). Process-based flood risk assessment for Germany. *Earth's Future*, 9(10), e2021EF002259.



## **Poster: Monitoring und Analyse hydrologischer Extreme**

### **Entwicklung eines globalskaligen multisektoralen Vorhersagesystems für Dürregefahren**

Petra Döll

Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Physische Geographie, p.doell@em.uni-frankfurt.de

Ziel des BMBF-Projekts OUTLAST ist es, das erste globalskalige multisektorale Dürrevorhersagesystem zur Quantifizierung von Dürregefahren in den Bereichen 1) Wasserversorgung, 2) Flussökosysteme, 3) nichtlandwirtschaftliche terrestrische Ökosysteme, 4) den Regenfeldbau, sowie 5) den Bewässerungslandbau zu entwickeln und als Bestandteil des Global Hydrological Status and Outlook System (HydroSOS) der World Meteorological Organization zu implementieren.

Die globalskaligen Modelle WaterGAP und GCWM werden von wissenschaftlichen Anwendungen zu Vorhersagesystemen weiterentwickelt, die operationell in Monatsschritten sechsmonatige Dürreprognosen in 0,5-Grad räumlicher Auflösung bereitstellen. Dabei entstehen umfangreiche Anforderungen an Gestaltung und Dokumentation des Programmcodes, die Schritte zur Aktualisierung von Eingangsdaten sowie an die Effizienz der Berechnungen. Der bias-korrigierte hydrometeorologische Antrieb wird unter Nutzung der aktuellen Reanalyse ECMWF-ERA5 sowie des saisonalen Vorhersagesystems SEAS5 zur Verfügung gestellt. Unter Nutzung historischer Reanalysedaten und Ensemble-Vorhersagen wird die Eignung der Daten und Modelle zur Dürrevorhersage systematisch für unterschiedliche Regionen, Sektoren und Zeiträume evaluiert und gegebenenfalls verbessert. Das Dürrevorhersagesystem wird im Co-Design mit potentiellen Nutzern aus den Regionen Victoriasee und Mittlerer Osten entwickelt, um 1) Dürregefahrindikatoren zu optimieren und 2) den Wert der probabilistischen Vorhersagen der Dürregefahren in den nächsten sechs Monaten für datenarme, länderübergreifende Wassereinzugsgebiete zu prüfen. Dabei werden unter Verwendung historischer meteorologischer "Vorhersagen" auch Daten für bekannte historische Dürreereignisse in diesen Regionen erstellt und regional validiert. Im Co-Design werden sowohl das Webportal als auch Pilotanwendungen dieser globalen Prognosen für Dürremanagement und Wasserbewirtschaftung entwickelt. Schließlich wird ein automatisiertes operationelles Modellsystem cloud-ready erstellt, das die nötigen meteorologischen Eingangsdaten herunterlädt und prozessiert, die Dürregefahrindikatoren berechnet und in das HydroSOS-System überträgt.



# Warum können unsere Modelle Trends im Grundwasser nicht abbilden?

Gunnar Lischeid<sup>1,2</sup>, Jörg Steidl<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Forschungsplattform Datenanalyse & Simulation, [lischeid@zalf.de](mailto:lischeid@zalf.de)

<sup>2</sup>Universität Potsdam, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, [lischeid@uni-potsdam.de](mailto:lischeid@uni-potsdam.de)

<sup>3</sup>Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Programmbereich 2, [jsteidl@zalf.de](mailto:jsteidl@zalf.de)

Im Zuge des Klimawandels werden gravierende Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung und somit auf das nutzbare Grundwasserdargebot erwartet. Zur Abschätzung der zukünftigen Grundwasserneubildung werden hydrologische Modelle verwendet. Es hat sich allerdings gezeigt, dass in den Daten des Grundwassermonitorings beobachtete Trends von diesen Modellen oft nur unzureichend abgebildet werden können. Ähnlich unterschätzen die verwendeten globalen Modelle systematisch die niederfrequenten Dynamiken der regionalen Wasservorräte in den Daten der GRACE-Mission.

Über die üblichen Modellunsicherheiten im jeweiligen Einzelfall hinaus scheint die Modellierung der Grundwasserneubildung einige grundlegende Probleme aufzuweisen. Dies wurde systematisch untersucht. Die empirische Grundlage war durch die Analyse von Ganglinien der Landesmessnetze in Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin gegeben. Hier zeigte sich ein sehr enger Zusammenhang zwischen der Richtung und Stärke der Trends der langjährigen Grundwasserganglinien einerseits mit dem Grad der Glättung bzw. Dämpfung des Signals der Grundwasserneubildung andererseits. Die Ausbildung langjähriger Trends nahm systematisch mit der Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung zu. Dies weist auf die entscheidende Rolle sich langjährig akkumulierender Defizite in der tieferen ungesättigten Zone hin.

Im Gegensatz dazu berücksichtigen Modelle der Grundwasserneubildung in der Regel nur die obersten Bodenschichten. Außerdem gehen die Startbedingungen der Modelle in der Regel von einem stationären Gleichgewichtszustand aus und ignorieren somit langfristige Gedächtniseffekte. Simulationen mit unterschiedlichen Modellen zeigten deutlich, dass dies in einer systematischen Unterschätzung langjähriger Trends resultierte. Schließlich zeigte sich, dass hinsichtlich von Abflussganglinien oder Feuchteganglinien im Oberboden optimierte Modell-Parametrisierungen nicht notwendigerweise auch für die Simulation von Grundwasserneubildung optimal waren. Daraus ergeben sich klare Empfehlungen für die zukünftige Modellgestützte Abschätzung der Grundwasserneubildung.



## Aufbau des neuen Hochwassermeldezentrams Brandenburg

Dr. Michael Roers, Dr. Maik Renner, Agnes Baldy und Katrin Kumke

<sup>1</sup>Landesamt für Umwelt, Brandenburg, Abteilung Wasserwirtschaft Genehmigungen und Grundlagen, Referat Hochwassermeldezentrale, Hydrologischer Landesdienst, Michael.Roers@lfu.brandenburg.de

Der Hochwasseralarm- und Meldedienst war in Brandenburg bisher an den drei Standorten Potsdam, Frankfurt (Oder) und Cottbus regionsspezifisch organisiert. Im Rahmen des Projektes „Aufbau Hochwassermeldezentrum-BB“ werden diese schrittweise in ein zentrales Hochwassermeldezentrum des Landes Brandenburg (HWMZ-BB) mit einem einheitlichen Datenmanagement- und Vorhersagesystem sowie einem standortübergreifenden Hochwasseralarm und -nachrichtendienst umgestaltet.

Der Aufbau und Betrieb der dafür notwendigen IT-Infrastruktur sind dabei zentrale Herausforderungen des Projektes. Dies umfasst, dass unterschiedliche, bestehende IT-Fachverfahren aus dem Bereich der Datenerhebung am Pegel, der Übertragung und Verarbeitung sowie der Veröffentlichung in Einklang gebracht werden. Dabei stehen Anforderungen an die hohe Datenaktualität der Messwerte, deren Integrität und an die Ausfallsicherheit im Vordergrund. Das Umsetzungskonzept beschreibt zudem, wie eine rechtzeitige Warnung über unabhängige interne Alarmierungswege realisiert wird.

Ein weiteres Ziel des Projektes ist die Verbesserung der Lageeinschätzung durch die Entwicklung von Hochwasservorhersagemodellen für die hochwassergefährdeten Gewässer in Brandenburg. Diese werden in die Vorhersageplattform Delft-FEWS integriert, wodurch eine automatisierte, operationelle Erstellung belastbarer quantitativer hydrologischer Vorhersagen ermöglicht werden soll.

Der Beitrag stellt das Umsetzungskonzept und aktuelle Entwicklungen vor und zeigt die konkreten Herausforderungen bezüglich Digitalisierung und operationeller Hochwasservorhersage am Landesamt für Umwelt auf.



# Improving Flash Flood Forecast by Data Assimilation of Remotely Sensed Soil Moisture

Yan Liu<sup>1</sup>, Harrie-Jan Hendricks-Franssen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Bio- und Geowissenschaften, [yan.liu@fz-juelich.de](mailto:yan.liu@fz-juelich.de), [h.hendricks-franssen@fz-juelich.de](mailto:h.hendricks-franssen@fz-juelich.de)

Flash floods induced by heavy rainfall events can cause severe impacts on the natural environment, economy and human life. Therefore, reducing the forecast uncertainty is of great importance. The precondition of a catchment, such as soil moisture, is a vital factor that influences the generation of flash floods. With the development of satellite remote-sensing techniques, spatially distributed soil moisture can now be derived with high temporal resolution. Soil moisture has been assimilated into land surface models to improve their predictive skills, e.g., Lievens et al. (2016) applied the Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) mission dataset and Seo et al. (2021) assimilated the Soil Moisture Active Passive (SMAP) product. Compared to land surface models with multiple vertical layers, the flash-flood models can have few and even one soil layer. However, remotely sensed soil moisture only represents the condition of the top soil. This brings the difficulty to assimilate remotely sensed soil moisture into flash flood hydrological models. In this study, we collected SMAP soil moisture retrievals from 2015, hydrological forcings and streamflow observations for a small subcatchment of the Ahr catchment located in Rhineland-Pfalz, Germany. We aim to build a link (observation operator) between SMAP soil moisture retrievals and soil water storage of the flash flood hydrological model using a regression method and an artificial neural network, long short-term memory (LSTM). This enables us to set up a data assimilation framework for using the remotely sensed soil moisture dataset. We also consider various uncertainties from forcing input, model structure and observations. Based on that, we use the ensemble-based Kalman Filter to assimilate remotely sensed soil moisture into our flash flood modeling and test the abovementioned observation operators. This approach could provide a feasible way to use remotely sensed soil moisture for improving flash-flood forecast in the gauged catchments and also potentially in the ungauged catchments.

## References

- Lievens, H., De Lannoy, G.J.M., Al Bitar, A., Drusch, M., Dumedah, G., Franssen, H.J.H., Kerr, Y.H., Tomer, S.K., Martens, B., Merlin, O. Pan, M., Roundy, J.K., Vereecken, H., Walker, J.P., Wood, E.F., Verhoest, N.E.C., and Pauwels, V.R.N. (2016). Assimilation of SMOS soil moisture and brightness temperature products into a land surface model. *Remote sensing of environment*, 180, 292-304.
- Seo, E., Lee, M.I. and Reichle, R.H. (2021). Assimilation of SMAP and ASCAT soil moisture retrievals into the JULES land surface model using the Local Ensemble Transform Kalman Filter. *Remote sensing of Environment*, 253, 112222.



# Concept of a smart environmental monitoring and flood warning system

Mehdi Koopaeidar<sup>1</sup>, Britta Schmalz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung, [M.Koopaeidar@ihwb.tu-darmstadt.de](mailto:M.Koopaeidar@ihwb.tu-darmstadt.de)

<sup>2</sup> Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung, [B.Schmalz@ihwb.tu-darmstadt.de](mailto:B.Schmalz@ihwb.tu-darmstadt.de)

In the course of river basin investigation initiated by cities and municipalities of the state of Hessen, there is a need for local and regional flood protection measures. For this reason, we have established a research project within the LOEWE center emergenCITY with the aim of developing an environmental monitoring and warning system for early assessment and warning of floods and low flow based on real-time measurement data with data fusion from various sources using artificial intelligence.

The project includes three main stages. First is developing a model including hydrological and hydraulic processes to estimate water amounts spatially and temporally. Thereafter combine the model with the artificial intelligence methods to create a smart flood forecast system. And at last, creation of a smart communication system for transferring data and alarm levels to authorities, emergency services and citizens. The integrated assessment and warning system will be developed according to cooperative governance.

The research project has started in July 2022 and currently is on its first stage. The Schwarzbach catchment (Nauheim gauge) in the state of Hessen has been chosen as the study area. Moreover, the catchment has been divided to 11 sub-catchments and a lumped hydrological model developed based on a digital elevation model with a resolution of 1 meter using the HEC-HMS program. Furthermore, precipitation data obtained from the German weather service (DWD) and discharge data from the Hessian State Agency for Nature Conservation, Environment and Geology (HLNUG) with resolutions of 10 and 15 minutes, respectively, were used.

Eventually, within the research, we are going to look into different aspects of innovative and sustainable measures for improving the resilient infrastructures of digital cities that can withstand crises and disasters related to weather extremes.



# Niedrigwasseranalyse für Deutschland – Entwicklung einer interaktiven Analyseumgebung

Mai-Britt Berghöfer<sup>1</sup>, Erwin Rottler<sup>1</sup> und Axel Bronstert<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, Universität Potsdam (Kontakt: [berghoefer@uni-potsdam.de](mailto:berghoefer@uni-potsdam.de))

Aktuelle klimatische Veränderungen können die Eintrittswahrscheinlichkeit und Intensität hydroklimatischer Extremereignisse beeinflussen. Steigende Temperaturen und damit einhergehend höhere Verdunstungsraten sowie veränderte Zirkulationsmuster haben das Potential die Niedrigwassersituation in Deutschland zu verschärfen. Besonderen Anlass für die Analyse von Abflusstrends bieten die hydrologischen Extremjahre 2018 und 2019 und die daraus resultierenden ökologischen und sozioökonomischen Folgen.

Für die Niedrigwasseranalyse wurde im Rahmen dieser Arbeit eine web-basierte interaktive Analyseumgebung entwickelt, die die statistische Untersuchung von Abflussmessungen in Bezug auf Intensität und Häufigkeit von Niedrigwasserereignissen und deren zeitliche Entwicklung ermöglicht. In der Analyseumgebung können sowohl schwellenwertbasierte als auch nicht-schwellenwertbasierte Kennwerte berechnet und visualisiert werden. Durch die Integration der web-basierten Analyseumgebung und der zugrundeliegenden Funktionen in einem R-Paket vereinfachen wir den Zugang und eine weiterführende Nutzung der erarbeiteten Strukturen. Historische Analysen basieren auf Abflussmessungen aus dem globalen Datensatz des Global Runoff Data Centre (GRDC).

Erste Ergebnisse bestätigen das Potential unseres interaktiven Ansatzes, die Entwicklung der Niedrigwassersituation an verschiedenen Flusspegeln deutschlandweit schnell und detailliert zu erfassen. Der web-basierte Zugang bietet zudem eine sehr gute Möglichkeit, Schwächen und Stärken verschiedener statistischer Ansätze zu lernen und zu lehren. Als nächsten Schritt wollen wir die erarbeitete Umgebung nutzen und durch die Analyse simulierter Abflüsse mögliche zukünftige Veränderungen der Niedrigwassersituation im Rheingebiet quantifizieren.



# Datasphere and Kisters Real-time Analytics Framework für das Inno\_MAUS Projekt

Remko Nijzink<sup>1</sup>, Michael Thiemann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>KISTERS AG, Pascalstr. 8-10, D-52076, Aachen

Das Projekt Inno\_MAUS (Innovative Instrumente zum Management des Urbanen Starkregnerisikos) konzentriert sich auf die Weiterentwicklung, Bereitstellung und Integration innovativer digitaler Instrumente für das Starkregnerisikomanagement. Zu den wissenschaftlich und technischen Neuerungen gehören eine bessere Quantifizierung und Vorhersage von konvektiven Extremniederschlägen, die Modellierung der Abflussbildung in urbanen Gebieten, sowie Schadens- und Expositionsmodellierung. Die Plattform, die diese wissenschaftlich-technischen Innovationen zusammenführt, basiert auf KISTERS's Real-Time Analytics Framework und Datasphere.

Datasphere, ein Cloud Live-Dienst, ermöglicht die Verwaltung von Sensor- und Rasterdaten über Dashboards und Visualisierungen. Darüber hinaus ermöglicht Datasphere die gemeinsame Nutzung von Daten, Datenbearbeitung und Datenaustausch. Das KISTERS's Real-Time Analytics Framework kann Daten in Echtzeit aus Datasphere sammeln und Modellläufe steuern. Die Modelergebnisse können dann direkt wieder in Datasphere zur Verfügung gestellt werden.

Hier zeigen wir, wie die ersten Projektdaten- und ergebnisse, sowie Daten der Pilotstädte Würzburg und Berlin in Datasphere und Kisters Real-Time Analytics Framework integriert wurden. Die nächsten Schritte umfassen die Entwicklung eines allgemeinen Adapters zur Steuerung der verschiedenen Modelle sowie die Integration der endgültigen Modelergebnisse des Projekts.



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

Andy Philipp<sup>1</sup>, Jana Sallwey<sup>1</sup>, Anastassi Stefanova<sup>1</sup>, Uwe Müller<sup>1</sup>, Tanja Winterrath<sup>2</sup>, Christian Vogel<sup>2</sup>, Malte Wenzel<sup>2</sup>, Christian Chwala<sup>3</sup>, Maximilian Graf<sup>3</sup>, Harald Kunstmann<sup>3</sup>, Jens Grundmann<sup>4</sup>, Michael Wagner<sup>4</sup>, Niels Schütze<sup>4</sup>, Matthias Müller<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Landeshochwasserzentrum, [uwe.mueller@smekul.sachsen.de](mailto:uwe.mueller@smekul.sachsen.de)

<sup>2</sup>Deutscher Wetterdienst, [tanja.winterrath@dwd.de](mailto:tanja.winterrath@dwd.de)

<sup>3</sup>Universität Augsburg, Lehrstuhl für Regionales Klima und Hydrologie, [christian.chwala@kit.edu](mailto:christian.chwala@kit.edu)

<sup>4</sup>Technische Universität Dresden, Professur für Hydrologie, [niels.schuetze@tu-dresden.de](mailto:niels.schuetze@tu-dresden.de)

<sup>5</sup>PIKobytes GmbH, [matthias.mueller@pikobytes.de](mailto:matthias.mueller@pikobytes.de)

Das Poster gibt einen Überblick über das im September 2022 gestartete Forschungsprojekt HoWa-PRO, welches zuverlässige Warnungen und Vorhersagen insbesondere von kleinräumigen Extremniederschlägen und daraus resultierendem Hochwasser als wichtige Voraussetzung für die Katastrophenabwehr untersucht. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Fördermaßnahme „Innovationen im Einsatz – Praxisleuchttürme der zivilen Sicherheit“ gefördert. Ausgangspunkt des Vorhabens ist das erfolgreiche Vorgängerprojekt HoWa-innovativ: „Hochwasserfrühwarnung für kleine Einzugsgebiete mit innovativen Methoden der Niederschlagsmessung und -vorhersage“ (Müller et al. 2022). Die in HoWa-innovativ erarbeiteten Lösungen beinhalten die Radar-CML-Aneichung (verbesserte, kleinräumige Niederschlagsbestimmung mittels kommerziellen Richtfunkstrecken) (Graf et al. 2021, Chwala und Kunstmann 2020) und den webbasierten Demonstrator zur Hochwasserfrühwarnung für den Katastrophenschutz (HoWa-innovativ 2022).

Für den Transfer in die Praxis wird der Demonstrator in HoWa-PRO weiterentwickelt in eine „Informationsplattform zu meteorologisch-hydrologischen Vorhersagen und Warnungen in kleinen Einzugsgebieten“, die auch die Unsicherheiten in der Vorhersage des Niederschlages und des Abflusses auswertet und für einen heterogenen Nutzerkreis angepasst darstellt. Dafür wird ein skalierbares hydrologische Ensemble-Vorhersagesystem mit einer nutzerspezifischen Visualisierung und Analyse in einem webbasierten Dashboard verknüpft (Grundmann et al. 2021). Ein modulares, interaktives Konzept für Schulung und Training des Katastrophenschutzes im Umgang mit wahrscheinlichkeitsbasierten Warnungen und Vorhersagen wird durch einen intensiven Anwender-Nutzer-Dialog mit Katastrophenschutzmitarbeitern in drei sächsischen Testregionen erarbeitet.

Die Informationsplattform integriert neuartige Methoden der Niederschlagsschätzung mittels Radar-Multisensor-Aneichung und Ensemble-basierte Niederschlagsvorhersagen, um lückenlose Vorhersagen für Sturzfluten im Kürzest- und Kurzfristbereich (0 bis 48 Stunden) zu erzielen. In HoWa-PRO wird die Plattform einer umfassenden, mehrstufigen Validierung und Demonstration unterzogen, um eine iterative, nutzergerechte Entwicklung optimal zu unterstützen. Dafür zeigt der Beitrag exemplarisch mittels des



Demonstrators erzielte Ergebnisse der Re-Analyse des Starkregeneignisses und daraus resultierenden Hochwassers aus dem Juli 2021 in der Oberlausitz (Sachsen).

## Literatur / References

- Chwala, C. und Kunstmann, H. (2020). Landesweite Niederschlagsmessung mit Richtfunkstrecken des Handynetzes. *Wasserwirtschaft* 10/2020.
- Graf, M., Chwala, C. und Polz, J. (2021). Regenmessung im Mobilfunknetz – Opportunistische Erfassung meteorologischer Größen. *Physik in unserer Zeit* 52(2).
- Grundmann, J., Six, A., and Philipp, A. (2021). A web based demonstration platform for flood warning in small catchments using ensemble hydrological forecasting, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-15111, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-15111>
- HoWa-innovativ Webbasierter Demonstrator „Hochwasserfrühwarnung“ im operativen Betrieb (15.12.2022), verfügbar unter: <http://howa-innovativ.hydro.tu-dresden.de/WebDemoLive>
- Müller, U., Philipp, A. und Grundmann, J. (2022). Niederschlagbasiertes Hochwasserfrühwarnsystem „HoWa-innovativ“. Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): *Nachhaltigkeit im Wasserbau - Umwelt, Transport, Energie*. *Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen* 68. S. 191-198.



# Analyse der flussgebietsübergreifenden extremen Niedrigwasser der Jahre 1921, 1947 und 2018 in Deutschland

Daniel Schwandt<sup>1</sup>, Martin Helms<sup>1</sup>, Gerd Hübner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, schwandt@bafg.de, helms@bafg.de, huebner@bafg.de

Hydrologische Extremereignisse sind seltene Ereignisse mit ungewöhnlich hoher bzw. niedriger Ausprägung ihrer Prozessvariablen, von denen bisher nur wenige von hochaufgelösten Messsystemen erfasst wurden. Für die raumzeitliche und prozessbezogene Plausibilisierung, Charakterisierung sowie für die (statistische) Einordnung aktueller Ereignisse ist ein Rückblick in die (auch weiter zurückliegende) Vergangenheit notwendig. So finden sich extreme flussgebietsübergreifende Niedrigwasserereignisse – wie zuletzt im Jahr 2018 – im 20. Jahrhundert besonders auch in den Jahren 1921 und 1947. Ausgehend von wiederholt aufgetretenen längeren niederschlagsarmen Phasen in Mittel- und Westeuropa entwickelten sich jeweils langanhaltende extreme Niedrigwasserzustände in nahezu allen großen Flüssen Deutschlands (im Jahr 1947 mit Ausnahme der Oder). Die Gesamtzahl der Tage mit niederschlagsarmen Großwetterlagen lag im Jahr 1921 mit 216 Tagen und 1947 mit 193 Tagen noch weit höher als 2018 (130 Tage).

Am Beispiel von Rhein und Elbe wird anhand von Niedrigwasserkenngößen sowohl eine wassermengenbezogene Einordnung der drei Niedrigwasserereignisse vorgenommen als auch die Wasserbeschaffenheit während dieser Niedrigwasserphasen vergleichend betrachtet. Bereits in Schwandt et al. (2022) publizierte Auswertungen zu den Niedrigwasserjahren 1921 und 2018 werden um Ergebnisse aus dem Jahr 1947 ergänzt. Die Aufbereitung, Nutzung und Interpretation wasserwirtschaftlicher Altdaten erfolgte unter Berücksichtigung unterschiedlicher Randbedingungen (z. B. Ausbau und Betrieb von Talsperren). Beispielsweise verfügten die Talsperren im Elbegebiet im Jahr 1921 über einen Stauraum von ca. 220 Mio. m<sup>3</sup>, 1947 waren es ca. 790 Mio. m<sup>3</sup> und 2018 ca. 4120 Mio. m<sup>3</sup>. Dieser Stauraum diente zumindest teilweise auch der Niedrigwasseraufhöhung.

Wie im noch allgemein gut in Erinnerung gebliebenen Niedrigwasserjahr 2018 lagen in den Jahren 1921 und 1947 sowohl die aufgetretenen Durchflussminima als auch die Unterschreitungsdauern des Schwellenwerts MNQ unter anderem an den Rheinpegeln Basel und Köln sowie an den Elbepegeln Dresden und Wittenberge im Bereich der im Betrachtungszeitraum 1901 bis 2020 aufgetretenen Extreme. Durch fehlende Verdünnung von Abwassereinleitungen traten während der Niedrigwasserereignisse lokale und regionale Belastungsschwerpunkte hervor. Fehlende oder unzureichend wirksame Kläranlagen sowie saisonale Einleitungen aus der Zuckerrübenindustrie in den Spätsommer- und Herbstmonaten spielten in den Jahren 1921 und 1947 eine bedeutende Rolle bei der Belastung mit sauerstoffzehrender organischer Substanz. Salzeinleitungen aus der Kali-Industrie führten auch im Jahr 2018 zu relativ hohen Chloridkonzentrationen.

Die systematische Aufarbeitung und eine breit gefächerte Auswertung der Niedrigwasserereignisse der Jahre 1921 und 1947 verbessern das Verständnis möglicher Niedrigwasserausprägungen und -folgen. Sie sind damit als Vergleichsbasis wichtig für die Einordnung und Bewertung der extremen Niedrigwasserereignisse aus der jüngeren Vergangenheit, wie aus dem Jahr 2018, im langfristigen hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Kontext.



## Literatur

Schwandt, D., Helms, M., Hübner, G., Belz, J. U., Wiechmann, W. (2022). Das extreme Niedrigwasser des Jahres 1921 in den großen Flüssen Deutschlands im Vergleich zum Niedrigwasser 2018. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 66 (5): 225-243.



# Entwicklung eines Drought Impact Severity Scores für beobachtete Dürreauswirkungen in der EU

Kathrin Szillat, Ruth Stephan, Veit Blauhut, Kerstin Stahl

Professur für Umwelthydrosysteme, Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, 79098, Deutschland

Wasserknappheit und daraus resultierende Auswirkungen und Konflikte werden in vielen Teilen Europas immer häufiger beobachtet. Die Folgen von Dürre erstrecken sich oftmals über Ländergrenzen hinweg, weshalb es gemeinsamer Strategien bedarf, um das Wassermanagement an Extreme wie Dürreperioden anzupassen. Das Projekt European Drought Observatory for Resilience and Adaptation (EDORA) verfolgt das Ziel die Widerstandsfähigkeit gegen Dürre innerhalb der EU zu verbessern und gemeinsame Anpassungsstrategien zu erörtern. Der Austausch von Wissen und Methoden zwischen den einzelnen EU-Mitgliedsstaaten durch die Vernetzung und dem Ausbau des Monitorings von Dürreauswirkungen spielt dabei eine große Rolle. Ein Ziel ist dabei, eine European Drought Impact Database (EDID) aufzubauen, die Informationen zu Dürreauswirkungen innerhalb der letzten 40 Jahre in der EU zusammenträgt. Die in EDID erfassten Dürreauswirkungen werden in die verschiedenen Sektoren („Systeme“) Landwirtschaft, Binnenschifffahrt, Energieversorgung, öffentliche Wasserversorgung und terrestrische sowie aquatische Ökosysteme unterteilt. Um die aus unterschiedlichen Textquellen stammenden Auswirkungen von Dürre zu quantifizieren, wurde speziell für EDID ein Drought Impact Severity Score entwickelt, der jedem Eintrag der Datenbank einen Schweregrad von 1-3 zuweist. Die Zuweisung folgt dabei einem theoretischen Modell, welches als dreidimensionale Funktion definiert ist. Dabei nimmt der Schweregrad auf einer Achse der von der Dürreauswirkung betroffenen Fläche und einer Achse der betroffenen Menschen zu. Auf einer dritten Achse wird die Schwere der Dürreauswirkung nach ihrem Kaskadeneffekt eingestuft, bei dem zwischen primären, sekundären und tertiären Auswirkungen unterschieden wird. Auf Grundlage dieses Zusammenhanges wurde das Ranking mit nationalen Experten und Vertretern verschiedener Interessengruppen getestet und eine auf den Auswirkungstyp bezogene Zuordnung entwickelt. Für quantitativ beschriebene Dürreauswirkungen werden systemspezifische Schwellenwerte angegeben, die es ermöglichen den Schweregrad einzuordnen. Wohingegen in Textform beschriebene Dürreauswirkungen anhand einer Liste von Beispielen verglichen werden und somit einem Schweregrad zugeordnet werden können. Der Beitrag erörtert Vorteile und Grenzen dieses Scoring-Ansatzes sowie Möglichkeiten der Nutzung als Teil der übergeordneten Risiko-Atlas Ziele des Gesamtprojekts.



# Intensitäts-Dauer-Häufigkeit-Kurven für Dürre im Kocher-Einzugsgebiet in Deutschland

Yonca Cavus<sup>1,2,3</sup>, Kerstin Stahl<sup>3</sup>, Hafzullah Aksoy<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universität Beykent, Fakultät für Bauingenieurwesen, Istanbul, Türkei

<sup>2</sup>Technische Universität Istanbul, Graduiertenschule, Istanbul, Türkei

<sup>3</sup>Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Freiburg, Deutschland  
(yonca.cavus@hydrology.uni-freiburg.de)

<sup>4</sup>Technische Universität Istanbul, Fachbereich Bauingenieurwesen, Istanbul, Türkei

Dürre ist eines der katastrophalsten Naturphänomene, das zu Wasserknappheit und Wassermangel in hydrologischen Einzugsgebieten führt und die Mehrheit der Bevölkerung in vielerlei Hinsicht, beispielsweise in wirtschaftlicher, sozialer und ökologischer Hinsicht, ernsthaft beeinträchtigt. Daher spielt Dürre eine bedeutende Rolle beim Risikomanagement von Wasserressourcensystemen. Standardized Precipitation Index (SPI) und Standardized Streamflow Index (SSI) können eine umfassende Charakterisierung von Dürren liefern. Der Zweck dieser Studie ist es, basierend auf dem Niederschlagsdefizit und dem Abflussdefizit Intensitäts-Dauer-Häufigkeit-Kurven zu entwickeln, dabei jedoch anstatt Dürre-Indizes, die Niederschlags- und Abflussvolumen in den Dauer-Häufigkeit-Kurven einzusetzen. Die Dürre mit dem höchsten Schweregrad in jedem Jahr wird als die kritische Dürre des Jahres definiert. Die Häufigkeitsanalyse wird auf die kritische Dürreintensität angewendet, um die am besten passende Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion unter Verwendung des Gesamtwahrscheinlichkeitssatzes zu bestimmen. Basierend auf der kritischen Dürreintensität wurden Niederschlags- und Wasserdefizite berechnet. Zur Präsentation der Ergebnisse wurde eine Fallstudie zu monatlichen Niederschlags- und Abflussdaten der Station Stein im Kochereinzugsgebiet in Süddeutschland durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die 2-Jahres-Wiederkehrperioden-Dürreintensitäts-Dauer-Häufigkeits-Kurve deutlich niedriger ist als die Kurven mit höheren Wiederkehrperioden von 5–100 Jahren und deutlich von diesen getrennt ist, obwohl sie die gleiche Tendenz wie bei den Kurven mit längeren Wiederkehrperioden aufweist und nahezu kein Unterschied zwischen den Niederschlags- und Wasserdefiziten der Dürren von 25 Jahren oder längeren Wiederkehrperioden beobachtet wird. Die Nutzung des Niederschlags- und Wasserdefizits erlaubt ein besseres Verständnis der Schwere und somit der potentiellen Auswirkungen der Dürre im physischen Sinne.



# Zuverlässiges Monitoring von hydrologischen Extremereignissen mithilfe drahtloser Sensorik

Daniel Szafranski<sup>1</sup>, Andreas Reinhardt<sup>2</sup>, Paul D. Wagner<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Clausthal, Energieinformatik, daniel.szafranski@tu-clausthal.de

<sup>2</sup>Technische Universität Clausthal, Energieinformatik, andreas.reinhardt@tu-clausthal.de

<sup>3</sup>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Hydrologie und Wasserwirtschaft, pwagner@hydrology.uni-kiel.de

Das Monitoring hydrologischer Variablen ist für die Analyse hydrologischer Prozesse sowie als Grundlage für die Modellierung von großer Bedeutung. Zu den relevanten hydrologischen Variablen zählen unter anderem Niederschlag, Pegelstände und Bodenfeuchte. Dabei ist einerseits die Erfassung der Extrema besonders relevant, z.B. für die Modellierung von Auswirkungen des Klimawandels, andererseits jedoch aufgrund der extremen Bedingungen sehr herausfordernd. Um (extreme) hydrologische Ereignisse genau zu erfassen, hilft das Monitoring mit einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung. Im Rahmen des Forschungsprojekts EXDIMUM (Extremwettermanagement mit digitalen Multiskalen-Methoden) wird daher ein terrestrisches drahtloses Sensornetzwerk (DSN) aufgebaut, um an hydrologisch und geographisch wichtigen Orten Messwerte zu erfassen und zu übertragen.

Die drahtlose Übertragung der Sensordaten erfolgt auf physikalischer Ebene über „LoRa“ (Long Range) und auf Netzwerkebene über „LoRaWAN“ (Long Range Wide Area Network). Dabei werden die versendeten Daten an Gateways empfangen, gesammelt und weiterverarbeitet. Extreme hydrologische Bedingungen wie Starkregen können negative Einflüsse auf die drahtlose Kommunikation haben, wodurch Messwerte möglicherweise verzögert ankommen oder Datenverluste auftreten. So untersuchten Boano et al. (2018) den Einfluss von Temperaturvariationen auf die Zuverlässigkeit von LoRa und stellten fest, dass Temperaturvariationen einen großen Einfluss auf die Zuverlässigkeit von LoRa haben und sogar zuvor funktionierende Funkstrecken temporär unterbrechen können. Insbesondere im Kontext der Echtzeitanforderungen oder Frühwarnsysteme kann dies weitreichende negative Konsequenzen haben.

Um dem entgegen zu wirken und auch unter extremen hydrologischen Bedingungen eine zuverlässige und echtzeitfähige Funkübertragung zu ermöglichen, werden verschiedene Methoden und Verfahren untersucht. Zunächst wurde dazu in Untersuchungen bereits das Konzept der „konstruktiven Interferenz“ analysiert (Szafranski et al. 2022). Dabei wurde der physikalische Effekt der Superposition von Funkwellen untersucht, der bei zeitsynchron versendeten Daten zu einer konstruktiven Überlagerung der einzelnen Funkwellen und damit zu einer Addition der Amplituden führt. Als Konsequenz kann das resultierende Signal höhere Reichweiten erreichen und ist robuster gegen dämpfende Effekte wie Starkregen. Dies konnte bei den Untersuchungen mit zwei Prototypen auch durch eine partielle Steigerung der Signalamplituden teilweise bestätigt werden. Es wurde jedoch auch festgestellt, dass diese Methode nur bedingt eingesetzt werden kann, da sie sehr hohe Anforderungen an die (Zeit-)Synchronität der einzelnen Sensoren hat, die in der Praxis nur schwer zu erreichen sind.

Zukünftig soll dieses Konzept noch weiter untersucht und optimiert werden. Dabei soll insbesondere die Herausforderung der exakten zeitlichen Synchronisierung adressiert werden.



## Literatur / References

- Boano, C. A., Cattani, M., Römer, K. (2018). Impact of Temperature Variations on the Reliability of LoRa. In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Sensor Networks (SENSORNETS), S.39–50.
- Szafranski, D., Bouchur, M., Reinhardt, A. (2022). Investigating Constructive Interference for LoRa-based WSNs. In: Proceedings of the 19<sup>th</sup> GI/ITG KuVS Fachgespräch "Sensornetze" (FGSN), S. 25–28.



## **Fünf Jahre Trockenheit und Wasserknappheit in Folge: Herausforderungen für die Wasserwirtschaft Berlins**

Benjamin Creutzfeldt<sup>1</sup>, Ina Pohle<sup>1</sup>, Antje Köhler<sup>1</sup>, Dörthe von Seggern<sup>1</sup>, Sarah Zeilfelder<sup>1</sup>, Martin Schreiner<sup>2</sup>, Johannes Birner<sup>1</sup>, Matthias Rehfeld-Klein<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz, Abteilung Integrativer Umweltschutz

<sup>2</sup>Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz, Pflanzenschutzamt

Die vergangenen fünf Jahre waren in der Region Berlin-Brandenburg insgesamt extrem warm und trocken. Seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen waren keine anderen Jahre gleichzeitig so warm (Jahresmitteltemperaturen je über 10,8°C 1991-2020) und so niederschlagsarm (Niederschlagsjahressumme je unter 550 mm) wie die hydrologischen Jahre 2018, 2019, 2020 und 2022.

Die hohen Temperaturen und die Trockenheit der jeweiligen Jahre, aber auch das resultierende kumulierte Niederschlagsdefizit hatte hydrologische/hydrogeologische Auswirkungen in Berlin: Die Bodenfeuchten lagen frühzeitig in den Sommermonaten im für Stadtbäume kritischen Bereich unter 30 % nFK. Es stellten sich vor allem auf den Hochflächen extrem niedrige Grundwasserstände ein, die 2022 noch geringer waren als in den vorangegangenen Trockenjahren. Die Wasserstände und Durchflüsse waren extrem niedrig und wurden z.T. seit Beginn der Datenaufzeichnung nicht zuvor beobachtet, kleinere Fließgewässer fielen zum Teil erstmals trocken.

Ebenso lagen die Zuflüsse aus den Einzugsgebieten der Spree und der Oberen Havel teils nur im Bereich von 30 % bis 50 % der langjährigen Monatsmittelwerte, die Mindestdurchflüsse wurden während der Sommermonate unterschritten. Stauziele konnten nicht mehr gehalten werden, Wehre und Schleusen wurden geschlossen bzw. Sammelschleusungen angeordnet und beeinträchtigte die Schifffahrt. Die extrem niedrigen Wasserstände und Durchflüsse, hatten auch Auswirkungen auf die Wasserqualität und Gewässerökologie. Abnehmende Zuflüsse führten zudem zu einem erhöhten Abwasseranteil im Berliner Gewässersystem, der im Extremfall bis nahezu 100% ausmachte. Der Abwasseranteil im Gewässer wurde auch durch den Nachweis von Spurenstoffen widerspiegelt.

Die Umweltkatastrophe in der Oder 2022 bewirkte zudem, dass die Scheitelhaltung des Oder-Spree-Kanals im Sommer nicht mehr durch die Oder gestützt werden konnte, sondern die Stützung durch die Spree erfolgen musste, um die Trinkwasserressourcen von Berlin vorsorglich zu schützen. Dies bedeutete eine weitere Verringerung der Zuflüsse nach Berlin, zeigt jedoch auch die Risiken von verschiedenen Naturgefahren und deren Interaktionen in Raum und Zeit (Multi-Hazards).

Der Niedrigwassersituation wurde durch wasserwirtschaftliche Maßnahmen in Abstimmung mit verschiedenen Partnern in Berlin und in den Einzugsgebieten der Spree und der Oberen Havel begegnet. Innerhalb der Ad-hoc Extremsituation wurden im Rahmen des, seit 2022 neuen, Mandats der Flussgebietsbewirtschaftung Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße Maßnahmen abgestimmt und umgesetzt. Für die Obere Havel fanden 2022 Arbeitsgespräche zwischen den Länder Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin sowie den Bund statt, um sich über die aktuelle Situation zu informieren und Möglichkeiten der Bewirtschaftung abzustimmen. Zudem liegt der Entwurf einer Kooperationsvereinbarung zur Flussgebietsbewirtschaftung Einzugsgebiet Obere Havel vor, der Grundlage einer engeren Zusammenarbeit der Länder und des Bundes darstellt. In Berlin wurden verschiedene



Maßnahmen eng mit dem Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Spree-Havel und den Berlin Wasserbetrieben abgestimmt.

In den kommenden Jahren wird sich die Niedrigwasserproblematik durch den Klimawandel und durch den stetigen Rückgang der Einleitung von Sumpfungswässern aus der Braunkohleförderung in die Spree, aber auch durch das Bevölkerungswachstum höchstwahrscheinlich verschärfen. Auch wenn die Trinkwasserversorgung durch die jetzige Situation nicht gefährdet ist, wirft sie ein Schlaglicht auf die Herausforderungen, vor denen Berlin steht. Mit dem Masterplan Wasser, der im Jahr 2022 veröffentlicht wurde, hat Berlin Strategien und Handlungsoptionen entwickelt, um die Trinkwasserversorgung, den Gewässerschutz und eine angepasste Abwasserentsorgung zu sichern.



# Experimentelle Waldbewässerung zur Stabilisierung eines Sternmieren-Eichen-Hainbuchenwaldes im Hessischen Ried während des Dürresommers 2022

Michael Köhler, Heiko Gerdes, Henning Meesenburg

Zahlreiche Waldbestände im Hessischen Ried weisen durch den im Zuge der Wassergewinnung verloren gegangenen Grundwasseranschluss seit Jahrzehnten erhebliche Schäden auf. Dadurch ist auch der Erhaltungszustand des nach der FFH-Richtlinie der EU geschützten Waldlebensraumtyps Sternmieren-Stieleichen-Hainbuchenwald (LRT 9160) stark beeinträchtigt. Weil kurz- und mittelfristige Maßnahmen zur Wiederherstellung der ursprünglichen Grundwasserstände kaum umsetzbar sind, wird in dem Projekt „Situative Zuwässerung in Wäldern des Hessischen Rieds zur Sicherung und Wiederherstellung naturverträglich genutzter feuchter Eichen-Hainbuchen-Wälder (SiZuRi)“ modellhaft die Eignung einer oberirdischen Zuwässerung als mögliche Alternative zu einer Grundwasseraufspiegelung zur Erhaltung und Redynamisierung solcher Bestände überprüft. Im Stadtwald Gernsheim wurde dazu 2021 eine Waldbewässerungsanlage errichtet, mit der auf drei Parzellen (50 x 50 m) der Bodenwasserspeicher in Trockenperioden periodisch aufgefüllt wird. Ein Monitoring von Bodenwassergehalten, –potenzialen und Bestandesniederschlägen dient der Bewässerungssteuerung. Darüber hinaus wird die Vitalität des Bestandes mit forstökologischen Untersuchungen (Phänologie, Belaubung, Zuwachs, Verjüngung, Waldzustandserhebungen etc.) dokumentiert.

Im Extremsommer des Jahres 2022, der laut DWD-Flächenmittel von Hessen der niederschlagärmste und sonnenscheinreichste seit Beginn der Messungen war, wurden auf den Zuwässerungsparzellen ~500 mm Zusatzwasser in insgesamt acht Gaben verabreicht. Ziel war jeweils die Auffüllung der Bodenwasserspeicher bis zur nutzbaren Feldkapazität. In den drei Kontrollparzellen waren die Bodenwasservorräte bis in 100 cm Tiefe zum Ende des Sommers praktisch vollständig erschöpft. Das führte zu deutlichen Vitalitätseinbußen (Einrollen, Vergilbung und Vertrocknen der Blätter sowie vorzeitiger Blattfall) und einer extremen Reduktion der Zuwächse der Eichen im Vergleich zu 2021. Auf den drei Zuwässerungsparzellen war die Belaubung dagegen bis Ende des Sommers vollständig intakt und die Zuwächse waren vergleichbar mit dem vorangegangenen Jahr. Die situative Zuwässerung konnte damit die Auswirkungen der Sommertrockenheit von 2022 auf den Waldbestand minimieren. Inwieweit sich der Waldzustand auf lange Sicht stabilisieren oder gar verbessern lässt, müssen langfristige Untersuchungen zeigen.



# Stündliche Simulation von Extremhochwasser im Einzugsgebiet von Ahr, Erft und Rur

Li Han<sup>1</sup>, Björn Guse<sup>1</sup>, Dung Nguyen<sup>1</sup>, Oldrich Rakovec<sup>2</sup>, Guan Xiaoxiang<sup>1</sup>, Sergiy Vorogushyn<sup>1</sup>, Luis Samaniego<sup>2</sup>, Bruno Merz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) Potsdam, Sektion Hydrologie, Potsdam, Deutschland, [li.han@gfz-potsdam.de](mailto:li.han@gfz-potsdam.de), [bjorn.guse@gfz-potsdam.de](mailto:bjorn.guse@gfz-potsdam.de), [viet.dung.nguyen@gfz-potsdam.de](mailto:viet.dung.nguyen@gfz-potsdam.de), [guan.xiaoxiang@gfz-potsdam.de](mailto:guan.xiaoxiang@gfz-potsdam.de), [sergiy.vorogushyn@gfz-potsdam.de](mailto:sergiy.vorogushyn@gfz-potsdam.de), [bruno.merz@gfz-potsdam.de](mailto:bruno.merz@gfz-potsdam.de)

<sup>2</sup> UFZ – Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Hydrosystemmodellierung, Leipzig, Deutschland, [oldrich.rakovec@ufz.de](mailto:oldrich.rakovec@ufz.de), [luis.samaniego@ufz.de](mailto:luis.samaniego@ufz.de)

Ein Extremhochwasser hat im 2021 zu starken Überflutungen und Zerstörungen in den Einzugsgebieten von Ahr, Erft und Rur geführt. Mit den Auswirkungen dieses Hochwassers und der wissenschaftlichen Begleitung des Wiederaufbaus beschäftigt sich das BMBF-geförderte Verbundprojekt KAHR (<https://hochwasser-kahr.de>).

In diesem Beitrag wird die Simulation in diesen Einzugsgebieten mit dem hydrologischen Modell mHM präsentiert. Aufgrund der Größe der Einzugsgebiete und der schnellen Abflussreaktion wird hierbei eine stündliche Simulation durchgeführt, was mit der neuesten mHM Modellversion möglich ist.

In einem weiteren Schritt wird ein regionaler Wettergenerator und eine Disaggregation zur Erstellung von 10.000 Jahren von synthetischen stündlichen meteorologischen Daten für die Einzugsgebiete Ahr, Erft und Rur angewandt. Diese Daten werden als Antrieb für das mHM Modell eingesetzt. Es wird hiermit untersucht, ob und unter welchen meteorologischen und hydrologischen Bedingungen ein vergleichbares oder größeres Hochwasser entstehen könnte und welche raumzeitlichen Muster sich hierbei zeigen.



## Trockene Bäche – Chancen für ein Monitoring

Alexander Hartung<sup>1</sup>, Thorsten Mietzel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Emschergenossenschaft / Lippeverband, Abteilung Wasserwirtschaft, hartung.alexander@eglv.de

<sup>2</sup>Universität Duisburg-Essen, Fachgebiet Siedlung- und Abwasserwirtschaft, thorsten.mietzel@uni-due.de

Seit dem Jahr 2018 ist das sommerliche Absinken der Wasserstände in unseren großen Fließgewässern wie Rhein und Elbe ein starkes fachliches und auch mediales Thema. Die Jahre 2018, 2019, 2020 und das Jahr 2022 haben das Phänomen der sommerlichen Trockenheit und deren ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen nochmal nachdrücklich in den Vordergrund gestellt. Für kleine Bäche und Oberläufe, die im Zuge der sommerlichen Trockenphase auch teilweise vollständig versiegen, sind jedoch selten belastbare hydrologische Informationen verfügbar.

Das hier vorgestellte Monitoringkonzept hat das Ziel, Daten für den Eintritt des vollständigen Versiegens eines Baches und die Dauer seiner Trockenheit zu erheben. Zum Einsatz kommt ein robuster Sensor, bei dem der Widerstand zwischen zwei Edelstahlkontakten gemessen wird. Ist der Sensor mit Wasser bedeckt, sinkt durch die Leitfähigkeit des Wassers der Widerstand. Die Messung des Widerstandes bzw. der Spannung übernimmt ein Arduino Microcontroller. Über einen definierten Grenzwert wird das analoge Spannungssignal in den digitalen Zustand 0 (trocken) oder 1 (nass) übertragen. Damit auch in ländlichen Gebieten die Messdaten in Echtzeit verfügbar sind, wurde für die Funkübertragung Narrowband-IoT gewählt. Dieser Funkstandard wird der Familie der Low Power Wide Area Networks zugeordnet und in Deutschland von den großen Mobilfunkanbietern bereitgestellt. Der auf LTE/4G basierende Standard eignet sich daher für Gebiete, an denen herkömmlicher Mobilfunk nicht verfügbar ist. Mit dem vorgestellten System sollen tägliche Messungen über mehrere Jahre hinweg durchgeführt werden. In welchem zeitlichen Abstand eine Reinigung des Sensors oder ein Batteriewechsel notwendig werden, sind nur zwei von vielen weiteren Fragestellungen, die aktuell näher untersucht werden.

Wesentliche Vorzüge dieses Monitoringkonzepts sind der einfache Einbau vor Ort, die robuste Technik und der geringe finanzielle Aufwand. Weiterhin hat die 0-1-Zustandserfassung für den operativen Betrieb große Vorteile. Würden Wasserstände erhoben, ergäbe sich sofort die Frage nach der Genauigkeit der registrierten Daten. Damit stiege aber auch deutlich der Aufwand für den Betrieb der Messstellen, engmaschige Kontrollen vor Ort und die Erhebung von Korrekturwerten würden dann ebenfalls erforderlich. Aufgrund der genannten Vorteile ist ein weitreichender Einsatz dieser Sensorik zumindest aus finanzieller und aus Betreibersicht realisierbar. Als Ziel wird ein flächendeckendes Messnetz in den Flusseinzugsgebieten der Emscher und Lippe mit mindestens einer Station pro Bachlauf angestrebt. Der Aufbau dieses Messnetzes ist Teil des Dürremanagement-Aktionsplans von Emschergenossenschaft und Lippeverband.



# KOSTRA-DWD-2020 – Die neue Starkregenstatistik für Deutschland

Jennifer Ostermüller<sup>1</sup>, Thomas Junghänel<sup>1</sup>, Thomas Deutschländer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach am Main, jennifer.ostermoeller@dwd.de

Starkniederschlagshöhen, oder auch Bemessungsniederschläge, sind eine wesentliche Datengrundlage für die Dimensionierung von wasserwirtschaftlichen Bauwerken. Seit den 1980er Jahren stellt der Deutsche Wetterdienst (DWD) die Datengrundlage dafür in Form der koordinierten Starkregenregionalisierung und -auswertung (KOSTRA-DWD) zur Verfügung. In den letzten Jahren wurde dieser Datensatz grundlegend überarbeitet und fortgeschrieben. Im Projekt MUNSTAR (Methodische Untersuchungen zur Novellierung der Starkregenstatistik für Deutschland) wurden dazu neue Methoden und prototypische Datensätze entwickelt (Junghänel et al. 2022). Insgesamt flossen in den neuen Datensatz 1.900 Messreihen ein, 233 davon mit mindestens 50 Beobachtungsjahren. Außerdem wurde die zugrundeliegende extremwertstatistische Methodik auf den aktuellen Stand der Wissenschaft gebracht. Dazu gehört z. B. die Schätzung von nun drei statt bisher zwei Parametern der Generalisierten Extremwert Verteilung (GEV, Formparameter fixiert bei 0.1) über alle Dauerstufen (5 min bis 7 Tage) hinweg (Koutsoyiannis, 1998). Für die Regionalisierung der Starkniederschläge wurden verschiedenen Ansätze untersucht. Am besten eignete sich ein Kriging mit externer Drift (KED) separat für die einzelnen Parameter auf einem 5 km x 5 km Gitter (Shehu et al., 2022). Darüber hinaus wurde eine kombinierte Gesamtunsicherheit aus lokaler (je 100 Realisationen) und räumlicher Unsicherheit (je 100 Simulationen), also insgesamt 10.000 Realisationen abgeschätzt. Die flächenmäßig mittleren Unsicherheiten liegen, je nach Dauerstufe und Wiederkehrzeit, zwischen  $\pm 13\%$  und  $\pm 26\%$  (zur Methodik vgl. Shehu & Haberlandt, 2022).

In diesem Beitrag werden die einzelnen Neuerungen besprochen und Vergleiche zwischen bisherigem und neuem Datensatz diskutiert.

## Literatur / References

- Junghänel, T., Bär, F., Deutschländer, T., Haberlandt, U., Otte, I., Shehu, B., Stockel, H., Stricker, K., Thiele, L., Willems, W. (2022): Methodische Untersuchungen zur Novellierung der Starkregenstatistik für Deutschland (MUNSTAR). Synthesebericht. 95 S., abrufbar unter: [www.dwd.de/kostra](http://www.dwd.de/kostra).
- Koutsoyiannis, D., Kozonis, D., Manetas, A. (1998): A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology*, 206, S. 118–135.
- Shehu, B., Willems, W., Stockel, H., Thiele, L., Haberlandt, U. (2022): Regionalisation of Rainfall Depth-Duration-Frequency curves in Germany, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/hess-2022-118>, in review.
- Shehu, B., Haberlandt, U. (2022): Uncertainty estimation of regionalised depth–duration–frequency curves in Germany, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/hess-2022-254>, in review.



# Analyse der hydrologischen Folgen von Dürre und ihre regionalen Unterschiede

Britta Schmalz<sup>1</sup>, Stephan Dietrich<sup>2</sup>, Patrick Gerngroß<sup>3</sup>, Henning Meesenburg<sup>4</sup>, Konrad Miegel<sup>5</sup>, Frido Reinstorf<sup>3</sup>, Holger Rupp<sup>6</sup>, Johannes Sutmöller<sup>4</sup>, Markus Ziese<sup>7</sup>

<sup>1</sup> TU Darmstadt, Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung, schmalz@ihwb.tu-darmstadt.de

<sup>2</sup> International Centre for Water Resources and Global Change (ICWRGC), Koblenz

<sup>3</sup> Hochschule Magdeburg-Stendal, Professur für Hydrologie und Geographische Informationssysteme

<sup>4</sup> Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Göttingen

<sup>5</sup> Universität Rostock, Professur für Hydrologie und Angewandte Meteorologie

<sup>6</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Lysimeterstation Falkenberg

<sup>7</sup> Deutscher Wetterdienst (DWD), Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), Offenbach

Die drei aufeinanderfolgenden Jahre 2018-2020 waren durch eine großräumige Trockenheit geprägt. Insbesondere das Jahr 2018 mit seiner außergewöhnlich trocken-heißen Großwetterlage war durch unterdurchschnittliche Regenmengen und überdurchschnittliche Temperaturen gekennzeichnet. Die aktuelle Studie umfasst nicht nur die Analyse dieser drei aufeinanderfolgenden Trockenjahre, sondern auch die der Folgejahre 2021 und 2022. In diesen zeigen sich größere regionale Unterschiede. Daneben war das Jahr 2021 in Deutschland einerseits durch eine Hitzewelle im Juni geprägt, zum anderen macht der Rückblick auf das Witterungsgeschehen in 2021 deutlich, dass das Jahr wärmer und feuchter als im vieljährigen Mittel war und zudem intensive Starkniederschlagsereignisse mit sich brachte.

Die IHP/HWRP-Arbeitsgruppe "FRIEND-Water / ERB" (Flow Regimes from International Experimental and Network Data / Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins) hat anhand von ausgewählten Lysimetern und kleinen Einzugsgebieten verschiedener Naturräume das regionale hydrologische Geschehen in dieser Zeitperiode analysiert. Die detaillierten Untersuchungen der hydrologischen Prozesse in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung können wesentlich zum Verständnis der hydrologischen Folgen von Dürre beitragen. In den drei aufeinanderfolgenden Trockenjahren wurde großräumig ein Defizit in den Speicher- und Bodenwasservorräten sowie ein Rückgang bzw. Ausbleiben der Grundwasserneubildung beobachtet. Dies führte in den Einzugsgebieten zu einem starken Abflussrückgang im hydrologischen Sommerhalbjahr. Ergänzend wird nun die hydrologische Reaktion in den Folgejahren untersucht. In diesen zeigt sich weiterhin ein generell niedriges Niveau der gemessenen Bodenwassergehalte und Grundwasserneubildungsraten. Durch die jedoch unterschiedliche regionale und saisonale Ausprägung der Niederschläge können erhebliche Unterschiede bei den Grundwasserneubildungsraten und der Dauer von Perioden, in denen keine Neubildung stattgefunden hat, aber auch bei den Niedrigwasserabflüssen der Oberflächengewässer festgestellt werden.



## International Soil Moisture Network (ISMN): Ein dauerhafter Service für frei verfügbare, in situ Bodenfeuchtedaten

Wolfgang Korres<sup>1</sup>, Matthias Zink<sup>2</sup>, Fay Boehmer<sup>3</sup>, Tunde Olarinoye<sup>2</sup>, Stephan Dietrich<sup>2</sup>, Kasjen Kramer<sup>4</sup>, Irene Himmelbauer<sup>5</sup>, Lukas Schremmer<sup>5</sup>, Ivana Petrakovic<sup>5</sup>, Daniel Aberer<sup>5</sup>, Roberto Sabia<sup>6</sup>, Raffaele Crapolicchio<sup>7</sup>, Klaus Scipal<sup>6</sup>, Philippe Goryl<sup>6</sup>, Wouter Dorigo<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Referat M5 Geodäsie und Fernerkundung, korres@bafg.de

<sup>2</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), International Centre for Water Resources and Global Change (ICWRGC), olarinoye@bafg.de, zink@bafg.de, dietrich@bafg.de

<sup>3</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Department M4 Geodatenzentrum (WasserBLiCK, GRDC), boehmer@bafg.de

<sup>4</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Department Z2 Informationstechnik und Informationsmanagement, kramer@bafg.de

<sup>5</sup>Vienna University of Technology, Climate and Environmental Remote Sensing Research Group, irene.himmelbauer@geo.tuwien.ac.at, lukas.schremmer@geo.tuwien.ac.at, ivana.petrakovic@geo.tuwien.ac.at, daniel.aberer@geo.tuwien.ac.at, wouter.dorigo@geo.tuwien.ac.at

<sup>6</sup>European Space Agency (ESA), ESA-ESRIN, roberto.sabia@esa.int, Klaus.Scipal@esa.int, Philippe.Goryl@esa.int

<sup>7</sup>Serco Italia S.p.A. for European Space Agency (ESA), ESA-ESRIN, Raffaele.Crapolicchio@esa.int

Bodenfeuchte ist eine essentielle Klimavariablen (ECV), da sie für die Wasserverfügbarkeit für Pflanzen und damit für die Nahrungsmittelproduktion eine entscheidende Rolle spielt und die Energieflüsse und Wasserflüsse an der Erdoberfläche bzw. zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre beeinflusst. Durch lange Zeitreihen von frei verfügbaren Bodenfeuchtedaten mit globaler Abdeckung können Wissenschaftler, Landwirte und Entscheidungsträger Trends erkennen, die Auswirkungen des Klimawandels bewerten und Anpassungsstrategien entwickeln.

Die Zusammenführung, Harmonisierung und Archivierung von in situ Bodenfeuchtedaten war die Motivation, das International Soil Moisture Network (ISMN) an der TU Wien im Jahr 2009 zu gründen. Basierend auf mehreren Projektförderperioden durch die Europäische Weltraumorganisation (ESA) hat sich das ISMN zu einer weit verbreiteten Datenbank mit Tausenden von Benutzern entwickelt. Eine dauerhafte Finanzierung des ISMN-Betriebs wurde nun durch die Bundesregierung (Bundesministerium für Digitalisierung und Verkehr) sichergestellt. Der neue Standort des ISMN für den langfristigen Betrieb ist das International Centre for Water Resources and Global Change (ICWRGC), das an der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz angesiedelt ist.

Die Daten des ISMN sind ein wesentliches Mittel zur Validierung und Verbesserung globaler Satellitenprodukte, sowie von Landoberflächen-, Klima- und hydrologischen Modellen. Diese Datenbank leistet unter anderem einen Beitrag zum Global Energy and Water Exchanges Project (GEWEX), zum Global Terrestrial Network on Hydrology (GTN-H) und zum Global Climate Observing System (GCOS). Insbesondere erleichtert und unterstützt ISMN den verbesserten Zugang zu qualitätskontrollierten, harmonisierten Daten, Metadaten und Informationen, die von Datenlieferanten weltweit freiwillig zur Verfügung gestellt werden.



# Hydrologische Modellierung von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz gegenüber Dürreperioden und Starkregenereignissen

Sven F. Grantz<sup>1</sup>, Katrin Brömme<sup>2</sup>, Timo M. König<sup>2</sup>, Alexandra Amann<sup>3</sup>, Oliver Buchholz<sup>3</sup>, Paul D. Wagner<sup>1</sup>, Jens Kiesel<sup>1</sup>, Nicola Fohrer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), Institut für Natur- und Ressourcenschutz - Hydrologie und Wasserwirtschaft, sgrantz@hydrology.uni-kiel.de, pwagner@hydrology.uni-kiel.de, jkiesel@hydrology.uni-kiel.de, nfohrer@hydrology.uni-kiel.de

<sup>2</sup> delta h Ingenieurgesellschaft mbH, kb@delta-h.de, tmk@delta-h.de

<sup>3</sup> Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, alexandra.amann@hydrotec.de, oliver.buchholz@hydrotec.de

Das Forschungsprojekt KliMaWerk startete im Jahr 2022 im Rahmen der Fördermaßnahme "WaX" und ist Teil des Bundesforschungsprogramms "Wasser: N", das einen Beitrag zur Strategie "Forschung für Nachhaltigkeit (FONA)" des BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) leistet. Das Projekt wird von einem fachübergreifenden Konsortium unter Leitung des Lippeverbands durchgeführt, welches sich aus Partnern aus Wissenschaft, Privatwirtschaft und öffentlicher Verwaltung zusammensetzt.

Ziel des Projekts ist es, am Beispiel der Lippe in Nordrhein-Westfalen Strategien zu entwickeln, um die hydrologische und ökologische Widerstandsfähigkeit von Flusseinzugsgebieten gegenüber Dürreperioden und Starkregenereignissen zu erhöhen. Diese beiden hydrologischen Extreme stellen elementare Herausforderungen für das Flussgebietsmanagement dar, da im Zuge des Klimawandels eine Zunahme ihrer Häufigkeit und Intensität prognostiziert wird. Das Projekt verfolgt einen umfassenden und interdisziplinären Ansatz mit dem es die zeitliche Verteilung des Oberflächen- und Grundwassers, den physiko-chemischen und ökologischen Zustand sowie konkurrierende Wassernutzungen im gesamten Flusseinzugsgebiet untersucht. Auf Grundlage von vorhandenen Daten und ergänzenden Feldkampagnen (biologische Beprobung, morphologische Kartierung sowie Messungen in Grund- und Oberflächenwasser), der Einbeziehung von Interessengruppen und der Analyse mit hydrologischen Modellen wird im Projekt ein Werkzeugkasten als modulares Planungsinstrument für die Auswahl von Bewirtschaftungsstrategien und -maßnahmen sowohl für städtische als auch für ländliche Gebiete entwickelt.

Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf die hydrologische Modellierung im Projekt, welche die Wirkungen der Klimaanpassungsmaßnahmen auf den Landschaftswasser- und Stoffhaushalt unter verschiedenen Landnutzungs- und Klimaszenarien analysieren soll. Zum einen werden ein ländlich und ein urban geprägtes Teileinzugsgebiet detailliert mit einem aus der Grundwassersimulationssoftware SPRING (König 2022) und dem Niederschlags-Abfluss-Modell NASIM (Hydrotec 2022) gekoppelten Modell untersucht. Zum anderen wird das gesamte Flusseinzugsgebiet mit dem Modell SWAT+ (Bieger et al. 2017) abgebildet.

Inhalt der laufenden Projektphase, die in dem Posterbeitrag zum Tag der Hydrologie 2023 dargestellt wird, ist der Aufbau der genannten Modelle auf der Grundlage hydrologischer und geologischer Eingangsdaten. Die Modelle SPRING und NASIM werden dabei über Parameter gekoppelt, die die Interaktion zwischen Oberflächenabfluss und Grundwasserströmung beschreiben (z. B. Grundwasserneubildung, Leakageraten). Jedes der Modelle beschreibt bisher die im Fokus stehenden Prozesse seines Fachgebiets im Detail, muss aber dabei auf Vereinfachungen im jeweils anderen Fachgebiet zurückgreifen. Die Kopplung soll die Stärken



beider Modelle zusammenbringen und eine realitätsgetreuere Abbildung der Prozesse ermöglichen. Mit SWAT+ werden die Hydrologie, das Pflanzenwachstum, der Sedimentaustrag sowie die Nährstoffkreisläufe von Stickstoff und Phosphor im Gesamteinzugsgebiet der Lippe modelliert. Die Kalibrierung der Modelle erfolgt für die Wasserwirtschaftsjahre 2012-2021 auf der Grundlage verfügbarer Grundwasserstands- und Abflussmessungen und hat hierbei insbesondere die Anpassung an die hydrologischen Extreme zum Ziel.

Durch die Modelle wird auf verschiedenen Bezugsebenen – Gewässer, Teileinzugsgebiet, Gesamteinzugsgebiet – das Verständnis über die Entwicklung des Wasserhaushalts der letzten zehn Jahre und der zugrunde liegenden Prozesse erheblich verbessert und damit eine Voraussetzung für die Analyse zukünftiger Klima- und Landnutzungsszenarien geschaffen. Im weiteren Verlauf des Projekts werden die entwickelten Modelle genutzt, um die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen und Landmanagementstrategien auf die Widerstandsfähigkeit gegenüber klimabedingten Extremen zu ermitteln. Dabei wird SWAT+ insbesondere für die Untersuchung des Regionalisierungspotentials von flächenwirksamen Maßnahmen genutzt. Die Modelle stellen damit die hydrologischen Entscheidungsgrundlagen für die Auswahl von Maßnahmen zur Umsetzung bereit.

## Literatur

- Bieger, Katrin; Arnold, Jeffrey G.; Rathjens, Hendrik; White, Michael J.; Bosch, David D.; Allen, Peter M. et al. (2017): Introduction to SWAT+, A Completely Restructured Version of the Soil and Water Assessment Tool. In: JAWRA Journal of the American Water Resources Association 53 (1), S. 115–130. DOI: 10.1111/1752-1688.12482.
- Hydrotec (2022): NASIM 5.3.4 Benutzerdokumentation, Stand August 2022. Aachen.
- König, Christoph M.; Becker, Martin; Brömme, Katrin; Diehl, Annette; König, Timo; Rosen, Britta; Rüber, Otto; Schröder, Simon; Seidel, Torsten; Zimmermann, Christian (2022): SPRING Benutzerhandbuch. SPRING-Version 6. Stand September 2022. ISBN 978-3-00-073433-5. Witten.



# Radarbasierte Bemessungsniederschläge zur konsistenten und räumlich-expliziten Einordnung vergangener und aktueller Niederschlagsereignisse mittels Starkregenindex

Andreas Hänsler<sup>1</sup>, Markus Weiler<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Professur für Hydrologie, Fakultät für Umwelt und natürliche Ressourcen, Universität Freiburg, andreas.haensler@hydrology.uni-freiburg.de

Zur anwenderorientierten Einordnung von Starkregenereignissen wird oftmals ein Starkregenindex (SRI) anstelle von Niederschlagsjährlichkeiten herangezogen, um einfacher Ereignisse verschiedener Dauerstufen vergleichen zu können. Dies ist ein robustes Konzept, wenn einzelne Stationen mit entsprechend langer Zeitdauer betrachtet werden. Anders sieht es allerdings bei flächenhaften Betrachtungen aus. Hier kommt es oftmals zu Inkonsistenzen zwischen den zugrunde liegenden räumlichen Bemessungsniederschlägen (z.B. KOSTRA) und den entsprechenden, zeitlich hochaufgelösten, flächenhaften Niederschlagsprodukten (z.B. Niederschlagsradardaten).

Um diese Inkonsistenzen zu beheben, haben wir, exemplarisch für Baden-Württemberg, ein Verfahren entwickelt, um landesweit räumlich-explizite Bemessungsniederschläge mit Wiederkehrintervallen bis zu 100 Jahren auf Basis der Daten der homogenisierten Radarklimatologie des DWD (RADKLIM) abzuleiten (Haensler & Weiler 2022). Diese Datenbasis erlaubt nun, flächenhaft in einer räumlichen Auflösung von ca. 1km x 1km (RADKLIM Raster), alle vergangenen Niederschlagsereignisse aus RADKLIM im Zeitraum von 2001 bis 2021 für verschiedene Niederschlagsdauerstufen mittels SRI zu klassifizieren. Da der Entwicklung der radarbasierten Bemessungsniederschläge ein Ensemble-Ansatz zugrunde liegt, ist es weiterhin möglich, einen Unsicherheitsbereich auszuweisen und diesen entsprechend bei der Ereignisklassifizierung zu berücksichtigen.

In unserem Beitrag zeigen wir die Entwicklung des radarbasierten Bemessungsniederschlags sowie dessen Anwendung im Hindcast-Modus zur Einordnung vergangener Starkregenereignisse, flächenhaft für Baden-Württemberg. Beispiele hierfür sind u.a. die flächenhaften Darstellungen des SRI des jeweils maximalen Niederschlagsereignisses sowie die Anzahl der Ereignisse über einem gewissen SRI-Schwellenwert inklusive der zugehörigen Unsicherheitsbandbreite.

Weiterhin beschreiben wir mögliche Weiterentwicklungen, um den Ansatz auch im Vorhersagemodus zur nutzerorientierten Warnung vor Starkregenereignissen zu verwenden. Im Zusammenspiel mit einer Radarvorhersage könnten dann flächendeckend in quasi-Echtzeit dauerstufenübergreifend Niederschlagsereignisse mittels SRI klassifiziert und ggf. lokale Warnungen ausgesprochen werden.

## Literatur / References

Haensler, A. and Weiler, M. (2022). Enhancing the usability of weather radar data for the statistical analysis of extreme precipitation events. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 26, 5069–5084. <https://doi.org/10.5194/hess-26-5069-2022>



# Niederschlagsstatistik konvektiver Ereignisse – Methodik zur Bildung und Auswertung einer repräsentativen Stichprobe

Manuel Perschke<sup>1,2</sup>, Ernesto Ruiz Rodriguez<sup>1</sup>, Britta Schmalz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Arbeitsgruppe Starkregen und Sturzfluten, Hochschule RheinMain, Kurt-Schumacher-Ring 18, 65197 Wiesbaden

<sup>2</sup> Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (ihwb), Technische Universität Darmstadt, Franziska-Braun-Straße 7, 64287 Darmstadt

Konvektive Niederschlagsereignisse weisen eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität auf. Sie sind durch kleine Niederschlagsfelder (< 40 km<sup>2</sup>) und kurze Ereignisdauern gekennzeichnet. Mithilfe der zeitlich und räumlich hochaufgelösten Radarniederschlagsdaten RADKLIM-YW des Deutschen Wetterdienstes (Winterrath et al. 2018) können für das gesamte Bundesgebiet Starkniederschlagsereignisse für die relevanten Dauerstufen zwischen 15 und 90 Minuten identifiziert werden. Als Grundlage für eine aussagekräftige Niederschlagsstatistik wird im ersten Schritt eine repräsentative Stichprobe von zeitlich und räumlich unabhängigen Niederschlagsereignissen benötigt. Hierzu werden partielle Serien räumlich aggregierter Dauerstufenmaxima für die einzelnen Rasterzellen des Radarnetzes generiert – 8 oder 24 Nachbarzellen. Durch die Bildung räumlicher Ereignismittelwerte wird zum einen die repräsentative Ausdehnung von konvektiven Niederschlagszellen berücksichtigt sowie besonders hohe Einzelwerte ohne Zellverbund eliminiert. Im nächsten Schritt werden die Ereignislisten für ein gewähltes Untersuchungsgebiet räumlich und zeitlich verschnitten, gruppiert und für jedes Datum ein Ereignismaximum selektiert. Mit Auswahl eines Ereignisses pro Kalenderdatum, kann die meteorologische Unabhängigkeit durch den Tag-Nacht-Wechsel gewährleistet werden. Im letzten Schritt werden den Ereignissen eindeutige Dauerstufen zwischen 15 und 180 Minuten im 15-Minuten-Intervall zugeordnet.

Für die Erstellung der Niederschlagsstatistik werden verschiedene Auswertungsszenarien durchgeführt. Dabei wird der erstellte Ereignis-Datensatz weiter klassifiziert; nach topografischen Gegebenheiten (z. B. Höhenlage) und ergänzenden meteorologischen Parametern (z. B. Wetterlage und Temperatur). Im zweiten Teil der statistischen Auswertung werden verschiedene Methoden und Verteilungsfunktionen (Gumbel, Generalized extreme value (GEV)) auf die Datensätze angewandt und auf ihre Eignung in Bezug auf eine ereignisbezogene, ortsungebundene Niederschlagsstatistik geprüft.

## Literatur

Winterrath, T., Brendel, C., Hafer, M., Junghänel, T., Klameth, A., Lengfeld, K., Walawender, E., Weigl, E., Becker, A. (2018). RADKLIM Version 2017.002: Reprozessierte, mit Stationsdaten angeeichete Radarmessungen (RADOLAN), 5-Minuten-Niederschlagsraten (YW)  
DOI: 10.5676/DWD/RADKLIM\_YW\_V2017.002



## Die CAMELS Deutschland Initiative: ein hydrologischer Datensatz für eine Vielzahl von Einzugsgebieten

Ralf Loritz<sup>1</sup>, Michael Stölzle<sup>2</sup>, Björn Guse<sup>3</sup>, Mirko Mälicke<sup>1</sup>, Larissa Tarasova<sup>5</sup>, Ingo Heidbüchel<sup>4</sup>, Pia Ebeling<sup>5</sup>, Corina Hauffe<sup>7</sup>, Sibylle Haßler<sup>1</sup>, Hannes Müller-Thomy<sup>8</sup>, Florian Ulrich Jehn<sup>9</sup>, Jonas Götte<sup>10</sup>, Kumar Rohini<sup>5</sup>, Jens Kiesel<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Karlsruher Institute für Technologie (KIT), <sup>2</sup> Universität Freiburg, <sup>3</sup> Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ), <sup>4</sup> Universität Bayreuth, <sup>5</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), <sup>6</sup> Universität Kiel, <sup>7</sup> Technische Universität Dresden, <sup>8</sup> Technische Universität Braunschweig, <sup>9</sup> Universität Gießen, <sup>10</sup> Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

Die Datenspeicher füllen sich, aber noch immer gibt es keinen gesamtdeutschen Datensatz für Abflüsse und Einzugsgebiete. Das wollen wir ändern, wir, das ist die CAMELS-DE Initiative. CAMELS steht für „Catchment Attributes and MEteorology for Large-sample Studies“, und CAMELS-Datensätze haben sich in den letzten Jahren innerhalb der hydrologischen Gemeinschaft als konsistente, umfassende, möglichst vollständige Datensätze für hydro- und meteorologische Analysen in Einzugsgebieten etabliert. Solche einzugsgebietsbasierten Datensätze werden zumeist für ganze Länder zusammengestellt (verfügbar in den USA, Großbritannien, Australien, Brasilien, Chile, usw.). Während für andere Länder die jeweiligen CAMELS-Datensätze bereits intensiv für Forschung, Lehre und in der wasserwirtschaftlichen Praxis genutzt werden, gibt es einen solchen Datensatz trotz des umfangreichen hydrologischen Messnetzes in Deutschland bisher noch nicht. Aus diesem Grund gründete sich Ende 2021 die CAMELS-DE Initiative. Ziel der Initiative ist es, eine verbesserte Verfügbarkeit hydro-meteorologisch-relevanter Daten in Deutschland sowohl für die nationale, aber auch für die internationale hydrologische Gemeinschaft zu schaffen. Im letzten Jahr wurden in einer großen Kraftanstrengung, zahllosen Emails, Telefonaten und Twitter-Konversationen alle relevanten hydrologischen Rohdaten aus den 16 Bundesländern durch die Initiative zusammengetragen. Die Datensätze der verschiedenen Landesämter liegen im Moment in unterschiedlicher Qualität und zahlreichen Formaten vor. Dies bedeutet, dass jeder Datensatz aus jedem Bundesland individuell ggf. mit Rücksprache aufgearbeitet werden muss. Trotz dieser Herausforderungen sind die Mitglieder der Initiative optimistisch, dass CAMELS-DE im Jahr 2023 publiziert werden kann. Hier möchten wir einen Überblick über den aktuellen Stand und den vorliegenden Datensatz geben und freuen uns auf den Austausch!



# Monitoring und Analyse hydrologischer Dürreereignisse in einem mesoskaligen Einzugsgebiet

Amelie Herzog<sup>1</sup>, Jost Hellwig<sup>1</sup>, Kerstin Stahl<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Freiburg, Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Freiburg im Breisgau, amelie.herzog@hydrology.uni-freiburg.de

Ein teilweise oder vollständiges Trockenfallen von Gewässerabschnitten als Ausprägung hydrologischer Dürre wurde in der Vergangenheit in Einzugsgebieten mit gemäßigttem Klima nur selten beobachtet. Das Austrocknen von Flussabschnitten kann enorme Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit, -qualität und das aquatische Ökosystem haben. Da hydrometrische Daten häufig nur für meso-skalige oder größere, perennierende Flüsse verfügbar sind, fehlt es am Verständnis der zeitlichen und räumlichen Dynamik des Austrocknens besonders in Flussabschnitten im Oberlauf größerer Einzugsgebiete. Der Fluss Dreisam im Südwesten Deutschlands wird von einem schnell-reagierenden hydrologischen System mit hohen Abflusssdynamiken gespeist. In den extremen Dürrejahren von 2015, 2018, 2019 und auch zuletzt in 2022 fielen Haupt- und Nebenflüsse zeitweise trocken während am Pegel am Gebietsauslass in Freiburg-Ebnet gleichzeitig noch Abflüsse gemessen wurden. Mehrere Zuflüsse fallen auch in Jahren mit durchschnittlicher Feuchtigkeit trocken, mit Konsequenzen für verschiedene Nutzungen. Ein longitudinales, flexibles Monitoringsystem (20 Stationen) zur Messung des Trockenfallens wurde 2019 im Bereich des alluvial verfüllten Dreisamtals (~24 km<sup>2</sup>) oberhalb der Stadt Freiburg im Breisgau installiert. Die Ergebnisse bilden das longitudinale Trockenfallen an den Zuflüssen zur Dreisam im Jahr 2020 ab, wobei insbesondere im nördlichen Teil des Einzugsgebiets eine starke Variabilität des Trockenfallens festgestellt wurde (Herzog et al., 2022). Mit den erhobenen Daten für 2020 wurde nun eine Modellierung des Trockenfallens der Zuflüsse im Einzugsgebiet der Dreisam basierend auf einer Kopplung des Niederschlag-Abfluss Modells RoGer mit dem Grundwassermodell Modflow validiert. Eine erste Analyse dieser Modellergebnisse ermöglicht die Bestimmung von Gewässerabschnitten mit besonders starker Oberflächen-Grundwasser-Interaktion. Der Beitrag zeigt das Potential einer solchen Modellierung für ein Dürre-Management und bewertet modelltechnische Herausforderungen und Unsicherheiten wie die Berücksichtigung von Wasserentnahmen.

## Literatur / References

Herzog, A., Stahl, S., Blauhut, V., Weiler, M. (2022). Measuring zero water level in stream reaches: A comparison of an image-based versus a conventional method. In: *Hydrological Processes* 2022;36:e14658. <https://doi.org/10.1002/hyp.14658>.



# Anwendung von Partikel Tracking Velocimetry (PTV) zur Bestimmung von Durchflussganglinien

André Kutscher<sup>1</sup>, Jens Grundmann<sup>1</sup>, Anette Eltner<sup>2</sup>, Xabier Blanch<sup>2</sup>, Ralf Hedel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Dresden, Professur für Hydrologie, 01062 Dresden, [andre.kutscher1@tu-dresden.de](mailto:andre.kutscher1@tu-dresden.de),

<sup>2</sup> Technische Universität Dresden, Juniorprofessur für Geosensorsysteme, 01062 Dresden

<sup>3</sup> Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI, Zeunerstraße 38, 01069 Dresden

Die genaue Erfassung von Hochwasserereignissen ist verbunden mit vielen Herausforderungen. Zu denen zählt unter anderem die Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten für die Ableitung des resultierenden Durchflusses. Die meisten der angewandten Methoden zur Geschwindigkeitsbestimmung funktionieren nur in direktem Kontakt mit Wasser. Dies macht das Messen unter kritischen Bedingungen oftmals sehr gefährlich. Optische Messmethoden haben einen großen Vorteil, da sie kontaktlos funktionieren.

Die Grundvoraussetzung für repräsentative Durchflussmessungen sind Fließgeschwindigkeitsmessungen über die gesamte Breite des Fließquerschnitts. Dies stellt bei der Anwendung von PTV eine große Herausforderung dar, denn hierfür müssen sichtbare Partikel über den gesamten Fließquerschnitt vorhanden sein, was in der Natur nicht immer gegeben ist. Die daraus resultierenden Messlücken in der Oberflächengeschwindigkeitsverteilung wirken sich negativ auf die Güte der Durchflussbestimmung aus. Da optische Messmethoden relativ neu in der Hydrologie sind, gibt es noch kein standardisiertes Verfahren, mit dem der Durchfluss bestimmt werden kann.

Die hier vorgestellte „OptiQ“-Methode ist ein Ansatz für die Bestimmung des Durchflusses mittels PTV. Diese Methode basiert auf dem Kontinuitätsgesetz, welches von zwei Variablen abhängig ist, der Fließfläche und der mittleren Fließgeschwindigkeit. Hierbei ist die Herausforderung die mittlere Fließgeschwindigkeit zu ermitteln, denn mit PTV wird die Oberflächengeschwindigkeit bestimmt. Für die Ableitung der mittleren Fließgeschwindigkeiten werden die PTV-Ergebnisse über einen Transekt gemittelt und mit Hilfe eines Geschwindigkeitsquotienten umgerechnet. Als Mittelungsmethoden werden das arithmetische Mittel, das Geschwindigkeitsflächenverfahren (DIN EN ISO 748:2008-02) und der gleitende Mittelwert betrachtet. Für die Schließung aufgetretener Messlücken in der Geschwindigkeitsverteilung wurde ein statistischer Ansatz gewählt. Bei diesem Ansatz werden in der gesamten Zeitreihe die Messergebnisse mit ähnlichen Abflussverhältnissen statistisch analysiert, gefiltert und in einer Datenbank zusammengefasst. Die Lücken in den Messungen, die aufgrund von fehlenden Partikeln entstanden sind, werden mit den Daten aus der Datenbank gefüllt.

Für die Datenerhebung wurden drei Kamerapegel an regulären Messpegeln der staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft in Sachsen (BfUL) installiert. Die Kamerapegel zeichneten in regelmäßigen Zeitabschnitten kurze Filmsequenzen auf, die unter Anwendung des FlowVelo-Tools (ELTNER ET AL., 2020), zur Bestimmung der Geschwindigkeitsverteilungen genutzt wurden. Hieraus resultieren drei Zeitreihen die einen Zeitraum von 10-15 Monate abdecken. Zur Validierung der optischen Durchflusszeitreihen werden die regulären Wasserstands- und Durchflussmessungen der BfUL verwendet.

Die Anwendung von „OptiQ“ zeigt an allen drei Pegelstandorten eine signifikante Anpassung der optisch bestimmten Durchflussdaten an die Referenzmessung. Während mit dem arithmetischen Mittel nur bei



erhöhten Durchflüssen akzeptable Ergebnisse bestimmt wurden, sind die Ergebnisse mit dem Geschwindigkeitsflächenverfahren und dem gleitenden Mittelwert bei allen Durchflüssen ähnlich gut. Am Pegel Elbersdorf konnte mit „OptiQ“ die durchschnittliche Abweichung zum Referenzwert von 29% auf 15% reduziert werden. Im nächsten Schritt ist es geplant das statistische Modell „OptiQ“ durch Einsatz von Deep Learning weiterzuentwickeln.

## Literatur / References

- DIN EN ISO 748:2008-02, Hydrometrie - Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Fließgeschwindigkeitsmessgeräten oder Schwimmern (ISO 748:2007)
- Eltner, A., Sardemann, H., Grundmann, J.: Technical Note: Flow velocity and discharge measurement in rivers using terrestrial and unmanned-aerial-vehicle imagery. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 24, 1429–1445, 2020



# Möglichkeiten und Herausforderungen der Weiterentwicklung des RADOLAN-Verfahrens

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

<sup>1</sup> Abteilung Hydrometeorologie, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland

<sup>2</sup> Institut für Geographie, Universität Augsburg, Augsburg, Deutschland

<sup>3</sup> Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruher Institut für Technologie, Campus Alpin, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland

Extreme Niederschlagsereignisse stellen für den Katastrophenschutz sowie die Stadt- und Raumplanung eine enorme Herausforderung dar. Nicht zuletzt das verheerende Hochwasser in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz im Juli 2021 hat in dramatischer Weise gezeigt, wie vulnerabel unsere Gesellschaft gegenüber extremen Wetterereignissen ist. Darüber hinaus deuten Klimaprojektionen darauf hin, dass sich die Anzahl und Intensität von Starkregenereignissen in Zukunft weiter erhöhen könnten. Insbesondere die Erfassung solcher Extremereignisse stellt derzeit eine besondere Herausforderung dar.

Aus diesem Grund wurde im Zuge der Bekanntmachung „KMU-innovativ: Forschung für die zivile Sicherheit“ des BMBF im Rahmen des Programms „Forschung für die zivile Sicherheit“ der Bundesregierung das Projekt HoWa-PRO ins Leben gerufen. In diesem Projekt geht es um die Nutzung innovativer Methoden der Niederschlagsmessung und -vorhersage im Einsatz für die Hochwasserfrühwarnung in kleinen Einzugsgebieten.

Für die operationelle Niederschlagsbestimmung wird seit 2001 das RADOLAN-Verfahren des DWDs verwendet. Zur Aneichung der Wetterradare werden derzeit zu Stundensummen aggregierte Ombrometerdaten aus dem Bodenstationsnetz des DWDs verwendet. Kurz andauernde, konvektive Niederschlagsereignisse können daher bislang nicht detailliert erfasst werden. Weiter lassen die geographisch lokalen Niederschlagsmessungen der Bodenstationen eine sehr gute Erfassung stratiformer Ereignisse zu, sind aber für die Erfassung kleinzelliger Ereignisse nur unzureichend verteilt.

Zum Erreichen einer höheren Zeit- und Ortsauflösung müssen weitere Daten bzw. Datenquellen hinzugenommen werden. Opportunistische Daten von Richtfunkstrecken (CML, engl.: Commercial Microwave Link) aus dem Telekommunikationsnetz bieten die Möglichkeit, die pfadgemittelte Regenmenge in Echtzeit mit hoher zeitlicher Auflösung ( $\leq 1$  Minute) zu bestimmen (z. B. Chwala and Kunstmann 2019). Dabei übertrifft die Anzahl der Richtfunkstrecken in Deutschland (insgesamt circa 130.000 CMLs, davon zunächst circa 4.000 CMLs im Projekt nutzbar) die Anzahl der Bodenstationen. So bieten CMLs einen vielversprechenden Ansatz, die Präzision bei der Erfassung von Starkregenereignissen zu verbessern. Grundlegende Untersuchungen und erste Ergebnisse einer Aneichung mit CMLs werden in einem Beitrag der Universität Augsburg von Graf et al. präsentiert.

Die 17 Radare des DWDs führen im Fünf-Minuten-Takt einen deutschlandweiten Niederschlagsscan durch. Diese Datenpakete lassen in Kombination mit den minütlich übertragenen CML-Daten ein wesentlich kürzeres Aneichungsintervall des Radar-Komposits zu. Somit werden quantitative Niederschlagsprodukte im Fünf- oder Zehn-Minuten-Intervall denkbar. Diese sollen im Laufe des Projekts erzeugt und validiert werden. Nach erfolgreicher Verifikation ist eine Überführung in die operationelle Produktion am DWD geplant.



Dabei gibt es einige Herausforderungen, die im Rahmen des Projektes gelöst werden müssen. Zunächst muss die zeitnahe CML-Datenlieferung vom Funknetzbetreiber zum DWD installiert werden. Aus fachlicher Sicht gilt es, eine robuste und trotzdem flexible Multisensor-Radaraneichung als Weiterentwicklung des RADOLAN-Verfahrens zu entwickeln, die in der Lage ist, Radardaten mit CML-Daten und Stationsdaten zeitnah zu kombinieren und eventuell zukünftig weitere Datenquellen verarbeiten kann. Dabei muss mit heterogenen Daten umgegangen werden. Heterogen in zweierlei Hinsicht, zum einen in Bezug auf die zeitliche Auflösung und auch zeitliche Übertragungsrate und zum anderen in Bezug auf die Ortsauflösung der Messdaten. Die Heterogenität muss durch ein fachlich begründetes Mapping der Daten ausgeglichen werden.

In diesem Beitrag sollen die neuen Möglichkeiten und Herausforderungen präsentiert werden, die sich durch die Hinzunahme von CML-Daten für die Weiterentwicklung des RADOLAN-Verfahrens in Bezug auf die zeitlich und räumlich hochaufgelöste Niederschlagsmessung ergeben.

## **Literatur / References**

Chwala, C. and Kunstmann, H., 2019: Commercial microwave link networks for rainfall observation: Assessment of the current status and future challenges. *Wiley Interdiscip. Rev. Water* 6, e1337



# Das LAWA-Starkregenportal zur Dokumentation von historischen Starkregenereignissen aus Radardaten seit 2001

Thomas Einfalt<sup>1</sup>, Alrun Jasper-Tönnies<sup>2</sup>, Benjamin Mewes<sup>3</sup>, Marcel Alderlieste<sup>4</sup>

<sup>1</sup>hydro & meteo GmbH, Lübeck, einfalt@hydrometeo.de

<sup>2</sup>hydro & meteo GmbH, Lübeck, jasper-toennies@hydrometeo.de

<sup>3</sup>Okeanos GmbH, benjamin.mewes@okeanos.ai

<sup>4</sup>HydroLogic B.V., marcel.alderlieste@hydrologic.com

Radarniederschlagsdaten sind eine wichtige Datenbasis, um Starkregenereignisse zu bewerten und um sie weitergehend auszuwerten. Ein einfacher Zugang zu den Radardaten war bislang auf Fachnutzer beschränkt. Aufbauend auf der HydroNET-Datenbank, die in NRW im Jahr 2017 in Betrieb ging (Strehz et al., 2019), und der CatRaRE-Datenbank des Deutschen Wetterdienstes DWD aus 2018 (Lengfeld et al., 2021) initiierte die LAWA mit ihrer Starkregendokumentation eine Pilotanwendung für einen einfachen und unbeschränkten Zugang zu diesen Informationen.

Die HydroNET-Datenbank für frei wählbare Punkte und Gebiete ermittelt, ob seit 2001 Starkregenereignisse stattgefunden haben. Diese Prüfungen werden für 12 Dauerstufen (5 Minuten bis 6 Tage) durchgeführt und die Ereignisse im Anschluss visuell als Zeitreihe, als Bildfolge und als Daten zugänglich gemacht.

Die CatRaRE-Datenbank (Lengfeld et al., 2022) baut auf einem objektorientierten Ansatz auf, in dem Niederschlagsgebiete mit Mengen oberhalb der Warnstufe 3 des DWD als relevante Ereignisse angesehen und charakterisiert werden. Die Ereignisseigenschaften umfassen mittlere und maximale Niederschlagsmenge, die betroffene Fläche, den Starkregenindex und weitere Informationen. Die Datenbasis bildet der RADKLIM Datensatz des DWD (Winterrath et al., 2018).

Für das LAWA-Starkregenportal werden beide Datenbanken in Kombination verwendet, wodurch ein leistungsfähiges webbasiertes Werkzeug entsteht. Der Schwerpunkt liegt auf der Dokumentation der Starkregenereignisse und dem Zugänglichmachen der Informationen in folgender Weise:

- Ereignisauswahl: Die Ereignisauswahl der Ereignisse aus CatRaRE wird mit einer Tabelle und einer Karte durchgeführt, die nebeneinander auf dem Bildschirm platziert sind und eine Auswahl eines Ereignisses aus der Tabelle (Datum und Ort) bzw. Karte (Punktsymbol) erlauben.
- Ereignispräsentation: ein ausgewähltes Ereignis kann nun als Radarsumme in der gewählten Dauerstufe dargestellt werden, zusammen mit seinen Eigenschaften wie Ausdehnung (Grenze wird dargestellt), Maximum, etc. Daneben wird eine Zeitreihe dargestellt als Summenlinie und in Blockform für jedes beliebige Pixel des Ereignisses. Hier werden die zugehörigen Daten aus der HydroNET-Datenbank bezogen und können heruntergeladen werden.
- Ereignisanalyse: Die objektorientierte Datenbank bietet aus der Vorauswertung der Ereignisse eine Reihe von Zusatzinformationen wie den Topographical Positioning Index, der Informationen zur jeweiligen Topografie bietet, oder die Wiederkehrhäufigkeit und den Starkregenindex. Darüber sind dann weitergehende Auswertungen möglich.



- Suche von Ereignissen in einem Gebiet: Die Suchfunktion von Ereignissen an einem Ort, die aus HydroNET stammt, erlaubt Aussagen zur bisherigen Häufigkeit seit 2001 von Starkregenereignissen für jeden beliebig auswählbaren Ort.

Darüber hinaus gibt es weitere Funktionen für die Auswertung und visuelle Darstellung des Ereignisverlaufs. Informationen für eine geeignete Vorsorge sowie Links zu weitergehenden Informationen und Länderportalen vervollständigen das Informationsangebot.

Das beschriebene Webportal eignet sich für verschiedene Anwendungen, z. B. für Analysen zur Häufigkeit und zur räumlichen Verteilung von Starkregen und zur Bereitstellung von Daten aus vergangenen Ereignissen für eine hydrologische Simulation. Darüber hinaus lassen sich auch kleinräumige Besonderheiten (z.B. schmale Täler oder Quelleinzugsgebiete) untersuchen.

Derzeit ist die LAWA-Starkregendokumentation verfügbar über die LAWA-Projektgruppe.

## Literatur / References

Lengfeld, K., Walawender, E., Winterrath, T., Becker, A. (2021). CatRaRE: A Catalogue of radar-based heavy rainfall events in Germany derived from 20 years of data. Meteorologische Zeitschrift Vol. 30 No. 6 (2021) , p. 469 - 487.

Lengfeld, Katharina; Walawender, Ewelina; Winterrath, Tanja; Weigl, Elmar; Becker, Andreas: Starkregenereignisse Version 2022.01 mit Überschreitung der DWD-Warnstufe 3 für Unwetter basierend auf RADKLIM-RW Version 2017.002, Parameter und Polygone der Starkregenereignisse in Deutschland. Version v2022.01, 2022, Deutscher Wetterdienst, DOI:10.5676/DWD/CatRaRE\_W3\_Eta\_v2022.01.

Strehz, A., Einfalt, T., Alderlieste, M. (2019) HydroNET-SCOUT – Ein Webportal zum Zugriff auf qualitätsgeprüfte Niederschlagsdaten. Tag der Hydrologie 28./29.3.2019, Karlsruhe; [www.hydro-net-scout.de](http://www.hydro-net-scout.de)

Winterrath, Tanja; Brendel, Christoph, Hafer, Mario; Junghänel, Thomas; Klameth, Anna; Lengfeld, Katharina; Walawender, Ewelina; Weigl, Elmar; Becker, Andreas (2018): RADKLIM Version 2017.002: Reprozessierte, mit Stationsdaten angeeichte Radarmessungen (RADOLAN), 5-Minuten-Niederschlagsraten (YW) DOI: 10.5676/DWD/RADKLIM\_YW\_V2017.002



## **Detailkartierung in einem Kopfeinzugsgebiet der Ahr nach dem Hochwasser im Juli 2021**

Ulrich Steinrücken<sup>1</sup>, Thorsten Behrens<sup>1</sup>, Norbert Demuth<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Soilution Dr. Steinrücken und Dr. Behrens GbR., Illinger Straße 115, 66265 Heusweiler

<sup>2</sup> Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz, Kaiser-Friedrich-Straße 7, 55116 Mainz

Wenige Tage nach dem extremen Hochwasser an der Ahr im Juli 2021 erfolgten bodenhydrologische Kartierarbeiten im Kopfeinzugsgebiet des Bröhlinger Baches im Norden von Rheinland-Pfalz mit dem Ziel, das Abflussgeschehen fernab der Überflutungsbereiche in einem Bereich mit hoher Niederschlagsmenge zu dokumentieren.

Spuren von Abfluss konnten in allen untersuchten Reliefpositionen von der Kuppe bis zum Gerinne festgestellt werden. Hierbei sind auch Bereiche, in der Bodenhydrologischen Karte 2018 als "nicht-beitragende" Flächen ausgewiesen waren, abflusswirksam geworden. Deutliche Merkmale von Oberflächenabfluss sind unter Laubwald mit dichtem Kronenschluss, spärlicher Bodenvegetation und aus Laubblattresten aufgebauter Moderauflage, Grünlandbeständen bei großer Hangneigung und Wegflächen gefunden worden. In Bezug auf die Konnektivität von Flächen konnte die besondere Rolle von Wegflächen dokumentiert werden, auf denen flächiger Abfluss gebündelt und in konkaven Strukturen konzentriert den Bächen zugeführt wurde. In den Tiefenbereichen der Bäche kam es als Folge zu massiven Abschwemmungen und Eintiefungen, außerhalb der Gerinne wies das Abflussgeschehen kaum Merkmale von Bodenerosion auf. Verschwemmt wurden unter Waldnutzung vornehmlich Auflagenmaterial. Ackerflächen mit ausgeprägtem Schadensbild traten nicht auf.



# Sensitivität des Wasserhaushalts in Sachsen auf klimatische Änderungen

Corina Hauffe<sup>1</sup>, Sofie Pahner<sup>1</sup>, Clara Brandes<sup>1</sup>, Kan Lei<sup>1</sup>, Udo Mellentin<sup>2</sup>, Niels Schütze<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Dresden, Professur für Hydrologie, corina.hauffe@tu-dresden.de

<sup>2</sup>Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen udo.mellentin@smekul.sachsen.de

Einzugsgebiete (EZG) in Sachsen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer physiographischen Eigenschaften (Topographie, Geomorphologie, Geologie, Landnutzung, Böden usw.) und ihrer klimatischen Berandung. Beide Faktoren beeinflussen das Durchflussverhalten und die anderen Komponenten des Wasserhaushalts (WHH) von Einzugsgebieten. Wie sensitiv der WHH in einzelnen EZG auf die aktuellen und zukünftigen Veränderungen der klimatischen Randbedingungen reagiert, ist im konkreten Einzelfall schwer vorherzusagen und mit großen Unsicherheiten verbunden. In Sachsen führte die ausgeprägte Trockenheit im Grund- und Oberflächenwasser der Jahre 2018 bis 2020 regional zu erheblichen Problemen bei Wasserversorgung und Wasserqualität. Trends und Entwicklungen des beobachteten Durchflusses sowie durch Ganglinienseparation abgeleiteter Größen (z.B. Basisabfluss) wurden bereits in einer 2015/16 durchgeführten Sensitivitätsstudie (Schwarze et al. 2017) untersucht. Die Fortsetzung und Erweiterung dieser Auswertungen mit aktuellen Beobachtungsdaten bis 2020 steht im Mittelpunkt der Untersuchungen. Es sind folgende Fragen von Interesse: (1) Reagieren Einzugsgebiete in Sachsen bereits auf die sich ändernden klimatischen Bedingungen? (2) Welche Gebiete weisen die größten Änderungen im Durchflussverhalten gegenüber anderen Komponenten des WHH auf? (3) Was sind die Faktoren und Treiber der Änderungen des WHHs in sächsischen EZG? Ausgehend von Beobachtungsdaten für Niederschlag, Temperatur und Durchfluss im Zeitraum 1961 bis 2020 in Sachsen wird daher eine umfangreiche Sensitivitätsanalyse von WHH-Daten durchgeführt. Im Ergebnis kann für nahezu alle 88 untersuchten Einzugsgebiete Sachsens ein abnehmender Trend für den mittleren Durchfluss aufgezeigt werden. Dieser Trend ist in den Mittelgebirgsregionen stärker ausgeprägt als in den tieferen Lagen Sachsens. Die mittleren Jahresniederschläge nehmen im Zeitraum 1961-2020 sogar geringfügig zu, weisen aber eine veränderte innerjährliche Verteilung auf. Die Temperaturerhöhung von 1991-2020 gegenüber 1961-1990 beträgt in allen EZG ca. 1 °C, was zu einer Erhöhung der Evapotranspiration, verringerten Durchflüssen und Grundwasserneubildungsraten führt.

## Literatur / References

Schwarze, R., Wagner, M. und Röhm, P. (2017). Anpassungsstrategien an den Klimawandel - Analyse der Sensitivität von Wasserhaushaltsgrößen sächsischer Pegelinzugsgebiete bezüglich des ab 1988 gegen über dem Referenzzustand von 1961-1987 erhöhten Temperaturniveaus. Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), 2017. Unveröffentlichter Endbericht.



# KliMaWerk.Wasser:Landschaft – Nachhaltige Bewirtschaftung des Landschaftswasserhaushaltes zur Erhöhung der Klimaresilienz: Management und Werkzeuge

Nicolai Bätz<sup>1</sup>, Nadine Gerner<sup>1</sup>, Ulf Stein<sup>2</sup>, Uwe Koenzen<sup>3</sup>, Oliver Buchholz<sup>4</sup>, Christoph M. König<sup>5</sup>, Nicola Fohrer<sup>6</sup>, Daniel Hering<sup>7</sup>, Mario Sommerhäuser<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lippeverband, Abteilung Fluss und Landschaft, [baetz.nicolai@eglv.de](mailto:baetz.nicolai@eglv.de), [gerner.nadine@eglv.de](mailto:gerner.nadine@eglv.de), [sommerhaeuser.mario@eglv.de](mailto:sommerhaeuser.mario@eglv.de)

<sup>2</sup> Ecologic Institut gemeinnützige GmbH, [ulf.stein@ecologic.eu](mailto:ulf.stein@ecologic.eu)

<sup>3</sup> Planungsbüro Koenzen, [koenzen@planungsbuero-koenzen.de](mailto:koenzen@planungsbuero-koenzen.de)

<sup>4</sup> Hydrotec Ingenieurgesellschaft mbH, [oliver.buchholz@hydrotec.de](mailto:oliver.buchholz@hydrotec.de)

<sup>5</sup> delta-h Ingenieurgesellschaft mbH, [ck@delta-h.de](mailto:ck@delta-h.de)

<sup>6</sup> Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, [nfohrer@hydrology.uni-kiel.de](mailto:nfohrer@hydrology.uni-kiel.de)

<sup>7</sup> Universität Duisburg-Essen, Abteilung Aquatische Ökologie, [daniel.hering@biologie-uni-due.org](mailto:daniel.hering@biologie-uni-due.org)

Im voranschreitenden Klimawandel werden langanhaltende Trockenperioden mit hohen Temperaturen und wenig Niederschlag vermehrt auftreten. Geringe Abflüsse, trockenfallende Gewässer, ausgetrocknete Böden und lokal sinkende Grundwasserstände sind in den Daten des LANUV (2022) und im Dürremonitor des Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (Marx 2022) für die Sommermonate der zurückliegenden Jahre bereits nachweisbar. Aber auch in den Wintermonaten reicht der Niederschlag oft nicht aus, um vorangegangene Defizite auszugleichen. Darüber hinaus besteht bei lokal auftretenden Starkregenereignissen die Gefahr von Überschwemmungen, bei denen das Niederschlagswasser von ausgetrockneten Böden und versiegelten Flächen nicht aufgenommen werden kann. Als Konsequenz werden Abwasserinfrastruktur und die nicht selten begradigten Gewässer überlastet.

Die beiden Extreme Starkregen und Trockenheit haben aus ökologischer und hydrologischer Sicht sowohl Folgen für die Gewässer als auch den gesamten Landschaftswasserhaushalt. Bei niedrigen Wasserständen verkleinern sich Lebensräume, heizt sich das Wasser auf, der Sauerstoffgehalt sinkt und Schadstoffkonzentrationen steigen. In ausgetrockneten Bächen können nur wenige auf Trockenzustände spezialisierte Arten überdauern. Hohe Abflüsse und Fließgeschwindigkeiten in Folge von starken Niederschlägen führen in ausgebauten, naturfernen Gewässern zu hydraulischem Stress. Die gesellschaftlichen Auswirkungen sind ebenfalls erheblich. Fehlendes Wasser in Gewässern, Böden und Grundwasser bedeutet fehlendes Wasser zur Nutzung in der Landwirtschaft, für Trinkwasser, Industrie und Gewerbe. Nutzungskonflikte sind hier vorprogrammiert. Überschwemmungen verursachen mindestens wirtschaftliche Schäden sowohl im urbanen als auch ländlichen Raum.

Das vom BMBF geförderte Forschungsprojekt KliMaWerk.Wasser:Landschaft erforscht Maßnahmen und Managementstrategien zur Erhöhung der Resilienz von Gewässern und des Landschaftswasserhaushalts gegenüber Trockenheit und Starkregen. Die Wirkungen der Maßnahmen werden dabei ganzheitlich betrachtet. Sowohl der ländliche als auch der städtische Raum werden von der lokalen Ebene im und am Gewässer, über ganze Bachsysteme, bis hin zum gesamten Einzugsgebiet der Lippe in Nordrhein-Westfalen betrachtet. Ökologische Untersuchungen richten den Blick auf Lebensraum, Artenvielfalt sowie



Ökosystemfunktionen. Die Kopplung des Grundwassermodells SPRING mit dem hydrologischen Modell NASIM ermöglicht eine umfassende hydrologische Bewertung von Maßnahmen unter der Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien. Mittels des ökohydrologischen Modells SWAT+ werden die Potentiale zur Hochskalierung in das gesamte Lippeeinzugsgebiet eruiert. Interessenvertreter aus Landwirtschaft, Naturschutz, Verwaltung und Wasserwirtschaft werden aktiv einbezogen, um geeignete Maßnahmen zu diskutieren, Wirkungen zu validieren und die vielfältigen Ökosystemleistungen einer nachhaltigen Gewässerbewirtschaftung darzustellen.

Das Projektziel ist die Stärkung von Gewässern und des Landschaftswasserhaushalts gegenüber den Folgen des Klimawandels, um den gesellschaftlichen und ökologischen Mehrwert zu erhalten und zu fördern. Als Planungsinstrument soll ein Maßnahmen-Werkzeugkasten entwickelt werden. Zudem werden konkrete Empfehlungen zum Umgang mit Trockenheit und Niedrigwasser erarbeitet. Diese Produkte sollen eine klimaresiliente nachhaltige Bewirtschaftung ermöglichen und können direkt für die praktische Umsetzung verwendet werden.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert das Verbundprojekt „KliMaWerk“ (Laufzeit 2022-2025) als Teil der Fördermaßnahme „Wasserextremereignisse (WaX)“ im Rahmen des Bundesprogramms „Wasser: N“ (Teil der BMBF-Strategie „Forschung für Nachhaltigkeit (FONA)“).

## Literatur

- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (2022). Berichte zur hydrologischen Situation in Nordrhein-Westfalen. <https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/wasser/hydrologische-berichte>, abgerufen: 05.01.2023.
- Marx, A. (Helmoltz Zentrum für Umweltforschung) (2022). Dürremonitor Deutschland. <https://www.ufz.de/index.php?de=37937>, abgerufen: 05.01.2023.



# Einfluss von Kenngrößen auf die Bestimmung des abflusswirksamen Niederschlags und der Infiltration

Lidia Nersissian<sup>1</sup>, Britta Schmalz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung, Franziska-Braun-Straße 7, 64287 Darmstadt, [L.Nersissian@ihwb.tu-darmstadt.de](mailto:L.Nersissian@ihwb.tu-darmstadt.de)

Extremereignisse wie Starkregen und Dürre treten aufgrund des Klimawandels immer häufiger auf. Daher ist die Abschätzung der Abflussbildung in der Hydrologie eine wichtige Bemessungsgröße, um Managementstrategien für den Hochwasserschutz abzuleiten. Ein bereits bewährtes Verfahren für die Bestimmung des abflusswirksamen Niederschlags ist das Curve-Number-Verfahren des amerikanischen Soil Conservation Services (SCS). In einer ersten Studie wurde der Einfluss von ausgewählten Kenngrößen auf die Berechnung des abflusswirksamen Niederschlags sowie der Infiltration nach der modifizierten Form von Kleeberg & Overland (1989) untersucht. Als Studiengebiet wurde hierfür das Mittelgebirgseinzugsgebiet Fischbach (36 km<sup>2</sup>) in Südhessen ausgewählt. Das Verfahren ist gut umsetzbar aufgrund der vorhandenen Daten zur Landnutzung, Boden und Topographie, sowie Niederschlagsdaten von der Wetterstation des Fachgebiets Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung an der TU Darmstadt. Als Niederschlagsdaten wurden nur Starkregenereignisse mit den Warnstufen 2 und 3 nach der DWD-Einstufung ausgewählt. Die Landnutzung wurde systematisch durch Variation der Ackerkulturen verändert. Somit konnten die ermittelten abflusswirksamen Niederschläge und die Infiltrationsmenge zum besseren Verständnis der Parameterzusammenhänge führen. In einer zweiten Studie wurde die Infiltration in die oberste Bodenschicht simuliert. Dafür wurden Infiltrationsraten in Feldversuchen für ausgewählte Böden im Studiengebiet bestimmt und Bodenkennwerte aus Bodenproben im Labor ermittelt. Die Simulationen zeigen die Empfindlichkeiten der Kennwerte und ihre Abhängigkeit voneinander.

## Literatur

Kleeberg, H.-B. & Overland, H. (1989): Zur Berechnung des effektiven oder abflusswirksamen Niederschlags. Institut für Wasserwesen. Mitteilung Heft 32/1990. Universität der Bundeswehr München.



# Von Meteorologischen zu Hydrologischen Dürren: Untersuchung der Dürrepropagation in Bayerischen Einzugsgebieten

Andrea Böhnisch<sup>1</sup>, Alexander Sasse<sup>1</sup>, Ralf Ludwig<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ludwig-Maximilians-Universität München, Department für Geographie, a.boehnisch@lmu.de

Trockenheit und Dürren führen auch in eigentlich wasserreichen Gebieten im Zuge des Klimawandels zu immer häufigeren und intensiveren Beeinträchtigungen von Wirtschaft und (Gewässer-)Ökologie (z.B. 2015, 2018, 2022). Dürren können beispielsweise über Niederschlagsdefizite, Reduktionen im Bodenwassergehalt, dem pflanzenverfügbaren Wasser oder anomal niedrige hydrologische Größen definiert werden. Für die Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zur Bekämpfung daraus resultierender Wasserknappheit ist es erforderlich, Ursachen, Entwicklung und Folgen von Dürreereignissen besser zu verstehen.

Typischerweise fokussiert die aktuelle Forschung je nach Fragestellung auf eine der genannten Dürrekategorien (z.B. meteorologisch, bodenfeuchtebasiert oder hydrologisch), obwohl gerade die jüngsten Dürrejahre in Deutschland gezeigt haben, dass langanhaltende Ereignisse nicht auf eine Kategorie beschränkt bleiben: Von Defiziten im Niederschlag über Bodenfeuchtereduktionen bis hin zu Abfluss und Grundwasser propagieren Trockenereignisse durch die Komponenten des Wasserkreislaufs (Van Loon et al. 2012). Meteorologisch definierte Dürren können sich so in Bodenfeuchte- oder landwirtschaftliche Dürren bis hin zu hydrologischen Dürren entwickeln, die von kurzfristigen Niederschlagsereignissen nicht effektiv unterbrochen oder gar kompensiert werden können. Während bereits einzelne Analysen von distinkten Dürreereignissen diese Propagation zeigen konnten (Van Loon et al. 2012), fehlt bislang eine systematische Untersuchung der möglichen Zusammenhänge. Diesem Defizit wird hier mit einer Kombination aus Datenanalyse, datenbasierter und prozessbasierter Modellierung begegnet, um robuste Aussagen über raumzeitliche Muster der Dürrepropagation in Gegenwart und Zukunft zu erzielen.

Ziel dieser Studie ist daher die Untersuchung der Dürrepropagation in einer Auswahl Bayerischer Einzugsgebiete im Zeitraum 2000-2022. Dazu werden zunächst u.a. Abfluss-, Grundwasser- und Niederschlagsmessungen hinsichtlich zeitlichen Versatzes des Beginns beobachteter Dürreevents z.B. mit Hilfe von Causal Discovery-Algorithmen (Nowack et al. 2020) analysiert. Dadurch wird der typische zeitliche Rahmen aufgezeigt, innerhalb dessen sich Niederschlagsdefizite in das Bodenwasser, den Abfluss und das Grundwasser fortpflanzen; darüber hinaus werden räumlich differenzierte Zusammenhänge abgeleitet.

Die gewählten Einzugsgebiete werden zudem im Rahmen des ClimEx-II-Projekts mit dem Ziel einer robusten Abschätzung von hydrologischen Extremen im Wasserhaushaltsmodell WaSiM für Beobachtungen der Gegenwart und Projektionen unter Klimawandel-Einfluss (Nutzung des Canadian Regional Climate Model Large Ensembles, CRCM5-LE, unter RCP8.5 ab 2006, Leduc et al. 2019) simuliert. Diese Simulationen werden ebenfalls im Hinblick auf ihre Abbildung der Dürrepropagation evaluiert.

Mit diesem Ansatz wird zum einen die natürliche Variabilität von Dürrepropagation aufgezeigt, zum anderen können die dynamischen Veränderungen von Dürrehäufigkeit und -intensität durch Klimawandel und Änderungen in Landnutzungs-/Management-Anpassungen attribuiert und quantifiziert werden.



## Literatur:

- Leduc M, Mailhot A, Frigon A, Martel J-L, Ludwig R, Brietzke GB, Giguère M, Brissette F, Turcotte R, Braun M, Scinocca J (2019). ClimEx project: a 50-member ensemble of climate change projections at 12-km resolution over Europe and northeastern North America with the Canadian Regional Climate Model (CRCM5). *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. doi: 10.1175/JAMC-D-18-0021.1
- Nowack, P., Runge, J., Eyring, V. & Haigh, J. D. (2020). Causal networks for climate model evaluation and constrained projections, *Nature Communications* (11) 1415. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15195-y>
- Van Loon, A. F., Van Huijgevoort, M. H. J., Van Lanen, H.A.J. (2012). Evaluation of drought propagation in an ensemble mean of large-scale hydrological models. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* (16), S. 4057-4078. <https://hess.copernicus.org/articles/16/4057/2012/>



## Vorträge: Wasserqualität im globalen Wandel

### **Anwendung der Gewässergütemodellierung - Voraussetzungen, Vorgehensweisen und Vorteile**

Dr. Ekkehard Christoffels

IBC Ingenieure Vettweiß

Die Bedeutung eines integrativen Ansatzes für die Planung und Entwicklung von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen in Flusseinzugsgebieten ist, nicht zuletzt gefördert durch die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie, erkannt worden. Deshalb werden neben geeigneten Monitoringwerkzeugen zur Erlangung belastbarer Erkenntnisse für Planungsmaßnahmen in komplexen Flusssystemen zunehmend Gewässergütemodelle eingesetzt. Mit Gewässergütesimulationen können Wärmelastberechnungen, Berechnungen des Sauerstoffhaushalts, die Bewirtschaftung der Nähr- und Schadstoffe und Hygienezustände in Fließgewässern inklusive der relevanten Umsatzprozesse retrospektiv, für den Status Quo und vor allem perspektivisch durchgeführt werden. (Christoffels, E. 2012)

Anwendungsbereiche der Gewässergütemodelle sind gemäß Echterhoff, J. et al. 2018:

- Systemanalyse
- Wirkungsanalyse für Planungszwecke
- Analyse des Verhaltens umweltrelevanter Stoffe
- Umweltverträglichkeitsprüfungen, wasserwirtschaftliche Fachbeiträge
- Grundlagen für die Entwicklung von Bemessungs-, Steuerungs- und Bewirtschaftungsregeln
- Operationeller Einsatz in Alarmplänen.

In einem Vortrag sollen aktuelle Beispiele aus der Praxis vorgestellt, die praktische Anwendungen und Weiterentwicklungen beim Einsatz von Gewässergütemodellen aufgreifen. Im Einzelnen werden folgende praktische Anwendungsbeispiele vorgestellt:

- Temperatur- und Sauerstoffhaushaltsmodelle
- Nährstoffe
- Spurenstoffe
- Mischwasserentlastungen, Regenwasserkanäle
- Wasserentnahme aus Fließgewässern zur Wiederverwendung
- Klimawandel (Niedrigwasser, Starkregen, Wassertemperatur, Sauerstoffhaushalt, ...).

Die etablierten Methoden der im Einsatz befindlichen Modelle und die zeitliche / räumliche Skalenebene und die jeweiligen Anwendungsgebiete werden erläutert. Auf die oft diskutierte Datenerfordernis für die Anwendung von Gewässergütemodellen wird im Vortrag eingegangen. Der erforderliche Datenumfang umfasst nach Christoffels, E. 2022:

- Gewässerkenngrößen
- Emissionsdaten: Menge und Qualität der maßgeblichen Eintragspfade



- Immissionsdaten: Sauerstoffganglinien an repräsentativen Standorten inkl. Metadaten für saisonal unterschiedliche Zeitfenster.

Die erforderlichen Schritte zur Plausibilisierung der Simulationsergebnisse werden dargestellt. Auf die erforderlichen Mindeststandards bei der Auswahl eines geeigneten Gewässergütemodells für die Anwendung wird im Vortrag eingegangen. Das Zusammenspiel aus Modellierung und Monitoring zur Erlangung belastbarer Informationen für die Entscheidungsebene wird eingehend erläutert.

## Literatur / References

- Christoffels, E. (2022): DWA Workshop Flussgebietsmanagement, Essen Anwendung der Gewässergütemodellierung - Einsatzmöglichkeiten, Erfordernisse, Mehrwert?
- Echterhoff, J., Wehmeyer D., Wermter P., Rondorf A., Christoffels E. (2018): Monitoring- Modellierung- Management: Das DWA-Gewässergütemodell als Instrument zur Ableitung von wasserwirtschaftlichen Empfehlungen am Beispiel des Min Jiang (China), Korrespondenz Wasserwirtschaft 7/18, 11. Jahrgang Nr. 7 Juli 2018, ISSN 1865-9926
- Christoffels, E. (2012): Water quality modelling as an instrument to support management planning functions with the example of the Erft river, Interactions of Water with Energy and Materials in Urban Areas and Agriculture, IWRM Integrated Water Resource Management, Karlsruhe 21.-22. November 2012 by Fraunhofer Verlag, ISBN 978-3-8396-0478-6



# Effect of extreme precipitation on rivers' Total Phosphorus concentration: the Möhne catchment

Ammanuel Bekele Tilahun<sup>1</sup>, Hans H. Dürr<sup>2</sup>, Martina Flörke<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Ingenieurhydrologie und Wasserwirtschaft, [ammanuel.tilahun@hydrology.ruhr-uni-bochum.de](mailto:ammanuel.tilahun@hydrology.ruhr-uni-bochum.de)

<sup>2</sup>Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Ingenieurhydrologie und Wasserwirtschaft, [hans.duerr@hydrology.ruhr-uni-bochum.de](mailto:hans.duerr@hydrology.ruhr-uni-bochum.de)

<sup>3</sup>Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Ingenieurhydrologie und Wasserwirtschaft, [martina.floerke@hydrology.ruhr-uni-bochum.de](mailto:martina.floerke@hydrology.ruhr-uni-bochum.de)

Rivers, lakes and reservoirs are facing water quality problems such as eutrophication world-wide. Nutrient loads from point and non-point pollutant sources are the major reasons behind eutrophication, Phosphorus being the limiting nutrient. Weather variables such as precipitation control the amount of nutrient concentration in water bodies especially the part from diffuse sources in two contrasting ways. On one side surface runoff driven by heavy precipitation washes-off pollutants that could reach the rivers tending to increase rivers nutrient concentrations while on the other side increased river flow can help to lower these concentrations. Extreme precipitation events and long drought periods are more likely to occur in the future according to climate projections (Robinson 2021).

Puczko and Jekatierynczuk-Rudczyk (2020) observed in a research study on urban rivers in Poland that drought is associated to higher concentration for most of physical water parameters except for TP and DOC that do not show a change. However, flash flood is linked to lower concentration in most of the physical parameters but lead to an increase in TP and DOC. A study by Fukushima et al. (2021) also examined the effect of extreme precipitation events on water quality of a lake in a case study area of Lake Kasumigaura in Japan. According to this study, lower values of COD, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> and Chla were observed after extreme events while ortho-phosphate was seen to be higher. Most of the studies focusing on this subject either consider only a certain season of a year or are limited to a few numbers of samples. This study aims at investigating the effect of extreme precipitation, prolonged precipitation and precipitation after a dry period on TP (Total Phosphorus) concentration of rivers in a case study area of the Mohne catchment in Germany. The analysis consists of two parts: (1) selection of extreme weather days in years 2001 to 2021 and comparison of the observed TP concentrations associated to the selected extreme weather days with estimated concentration based on discharge-concentration relationship trendline equation. In addition, changes in river TP concentration in response to continuous precipitation and precipitation after dry period is also studied. (2) selection of days with exceptional peak TP concentration followed by investigation of the precipitation phenomena in the preceding days of the sampling days considering the lag time.

First results reveal that there is an increase in river TP concentration in response to extreme precipitation ranging from a 20% to 500%. Whereas, the effect of continuous precipitation was found to be non unidirectional. Continuous precipitation was seen usually associated with a decrease in TP concentration by up to 75% while sometimes showing a significant increase up to 200%. Rainfall after a dry period was seen to be linked to an increase in TP concentration up to 95% even if the precipitation is not heavy.



## References

- Fukushima, Takehiko; Kitamura, Tatsumi; Matsushita, Bunkei (2021): Lake water quality observed after extreme rainfall events: implications for water quality affected by stormy runoff. In *SN Appl. Sci.* 3 (11), p. 1. DOI: 10.1007/s42452-021-04823-x.
- Puczko, Katarzyna; Jekatierynczuk-Rudczyk, Elżbieta (2020): Extreme Hydro-Meteorological Events Influence to Water Quality of Small Rivers in Urban Area: A Case Study in Northeast Poland. In *Scientific reports* 10 (1), p. 10255. DOI: 10.1038/s41598-020-67190-4.
- Robinson, Walter A. (2021): Climate change and extreme weather: A review focusing on the continental United States. In *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)* 71 (10), pp. 1186–1209. DOI: 10.1080/10962247.2021.1942319.



# Die hydrologische Vernetzung und Pflanzenschutzmittelbelastung zweier stehender Kleingewässer in Norddeutschland

Lukas P. Loose<sup>1</sup>, Jens Lange<sup>2</sup>, Uta Ulrich<sup>1</sup>, Nicola Fohrer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft

<sup>2</sup>Albert-Ludwig-Universität Freiburg, Institut für Geo- und Umweltwissenschaften, Professur für Hydrologie

Stehende Kleingewässer (SKG) sind global weit verbreitet. Sie erfüllen vielfältige ökohydrologische Aufgaben und sind von zentraler Bedeutung für die Biodiversität im ländlichen Raum. Aufgrund ihrer Größe und Lage stehen sie in komplexer Interaktion mit ihrer Umgebung, die man bei anderen Gewässertypen so nicht findet. Neue Erkenntnisse zeigen überdies, dass zahlreiche hydrologische Prozesse, wie die Interaktion mit dem oberflächennahen Grundwasser, zum Wasserhaushalt der SKG beitragen. Darüber hinaus können SKG zum Abfluss von nahe liegenden Flüssen beisteuern, über den Grundwasserstrom Seen beeinflussen sowie Grundwasserleiter versorgen. SKG sind daher ein wesentlicher Bestandteil des Wasserkreislaufs und von hoher ökohydrologischer Bedeutsamkeit. Dennoch fehlt es nach wie vor an umfassenden Kenntnissen über die Relevanz der verschiedenen Zu- und Abflusspfade und der hydrologischen Dynamik in SKG. Durch ihre Lage auf landwirtschaftlichen Nutzflächen sind sie zudem durch Pflanzenschutzmittel (PSM) und ihre Transformationsprodukte (TP) gefährdet, die sich auch auf verbundene Wasserkörper ausbreiten können. Bislang ist die Datengrundlage der PSM-Belastung für diesen Gewässertyp jedoch gering und inhomogen.

Um diese Wissenslücken zu schließen, konzentriert sich diese Studie auf zwei SKG in Norddeutschland, die in einer hochaufgelösten Messkampagne vom 1.10.20 bis 31.10.21 hinsichtlich ihrer hydrologischen Konnektivität und PSM-Belastung erforscht wurden. Hierzu wurden hydrologische Parameter in und um die SKG gemessen. Weiterhin erfolgten Untersuchungen stabiler Isotope und ein Bromid-Tracer-Versuch. Auf Grundlage dieser Daten wurde der Wasserhaushalt der SKG berechnet. Zur Erfassung der Belastungssituation wurden Oberflächenabfluss, lateraler Abfluss, Grundwasser, Drainagewasser und die Wasserphase der SKG untersucht. Die Wasserproben wurden auf 27 PSM und TP analysiert.

Die Wasserbilanz- und Tracerergebnisse spiegeln die unterschiedlichen hydrologischen Bedingungen der SKG wider. SKG A wurde durch ein Drainagesystem geprägt und hatte somit eine hohe Durchflussrate, während SKG B eine hohe Verweilzeit des Wassers aufwies. Darüber hinaus ist eine ausgeprägte Interaktion zwischen den SKG und dem oberflächennahen Grundwasser festgestellt worden. Die Quantifizierung der Zu- und Abflüsse ermöglichte zudem, die Frachten der PSM und TP zu ermitteln. Unterschiede zwischen den SKG zeigten sich auch bei der PSM- und TP-Belastung, die durch verschiedene zeitliche Dynamiken und Frachten gekennzeichnet sind. Für SKG A stellte die Drainage den Haupteintragspfad der applizierten Wirkstoffe dar. Über das oberflächennahe Grundwasser war ein untergeordneter Eintrag festzustellen. Das mobile Flufenacet wurde zeitnah nach Applikation in das SKG A transportiert, während das sorptivere Diflufenican zwei Monate später eingetragen wurde. Auch das TP Flufenacet-ESA wurde in deutlich höheren Konzentrationen als die Muttersubstanz detektiert. Obwohl SKG B bis Januar 2021 ausgetrocknet war, ließen sich dennoch die applizierten PSM und TP wiederfinden. Haupteintragspfad stellte für diesen Wasserkörper das oberflächennahe Grundwasser dar. Überdies wurden nicht applizierte PSM / TP gemessen. So wiesen beide SKG und das oberflächennahe Grundwasser eine konstante sowie hohe Belastung des Metazachlor-ESA auf. Auch hierbei konnte ein Stoffeintrag über das zuströmende oberflächennahe Grundwasser



festgestellt werden, der anschließend im Abstrom aus den SKG führte. Metazachlor-ESA weist die höchsten gemessenen Konzentrationen von bis zu  $11.66 \mu\text{g L}^{-1}$  und Frachten von bis zu  $3.12 \text{ g m}^{-1}$  in nur einem Grundwasserzustrom auf.



## Webtool zur Bestimmung der naturnahen urbanen Wasserbilanz (NatUrWB) als deutschlandweiter, einheitlicher Referenzzustand

Max Schmit<sup>1</sup>, Andreas Steinbrich<sup>2</sup>, Hannes Leistert<sup>3</sup>, Markus Weiler<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Hydrologie, [max.schmit@hydrology.uni-freiburg.de](mailto:max.schmit@hydrology.uni-freiburg.de)

<sup>2</sup>Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Hydrologie, [andreas.steinbrich@hydrology.uni-freiburg.de](mailto:andreas.steinbrich@hydrology.uni-freiburg.de)

<sup>3</sup>Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Hydrologie, [hannes.leistert@hydrology.uni-freiburg.de](mailto:hannes.leistert@hydrology.uni-freiburg.de)

<sup>4</sup>Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Hydrologie, [markus.weiler@hydrology.uni-freiburg.de](mailto:markus.weiler@hydrology.uni-freiburg.de)

Die Urbanisierung und die damit einhergehende Versiegelung von Flächen, hat einen erheblichen Einfluss auf die Wasserbilanz und somit auch auf die hydrologischen Regime und Extreme stadtnaher Gewässer. Dieser Einfluss ist allseits bekannt und bereits Motivation verschiedener Gesetzestexte, jedoch sind die bisherigen Regelungen noch wenig zielgerichtet. So motiviert das WHG in der aktuellen Fassung dazu Niederschlagswasser ortsnah zu versickern, womit der Gesetzesgeber auf den erhöhten Oberflächenabfluss von versiegelten Flächen reagiert. Diese Regelung kann in der Praxis aber dazu führen, dass mehr Niederschlagswasser zum Versickern gebracht wird und somit die Grundwasserneubildung erhöht, als dies im natürlichen Zustand der Fall wäre (Göbel et al. 2004). Dies kann z.B. die Mobilisierung von Schadstoffen ins Grundwasser erhöhen (Coldewey et al. 2001). Weiterhin werden andere Einflüsse auf die Wasserbilanz, wie z.B. die verminderte Evapotranspiration, die zu urbanen Hitzeinseln führt, durch diese Regelung nicht berücksichtigt.

Daher fordert das DWA-A 100 eine integrale Beurteilung der Wasserbilanz, mit der Zielsetzung Veränderungen des natürlichen Wasserhaushaltes durch Siedlungsaktivitäten gering zu halten. Damit würde auch das Grundprinzip des WHG, Gewässer soweit wie möglich in einen naturnahen Zustand zu versetzen, gewahrt bleiben. Um diese integrale Betrachtung der urbane Wasserbilanz jedoch umzusetzen, wird ein möglichst einheitlich definierter Referenzzustand des naturnahen Zustands benötigt, der bisher noch nicht entsprechend vorliegt. Dies zu definieren und zu quantifizieren ist das Ziel von NatUrWB, das hier vorgestellt wird.

Die hierbei verwendete Methode ist eine Weiterentwicklung der vom WaSiG-Projekt vorgeschlagenen Herangehensweise (Steinbrich et al. 2018; Schmit et al. 2022). Dabei wird die Referenz-Landnutzung einer Stadt aus den umgebenden Flächen der gleichen naturräumlichen Einheit mit gleichen Böden bestimmt. In anderen Worten wird der Referenz-Zustand für ein Gebiet so definiert, dass sich ohne Stadt die gleiche Landnutzung als Kulturland, wie aktuell in der Umgebung vorzufinden ist, einstellen würde.

Auf Basis von Geoinformationsdaten aus der Bodenübersichtskarte BÜK 250 und der hydrogeologischen Übersichtskarte, meteorologische Stationsdaten und Rasterprodukten des DWD, dem DGM25 von Copernicus und dem Wasserbilanzmodell RoGeR\_WB\_1D wurden für ganz Deutschland langfristige Wasserbilanz-Simulationen durchgeführt. Die Ergebnisse zusammen mit den Corine Landnutzungsklassen und den naturräumlichen Einheiten bilden die Datenbasis, mit deren Hilfe für jedes Gebiet ein Referenzwert der naturnahen Wasserbilanz bestimmt werden kann. Um ein einfaches Bestimmen der Referenz und die Anwendung der Methode zu ermöglichen, wurde diese in einem interaktiven GIS-basierten Webtool ([www.naturwb.de](http://www.naturwb.de)) allgemein zugänglich gemacht.



Bei der Analyse der NatUrWB-Referenzen aller Großstädte (> 100.000 Einwohner) Deutschlands hat sich gezeigt, dass sich diese je nach Region stark unterscheiden können. So variiert der Anteil der Grundwasserneubildung an der Wasserbilanz von 5 bis 57%. Weiterhin streuen auch die nach dieser Methode angenommenen natürlichen Landnutzungsverteilungen sehr stark von Stadt zu Stadt. Dies zeigt die Notwendigkeit einer Methode zum Bestimmen der naturnahen Wasserbilanz die regional differenziert vorgeht, wie dies bei der NatUrWB-Methode der Fall ist.

## Literatur / References

- Coldewey, W. G.; Geiger, W. F.; Göbel, P.; Stubbe, H.; Weinert, M.; Zimmermann, J.; Fach, S. (2001): Abschlussbericht - Pilotstudie zum Einfluss der Versickerung auf den Wasserhaushalt eines Stadtteils. Phase II. AZ: IV-9-042234.
- Göbel, Patricia; Stubbe, Holger; Weinert, Mareike; Zimmermann, Julia; Fach, Stefan; Dierkes, Carsten et al. (2004): Near-natural stormwater management and its effects on the water budget and groundwater surface in urban areas taking account of the hydrogeological conditions. In: *Journal of Hydrology* 299 (3-4), S. 267–283. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2004.08.013.
- Schmit, Max; Steinbrich, Andreas; Leistert, Hannes; Weiler, Markus (2022): Webtool zur Ermittlung der naturnahen urbanen Wasserbilanz (NatUrWB). In: *KW - Korrespondenz Wasserwirtschaft* 15 (9), S. 530–536. DOI: 10.3243/kwe2022.09.002.
- Steinbrich, Andreas; Henrichs, Malte; Leistert, Hannes; Scherer, Isabel; Schuetz, Tobias; Uhl, Mathias; Weiler, Markus (2018): Ermittlung eines naturnahen Wasserhaushalts als Planungsziel für Siedlungen. In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 62 (6), S. 400–409. DOI: 10.5675/HYWA\_2018.6\_3.



## **Poster: Wasserqualität im globalen Wandel**

### **Kläranlagen und Mischwasserüberläufe in ländlich geprägten Gebieten – Einfluss auf die Wasserqualität und -quantität**

Caroline Spill<sup>1</sup>, Lukas Ditzel<sup>2</sup>, Matthias Gassmann<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universität Kassel, Fachgebiet Hydrologie und Stoffhaushalt, caroline.spill@uni-kassel.de

<sup>2</sup>Universität Kassel, Fachgebiet Hydrologie und Stoffhaushalt, lukas.ditzel@uni-kassel.de

<sup>3</sup>Universität Kassel, Fachgebiet Hydrologie und Stoffhaushalt, gassmann@uni-kassel.de

Auch in landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten finden sich zahlreiche urbane Infrastrukturen, die als Punktquellen Gewässer belasten, dazu zählen insbesondere Kläranlagen und Misch- bzw. Regenwasserentlastungen. Während große Kläranlagen strengen Reinigungsvorschriften unterliegen, handelt es sich bei Kläranlagen in ländlichen Regionen oftmals um Anlagen mit Ausbaugrößen von weniger als 5000 Einwohnerwerten (EW) (HMUKLV, 2021), für die es keine Grenzwerte für Stickstoff und Phosphor Konzentrationen im Ablauf gibt (European Union, 1991; AbwV, 1997). Diese Anlagen entwässern häufig in Gewässer erster oder zweiter Ordnung, deren geringe Abflussmengen dazu führen, dass insbesondere im Sommer der Verdünnungseffekt gering ist (Wade et al., 2012). Die Entlastung über Mischwasserkanalisationen bildet eine zusätzliche hydraulische und stoffliche Belastung (Halliday et al., 2014). Aufgrund fehlender zeitlich hochaufgelöster Überwachung werden diese vermeintlich kleinen Punktquellen in der aktuellen Forschung häufig als konstant angenommen (Müller et al., 2018; Ehrhardt et al., 2019).

Um den Einfluss von urbanen Punktquellen auf kleinere Gewässer zu untersuchen, haben wir in zwei benachbarten Quelleinzugsgebieten Messtechnik zur Überwachung von Wasserquantität und -qualität installiert. Im Kelze-Einzugsgebiet (2.64 km<sup>2</sup>) ist ein Dorf mit einer Mischwasserkanalisation, zwei Mischwasserüberläufen und einer Kläranlage (350 EW) lokalisiert. Das Vergleichsgebiet, das Einzugsgebiet des Nesselbachs (2.93 km<sup>2</sup>), ist hauptsächlich durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt. Das Messsetup für zeitlich hochaufgelöste Messungen umfasst Drucksonden für die Wasserstandsbestimmung, UV-VIS Sonden zur Messung von Nitrat und Leitfähigkeitssonden. Mittels automatischer Probenehmer wurden zusätzlich Wasserproben zur Laborbestimmung von Nitrit, Ammonium, ortho-Phosphat, Gesamtphosphat und stabilen Wasserisotopen während Niederschlagsereignissen gesammelt. Um Entlastungszeiten aufzuzeichnen, wurden die Mischwasserüberläufe mit Low-Budget Leitfähigkeitsloggern ausgestattet.

Unsere Messungen zeigen, dass die Kläranlage einen wesentlichen Einfluss auf die Gewässerqualität hat: insbesondere Ammonium, Nitrit und ortho-Phosphat schwanken im Jahresverlauf und sind durchweg stark erhöht, dies zeigt sich am stärksten während Trockenperioden. Die erhöhten Nitratkonzentrationen aus dem Grundwasser werden hingegen durch den Abfluss der Kläranlage verdünnt, während die Konzentrationen im Nesselbach ganzjährig den Trinkwassergrenzwert von 50 mg L<sup>-1</sup> überschreiten. Im Vergleich zum Nachbargebiet kommt es im Kelze Einzugsgebiet während Niederschlagsereignissen zu einem ausgeprägteren Anstieg des Abflusses, während die Leitfähigkeit weniger stark sinkt. Insbesondere während



Mischwasserentlastungen, welche vorrangig in niederschlagsreichen Perioden auftreten, ist dieser Effekt sehr ausgeprägt. Gleichzeitig steigen die Ammonium- und ortho-Phosphat Konzentrationen während Abflussereignissen an. Dies spricht für eine Unterbrechung des Reinigungsprozesses innerhalb der Kläranlage, welche nicht für große Wassermassen ausgelegt ist. Im Einzugsgebiet der Kelze ist der Export von Nährstofffrachten während Events dadurch sehr viel ausgeprägter als im Vergleichsgebiet. Das gilt auch für Nitrat: dieses wird zwar während Niederschlagsereignissen verdünnt, durch die gleichzeitig erhöhten Wassermassen werden jedoch insgesamt Frachten in einer ähnlichen Größenordnung wie im Vergleichsgebiet exportiert.

Unsere Messungen zeigen, dass auch Kläranlagen und Mischwasserentlastungen kleinerer Dörfer einen signifikanten Einfluss auf die Wasserqualität und -quantität von Gewässern haben können. Dieser Einfluss schwankt im jahreszeitlichen Verlauf, aber auch während Niederschlagsereignissen und sollte daher auch in ländlich geprägten Gebieten genauer betrachtet werden.

## Literatur

- AbwV (1997): Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer - Abwasserverordnung. In: Bundesgesetzblatt I, S. 566.
- Ehrhardt, S.; Kumar, R.; Fleckenstein, J. H.; Attinger, S.; Musolff, A. (2019): Trajectories of nitrate input and output in three nested catchments along a land use gradient. In: *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 23 (9), S. 3503–3524. DOI: 10.5194/hess-23-3503-2019.
- European Union (1991): Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment. In: *Official Journal of the European Communities L 135*, S. 40–52. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1991/271/oj>.
- Halliday, S.; Skeffington, R.; Bowes, M.; Gozzard, E.; Newman, J.; Loewenthal, M. et al. (2014): The Water Quality of the River Enborne, UK: Observations from High-Frequency Monitoring in a Rural, Lowland River System. In: *Water* 6 (1), S. 150–180. DOI: 10.3390/w6010150.
- HMU KL V (2021): Beseitigung von kommunalen Abwässern in Hessen -Lagebericht 2020. Disposal of municipal sewage in Hesse - Management Report 2020. Hg. v. Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Wiesbaden. Online verfügbar unter [https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-07/lagebericht\\_hessen\\_2020.pdf](https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-07/lagebericht_hessen_2020.pdf).
- Müller, C.; Musolff, A.; Strachauer, U.; Brauns, M.; Tarasova, L.; Merz, R.; Knöllner, K. (2018): Tomography of anthropogenic nitrate contribution along a mesoscale river. In: *The Science of the total environment* 615, S. 773–783. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.297.
- Wade, A. J.; Palmer-Felgate, E. J.; Halliday, S. J.; Skeffington, R. A.; Loewenthal, M.; Jarvie, H. P. et al. (2012): Hydrochemical processes in lowland rivers: insights from in situ, high-resolution monitoring. In: *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16 (11), S. 4323–4342. DOI: 10.5194/hess-16-4323-2012.



# Sind nicht-extrahierbare Rückstände eine kritische Senke für Perfluorierte Alkylsubstanzen?

Eva Weidemann<sup>1\*</sup>, René Lämmer<sup>2</sup>, Bernd Göckener<sup>2</sup>, Mark Bücking<sup>2</sup> und Matthias Gassmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Kassel, Fachgebiet Hydrologie und Stoffhaushalt

<sup>2</sup>Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME, Abteilung Spurenanalytik und Umweltmonitoring

\*[eva.weidemann@uni-kassel.de](mailto:eva.weidemann@uni-kassel.de)

Die Bildung von nicht-extrahierbaren Rückständen (NER) aus organischen Schadstoffen sind seit Jahrzehnten Bestandteil der Forschung über deren Verhalten im Boden (Kästner et al., 2014). Diese sind nach Roberts (1984) definiert als chemische Spezies, die durch kein Extraktionsverfahren gelöst werden kann, welches nicht die Struktur der Verbindung verändert. Diese Definition hat sich hierbei ursprünglich auf Pestizide bezogen. Mittlerweile wurde die Bildung von NER, oft auch als irreversible Sorption bezeichnet, jedoch auch für andere organische Schadstoffe, wie beispielsweise Antibiotika (Sittig et al., 2012) und perfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) (Chen et al., 2016), festgestellt. Kästner et al. (2014) hat die Art der Bildung in drei verschiedene Typen unterschieden: sequestrierte NER (Typ I), kovalent gebundene NER (Typ II) und biogene NER (Typ III). Sequestrierte NER hätten hierbei das Potential zu desorbieren oder auch in eine kovalente Bindung des Typ II überzugehen (Kästner et al., 2014), welche als irreversibel und sehr stabil eingeschätzt wird (Senesi & Chen, 1989). Biogene NER können durch mikrobielle Nekromasse entstehen und könnten potentiell auch zu Bildung der NER Typen I und II führen (Kästner et al., 2014). Das Umweltbundesamt hat hierbei die Typen II und III als sichere Senken klassifiziert, Typ I hingegen als verborgene Gefahr (Umweltbundesamt, 2022) und zusammen mit einer Arbeitsgruppe Vorschläge zur Bewertung der Persistenzbewertung veröffentlicht.

Veröffentlichungen zur NER Thematik beziehen sich hauptsächlich auf die NER Bildung während Abbauprozessen von organischen Schadstoffen. Die Bildung von NER wird jedoch auch bei nicht-abbaubaren Schadstoffen vermutet, wie beispielweise den perfluorierten Alkylsäuren (PFAA), die eine persistente Untergruppe der PFAS bilden. In Säulenversuchen mit PFAA haben wir Lücken in der Massenbilanz festgestellt, mit einer positiven Korrelation zwischen Kettenlänge der fluorinierten Kohlenstoffatome und NER (Weidemann et al., 2022), in Übereinstimmung zu Ergebnissen von Chen et al. (2016). Den Prozess der NER Bildung haben wir bereits für zwei PFAA erfolgreich modellbasiert mit MACRO 5.2 umgesetzt, mithilfe einer Abbaufunktion 1. Ordnung (Gassmann et al., 2021). Durch diese Umsetzung wurde ausschließlich der NER Typ II modelliert. Inwieweit diese Hypothese valide ist kann durch Versuche mit radioaktiv gelabelten PFAA untersucht werden. Für transformierbare PFAS wurde dies bereits durchgeführt und bis zu 35% der C-Ausgangsmasse nur durch Verbrennung wiedergefunden (Wang et al., 2009), womit die zugehörigen PFAS zum NER Typ II gezählt werden können. Bei einem weiteren untersuchten PFAA in dieser Veröffentlichung, Perfluoroktansäure (PFOA), konnten keine NER des Types II festgestellt werden, da fast die gesamte Menge per Extraktion wiedergefunden wurde, was im Gegensatz zu unseren Ergebnissen steht (Weidemann et al., 2022), wobei jeweils verschiedene Versuchsbedingungen vorherrschten. Um die Frage zu beantworten inwieweit die gebildeten NER eine sichere oder risikobehaftete Senke sind, ist es nötig den vorliegenden NER Typ bei PFAS oder PFAA zu klären.



## Literatur

- Chen, H., Reinhard, M., Nguyen, V. T. & Gin, K. Y.-H. (2016). Reversible and irreversible sorption of perfluorinated compounds (PFCs) by sediments of an urban reservoir. *Chemosphere*, 144, 1747–1753. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.055>
- Gassmann, M., Weidemann, E. & Stahl, T. (2021). Combined leaching and plant uptake simulations of PFOA and PFOS under field conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(2), 2097–2107. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10594-6>
- Kästner, M., Nowak, K. M., Miltner, A., Trapp, S. & Schäffer, A. (2014). Classification and Modelling of Nonextractable Residue (NER) Formation of Xenobiotics in Soil – A Synthesis. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(19), 2107–2171. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.828270>
- Roberts, T. R. (1984). Non-extractable pesticide residues in soils and plants. *Pure and Applied Chemistry*(7), 945–956. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/pac198456070945/html>
- Senesi, N. & Chen, Y. (1989). Interactions of Toxic Organic Chemicals with Humic Substances. In W. D. Billings, F. Golley, O. L. Lange, J. S. Olson, H. Remmert, Z. Gerstl, Y. Chen, U. Mingelgrin & B. Yaron (Hrsg.), *Ecological Studies. Toxic Organic Chemicals in Porous Media* (Bd. 73, S. 37–90). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-74468-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-74468-6_3)
- Sittig, S., Kasteel, R., Groeneweg, J. & Vereecken, H. (2012). Long-term sorption and sequestration dynamics of the antibiotic sulfadiazine: a batch study. *Journal of environmental quality*, 41(5), 1497–1506. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0467>
- Umweltbundesamt. (2022, 22. Dezember). *Non-extractable residues in persistence assessment*. <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/chemicals/reach-what-is-it/non-extractable-residues-in-persistence-assessment#what-are-non-extractable-residues>
- Wang, N., Szostek, B., Buck, R. C., Folsom, P. W., Sulecki, L. M. & Gannon, J. T. (2009). 8-2 fluorotelomer alcohol aerobic soil biodegradation: pathways, metabolites, and metabolite yields. *Chemosphere*, 75(8), 1089–1096. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.01.033>
- Weidemann, E., Lämmer, R., Stahl, T., Göckener, B., Bücking, M., Breuer, J., Kowalczyk, J., Just, H., Boeddinghaus, R. S. & Gassmann, M. (2022). Leaching and Transformation of PFAA and diPAP in Unsaturated Soil Column Studies. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1002/etc.5417>



## **Räumlich verteilte Untersuchung der Schwermetallbelastung im oberen Einzugsgebiet der Oker**

Paul D. Wagner<sup>1</sup>, Daniel Rosado<sup>1</sup>, Vanessa Rincón<sup>1</sup>, Nicola Fohrer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, pwagner@hydrology.uni-kiel.de, drosado@hydrology.uni-kiel.de, stu230265@mail.uni-kiel.de, nfohrer@hydrology.uni-kiel.de

In Folge des Bergbaus werden über die Gewässer im Harz noch immer Schwermetalle ausgetragen. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsprojekts EXDIMUM (Extremwettermanagement mit digitalen Multiskalen-Methoden) wurde eine räumlich verteilte Messkampagne im Einzugsgebiet der Oker oberhalb des Pegels Schladen durchgeführt. Dabei lag der Schwerpunkt auf den Gewässern Gose und Abzucht oberhalb der Stadt Goslar. Ziele der Untersuchung sind die Quantifizierung der Ablagerung von Schwermetallen im Sediment und die Identifizierung von Eintragsquellen im Untersuchungsgebiet. Dazu wurden vor jeder Einmündung Sedimentproben aus dem Gewässerbett des Haupt- und Nebenflusses entnommen, so dass untersucht werden konnte, aus welchen Teileinzugsgebieten Schwermetalle eingetragen wurden. Die Sedimentproben wurden im Umweltlabor der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) auf verschiedene Schwermetalle untersucht. Es konnten Blei, Zink und Mangan in den Sedimenten nachgewiesen werden. Die räumliche Analyse zeigt zudem, dass erhöhte Belastungen insbesondere in der Nähe von ehemaligen Bergwerksgruben, Hüttengeländen und Abraumhalden auftreten. Im Rahmen des Projekts EXDIMUM sind weitere Kampagnenmessungen während und nach einem Hochwasser geplant, die zusammen mit der Modellierung von Abfluss und Sedimentaustrag im Untersuchungsgebiet Rückschlüsse auf den potentiellen Einfluss von Extremereignissen auf den Austrag von Schwermetallen erlauben sollen.



# Einfluss von hydrologischer Konnektivität auf die Modellierung von Pflanzenschutzmitteln mit SWAT+

Anne-Kathrin Wendell<sup>1</sup>, Björn Guse<sup>1,2</sup>, Jens Kiesel<sup>1</sup>, Paul D. Wagner<sup>1</sup>, Nicola Fohrer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Kiel, [awendell@hydrology.uni-kiel.de](mailto:awendell@hydrology.uni-kiel.de), [pwagner@hydrology.uni-kiel.de](mailto:pwagner@hydrology.uni-kiel.de), [jkiesel@hydrology.uni-kiel.de](mailto:jkiesel@hydrology.uni-kiel.de), [nfohrer@hydrology.uni-kiel.de](mailto:nfohrer@hydrology.uni-kiel.de)

<sup>2</sup>GeoForschungsZentrum Potsdam, Sektion Hydrologie, Potsdam, [bfguse@gfz-potsdam.de](mailto:bfguse@gfz-potsdam.de)

Der Austrag von Pflanzenschutzmitteln (PSM) aus landwirtschaftlichen Flächen wurde als einer der Gründe für den Rückgang der Biodiversität identifiziert. Besonders stark betroffen sind aquatische Arten. PSM sind nicht nur wegen ihrer wirkstoffspezifischen Eigenschaften, sondern auch wegen der Anreicherung persistenter und mobiler Abbauprodukte in der Umwelt als kritisch zu bewerten. In Tieflandregionen können diese Substanzen leicht über landwirtschaftliche Drainagen in Oberflächengewässer transportiert werden. Dabei werden die Verluste durch die hydrologische Konnektivität des Bodens beeinflusst. Daher ist ein tieferes Verständnis der Transportprozesse unabdingbar, um effiziente Maßnahmen zu entwickeln und die Gewässer vor dem Eintrag von PSM zu schützen.

Öko-hydrologische Modelle wie das Soil and Water Assessment Tool (SWAT+) sind geeignete Werkzeuge, um dominante Transportprozesse von PSM zu identifizieren. Um die Bedeutung der einzelnen Transportprozesse unter verschiedenen Rahmenbedingungen zu untersuchen, werden die Modellergebnisse aus Zeiträumen mit i) hoher und ii) geringer hydrologischer Konnektivität gegenübergestellt. Hierfür wird ein Modell verwendet, das für Abfluss und PSM-Austrag kalibriert wurde. Zur Bewertung der Modellergebnisse werden die Verluste von Flufenacet aus einem 100 ha großen Einzugsgebiet betrachtet, das primär durch ein zusammenhängendes Drainagenetz von 6,3 km Länge entwässert wird. Ein Zeitraum mit einem monatlichen Niederschlag von 50 mm repräsentiert den Zustand mit geringer hydrologischer Konnektivität des Bodens und ein Zeitraum mit 100 mm Niederschlag pro Monat den mit einer hohen Konnektivität.

Während der Phase der hohen hydrologischen Konnektivität erreicht das Modell einen NSE (Nash-Sutcliffe-Effizienzkoeffizient) von 0,86 und einen PBIAS (prozentuale Abweichung) von -2,2 für den Abfluss. Während der Phase mit geringer Konnektivität verschlechtert sich die Modellgüte um ca. 20%. Die modellierten Verluste von Flufenacet unter Bedingungen mit einer geringen Konnektivität erweisen sich als träge, sodass Konzentrationsspitzen nach der Applikation bei schwachen Niederschlägen nicht abgebildet werden. Mit zunehmender Konnektivität verbessert sich der modellierte Austrag von Flufenacet. Die Darstellung der Transformationsprodukte wird aufgrund ihrer hohen Mobilität, erleichtert. Während einer Phase mit hoher Konnektivität können sowohl Muttersubstanz als auch die Abbauprodukte von Flufenacet in ausreichender Güte abgebildet werden, wobei bei geringer Konnektivität die Austragsprozesse bei schwachen Niederschlägen verbessert werden sollte.



# **Bewertung der Gewässergüte anhand von niederschlagsereignisbasierten Messungen von Sediment- und Phosphorkonzentrationen im Einzugsgebiet der Kielstau**

Henrike Traute Risch<sup>1</sup>, Paul Wagner<sup>2</sup>, Nicola Fohrer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstraße 75, 24118 Kiel, hrisch@hydrology.uni-kiel.de

<sup>2</sup> Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstraße 75, 24118 Kiel, pwagner@hydrology.uni-kiel.de

<sup>3</sup> Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstraße 75, 24118 Kiel, nfohrer@hydrology.uni-kiel.de

Obwohl seit Einführung der EU-Wasserrahmenrichtlinie mehr als zwei Jahrzehnte vergangen sind, konnte der angestrebte „gute Zustand“ in den deutschen Oberflächengewässern trotz verschiedener umgesetzter Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphoreinträge und der damit verbundenen Umweltauswirkungen nicht erreicht werden. Diffuse Quellen aus der Landwirtschaft, insbesondere Einträge aus Erosion und Entwässerung durch Drainagen, tragen erheblich zur Phosphorbelastung bei.

Um den Einfluss von zunehmend häufiger auftretenden starken Niederschlagsereignissen detailliert zu betrachten, wurde von Mai bis November 2021 eine eventbasierte Messkampagne im ca. 50 km<sup>2</sup> großen Einzugsgebiet der Kielstau im Norden Schleswig-Holsteins durchgeführt. Sowohl am Gebietsauslass als auch oberhalb der Mündung eines kleinen Zuflusses in die Kielstau, wurden bei niederschlagsbedingten Wasserstandsänderungen eine automatische Wasserprobenentnahme mit hoher zeitlicher Auflösung und logarithmischer Verteilung gestartet. Die Wasserproben wurden auf suspendiertes Sediment, lösliche Orthophosphate und partikulären Phosphor untersucht.

Der Vergleich zu den Tagesmischproben am Gebietsauslass zeigt deutliche Unterschiede. Vermehrt ist eine Abmilderung der Konzentrationsspitzen bei den Mischproben gegenüber den ereignisbasierten Messungen zu finden. Teils beeinflussen diese die Einordnung in die Gewässergütekategorien nach Rahmenkonzeption (RaKon) zur Aufstellung von Monitoringprogrammen und zur Bewertung des Zustands von Oberflächengewässern der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Durch den höheren Mehraufwand bei der Betreuung und Analyse niederschlagsereignisbasierten Messungen, können diese nicht als ein Ersatz der Tagesmischproben genutzt werden. Stattdessen macht diese Analyse deutlich, dass detaillierte Kampagnenmessungen eine wichtige Erweiterung zur realistischen Abbildung der Konzentrationsschwankungen in Gewässern bilden.



# Ein Leitfaden für räumlich-zeitliche Konsistenz bei der Modellierung der Wasserqualität in ländlichen Gebieten

Nicola Fohrer<sup>1</sup>, Paul D. Wagner<sup>1</sup>, Jens Kiesel<sup>1</sup>, Marcelo Haas<sup>1,2</sup>, Björn Guse<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, Kiel, [nfohrer@hydrology.uni-kiel.de](mailto:nfohrer@hydrology.uni-kiel.de), [pwagner@hydrology.uni-kiel.de](mailto:pwagner@hydrology.uni-kiel.de), [jkiesel@hydrology.uni-kiel.de](mailto:jkiesel@hydrology.uni-kiel.de), [mhaas@hydrology.uni-kiel.de](mailto:mhaas@hydrology.uni-kiel.de), [bguse@hydrology.uni-kiel.de](mailto:bguse@hydrology.uni-kiel.de)

<sup>2</sup>Federal Institute of Education Science and Technology Sul-Rio-Grandense, Pelotas, Brasilien

<sup>3</sup>GeoForschungsZentrum Potsdam, Sektion Hydrologie, Potsdam

Bei der Modellierung von Wasserqualitätsvariablen müssen sowohl die hydrologischen Prozesse als auch die terrestrischen und aquatischen Stoffkreisläufe abgebildet werden. In diesem Beitrag diskutieren wir sechs Herausforderungen für eine konsistente Modellierung der Wasserqualität in ländlich geprägten Einzugsgebieten: (i) Realistische Abbildung der räumlichen und zeitlichen Mustern der Landnutzung und -bewirtschaftung, (ii) diagnostische Analyse der Modellstruktur und -parameter zur Verbesserung des Prozessverständnisses, (iii) Analyse zeitlicher und räumlicher Muster mehrerer wasserqualitätsbezogener Modellausgaben, (iv) multimetrische Kalibrierung aller Abfluss- und Wasserqualitätsgrößen für gute Modellergebnisse für alle Zustände, (v) Simulation von realistischen Szenarien, die unter Einbeziehung von lokalen Interessengruppen entwickelt wurden, und (vi) diagnostische Interpretation von Bewirtschaftungsoptionen zur Identifikation der bestmöglichen Handlungsalternativen. Die Zielsetzung des Beitrags richtet sich auf die Erhöhung der Konsistenz von Wasserqualitätsmodellierung in mesoskaligen Einzugsgebieten.



# Der UN SDG 6.3.2 Indikator, ein globales Instrument zur Bestimmung der Wasserqualität

Moritz Heinle<sup>1</sup>, Dmytro Lisniak<sup>2</sup>, Philipp Saile<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde, Internationales Zentrum für Wasserressourcen und Globalen Wandel, [heinle@bafg.de](mailto:heinle@bafg.de)

<sup>2</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde, Internationales Zentrum für Wasserressourcen und Globalen Wandel, [Lisniak@bafg.de](mailto:Lisniak@bafg.de)

<sup>3</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde, Internationales Zentrum für Wasserressourcen und Globalen Wandel, [Saile@bafg.de](mailto:Saile@bafg.de)

Eines der Sustainable Development Goals (SDGs) die auf dem UN Sustainable Development Summit 2015 verabschiedet wurden (UN 2015) ist SDG 6, „Verfügbarkeit und Nachhaltiges Management von Wasser und Sanitäreinrichtungen für jeden“. Unterziel 6.3 verspricht, „Bis 2030 die Wasserqualität weltweit zu verbessern, durch verringerte Verschmutzung, Beseitigung von Verkippung und Minimierung der Freisetzung gefährlicher Chemikalien, Halbierung des Anteils unbehandelten Abwassers, und substantielle Erhöhung von Wasserrecycling“. Unter Schirmherrschaft der UN-Water Integrated Monitoring Initiative for SDG 6 und des United Nation Environment Programme wurde der SDG 6.3.2 Indikator entwickelt, der den Anteil an Wasserkörpern eines Landes mit guter Wasserqualität veranschaulicht (UNEP 2020).

Zwei globale Datenerhebungen wurden bisher durchgeführt, 2017 zur Erfassung von Referenzbedingungen und 2020. Im Zuge dieser Datenerhebungen wurden auch eine Vielzahl lokaler Workshops veranstaltet, um das nötige Leistungsvermögen zur Wasserqualitätsanalyse in den teilnehmenden Ländern sicher zu stellen. Dieses Jahr wird nun die dritte Datenerhebung durchgeführt.

Während 2017 56 Staaten (UNEP 2018) teilnahmen konnte die Zahl 2020 um 40 erhöht werden (UNEP 2021), so dass momentan für 96 Staaten Daten verfügbar sind. Entsprechend konnte auch die Anzahl der untersuchten Gewässer von 65,860 (2017) auf 76,151 (2020) gesteigert werden. Während 2017 etwa 68% aller Gewässer gute Qualität hatten, sank diese Zahl 2020 auf 60%. Ein Großteil dieser Veränderung beruht allerdings auf Änderungen in der Anwendung des Indikators in Ländern, die bei beiden Datenerhebungen teilnahmen, z. B. durch Verschärfung der nationalen Referenzwerte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die bisherige Resonanz auf die Datenerhebungen sehr positiv war und die Ergebnisse eine sehr gute Grundlage bilden. Zukünftige Datenerhebungen werden nationale Trends bei der Wasserqualität genauer aufzeigen und Hotspots identifizieren an denen verstärkte Bemühungen notwendig sind.

## Literatur / References

UN – United Nations (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution 70/1 der UN Generalversammlung am 25. September 2015. Abrufbar unter <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/PDF/N1529189.pdf?OpenElement>

UNEP – United Nations Environment Programme (2018). Progress on Ambient Water Quality: Piloting the monitoring methodology and initial findings for SDG indicator 6.3.2. Abrufbar unter <https://communities.unep.org/display/sdg632/Documents+and+Materials>



UNEP – United Nations Environment Program (2020). An Introduction to SDG Indicator 6.3.2: Proportion of Bodies of Water with Good Ambient Water Quality. Abrufbar unter <https://communities.unep.org/display/sdg632/Documents+and+Materials>

UNEP – United Nations Environment Program (2021). Progress on Ambient Water Quality: Global Indicator 6.3.2 Updates and Acceleration Needs. Abrufbar unter <https://communities.unep.org/display/sdg632/Documents+and+Materials>



## Vorträge: KI in der Hydrologie

# A data-agnostic method to investigate dominant controls across Earth system observations and models

Robert Reinecke<sup>1</sup>, Francesca Pianosi<sup>2,3</sup>, Thorsten Wagener<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Environmental Science and Geography, University of Potsdam, Potsdam, Germany

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, University of Bristol, Bristol, UK

<sup>3</sup> Cabot Institute, University of Bristol, Bristol, UK

We are in a state of exuberance and starvation of Earth system data. Model ensembles of increasing complexity provide petabytes of output, while remote sensing products offer terabytes of new data every day. On the other hand, we lack data on processes that are more challenging to observe, like groundwater recharge, or only have data from regions already heavily impacted by anthropogenic change, thus creating highly imbalanced datasets. Our ability to produce and collect mountains of data contrasts with our progress in improving scientific process understanding. How can we harness models and data alike to enhance our knowledge and test scientific hypotheses about process relationships given poorly known uncertainties? We present a method to approach this problem while being agnostic to the data source, i.e. without the need to specific sampling strategies as often required by algorithms of Sensitivity Analysis. Our approach allows us to interrogate given datasets to identify correlational and possibly causal relationships between the variables included. We test the method on an ensemble of complex global hydrological models and observations to demonstrate its usefulness and limitations, i.e. from the ISIMIP experiments. We show that our approach can provide powerful insights into dominant process controls while scaling with large amounts of data.



# Abflussmodellierung mittels Machine Learning Verfahren im Vergleich zum konzeptionellen Modell HBV am Beispiel der Ems

Alexander Ley<sup>1</sup>, Helge Bormann<sup>2</sup>, Markus Casper<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth, Referat Forschung und Transfer, alexander.ley@jade-hs.de

<sup>2</sup>Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth, Referat Forschung und Transfer, helge.bormann@jade-hs.de

<sup>3</sup>Universität Trier, Physische Geographie, AG Modellbildung und Simulation, casper@uni-trier.de

Konzeptionelle und physikalische Modelle sind bewährte Ansätze zur Darstellung hydrologischer Prozesse in Einzugsgebieten. Sie wurden auf Basis des hydrologischen Prozessverständnisses entwickelt und es wird allgemein davon ausgegangen, dass sie auch die Auswirkungen von Umweltveränderungen auf den Wasserhaushalt abbilden können. Algorithmen des maschinellen Lernens (Machine Learning), auch künstliche Intelligenz genannt, finden jedoch zunehmende Beachtung in der hydrologischen Community. Machine Learning Modelle bilden die physikalisch relevanten Abflussprozesse auf Basis historischer Daten nach, indem sie funktionale Beziehungen zwischen Eingangsdaten und der Zielgröße herstellen (Duan et al., 2020). Allerdings bleiben Aussagen über ein allgemein gültiges Modellierungsverhalten der Machine Learning Modelle oft vage aufgrund der Einzigartigkeit der Einzugsgebiete und der schwer zu analysierenden internen Prozesse.

Um ein besseres Verständnis zu erlangen, wurden die Simulationen zweier Machine Learning Modelle, RNN und LSTM (Hochreiter and Schmidhuber, 1997), mit denen des konzeptionellen hydrologischen Modells HBV (Bergström and Forsman, 1973) im Einzugsgebiet der Ems verglichen. Aufgrund ihrer Architektur haben sich RNN- und LSTM-Modelle als besonders geeignet für die Abflussmodellierung erwiesen, da sie relevante Speicherprozesse berücksichtigen können (Kratzert et al., 2018). Anschließend wurden die Ergebnisse nicht nur mit Hilfe weit verbreiteter statistischer Indizes (NSE, KGE,  $R^2$ , logNSE und Index of Agreement) bewertet, sondern es wurden auch sogenannte Signature-Indizes (Yilmaz et al., 2008) verwendet, die bestimmte Bereiche der Abflussdauerlinie betrachten.

Im direkten Vergleich zeigen die Machine Learning Modelle für den Großteil der betrachteten Indizes bessere Ergebnisse als das HBV-Modell (NSE, KGE,  $R^2$  und Index of Agreement). Allerdings weisen beide Machine Learning Modelle für niedrige Abflüsse (logNSE) in zwei Teileinzugsgebieten erhebliche Einbußen in der Modellgüte auf. Die Signature-Indizes zeigen, dass die Machine Learning Modelle für die Ems eine gute Darstellung des Gesamtwasserhaushalts liefern, während das HBV-Modell hingegen seine Stärke in der korrekten Wiedergabe der Abflussdynamik hat.

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse wird eine erste Einschätzung von Stärken und Schwächen im Hinblick auf die Anwendbarkeit der verschiedenen Modelltypen im Rahmen von Klimafolgenabschätzungen vorgenommen. Die Ergebnisse der Machine Learning Verfahren werden durch Analysen aus dem Bereich der *explainable AI* (erklärbare künstliche Intelligenz) gestützt und daraufhin untersucht, ob möglicherweise ein hydrologisches Prozessverständnis erlernt wurde.



## Literatur / References

- Bergström, S., Forsman, A., 1973. Development of a conceptual deterministic rainfall-runoff model. *Hydrology Research* 4, 147–170. <https://doi.org/10.2166/nh.1973.0012>
- Hochreiter, S., Schmidhuber, J., 1997. Long Short-Term Memory. *Neural Computation* 9, 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- Kratzert, F., Klotz, D., Brenner, C., Schulz, K., Herrnegger, M., 2018. Rainfall–runoff modelling using Long Short-Term Memory (LSTM) networks. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22, 6005–6022. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6005-2018>
- Yilmaz, K.K., Gupta, H.V., Wagener, T., 2008. A process-based diagnostic approach to model evaluation: Application to the NWS distributed hydrologic model. *Water Resources Research* 44. <https://doi.org/10.1029/2007WR006716>



# Räumliche und zeitliche Vorhersage pluvialer Überflutungen unter Berücksichtigung verschiedener Eingabedatenströme: Ein Deep Learning Ansatz

Benjamin Burrichter<sup>1</sup>, Juliana Koltermann da Silva<sup>2</sup>, Markus Quirmbach<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau, [Benjamin.Burrichter@hs-ruhrwest.de](mailto:Benjamin.Burrichter@hs-ruhrwest.de)

<sup>2</sup>Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau, [Juliana.KoltermannndaSilva@hs-ruhrwest.de](mailto:Juliana.KoltermannndaSilva@hs-ruhrwest.de)

<sup>3</sup>Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau, [Markus.Quirmbach@hs-ruhrwest.de](mailto:Markus.Quirmbach@hs-ruhrwest.de)

Eine Folge des Klimawandels sind zunehmend auftretende Starkregenereignisse, die insbesondere in den hochverdichteten urbanen Gebieten immer wieder zu einer Überlastung der Entwässerungsstruktur und in der Folge zu Sturzfluten führen. Die jüngsten Ereignisse haben hier besonders verheerend gezeigt, welches hohe Sicherheitsrisiko für die betroffene Bevölkerung und auch Einsatzkräfte des Krisenmanagements von solchen Ereignissen ausgeht. Warnmeldungen über das Ausmaß und insbesondere die Örtlichkeit bevorstehender Ereignisse sind jedoch oft ungenau oder fehlen vollständig. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, wird im Rahmen des Forschungsprojektes KIWaSuS ein Echtzeitwarnsystem vor urbanen Sturzfluten entwickelt. Dabei wird auf tiefe künstlich Neuronale Netze, die häufig auch unter dem Begriff Deep Learning zusammengefasst werden, zur Vorhersage von urbanen Sturzfluten zurückgegriffen. Ziel ist es, Überstau- und Überflutungsflächen für einen Zeitraum von bis zu zwei Stunden möglichst adäquat vorherzusagen.

Die generelle Eignung von Verfahren des Maschinellen Lernens zur Berechnung von Überflutungsflächen konnte bereits in verschiedenen Arbeiten nachgewiesen werden (vgl. Berkahn et al. (2019), Guo et al. (2021), Hofmann und Schüttrumpf (2021), Löwe et al. (2021)). Während die aufgeführten Arbeiten sich mit der Prognose der maximalen Wasserstände für ein Ereignis beschäftigen, umfasst der hier vorgestellte Ansatz ein Modell, das zu jedem beliebigen Zeitpunkt während eines laufenden Ereignisses eine Vorhersage der Wasserstände für die kommenden Zeitschritte generieren kann. Neben Niederschlagsmessungen und einer Niederschlagsprognose wird dazu auch der aktuelle Zustand im Kanalnetz berücksichtigt, der im Projekt KIWaSuS<sup>1</sup> über ein LowCost-Sensorsystem messtechnisch erfasst wird. Dadurch können sowohl die Auswirkungen des vorhandenen Speichervolumens zu Ereignisbeginn als auch einer Überlastungssituation im weiteren Ereignisverlauf berücksichtigt werden. Zur Visualisierung der Vorhersage wird eine dynamische Karte erzeugt, die analog zu einer Wetterradar-App, den räumlichen und zeitlichen Verlauf der bevorstehenden Überflutungssituation abbildet.

Bei dem hier vorgestellten Deep Learning Ansatz handelt es sich um eine Weiterentwicklung des in Burrichter et al. (2022) vorgestellten Modells. Dazu wurde analog zu den Untersuchungen von Guo et al. (2021) und Löwe et al. (2021) die zusätzliche Berücksichtigung von räumlichen Informationen (u. a. Befestigungsgrad, Fließwege und Senken) geprüft. Dabei handelt es sich neben Niederschlagsinformationen und Überstauinformationen um eine dritte Eingabegröße. Als Modellarchitektur wird eine Autoencoder-Struktur

---

<sup>1</sup> Weitere Informationen zum Projekt finden sich auf der KIWaSuS Homepage ([www.kiwasus.de](http://www.kiwasus.de))



in Anlehnung an Guo et al. (2021) verwendet. Das Zusammenführen der drei Eingabedatenströme erfolgt dabei auf Höhe der mittleren Schicht („Flaschenhals“). Eine weitere wesentliche Änderung gegenüber Burrichter et al. (2022) besteht in der Art und Weise in der die Überstauinformationen berücksichtigt werden. Diese werden hier als Graph anstelle einer Raster-Sequenz dem Modell als Eingabe zur Verfügung gestellt. Zur Verarbeitung der Graph Struktur wird auf ein Graph Neural Network zurückgegriffen, dessen Architektur in Anlehnung an Yu et al. (2017) entwickelt wurde. Durch die aufgeführten Änderungen konnten die Ergebnisse deutlich verbessert werden. Darüber hinaus führt die Graph Struktur bei den Überstauinformationen zu einem deutlich geringeren Speicherbedarf sowie kürzeren Rechenzeiten.

## Literatur

- Berkhahn, S., Fuchs, L., Neuweiler, I. (2019). An ensemble neural network model for real-time prediction of urban floods. In: *Journal of Hydrology* (575), S. 743–754. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.05.066.
- Burrichter, B., Koltermann, J., Quirnbach, M. (2022). KI-basierte Vorhersage kanalinduzierter Überflutungen. In: *Grün statt grau. Mit Blau-Grünen Infrastrukturen gemeinsam die Siedlungsentwässerung der Zukunft planen. Unter Mitarbeit von Andy Disch und Jörg Rieckermann. Aqua Urbanica. Glattfelden, Schweiz, 14. /15. November 2022. Eawag, S. 218–225.*
- Guo, Z.; Leitão, J. P., Simões, N. E., Moosavi, V. (2021). Data-driven flood emulation: Speeding up urban flood predictions by deep convolutional neural networks. In: *Journal of Flood Risk Management* 14 (1). DOI: 10.1111/jfr3.12684.
- Hofmann, J., Schüttrumpf, H. (2021). floodGAN: Using Deep Adversarial Learning to Predict Pluvial Flooding in Real Time. In: *Water* 13 (16), S. 2255. DOI: 10.3390/w13162255.
- Löwe, R.; Böhm, J., Jensen, D. Getreuer, Leandro, J.; Rasmussen, S. Højmark (2021). U-FLOOD – Topographic deep learning for predicting urban pluvial flood water depth. In: *Journal of Hydrology* 603, S. 126898. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126898.
- Yu, B., Yin, H., Zhu, Z. (2017). Spatio-Temporal Graph Convolutional Networks: A Deep Learning Framework for Traffic Forecasting. Online verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/1709.04875>.



# Zur Entwicklung eines zeitlich dynamischen „multi-step“ Echtzeit-Überflutungsvorhersagesystems

Felix Schmid<sup>1</sup>, Jorge Leandro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universität Siegen, Lehrstuhl für Hydromechanik und Wasserbau, [Felix.Schmid@uni-siegen.de](mailto:Felix.Schmid@uni-siegen.de)

<sup>2</sup>Universität Siegen, Lehrstuhl für Hydromechanik und Wasserbau, [Jorge.Leandro@uni-siegen.de](mailto:Jorge.Leandro@uni-siegen.de)

Die extremen Hochwasserereignisse der letzten Jahre haben erneut das immense Gefahrenpotenzial solcher Ereignisse verdeutlicht. Für den Schutz der Bevölkerung ist neben der Regen- oder Abflussmenge eine detaillierte räumliche Überflutungsvorhersage in Form von Wasserstandskarten notwendig. Datengetriebene Modelle sind aufgrund ihrer Recheneffizienz für diese Aufgabe besser geeignet als physikalisch basierte Simulationen. Häufig vernachlässigen jedoch diese Modelle die zeitliche Dynamik des Ereignisses und sagen lediglich den maximal auftretenden Wasserstand für das gesamte Ergebnis vorher. Im Falle einer echten operativen Vorhersage, ist allerdings das gesamte Ereignis nicht bekannt. Um somit trotzdem eine optimale Überflutungsvorsorge zu betreiben, ist es von Bedeutung die zeitliche Entwicklung der Wasserstände zu kennen.

Um dieser Herausforderung zu begegnen, wurde in dieser Studie ein zeitlich dynamisches „multi-step“ Echtzeit-Überflutungsvorhersagesystem für ein gesamtes Einzugsgebiet entwickelt. Das Vorhersagesystem besteht aus einem zweistufigen faltenden neuronalen Netzwerk („Convolutional neural network – CNN“) und betrachtet den Vorhersageprozess als Bild zu Bild Übersetzung. In der ersten Stufe nimmt das System einen Hydrographen bis zu einem bestimmten Zeitpunkt als Eingabe auf. Erreicht dieser einen bestimmten Schwellenwert, wird die Vorhersage ausgelöst und der zu erwartende Wasserstand für diesen Zeitpunkt generiert. Die anschließende zweite Stufe des Vorhersagesystems ist für den „multi-step“ verantwortlich. Dazu werden für die gewünschten Vorhersagezeitpunkte ( $t+2$ ,  $t+3$ ,  $t+4$ ,  $t+n$ ) der Hydrograph bis zu den jeweiligen Zeitpunkten und der eigens vorhergesagte Wasserstand der vorherigen Zeitpunkte ( $t+1$ ,  $t+2$ ,  $t+3$ ,  $t+(n-1)$ ) verwendet. Infolge dieser Implementierungsstrategie ist es möglich zeitlich dynamische Wasserstandskarten für verschiedene Zeitschritte und zugleich das gesamte Einzugsgebiet zu generieren. Die Ergebnisse zeigen, dass Wasserstände beispielsweise für die nächsten 12h in einem 3h-Takt lediglich mit einer Abweichung von 8cm im Vergleich zu einem physikalisch basierten Modell geliefert werden können. Aufgrund der extrem schnellen Vorhersagezeit (innerhalb von weniger Sekunden), lässt sich der Vorhersageprozess leicht von neu starten, im Falle, dass sich Eingangsdaten ändern oder Ensemble-Vorhersagen berücksichtigt werden sollen. Somit ist das Vorhersagesystem zudem tauglich für die Implementierung als operatives Echtzeitvorhersagesystem.



# Machine-Learning in der Hochwasserprognose – eine Chance zur Integration von gewichteten Ensemble-Ansätzen?

Henning Ooppel<sup>1</sup>, Georg Johann<sup>2</sup>, Svenja Fischer<sup>3</sup>, Jenny Kupzig<sup>4</sup> und Benjamin Mewes<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Okeanos Smart Data Solutions GmbH, [henning.oppel@okeanos.ai](mailto:henning.oppel@okeanos.ai)

<sup>2</sup>Emschergenossenschaft/Lippeverband, [Johann.Georg@eglv.de](mailto:Johann.Georg@eglv.de)

<sup>3</sup>Ruhr-Universität Bochum, DFG-Forschungsgruppe SPATE, [svenja.fischer@rub.de](mailto:svenja.fischer@rub.de)

<sup>4</sup>Okeanos Smart Data Solutions GmbH, [jenny.kupzig@okeanos.ai](mailto:jenny.kupzig@okeanos.ai)

<sup>5</sup>Okeanos Smart Data Solutions GmbH, [benjamin.mewes@okeanos.ai](mailto:benjamin.mewes@okeanos.ai)

Kein Modell kann eine perfekte Abbildung der Realität sein. In der Hydrologie werden einzelne Modelle daher unter Verwendung von langen Zeitreihen darauf kalibriert, die häufigsten Systemzustände abzubilden. Einzelne Parametersätze, stellen somit stets eine Kompromisslösung dar. Durch einen solchen Standard-Parametersatz wird für den Gesamtzeitraum eine hohe Güte erreicht; einzelne, besonders selten vorkommende Situationen können jedoch nicht ausreichend gut abgebildet werden. Diesem Problem kann durch den Einsatz von Spezialparametersätzen entgegengetreten werden. Diese Spezialparametersätze werden anhand von ausgewählten Abschnitten einer Zeitreihe kalibriert, um die zugrundeliegenden Prozesse in der Kalibrierung überproportional abzubilden. Diese Auswahl der Zeitabschnitte kann beispielsweise für unterschiedliche Hochwassertypen angewendet werden, sodass für verschiedene Hochwassertypen verschiedene Spezialparametersätze ermittelt werden.

Nach der Ermittlung eines Standard-Parametersatz sowie diverser Spezialparametersätze, können diese Parametersätze beispielsweise in der operationellen Hochwasserprognose eingesetzt werden. Zur Realisierung eines gewichteten Ensemble-Ansatzes, wird ein Schätzer benötigt, der mit Hilfe der bereits zur Verfügung stehenden Daten (Niederschlagsaufzeichnungen und -prognosen und aktueller Abfluss) eine Prognose produziert, ob in den nächsten 48 Stunden mit einem Hochwasserereignis zu rechnen ist. Falls dies der Fall ist, wird ein Schätzer für die Eintrittswahrscheinlichkeit der verschiedenen Hochwassertypen benötigt. Entsprechend dieser Wahrscheinlichkeiten könnten die Gewichtungen der Ganglinien der verschiedenen Parametersätze angepasst werden, und so über ein gewichtetes Mittel die Prognosegüte verbessert werden. Am Beispiel des Oberlaufs der Emscher demonstrieren wir, wie Machine Learning (ML) für diese Aufgabe eingesetzt werden, und welche Verbesserung in der Prognose erreicht werden kann.

In der Fallstudie wurde ein Ensemble von ML-Algorithmen, bestehend aus Entscheidungsbäumen, Neuronalen Netzen, Support Vector Machines und Naive Bayes Classifier trainiert. Ziel war hierbei die Ermittlung der Wahrscheinlichkeit, ob ein Ereignis bevorsteht, sowie die Wahrscheinlichkeit, welcher Hochwassertyp auftreten wird. Als Informationsgrundlage für diese Schätzung wurden verschiedenen Niederschlagscharakteristika und der aktuelle Abfluss verwendet. Diese prognostizierten Wahrscheinlichkeiten wurden anschließend als Wichtungen für ein NASIM Parameter-Ensemble bestehend aus einem Standard-Parametersatz und vier Spezialparametersätzen verwendet. Die Ergebnisse zeigen das Potential des Ansatzes, Hochwasserprognosen zu verbessern, ermöglichen aber auch einen detaillierten Blick auf die Grenzen der Anwendbarkeit sowie auf die Unsicherheiten der ML-basierten Prognose.



# Verbessertes eventbasiertes Hochwasserwarnsystem für kleine Einzugsgebiete mit Hilfe künstlicher Intelligenz und dem CatRaRe-Katalog

Anika Hotzel<sup>1</sup>, Christoph Mudersbach<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Bochum, Lehrgebiet für Wasserbau und Hydromechanik, [anika.hotzel@hs-bochum.de](mailto:anika.hotzel@hs-bochum.de)

<sup>1</sup> Hochschule Bochum, Lehrgebiet für Wasserbau und Hydromechanik, [christoph.mudersbach@hs-bochum.de](mailto:christoph.mudersbach@hs-bochum.de)

Die Vorhersage, Warnung und Auswirkungen von Starkniederschlagsereignissen sind stark abhängig von der verfügbaren Datengrundlage und von regionalen Faktoren. Besonders in kleinen Einzugsgebieten (EZG) wird eine explizite Warnung häufig durch das Fehlen von Abflussdaten erschwert. Auch die Auswirkungen von urbanen Sturzfluten, ausgelöst durch Starkregenereignisse, können in EZG von kleinen Fließgewässern schwer vorhergesagt werden. Dadurch steigt das Risiko für unerwartete Schäden in diesen Gebieten enorm. Vorhersagesysteme für kleine EZG (bis ca. 200 km<sup>2</sup>), stützen sich bisher meist nur auf die Niederschlagsvorhersage und eine simple Bodenwasserbilanzierung. Mit diesen Untersuchungen wird eine durch künstliche Intelligenz verbesserte Methodik zur Vorhersage von Hochwasserereignissen in kleinen EZG vorgestellt.

Als Grundlage der Untersuchungen von Starkregenereignissen in kleinen EZG wird der CatRaRe-Katalog mit Starkregenereignissen der letzten 20 Jahre vom Deutschen Wetterdienst verwendet. Für eine konkrete gebietsbezogene Vorhersage fehlen jedoch weiter stationäre Gebietsparameter und Abflussdaten von Fließgewässern innerhalb des Einzugsgebiets. Letztere wurden durch ein rekurrentes neuronales Netzwerk (RNN) in Form von Abflussverhältnisswerten modelliert. So entsteht unter zusätzlicher Berücksichtigung des CatRaRe-Katalogs eine Stufenvorhersagesystematik ausgewählter, kleiner Einzugsgebiete in Nordrhein-Westfalen (NRW).

Auf Basis des Digitalen Geländemodells von NRW (DGM50), werden Einzugsgebiete bestimmt und den Ereignissen des CatRaRe-Katalogs zugeordnet. Für jedes ausgewählte Einzugsgebiet werden die maximalen Abflusswerte eines Pegels, innerhalb eines vorgegebenen Zeitfensters nach dem Niederschlagsereignis untersucht. Als zusätzlicher Faktor wird das Verhältnis zwischen dem maximalen Abfluss sowie dem mittleren Abfluss nach einem entsprechendem Niederschlagsereignis bestimmt. In Einzugsgebieten ohne Pegel und somit auch ohne Abflusszeitreihe, wird ein RNN herangezogen, um Datenlücken zu schließen. Rekurrente Netzwerke unter Zuhilfenahme der LSTM (long term short memory) Methode wurden bereits erfolgreich zur Simulation von Zeitreihen eingesetzt, da LSTM-Netzwerke zeitliche und räumliche Variabilitäten gut modellieren können (Kratzert et al., 2018; Hu et al., 2018).

Weitere Eingabegrößen für das RNN sind die vorrangige Bodenart sowie die Größe und Topografie des jeweiligen Einzugsgebiets. Als unterschiedlich, gebietsabhängig gewichtete Maßzahlen fließen außerdem weitere Informationen über den Vorregenindex und die Stärke der Einzelereignisse ein. So kann bei einem Niederschlagsereignis berechnet werden, ob in der Vergangenheit bei ähnlich intensiven Ereignissen kritische Abflusswerte bzw. Abflussverhältnisswerte zu beobachten waren. Diese Informationen werden mittels des RNN regionalisiert und können auch auf nicht bepegelte Einzugsgebiete übertragen werden.



Mit wachsender Datengrundlage sollen in weiterführenden Analysen bereits aufgetretene Ereignisse – insbesondere das Juli-Ereignis 2021– entsprechend ausgewertet und so die Sensitivität der jeweiligen Einflussgrößen für die Vorhersage angepasst werden.

## Literatur

- Kratzert, F., Klotz, D., Brenner, C., Schulz, K., and Herrnegger, M. (2018): Rainfall–runoff modelling using Long Short-Term Memory (LSTM) networks, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 6005–6022, <https://doi.org/10.5194/hess-22-6005-2018>
- Hu, C.; Wu, Q.; Li, H.; Jian, S.; Li, N.; Lou, Z. (2018): Deep Learning with a Long Short-Term Memory Networks Approach for Rainfall-Runoff Simulation. *Water*, 10, 1543. <https://doi.org/10.3390/w10111543>



# Extrapo... was? Netzwerk-basierte Vorhersagen jenseits der Trainingsdaten

Ralf Loritz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karlsruhe Institute für Technologie, Institute für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Hydrologie, [Ralf.Loritz@kit.edu](mailto:Ralf.Loritz@kit.edu)

Neuronale Netze gehören zu den besten Modellen für zahlreiche hydrologische Fragestellungen. Obwohl mehrfach gezeigt wurde, dass sie klassische, hydrologische Ansätze in ihrer Vorhersagekraft teils deutlich übertreffen, gibt es in der hydrologischen Community noch immer Zweifel ob neuronale Netze verlässliche Vorhersagen jenseits der Trainingsdaten erlauben. Diese Arbeit adressiert diesen Punkt und stellt einen Ansatz vor, der es erlaubt, systematisch, die Fähigkeit neuronaler Netze zu testen extreme Systemzustände vorherzusagen. Der aus der Informationstheorie motivierte Ansatz erlaubt es uns dabei zu beurteilen, welche Ereignisse ein neuronales Netz vorhersagen kann, welche es nur mit zusätzlichen Daten abbilden kann und welche es nicht vorhersagen kann, was entweder auf eine unvollständige Beschreibung der Ereignisse hindeutet oder auf die falsche Modelarchitektur.



# Optische Bestimmung von Wasserstand und Durchfluss in natürlichen Fließgewässern mit KI-basierten und statistischen Verfahren

Jens Grundmann<sup>1</sup>, Anette Eltner<sup>2</sup>, Xabier Blanch<sup>2</sup>, André Kutscher<sup>1</sup>, Ralf Hedel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Dresden, Professur für Hydrologie, 01062 Dresden, jens.grundmann@tu-dresden.de

<sup>2</sup> Technische Universität Dresden, Juniorprofessur für Geosensorsysteme, 01062 Dresden

<sup>3</sup> Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI, Zeunerstraße 38, 01069 Dresden

Die Bewältigung von Naturkatastrophen, speziell von Starkregen und Hochwasser, stellt besondere Anforderungen an die Einsatzkräfte des Katastrophenschutzes. Aus Sicht von Einsatzleitungen ist eine ausreichende Vorwarnzeit wünschenswert, um „vor die Lage“ zu kommen und Handlungsoptionen bewerten zu können, sowie im Hochwasserfall Beobachtungen der Fließgewässer für ein möglichst genaues Lagebild zu erhalten. Vor diesem Hintergrund entwickelt das Projekt „KIWA: Künstliche Intelligenz für die Hochwasserwarnung“ (<http://kiwa.hydro.tu-dresden.de/>) KI-basierte Werkzeuge für die Hochwasserwarnung und Beobachtung, um Einsatzleitungen beim Bewältigen von Großschadenslagen zu unterstützen. Hierzu zählen datengetriebene Niederschlags-Abfluss-Modelle für eine frühzeitige Abflussprognose und Warnung sowie die KI-basierte robuste Quantifizierung von Wasserständen, Fließgeschwindigkeiten und Durchflüssen mit Hilfe von Überwachungskameras. Die KI's werden in einem Demonstrator zur Einsatzführung integriert und zusammen mit den Partnern aus der Praxis evaluiert. Das Projekt wird gefördert durch das BMBF.

Im Beitrag präsentieren wir den entwickelten Arbeitsablauf für die optische Messung von Zeitreihen des Wasserstandes und des Durchflusses aus Einzelbildern und kurzen Videosequenzen von Überwachungskameras. Für die Bestimmung des Wasserstandes wird zunächst ein hochpräzises 3D-Geländemodell der Messstelle mit der Structure-from-Motion (SfM)-Technik erarbeitet. Durch Vermessung von Kontrollpunkten mit einem Multiband GNSS Empfänger wird ein georeferenziertes 3D-Modell der Messstellenumgebung und des Flussbettes in Zentimetergenauigkeit erzielt. Anschließend wird in den alle 15 min aufgenommenen Einzelbildern die Wasserfläche segmentiert. Dies erfolgt automatisiert mit einer KI basierend auf CNNs (convolutional neural networks), die an einer Vielzahl von Gewässerabschnitten trainiert wurden (Eltner et al. 2021). Durch Verschneidung der segmentierten 2D-Wasserflächen mit dem hochpräzisen 3D-Geländemodell wird anschließend eine Bestimmung des Wasserstandes entlang der Uferlinie möglich. Da im Langzeitbetrieb variierende Umweltbedingungen die Position der Kamera beeinflussen können, erfolgt zu jedem Zeitschritt eine neue Berechnung der Kameraposition. Dazu werden in den Einzelbildern die Kontrollpunkte automatisch mit einem speziell trainierten CNN detektiert.

Für die Bestimmung des Durchflusses wird zunächst die Oberflächengeschwindigkeit anhand kurzer Videosequenzen mit dem Partikel Tracking Verfahren (PTV) bestimmt (Eltner et al. 2020), wobei die zuvor segmentierte Wasserfläche den Suchraum abbildet. Mithilfe des neuartigen statistischen Modellansatzes „OptiQ“ werden anschließend aus den PTV-Messungen und dem Geschwindigkeitsflächenverfahren (DIN EN ISO 748:2008-02) Durchflusszeitreihen abgeleitet. Dabei kommen Methoden der Datenfilterung und Fehlerkorrektur zum Einsatz, um kontinuierliche Zeitreihen zu erzielen.



Zur Entwicklung der Methoden wurden in Kooperation mit der Staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft in Sachsen (BfUL) an drei unterschiedlichen Messpegeln Kameras installiert, die Einzelbilder und Videos über mehrere Monate alle 15 min aufzeichnen. Im Vergleich mit den Referenzmesswerten der Messpegel zeigen die optisch bestimmten hydrologischen Größen eine gute Übereinstimmung. Die Genauigkeit bei der Wasserstandsmessung liegt im Zentimeterbereich. Beim Durchfluss sind wasserstandsabhängig größere Abweichungen zu verzeichnen, die im Mittel unter 15% betragen.

## Literatur / References

- Eltner, A. and Bressan, P. O. and Akiyama, T. and Gonçalves, W. N. and Junior, J. M.: Using Deep Learning for Automatic Water Stage Measurements. *Water Resources Research*, 2021, DOI: 10.1029/2020WR027608.
- DIN EN ISO 748:2008-02, Hydrometrie - Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Fließgeschwindigkeitsmessgeräten oder Schwimmern (ISO 748:2007).
- Eltner, A., Sardemann, H., Grundmann, J.: Technical Note: Flow velocity and discharge measurement in rivers using terrestrial and unmanned-aerial-vehicle imagery. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 24, 1429–1445, 2020.



# Exploring the Machine Learning Methods for Operational Flood Forecasting in Baden-Württemberg

Orhan Delil Tanrikulu<sup>1</sup>, Uwe Ehret<sup>2</sup>, Ingo Haag<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Water Resources and River Basin Management, orhandelilitanrikulu@gmail.com

<sup>2</sup>Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Water Resources and River Basin Management, uwe.ehret@kit.edu

<sup>3</sup>HYDRON, Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft mbH, ingo.haag@hydron-gmbh.de

Discharge prediction is an important topic in hydrology for finding solutions to the environmental problems, predicting extreme flood events, and finding design values in designing projects. Throughout history, different rainfall-runoff models and methods were developed to simulate the discharge, such as physical-based models (e.g., SHE (Abbott et al. 1986) and SWAT), conceptual models (e.g., LARSIM (Bremicker 2000), TOPMODEL (Beven & Kirkby 1979)), and data-driven models (Kratzert et al. 2018 and Nevo et al. 2022). In recent years, data-driven models have been studied in depth and implemented for different purposes (Hu et al. 2018 and Sahoo et al. 2019). This study investigates the potential of Long Short-Term Memory models for long term continuous simulations and operational flood forecasting in Baden-Württemberg. Eight catchments with different catchment sizes and characteristics are selected, and precipitation, temperature, and radiation datasets are used as predictors. Two types of models for long term simulations, without pretraining and pretrained models, and two methods for operational flood forecasting, Recursive LSTM and Multi-LSTM, are investigated. The results of the LSTM models are compared with measured discharges and the benchmark model LARSIM.

It is found that the most effective LSTM parameters on performance are the input sequence length, loss function, and the number of units. In practice, a 365-day sequence length is widely used, but it is observed that a 90-day sequence length is sufficient to produce good results and computationally efficient in terms of reducing the training runtime. Instead of using basic mean square error as a loss function, this study suggests using a modified version of the mean square error which directly includes the effect of the highest error in the sample to prevent underestimation of high flow events. In addition to the investigation of LSTM parameters, models are fed by input datasets manipulated with different transformation techniques. It is found that the quantile mapping for target values is not applicable due to retransforming issues; on the other hand, stratified sampling is found to be applicable, and it increases the performance over high flow events. However, results show that finding an optimal sample selection process is required to ensure the prediction accuracy of baseflow and intermediate flow. As an additionally generated dataset, aggregated precipitation improves the performance of the models and makes models capable of better representation of the hydrological cycle. Flow duration curve information increases the high flow prediction performance during the training. However, due to the input-output system of the method, it is unstable and produces unrealistic results for the test period.

Compared to the LARSIM results, the overall performances of the LSTM models in long term simulations are similar in most of the catchments. However, the results show that the LSTM models outperform the LARSIM in high flow events due to the LARSIM's tendency of underestimation of high flow events. In operational flood forecasting, it is found that the Recursive LSTM models are more unstable than the Multi-LSTM method since their inherent vulnerability to the input-output system. Results show that the Multi-LSTM method is consistent and performs well compared to the observed discharge values over a 4-year test period.



## Literatur / References

- Mudersbach, C. und Jensen, J. (2008). Zur Risikoermittlung in Küstenregionen mit probabilistischen Methoden - Ein Beitrag zur Beschreibung und Bewertung. In: KW - Korrespondenz Wasserwirtschaft (5), S. 260–266.
- Abbott, M., Bathurst, J., Cunge, J., O’Connell, P., & Rasmussen, J. (1986). An introduction to the european hydrological system — systeme hydrologique europeen, “she”, 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of Hydrology*, 87 (1), 61–77. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90115-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90115-0)
- Bremicker, M. (2000). Das wasserhaushaltsmodell larsim – modellgrundlagen und anwendungsbeispiele. *Freiburger Schriften zur Hydrologie*, Institut für Hydrologie, University of Freiburg, Band. <https://www.hydrology.uni-freiburg.de/publika/band11.html>
- Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / un mod`ele `a base physique de zone d’appel variable de l’hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24 (1), 43–69. <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- Kratzert, F., Klotz, D., Brenner, C., Schulz, K., & Herrnegger, M. (2018). Rainfall–runoff modelling using long short-term memory (Lstm) networks. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22 (11), 6005–6022. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6005-2018>
- Nevo, S., Morin, E., Gerzi Rosenthal, A., Metzger, A., Barshai, C., Weitzner, D., Voloshin, D., Kratzert, F., Elidan, G., Dror, G., Begelman, G., Nearing, G., Shalev, G., Noga, H., Shavitt, I., Yucklea, L., Royz, M., Giladi, N., Peled Levi, N., . . . Matias, Y. (2022). Flood forecasting with machine learning models in an operational framework. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26 (15), 4013–4032. <https://doi.org/10.5194/hess-26-4013-2022>
- Hu, C., Wu, Q., Li, H., Jian, S., Li, N., & Lou, Z. (2018). Deep learning with a long shortterm memory networks approach for rainfall-runoff simulation. *Water*, 10 (11). <https://doi.org/10.3390/w10111543>
- Sahoo, B., Jha, R., Singh, A., & et al. (2019). Long short-term memory (Lstm) recurrent neural network for low-flow hydrological time series forecasting. *Acta Geophys.*, 67, 1471–1481. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11600-019-00330-1>



# Vorhersage des Vorsorgeverhaltens von hochwassergefährdeten Privathaushalten in einem agentenbasierten Modellierungsansatz

Lisa Berghäuser<sup>1</sup>, Jens de Bruin<sup>2</sup>, Philip Bubeck<sup>1</sup>, Toon Haer<sup>2</sup>, Annegret H. Thielen<sup>1</sup>

1 Institute of Environmental Science and Geography, University of Potsdam

2 Institute for Environmental Studies (IVM), Vrije University Amsterdam

Unter den potenziellen Naturgefahren sind Überschwemmungen die häufigsten und regelmäßig verheerendsten. Sie haben erhebliche Auswirkungen zur Folge, von denen angenommen wird, dass sie in Zukunft aufgrund sozioökonomischer Entwicklung und des Klimawandels zunehmen werden. Daher ist das Verständnis der Prozesse, die (potenzielle) Hochwasserfolgen verursachen und eingrenzen, ein wichtiges Forschungsthema. Integriertes Hochwassermanagement, das u.a. aktives Vorsorgeverhalten von hochwassergefährdeten Haushalten beinhaltet, ist auf dem Vormarsch, die treibenden Prozesse sind aber noch nicht vollständig verstanden.

Die agentenbasierte Modellierung (ABM) ermöglicht es uns, komplexe dynamische Systeme abzubilden, wobei die Interaktion zwischen Mensch und Umwelt im Vordergrund steht. Hochwasserrisikobewertungen mit Hilfe von agentenbasierten Ansätzen wurden bereits erfolgreich vorgestellt und haben gezeigt, dass sie ein leistungsfähiges Instrument zur Abbildung komplexer Entscheidungswege und individuellen Verhaltens sein können. Dabei hat sich die Integration des individuellen Vorsorgeverhaltens als wichtige Komponente zur Risikoabschätzung erwiesen. Dies wurde auf unterschiedliche Weise umgesetzt, ohne dass jedoch, in Ermangelung von Daten, verschiedene Arten von Verhalten oder evidenzbasierte individuelle Dynamiken einbezogen wurden. Jüngste Studien auf der Grundlage von Paneldaten zeigten verschiedene Arten von dynamischem Vorsorgeverhalten unter den Haushalten, wie etwa wenig anpassungsfähige und gut vorbereitete Typen.

Die Integration von Erkenntnissen aus solchen evidenzbasierten Trajektorien des adaptiven Verhaltens in ein ABM ermöglicht einen neuartigen, multidisziplinären Ansatz. So ermöglichen die Paneldaten eine Validierung und Kalibrierung des Modells. Es wird angenommen, dass die Berücksichtigung einer heterogeneren Anpassung in einem Modell einen detaillierteren Einblick in komplexe dynamische Risikobewertungen ermöglicht. Ein solches Modell kann zur Untersuchung verschiedener Szenarien verwendet werden, z. B. zur Untersuchung der Auswirkungen politischer Maßnahmen. Insbesondere wollen wir Erkenntnisse darüber gewinnen, wie wenig anpassungsfähige Typen von hochwassergefährdeten Haushalten zum Handeln ermutigt werden könnten.



## Poster: KI in der Hydrologie

# Entwicklung eines KI-basierten Niederschlagsvorhersagemodells für Kürzestfrist-Niederschlagsprognosen

Juliana Koltermann da Silva<sup>1</sup>, Benjamin Burrichter<sup>2</sup>, Markus Quirnbach<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau, [Juliana.KoltermannndaSilva@hs-ruhrwest.de](mailto:Juliana.KoltermannndaSilva@hs-ruhrwest.de)

<sup>2</sup>Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau, [Benjamin.Burrichter@hs-ruhrwest.de](mailto:Benjamin.Burrichter@hs-ruhrwest.de)

<sup>3</sup>Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau, [Markus.Quirnbach@hs-ruhrwest.de](mailto:Markus.Quirnbach@hs-ruhrwest.de)

Kürzestfrist-Niederschlagsvorhersagen werden üblicherweise anhand von aufgezeichneten Radarbildern und Translation-Verfahren durchgeführt. Sie erzeugen Prognosen von bis zu zwei Stunden, allerdings mit der vereinfachten Annahme, dass die Niederschlagszellen sich innerhalb dieses Zeitraums nur bewegen sollen. Es wird keine direkte Berücksichtigung von Änderungen in den Niederschlagsintensitäten und in der Ausdehnung der Zellen getroffen, was unzureichend für viele Anwendungen in der Siedlungswasserwirtschaft ist.

Da extreme Starkregenereignisse häufiger und intensiver werden und zu Sturzfluten führen können (Kreienkamp et al. 2021), ist es notwendig, die Vorhersagegenauigkeit von diesen Ereignissen zu verbessern. Dafür stellen Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) einen vielversprechenden Lösungsansatz dar, weil das KI-Modell Muster bei der Entwicklung der Starkregenzellen erlernen kann. Ziel ist es, die Qualität der Prognosen gegenüber herkömmlichen Vorhersagemodellen zu erhöhen.

Das KI-basiertes Kürzestfrist-Niederschlagsvorhersagemodell wird im Rahmen des Forschungsprojekts KIWaSuS (KI-basiertes Warnsystem vor Starkregen und urbanen Sturzfluten) entwickelt und umfasst einen großen Teil von Nordrhein-Westfalen (NRW). Als Eingabe werden Radardaten vom DX-Produkt des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2016) für den Radarstandort Essen verwendet. Diese werden um Boden- und Festzielechos sowie um Dämpfungseffekte korrigiert (Koltermann da Silva et al. 2022) und in ein Rasterformat umgewandelt, bevor sie als Eingabe in das Modell einfließen. Für die Zielgröße des Modelltrainings wird auf umfangreich aufbereitete Radardaten für NRW, die sogenannten DX-Offline-Daten (Treis et al. 2016), zurückgegriffen.

Der erste Modellaufbau generiert basierend auf den letzten zwölf Radarbildern (vergangene Stunde) für jeden Prognosestartpunkt eine Vorhersage für die kommende Stunde. Ein reines *Convolutional*-Modell (3D-CNN) wurde als erste Modellarchitektur ausgewählt. Das 3D-CNN-Modell basiert auf dem All Convolutional-Modell von Ayzel et al. (2019a), jedoch beinhaltet es eine höhere Anzahl von Filtern pro Schicht und auch Faltungsstrukturen für 3D-Daten statt für 2D-Daten, um das Modell an das Datenformat anzupassen.

Um das Training eines KI-Modells zu ermöglichen, müssen die Daten zunächst normalisiert werden. Da die Radardaten eine extrem rechtsschiefe Datenverteilung aufweisen, sollen sie zusätzlich vor der Normalisierung transformiert werden (Koltermann da Silva et al. 2022). Zwei Datentransformationsverfahren



sind für rechtsschiefe Verteilungen empfehlenswert: Log-Transformation oder Kubikwurzel. Das 3D-CNN-Modell wurde daher für jedes Datentransformationsverfahren und für je 50 Epochen trainiert, um die beste Datentransformation für den DX-Datensatz zu bestimmen.

Die Ergebnisse wurden mit den Gütekriterien *Mean Squared Error* (MSE) und *Critical Success Index* (CSI) ausgewertet. Das 3D-CNN-Modell mit der Log-Transformation liefert bessere Ergebnisse als das KI-Modell mit der Kubikwurzel als Datentransformationsverfahren. Der Mittelwert des MSE war für die Log-Transformation (1,30 (mm/h)<sup>2</sup>) kleiner als der MSE-Mittelwert für die Kubikwurzel (1,37 (mm/h)<sup>2</sup>). Höhere CSI-Werte wurden mit der Log-Transformation für die Niederschlagsintensität-Schwellenwerte 10, 15 und 30 mm/h in allen Vorhersagehorizonten erzielt.

Die Prognosen aus dem 3D-CNN-Modell mit der Log-Transformation wurden darüber hinaus mit den Prognosen aus einem herkömmlichen Translation-Modell verglichen. Dazu wird das DenseRotation-Modell des Pakets rainymotion (Ayzel et al. 2019b) als Referenz verwendet. Für ein Starkregenereignis im Juli 2014 kann das 3D-CNN-Modell ab einen Vorhersagehorizont von 20 Minuten nach dem *Mean Absolute Error* (MAE) bessere Ergebnisse als das DenseRotation-Modell liefern. Außerdem kann das KI-Modell seine Vorhersageleistung bis zu einem Vorhersagehorizont von 35 Minuten beibehalten. Das DenseRotation-Modell andererseits verliert konstant an Leistung bereits ab einen Vorhersagehorizont von fünf Minuten.

## Literatur

- Ayzel, G., Heistermann, M., Sorokin, A., Nitikin, O., Lukyanova, O. (2019a). All convolutional neural networks for radar-based precipitation nowcasting. In: *Procedia Computer Science* 150, S. 186–192.
- Ayzel, G., Heistermann, M., Winterrath, T. (2019b). Optical flow models as an open benchmark for radar-based precipitation nowcasting (rainymotion v0.1). In: *Geosci. Model Dev.* 12, S. 1387–1402, DOI: <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1387-2019>.
- Deutscher Wetterdienst (2016). Standortprodukt DX – Informationen zum Standortprodukt DX. Online verfügbar unter: [https://www.dwd.de/DE/leistungen/radarprodukte/standortprodukt\\_dx.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/radarprodukte/standortprodukt_dx.html), zuletzt geprüft am 01.03.2022.
- Koltermann da Silva, J., Burrichter, B., Quirnbach, M. (2022). Radarbasiertes Kurzzeit-Niederschlagsvorhersagemodell von Starkregen in KIWaSuS. In: Andy Disch und Jörg Rieckermann (Eds.): "Grün statt grau" Tagungsband der Aqua Urbanica 2022 Konferenz, Glattfelden 14.-15. November 2022, Eawag, Abteilung für Siedlungswasserwirtschaft, S. 232–237.
- Kreienkamp, F., Philip, S.Y., Tradowsky, J.S., Kew, S.F., Lorenz, P., Arrighi, J., et al. (2021). Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021. In: *World Weather Attribution*. Online verfügbar unter: <https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/Scientific-report-Western-Europe-floods-2021-attribution.pdf>.
- Treis, A., Einfalt, T., Weigl, E., Keller, T., Gattke, C., Kaiser, M., et al. (2016). Kombination hochaufgelöster Radarniederschlagsinformationen und terrestrischer Ombrometerdaten – Ergebnisse des DX-Offline Projektes der Wasserverbände NRW mit dem Deutschen Wetterdienst. In: *KW - Korrespondenz Wasserwirtschaft* 9 (4), S. 233–242.



# Publizieren in der Hydrologie - Wie wir unser Wissen zukunftssicher machen

Lina Stein<sup>1</sup>, Thorsten Wagener<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Potsdam, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, lina.stein@uni-potsdam.de

<sup>2</sup>IBM Zurich Research Laboratory, Climate and Sustainability, Accelerated Discovery and AI

Als Wissenschaft ist die Hydrologie mit einer Vielzahl von interagierenden Prozessen in Verbindung mit einer enormen Heterogenität unserer Umwelt konfrontiert. Idealerweise hätten HydrologInnen umfassende Kenntnisse in allen Prozessen des Wasserkreislaufs, einschließlich ihrer Variationen auf der ganzen Welt. Aber einen solchen ganzheitlichen Ansatz für unsere Wissenschaft zu verfolgen ist aufgrund der großen Anzahl von veröffentlichten hydrologischen Artikeln problematisch geworden. So wurden allein im Jahr 2021 mehr als 27.000 Artikel zum Thema Hydrologie und Wasserressourcen veröffentlicht. Solche Publikationszahlen machen es unmöglich mit der aktuellen Literatur Schritt zu halten, ganz zu schweigen mit unserem über Jahrzehnte erworbenen Wissensschatz.

Das ist insbesondere in der Hydrologie problematisch, da wir nur mit vernetztem und interdisziplinärem Wissen den Herausforderungen unserer Zeit und unserer Wissenschaft begegnen können.

Wir stehen also vor der Aufgabe unsere existierende und zukünftige Literatur besser zu organisieren und zusammenzufassen. Wir könne uns dabei ein Beispiel an anderen Wissenschaften, wie z.B. der Medizin nehmen. Dort hat man schon viel früher die Notwendigkeit computergestützter Textanalysen (text mining) erkannt. Dabei hat die Technik, auch aufgrund der Coronapandemie, nochmal große Schritte nach vorne gemacht. Mit monatlich 9000 (!) Artikel war die schnelle Zusammenfassung und Weitergabe des Wissens an ÄrztInnen und EntscheidungsträgerInnen während der Coronapandemie besonders relevant.

Um ähnliche Fortschritte in der Hydrologie zu erzielen, gibt es aber noch einiges zu tun. Wie wir Artikel schreiben, beeinflusst stark, wie gut diese Informationen automatisiert extrahiert werden können. Dabei ist es in unser aller Interesse, unsere Publikationen gut computerlesbar zu machen, damit die Erkenntnisse auch auffind- und zusammenfassbar bleiben, um auch in Zukunft relevant zu sein. Daher geben wir hier praktische Ratschläge, die AutorInnen und Verlage für zukunftssicher Publikationen umsetzen können (Stein et al, 2022).

## Literatur / References

Stein, L., Mukkavilli, S. K., & Wagener, T. (2022). Lifelines for a drowning science-improving findability and synthesis of hydrologic publications. *Hydrological Processes*, 36(11), e14742.



# Functional Relationships as a Tool for Complex Hydrological Model Evaluation

Lina Stein<sup>1</sup>, Sebastian Gnann<sup>1</sup>, Robert Reinecke<sup>1</sup>, Thorsten Wagener<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Potsdam, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, [lina.stein@uni-potsdam.de](mailto:lina.stein@uni-potsdam.de)

The evaluation of complex global hydrological models is challenging. Observation-based evaluation remains essential, but can be difficult due to the sparse availability, uneven distribution, and uncertainty of global data. A promising expansion is exploring model outputs through model comparison, model ensembles and expert knowledge. Here we argue for the use of functional relationships between system forcing and response variables to evaluate model behaviour.

We discuss the usefulness of this approach using examples from a recently submitted study (Gnann et al.) where functional relationships are used to compare 8 global hydrological models from the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP 2b). Our work aims at providing guidance for model use and support for future model development.

## Literatur / References

Gnann, S., Reinecke, R., Stein, L., Wada, Y., Thiery, W., Schmied, H. M., ... & Wagener, T. (2022). Functional relationships reveal differences in the water cycle representation of global water models. <https://doi.org/10.31223/X50S9R>



# Random Forest-Verfahren zur Regionalisierung der Nitratkonzentration im Grundwasser

Paul L. Ohlert, Martin Bach<sup>1</sup>, Lutz Breuer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Justus-Liebig-Universität Gießen, Professur für Landschafts-, Wasser- und Stoffhaushalt, [paul.l.ohlert@en.uni-giessen.de](mailto:paul.l.ohlert@en.uni-giessen.de)

Für die Regionalisierung von Flächen mit einer Nitratkonzentration im Grundwasser oberhalb des Schwellenwertes der EU-Wasserrahmenrichtlinie von 50 mg NO<sub>3</sub>/l wurde, aufbauend auf den Arbeiten von Knoll et al. (2019, 2020), die Anwendung des maschinellen Lernverfahrens Random Forest (RF) am Beispiel des Bundeslandes Bayern untersucht. RF ist ein Ensemble-Verfahren, bei dem mit Hilfe eines nichtparametrischen, multivariaten Klassifikationsalgorithmus eine Vielzahl unabhängiger Entscheidungsbäume (*Lerner*) entworfen werden (Breiman 2001). Insgesamt wurden 15 RF-Regressions- bzw. -Klassifikationsmodelle berechnet, basierend auf drei verschiedenen Datensätzen (n = 494, 1840 und 3950 Messstellen) zu Nitratkonzentration und Prädiktoren mit unterschiedlichen Einstellungen der Hyperparameter. Für die Validierung der Ergebnisse wurden die Datensätze jeweils in einen Trainings- (80 % der Daten) und Testdatensatz (20 %) aufgeteilt. Die Modellgüte wurde für die Regressionsmodelle anhand des Korrelationskoeffizienten und des root mean square error beurteilt, die Klassifikationsmodelle anhand von (i) Anzahl der vorhergesagten Werte über dem Schwellenwert von 50 mg NO<sub>3</sub>/l ( $n_{p\_red}$ ) im Vergleich zu der Zahl der Messwerte dieser Nitratklasse im Testsatz ( $n_{red}$ ); (ii) Anzahl der Werte oberhalb des Schwellenwertes, die vom RF-Modell richtig identifiziert wurden (True Positive, TP); und (iii) Anteil der richtig in diese Nitratklasse eingeteilten Werte relativ zur Zahl der vorhergesagten Werte in dieser Klasse (True Positive Rate [%], TPR).

Mit den Regressionsmodellen wurde, abhängig vom verwendeten Datensatz, bei Validierung mit den Testdaten die Anzahl der Messstellen mit einer Nitratkonzentration >50 mg NO<sub>3</sub>/l um 44 bis 89 % unterschätzt und die TPR lag bei maximal 67 %. Die Anwendung von Klassifikationsmodellen ergab insgesamt eine bessere Repräsentation der Messstellen >50 mg NO<sub>3</sub>/l, wobei die Einteilung der Nitratmesswerte in fünf Klassen (≤10, 10-25, 25-37.5, 37.5-50, >50 mg NO<sub>3</sub>/l) in einer höheren TPR resultierte (63 bis 69 %) als die Einteilung in zwei Nitratklassen (≤50, >50 mg NO<sub>3</sub>/l; TPR = 12.5 %). Bei Anwendung auf den gesamten Messdatensatz (ohne Split Trainings-/Testdaten) wurden maximal 49 % der Messwerte >50 mg NO<sub>3</sub>/l richtig bestimmt. Die Optimierung der Hyperparameter *mtry*, *leaf nodes* und *min\_n* mittels Bootstrapping führte insgesamt gesehen nur zu einer geringfügigen Verbesserung der Modellgüte. Deutlich vielversprechendere Ergebnisse zeigen Ansätze, mit denen die ungleichmäßigen Klassenbesetzungen in den Datensätzen ausgeglichen werden. Für zukünftige RF-Anwendung ist daher ein Resampling der Daten in Betracht zu ziehen, womit die Zahl der Messwerte in den Nitratkonzentrationsklassen entweder durch die Erstellung von Kopien oder von synthetischen Daten vereinheitlicht wird. Ob RF-Modelle in Zukunft möglicherweise ein belastbares Verfahren für die Regionalisierung von Gebieten mit einer Nitratkonzentration >50 mg NO<sub>3</sub>/l darstellen, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht abschließend beurteilt werden.



## Literatur

Breiman L, 2001. Random Forests. *Machine Learning* 45(1), 5-32.

Knoll L, Bach M, Breuer L, 2019. Large scale prediction of groundwater nitrate concentrations from spatial data using machine learning. *Sci Total Environ* 668, 1317-1327.

Knoll L, Breuer L, Bach M, 2020. Nation-wide estimation of groundwater redox conditions and nitrate concentrations through machine learning. *Environm Res Lett* 15, 064004.



## Welche Prozesse kontrollieren das hydrologische System in verschiedenen Modellen?

Björn Guse<sup>1</sup>, Anna Herzog<sup>1</sup>, Stephan Thober<sup>2</sup>, Diana Spieler<sup>3</sup>, Lieke Melsen<sup>4</sup>, Jens Kiesel<sup>5</sup>, Maria Staudinger<sup>6</sup>, Paul Wagner<sup>5</sup>, Sebastian Müller<sup>2</sup>, Michael Stölzle<sup>7</sup>, Larissa Scholz<sup>5</sup>, Justine Berg<sup>7</sup>, Ralf Loritz<sup>8</sup>, Tobias Pilz<sup>9</sup>, Uwe Ehret<sup>8</sup>, Doris Düthmann<sup>10</sup>, Tobias Houska<sup>11</sup>, Sandra Pool<sup>12</sup>, Larisa Tarasova<sup>13</sup>, Dung Nguyen<sup>1</sup>, Serena Ceola<sup>14</sup>, Thorsten Wagener<sup>15</sup>, Jan Seibert<sup>6</sup>, Frederik Kratzert<sup>16</sup>, Markus Hrachowitz<sup>17</sup>, Dörthe Tetzlaff<sup>18,10</sup>, Nicola Fohrer<sup>5</sup>

1 Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) Potsdam, Sektion Hydrologie, Potsdam, Deutschland, [bjoern.guse@gfz-potsdam.de](mailto:bjoern.guse@gfz-potsdam.de), [anna.herzog@gfz-potsdam.de](mailto:anna.herzog@gfz-potsdam.de), [viet.dung.nguyen@gfz-potsdam.de](mailto:viet.dung.nguyen@gfz-potsdam.de)

2 UFZ – Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Hydrosystemmodellierung, Leipzig, Deutschland, [stephan.thober@ufz.de](mailto:stephan.thober@ufz.de), [sebastian.mueller@ufz.de](mailto:sebastian.mueller@ufz.de)

3 Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Dresden, Deutschland, [diana.spieler@tu-dresden.de](mailto:diana.spieler@tu-dresden.de)

4 Wageningen University and Research, Hydrology and Quantitative Water Management, Wageningen, Niederlande, [lieke.melsen@wur.nl](mailto:lieke.melsen@wur.nl)

5 Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Hydrologie und Wasserwirtschaft, Kiel, Deutschland, [jkiesel@hydrology.uni-kiel.de](mailto:jkiesel@hydrology.uni-kiel.de), [pwagner@hydrology.uni-kiel.de](mailto:pwagner@hydrology.uni-kiel.de), [larissa.scholz@stu.uni-kiel.de](mailto:larissa.scholz@stu.uni-kiel.de), [nfohrer@hydrology.uni-kiel.de](mailto:nfohrer@hydrology.uni-kiel.de)

6 Universität Zürich, Geographisches Institut, Zürich, Schweiz, [maria.staudinger@geo.uzh.ch](mailto:maria.staudinger@geo.uzh.ch), [jan.seibert@geo.uzh.ch](mailto:jan.seibert@geo.uzh.ch)

7 Universität Freiburg, Umwelthydrosysteme, Freiburg, Deutschland, [michael.stoelzle@hydro.uni-freiburg.de](mailto:michael.stoelzle@hydro.uni-freiburg.de), [bergius94@gmail.com](mailto:bergius94@gmail.com)

8 Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Wasser und Gewässerentwicklung – Bereich Hydrologie, Karlsruhe, Deutschland, [ralf.loritz@kit.edu](mailto:ralf.loritz@kit.edu), [uwe.ehret@kit.edu](mailto:uwe.ehret@kit.edu)

9 Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Klimaresilienz - Hydroklimatische Risiken, Potsdam, Deutschland, [topilz@pik-potsdam.de](mailto:topilz@pik-potsdam.de)

10 IGB Leibniz Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Abteilung Ökohydrologie und Biogeochemie, Berlin, Deutschland, [duethmann@igb-berlin.de](mailto:duethmann@igb-berlin.de), [d.tetzlaff@igb-berlin.de](mailto:d.tetzlaff@igb-berlin.de)

11 Technische Universität Dresden, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Dresden, Deutschland, [tobias.houska@tu-dresden.de](mailto:tobias.houska@tu-dresden.de)

12 University of Melbourne, Department of Infrastructure Engineering, Melbourne, Australien, [sandra.pool@unimelb.edu.au](mailto:sandra.pool@unimelb.edu.au)

13 UFZ – Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Catchment hydrology, Halle, Deutschland, [larisa.tarasova@ufz.de](mailto:larisa.tarasova@ufz.de)

14 Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Department of Civil, Chemical, Environmental and Materials Engineering, Bologna, Italien, [serena.ceola@unibo.it](mailto:serena.ceola@unibo.it)

15 Universität Potsdam, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, Potsdam, Deutschland, [thorsten.wagener@uni-potsdam.de](mailto:thorsten.wagener@uni-potsdam.de)

16 Google Research, Wien, Österreich, [kratzert@google.com](mailto:kratzert@google.com)

17 TU Delft, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department of Watermanagement, Delft, Niederlande, [m.hrachowitz@tudelft.nl](mailto:m.hrachowitz@tudelft.nl)

18 Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Deutschland

Seit November 2021 befassen sich 15 Nachwuchswissenschaftler\*innen im von der DFG geförderten wissenschaftlichen Netzwerk IMPRO mit der Identifikation und Analyse von Prozesslimitierungen in hydrologischen Modellstrukturen. Diese Thematik wurde bisher in drei Workshops zu den Themen Modellvergleich, Prozess- und Parametervariabilität, Modellgüte von unterschiedlichen Prozessen und Machine Learning diskutiert.

Basierend auf diesen Diskussionen wurden drei hydrologische Modelle (HBV, mHM, SWAT) für neun verschiedene Einzugsgebiete in Deutschland aufgesetzt. Für diese Gebiete wird auch Long-Short Term



Memory als Machine Learning Ansatz genutzt. Die gewählten Einzugsgebiete repräsentieren verschiedene Landschaftstypen Deutschlands und beinhalten eine Vielfalt an dominanten Abflussbildungsprozessen.

Auf dem Weg zur Analyse der Prozesslimitierungen wird die Prozessvariabilität in den Modellen mit Hilfe einer zeitlichen Parametersensitivitätsanalyse für die verschiedenen Modelle und Einzugsgebiete genauer untersucht. Hierfür wenden wir die Sensitivitätsanalyse auf verschiedene hydrologische Variablen (Abfluss, Evapotranspiration, Bodenfeuchte usw.) an. Hiermit können wir zeigen, wie diese Prozesse in den hydrologischen Modellen simuliert werden und welche Unterschiede sich zwischen den Modellen und den Einzugsgebieten ergeben.

Es zeigt sich, dass sich die dominanten modellierten Prozesse und Parameter räumlich entlang eines Nord-Süd-Gradienten ändern. Hierbei zeigen sich typische modellspezifische zeitliche Muster von dominanten Parametern. Der Vergleich zwischen den Modellen offenbart Unterschiede in der Prozesskontrolle, die im Folgenden genauer analysiert werden, um hieraus Rückschlüsse für Limitierungen in der Prozessabbildung zu erhalten.



## Intelligente Starkregen-Risikowarnung im Verkehrssektor

Dr.-Ing. Julian Hofmann<sup>1</sup>, Philipp Henkens<sup>1</sup>, Adrian Holt<sup>1</sup>, Henric Breuer<sup>2</sup>, Sinem Atilgan<sup>2</sup>, Michael Thiemann<sup>3</sup>, Marianne Brum<sup>3</sup>, Florian Kretschmann<sup>4</sup>, Christoph Schwietering<sup>4</sup>, Univ.-Prof. Holger Schüttrumpf<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RWTH Aachen University, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, [hofmann@iww.rwth-aachen.de](mailto:hofmann@iww.rwth-aachen.de)

<sup>2</sup> 4traffic Set GmbH [h.breuer@4traffic.de](mailto:h.breuer@4traffic.de)

<sup>3</sup> KISTERS AG [michael.thiemann@kisters.de](mailto:michael.thiemann@kisters.de)

<sup>4</sup> SCHWIETERING Ingenieure GmbH [christoph.schwietering@ibschwietering.de](mailto:christoph.schwietering@ibschwietering.de)

Jüngste Ereignisse haben verdeutlicht, wie verwundbar unsere Städte und Verkehrsinfrastruktur gegenüber Starkregenereignissen und hierdurch ausgelöste Überflutungen sind. Die Folgen der Überflutungen können in Abhängigkeit der Topografie und urbaner Beschaffenheit sehr schnell und mit einem hohen Zerstörungspotenzial vonstattengehen. Für eine effektive Warnung vor Unwetterereignissen sind daher detaillierte Vorhersagen zum Ort und Zeitpunkt von Überflutungen als auch deren unmittelbaren Auswirkungen von zentralem Stellenwert. Bisher erfolgen Starkregenwarnungen lediglich auf der Grundlage von Niederschlagsprognosen oder gewässerbasierter Monitoringsysteme.

Ziel des Forschungsprojekts ISRV (Intelligente starkregenbedingte Überflutungsrisikowarnung im Verkehrssektor) ist es, ein KI-gestütztes Frühwarnsystem für starkregeninduzierte Überflutungen zu entwickeln, welches in Kombination mit Echtzeit-Verkehrsinformationssystemen zukünftig die Sicherheit und Handlungsfähigkeit im Verkehrssektor erhöhen soll. Hierzu werden synthetische Starkregenszenarien durch KI-Analysen generiert, Überflutungsprozesse hydrodynamisch modelliert und risikoanalytisch ausgewertet. Die erzeugten Datensätze dienen als Trainingsinput für ein auf künstlicher Intelligenz (KI) basierendes Modell. Das KI-Modell überwindet die Rechenzeitproblematik hochaufgelöster Überflutungssimulationen und wird mit einem X-Band Radar-Vorhersagesystem in Echtzeit gekoppelt. Auf Basis des integrierten Modellsystems können erstmalig präzise und stadtgebietsweite Überflutungsvorhersagen ausgegeben und mit einem Verkehrsinformationssystem Smart-City Plattform gekoppelt werden. Auf Grundlage dieser erfolgt die Entwicklung von infrastruktur- und fahrzeugseitigen Lösungen für verkehrsregelnde Maßnahmen im Ereignisfall. Als Pilotgebiet dient die Stadt Aachen.

Darüber hinaus werden Echtzeitverkehrsdaten durch innovative Low-Cost Detektorboxen erhoben und ausgewertet, um zusammen mit Risikoanalysen von Verkehrsinfrastrukturen neue Strategie- und Maßnahmenkonzepte für den Starkregenfall zu entwickeln. Weitere Low-Cost-Sensoren werden in der Stadt Aachen ausgebracht und erfassen punktuell Wasserstände und Niederschlagsintensitäten im Straßenraum. Die computergestützten Vorhersagen können so mit tatsächlichen Messerwerten gegenübergestellt und verbessert werden. Zukünftig sollen so Steuer- und Warninformationen abgeleitet und sowohl Verkehrsinfrastrukturbetreibern als auch Verkehrsteilnehmern durch Navigationsgeräte bzw. Warnapps zur Verfügung gestellt werden. Ebenso könnten Warnungen und dynamische Vorhersagen über digitale Werbetafeln visualisiert werden. Die gewonnenen Forschungserkenntnisse dienen der Erarbeitung neuartiger Konzepte zur Einsatzplanung und Verkehrsführung bei Starkregen in der Stadt Aachen. Abschließend wird das Konzept auf seine Übertragbarkeit auf andere Städte und Untersuchungsgebiete untersucht.



# Hochwasservorhersage mit Deep Learning LSTM-Netzen: lokales vs. regionales Netztraining auf Basis stündlicher Daten

Tanja Morgenstern<sup>1</sup>, Jens Grundmann<sup>1</sup>, Niels Schütze<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Dresden, Professur für Hydrologie, 01069 Dresden

tanja.morgenstern@tu-dresden.de, jens.grundmann@tu-dresden.de, niels.schuetze@tu-dresden.de

Hochwasser gehören zu den am häufigsten auftretenden Naturkatastrophen in Deutschland. Ihre verlässliche Vorhersage ist daher unabdingbar für ein effizientes Katastrophenmanagement und zum Schutz von Leben, Eigentum, Infrastruktur und Kulturgut. Im Forschungsfeld zu Methoden der Hochwasservorhersage haben sich in den letzten Jahren besonders Methoden des Deep Learning hervorgetan – unter ihnen Long Short-Term Memory (LSTM) Netze.

Für einen effizienten Katastrophenschutz werden zeitlich fein aufgelöste Durchflussvorhersagen benötigt. Vergangene Arbeiten an der TU Dresden mit LSTM-Netzen zeigen gewisse Herausforderungen bei Verwendung stündlich aufgelöster Inputdaten, wie zum Beispiel systematisch schlechtes Timing in der Durchflussvorhersage (Pahner et al. (2019) und Morgenstern et al. (2021)). Zusätzlich dazu ist es im Katastrophenschutz zuweilen nötig, Hochwasservorhersagen auch für bislang unbeobachtete Einzugsgebiete (EZG) zu machen, es wird also ein regional generalisierungsfähiges Niederschlags-Abfluss-Modell mit einer feinen zeitlichen Auflösung benötigt. Ein möglicher Ansatz dafür wird von Kratzert et al. (2019) und Fang et al. (2021) vorgeschlagen: Sie weisen nach, dass LSTM-Netze für die Niederschlags(N)-Abfluss(A)-Modellierung von einer Inklusion vielfältiger EZG im Trainingsdatensatz anstelle von einem streng lokalen Datensatz profitieren, da die Netze dadurch universelles hydrologisches Gebietsverhalten erlernen können. Der in diesen Studien verwendete Trainingsdatensatz basiert jedoch auf Daten in täglicher Auflösung.

Angelehnt an diesen Ansatz werden die LSTM-Netze in der hier präsentierten Studie einerseits anhand einzelner EZG („lokales Netztraining“) und andererseits anhand von Kombinationen diverser EZG („regionales Netztraining“) trainiert. Die verwendeten Trainingsdaten in stündlicher Auflösung bestehen aus Gebietsmitteln des beobachteten Niederschlags, abgeleitet aus dem RADOLAN-RW-Datensatz des DWD, sowie aus gemessenen Durchflüssen an langjährigen Beobachtungspegeln des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Sachsen. Sie stammen speziell von kleinen, schnell reagierenden sächsischen Einzugsgebieten mit unterschiedlichen hydrologischen und geographischen Eigenschaften, welche ebenfalls im Netztraining zum Tragen kommen. Folgende Fragestellungen werden untersucht und die vorläufigen Ergebnisse gezeigt:

1. Mit einer feineren zeitlichen Auflösung als Tageswerten treten Charakteristika von Hochwasserwellen deutlicher hervor. Ermöglicht ein regionales LSTM-basiertes N-A-Modell, bezogen auf die detaillierte Simulation von Hochwasserwellen, eine treffendere und robustere Durchflussvorhersage gegenüber einem lokalen LSTM-basierten N-A-Modell, gerade bei seltenen Extremereignissen?
2. Ist ein auf dieser zeitlichen Auflösung trainiertes, regionales LSTM-basiertes N-A-Modell übertragbar auf unbeobachtete Gebiete oder Gebiete mit für das Netztraining ungeeigneten Durchflussbeobachtungen?



## Literatur / References

- Fang, K., Kifer, D., Lawson, K., Feng, D., Shen, C. (2022). The Data Synergy Effects of Time-Series Deep Learning Models in Hydrology. In: *Water Resources Research* (58). DOI: [10.1029/2021WR029583](https://doi.org/10.1029/2021WR029583)
- Kratzert, F., Klotz, D., Shalev, G., Klambauer, G., Hochreiter, S., Nearing, G. (2019). Towards learning universal, regional, and local hydrological behaviors via machine learning applied to large-sample datasets. *Hydrology and Earth System Sciences* (23), S. 5089–5110. DOI: [10.5194/hess-23-5089-2019](https://doi.org/10.5194/hess-23-5089-2019)
- Pahner, S., Mietrach, R., Schütze, N. (2019): Flood Forecasting in small catchments: a comparative application of long short-term memory networks and artificial neural networks. DOI: [10.13140/RG.2.2.36770.89286](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36770.89286).
- Morgenstern, T., Pahner, S., Mietrach, R., Schütze, N. (2021): Flood forecasting in small catchments using deep learning LSTM networks. DOI: [10.5194/egusphere-egu21-15072](https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-15072)



# Machine-Learning based Digitization of Reservoir Management Data

Thomas Recknagel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Global Runoff Data Centre (GRDC), Federal Institute of Hydrology (BfG), Koblenz, recknagel@bafg.de

Historical hydrological data is valuable for a wide range of applications, as it allows us to make accurate statements about trends and patterns. However, the limited lifespan of data storage media means that data is crucial in order to prevent the loss of valuable information. By rescuing and preserving historical hydrological data, we can ensure that it remains accessible and useful for future research and analysis (WMO 2016).

While scans at least protect the information from loss, further automated processing requires the data to be converted to digital form. For digitization of handwritten data, manual capturing has been the only reliable way in the past. In the meantime, however, AI-supported systems for handwriting recognition have become very powerful.

While in academia freely available libraries like tensorflow allow the creation of customized models with training data (Siddique et al., 2019), in practical applications out-of-the-box models are often the better solution. In this project, we compared the results of two commercial state-of-the-art ML-based handwriting recognition systems, each of which does not require any additional training data. Both systems provide metadata, including coordinates of the text blocks and confidence of the recognized characters. As our test data set for this study on reservoir management, we utilized data from the Bleiloch reservoir, the largest in Germany.

We compare the accuracy of text recognition between systems and investigate the dependence on scan quality. The metadata of the systems provide the basis for a proposed post-processing system to improve the results. The digitized time series will be made available to the scientific community.

## References

- Siddique, F., Shadman S., Siddique, M. A. B. (2019): Recognition of handwritten digit using convolutional neural network in python with tensorflow and comparison of performance for various hidden layers. 5th International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE), 2019.
- WMO (2016): Guidelines on Best Practices for Climate Data Rescue. WMO-No. 1182, World Meteorological Organisation, Geneve.



## ML Models for flood forecasting in small catchments

Michel Spils<sup>1</sup>, Sven Tomforde<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Lehrstuhl für Intelligente Systeme, msp@informatik.uni-kiel.de

<sup>2</sup>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Lehrstuhl für Intelligente Systeme, st@informatik.uni-kiel.de

Water level forecasting is an important task for both water management and flood control.

Various approaches exist but most either focus on very large catchments, very short forecast times or daily instead of hourly forecasts.

The objective of this paper is to develop model architectures that can accurately predict water levels for up to 48h in small catchments, using already widely available data.

We test our architectures on three different water levels in Schleswig-Holstein, Germany and do a throughout comparison of hyper-parameters.

We show that the resulting models and the chosen features allow an accurate prediction of water levels.

One key point is the use of a DWD rain forecast for the catchments, which strongly improves predictions.

Additionally the developed software makes it easy to adapt the architecture to other catchments.



## Vorträge: Zukünftige Herausforderungen an die Wasser-Governance

### Konzept für eine ganzheitliche, modellbasierte Niedrigwasserrisikoanalyse

Udo Satzinger<sup>1</sup>, Daniel Bachmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit, udo.satzinger@h2.de

<sup>2</sup>Hochschule Magdeburg -Stendal, Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit, daniel.bachmann@h2.de

Im Jahr 2018 beliefen sich die Schäden für die Schifffahrtsindustrie durch das Niedrigwasser auf ca. 2,7 Milliarden Euro, (Streng et. al. 2020). Camalleri et. al. (2020) beziffern den jährlichen Schaden durch Dürreereignisse innerhalb der Europäischen Union auf schätzungsweise 9 Milliarden Euro. Ausgehend von den Schäden und Folgen der Niedrigwasserereignisse der letzten Jahre, wird die Notwendigkeit eines Niedrigwasserrisikomanagements deutlich. Das Projekt DryRivers verfolgt deshalb das Ziel der Entwicklung eines für die Praxis geeigneten softwaretechnischen Werkzeuges zum effektiven Niedrigwasserrisikomanagement (z. B. Bachmann et. al. 2022). Das dabei entwickelte Konzept der Niedrigwasserrisikoanalyse als Basis des Werkzeuges wird nachfolgend präsentiert.

Im Bereich des Hochwasserrisikomanagements wird häufig mit Bemessungsszenarien (z. B. HQ<sub>100</sub>) gearbeitet. Dieser Ansatz erscheint für Niedrigwasser eher ungeeignet. Hochwasserereignisse sind gekennzeichnet durch eine wenige Tage dauernde Entstehung sowie ein kurzes Auftreten von Stunden bis zu einigen Wochen. Niedrigwasser hingegen ist ein Phänomen, welches über einen Zeitraum von Monaten und Jahren entsteht und dessen Auftreten ebenfalls Monate oder Jahre andauern kann. Daher ist es unabdingbar die hydrologische Situation der Vorjahre in der Risikoanalyse mit zu berücksichtigen. Aufgrund dessen erscheint der Einsatz langjähriger, kontinuierlicher Zeitreihen geeigneter für eine Niedrigwasserrisikomodellierung als ein Szenarien-basierter Ansatz. Dieser kontinuierliche Ansatz wurde im Hochwasserrisikomanagement u.a. von Falter et. al. (2016) und Sairam et. al. (2021) angewandt und wird für das Niedrigwasserrisikomanagement adaptiert und erweitert.

Der Ansatz zur Niedrigwasserrisikoanalyse umfasst vier Basisanalysen. Dazu zählt die meteorologisch-hydrologische Analyse, welche synthetische langjährige Wetterdaten beispielsweise mit Hilfe eines stochastischen Wettergenerators erzeugt und diese Wetterdaten in langjährige Abflusszeitreihen transformiert. Dazu findet ein Niederschlagsabflussmodell unter Berücksichtigung der einzugsgebietspezifischen Eigenschaften Anwendung.

Die hydrodynamische Basisanalyse quantifiziert die Wasserstände, -temperaturen und Fließgeschwindigkeiten entlang des Fließgewässers. Kern der Analyse ist dabei ein numerisches 1D-Fließgewässermodell, welches die generierten Abflusszeitreihen unter Berücksichtigung der Fließgewässereigenschaften (z. B. Querprofile, Reibungsbeiwerte) zur Berechnung weiterer hydraulischer Größen nutzt. Der Einfluss des oberflächennahen Grundwassers auf das Fließgewässer, in Form von In-/Exfiltration, wird in einer daran bidirektional-angekoppelten 2D-Grundwassermodellierung berücksichtigt. Die Ermittlung der Wassertemperatur erfolgt in einer unidirektional angekoppelten 1D-



Temperaturmodellierung. So werden beispielsweise Globalstrahlung, Lufttemperatur und Beschattung aber auch Fließgeschwindigkeit und Abfluss in Temperaturwerte im Gewässer transformiert.

Aufbauend auf den Ergebnissen der hydrodynamischen Basisanalyse, werden in der Konsequenzen-Analyse die Folgen und Auswirkungen von Niedrigwasser im Fließgewässer über die berücksichtigte Zeitdauer als Schadenssummen quantifiziert (Folkens et. al. 2022). Um ein umfassendes Spektrum an Niedrigwasserkonsequenzen in der Risikoanalyse zu berücksichtigen, werden sowohl sozio-ökonomische Konsequenzen, z. B. für Schifffahrt, Wasserkraftgewinnung oder industrielle Wassernutzung, als auch ökologische Folgen für Fische und Makrozoobenthos integriert. Dabei finden allgemein in beiden Konsequenzkategorien (Ökonomie, Ökologie) Schwellwertansätze zur Quantifizierung der Auswirkungen Anwendung. Für die Schifffahrt sind beispielsweise gewisse Wassertiefen zwingend erforderlich (Schwellenwerte), um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen.

In der Risikoanalyse schließlich wird das Niedrigwasserrisiko berechnet. Hierzu werden die Schadenssummen je Konsequenzkategorie herangezogen und durch die Anzahl der simulierten Jahre dividiert. Somit ergibt sich ein jährliches Niedrigwasserrisiko z. B. in €/a. Dieses ermittelte Niedrigwasserrisiko dient als essenzielle Grundlage für eine transparente und objektive Entscheidungsunterstützung im Niedrigwasserrisikomanagement.

Diese Forschung wird im Rahmen des Förderprogramms WaX (Wasser-Extremereignisse) im Projekt DryRivers vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.

## Literatur / References

- Bachmann, D., Schüttrumpf, H., Staas, S., Halle, M. and Franke, T. (2022). DRYRIVERS -Ziele, Anforderungen, Strategien und Werkzeuge für ein zukunftsfähiges Niedrigwasserrisikomanagement (NWRM). URL: [https://www.researchgate.net/publication/360320695\\_DRYRIVERS\\_-\\_Ziele\\_Anforderungen\\_Strategien\\_und\\_Werkzeuge\\_fur\\_ein\\_zukunftsfahiges\\_Niedrigwasserrisikomanagement\\_NWRM](https://www.researchgate.net/publication/360320695_DRYRIVERS_-_Ziele_Anforderungen_Strategien_und_Werkzeuge_fur_ein_zukunftsfahiges_Niedrigwasserrisikomanagement_NWRM), [Letzter Zugriff: 19.09.2022]
- Cammalleri, C.; Naumann, G.; Mentaschi, L.; Formetta, G.; Forzieri, G.; Gosling, S.; Bisselink, B.; Roo, A. de; Feyen, L. (2020). Global warming and drought impacts in the EU: JRC PESETA IV project: Task 7; Publications Office of the European Union: Luxembourg, ISBN 978-92-76-12947-9.
- Falter, D.; Dung, N.V.; Vorogushyn, S.; Schröter, K.; Hundecha, Y.; Kreibich, H.; Apel, H.; Theisselmann, F.; Merz, B. (2016). Continuous, large-scale simulation model for flood risk assessments: proof-of-concept. In: J. Flood Risk Manage (9), S. 3–21, doi:10.1111/jfr3.12105.
- Folkens, L., Franke, T., Heermann, L., Staas, S., Sollinger, L. and Halle, M. et al. (2022). Poster DryRivers: Ökologische & ökonomische Niedrigwasserrisiken. URL: [https://www.researchgate.net/publication/360342664\\_Poster\\_DryRivers\\_Okologische\\_okonomische\\_Niedrigwasserrisiken](https://www.researchgate.net/publication/360342664_Poster_DryRivers_Okologische_okonomische_Niedrigwasserrisiken), [Letzter Zugriff: 19.09.2022]
- Sairam, N., Brill, F. and Sieg, T., Farrag, M., Kellermann, P. and Nguyen, V. D. (2021). Process-Based Flood Risk Assessment for Germany, In: Earth's Future 9 (10), DOI: 10.1029/2021EF002259.
- Streng, M.; van Saase, N.; Kuipers, B. (2020). Economische impact laagwater: Een analyse van de effecten van laagwater op de binnenvaartsector en de Nederlandse en Duitse economie. URL: <https://www.eur.nl/en/upt/media/87562>, [Letzter Zugriff: 22.11.2022]



# Umgang mit Extremhochwasser im dicht besiedelten Raum - Die Roadmap Krisenhochwasser

Georg Johann<sup>1</sup>, Daniela Falter<sup>1</sup>, Alexander Hartung<sup>1</sup>, Angela Pfister<sup>1</sup>, Burkhard Teichgräber<sup>1</sup> und Adrian Treis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Emscher-Genossenschaft, johann.georg@eglv.de

Die Emscher-Genossenschaft hat mit dem Bau von leistungsfähigen Hochwasserschutzsystemen die Entstehung einer der größten Metropolregionen Deutschlands ermöglicht (Grün et al., 2014). Seitdem gilt es, die Starkregen- und Hochwasser-Resilienz stetig weiterzuentwickeln. Insbesondere, weil Extremereignisse in Zeiten des Klimawandels zunehmen. Aufgrund der hohen Vulnerabilität in den dicht besiedelten, von Bergsenkungen beeinflussten städtischen Räumen im Emscher-Gebiet, muss die Hochwasservorsorge dieser Entwicklung besonders konsequent Rechnung tragen (Johann, 2018). Das Starkregen- und Hochwasserereignis am 14. Juli 2021 hat gezeigt, wie notwendig das ist.

Die Hochwasserschutzsysteme im Emscher-Gebiet sind gemäß den gesetzlichen Vorschriften abschnittsweise bis zu einem HQ<sub>200</sub> ausgelegt. Darüber hinaus werden mit dem Emscher-Umbau die Hochwasserabflüsse wesentlich gedämpft. Dennoch können extreme Niederschlagsereignisse zu extremem Hochwasser führen, die über die Leistungsfähigkeit der Hochwasserschutzsysteme gehen. Hier müssen weitergehende Maßnahmen initiiert werden, die im Programm „Roadmap Krisenhochwasser“ zusammengeführt sind. Es ist mit einem Investitionsvolumen von rund 500 Mio. € in 15 Jahren im März 2022 von den Gremien von Emscher-Genossenschaft und Lippeverband beschlossen worden. Die Ziele sind die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der Hochwasserschutzsysteme bis zur maximalen Belastbarkeit, der Schutz von Leib und Leben der Bevölkerung im Katastrophenfall sowie die Minimierung von Umwelt- und Sachschäden. Zur Stärkung der Hochwasser-Resilienz im Klimawandel werden die notwendigen Handlungsfelder durch folgende Aktionsfelder der Roadmap Krisenhochwasser abgedeckt:

1. Die **Schaffung zusätzlicher Retentionsräume** erfordert einen anderen Umgang mit unbebauten Flächen als bisher. Dies gilt insbesondere für die Realisierung von Grunddienstbarkeiten, um die Flutung von Notpoldern ab beispielsweise einem HQ<sub>100</sub> zu ermöglichen. Darüber hinaus muss mehr Raum für den Fluss zur Verfügung stehen, um durch größere Auenbereiche die Hochwasserwelle verlangsamen zu können (Johann & Frings, 2016).
2. Ein wesentliches Handlungsfeld ist die **Anpassung**. Dies gilt für Hochwasserschutzanlagen, um ein Totalversagen bei Extremereignissen mit großen Schäden zu vermeiden. Auch Brücken müssen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit angepasst werden. Nicht zuletzt müssen die Gebäude der Emscher-Genossenschaft gemäß dem Hochwasser-Pass vor Starkregenschäden geschützt werden.
3. Die Zunahme von Starkregen führt dazu, dass Hochwasserereignisse immer schneller ablaufen (Fischer & Johann, 2021). Aus diesem Grund muss die **Hochwasservorhersage** in ihrer zeitlichen und räumlichen Diskretisierung höher aufgelöst werden. Die bisher für die Emscher vorhandenen Hochwasservorhersagen werden auf weitere Nebenläufe und Pumpwerke ausgedehnt, das Pegel-Messnetz muss dafür erweitert und hochwasserresilient ausgebaut werden. Für die kleinen Einzugsgebiete muss eine hohe Taktung der Vorhersagen zur Verfügung stehen.



4. Die Hochwasser-Vorsorge und -Bewältigung sind Gemeinschaftsaufgaben mit verteilten Zuständigkeiten. Hier ist eine funktionierende **Kommunikation und Kooperation** wesentlich. Um diese zu unterstützen, werden u.a. relevante Informationen zur Hochwasserlage über ein Portal für die Träger öffentlicher Belange und die Bevölkerung bereitgestellt. Diese Informationen müssen verstanden werden und zu den adäquaten Handlungen führen. Eine besondere Bedeutung kommt hier dem Umgang mit Unsicherheiten zu.
5. Es stellt sich die Frage, ob die Vorbereitung auf Extremereignisse oberhalb der Bemessungsgrenze mit dem heute **vorliegenden rechtlichen Rahmen** hinreichend gut bearbeitet werden kann. Ideen für die Verbesserung weiterer gesetzlicher und politischer Rahmenbedingungen auf Bundes- und Landesebene werden diskutiert.

Es ist offensichtlich, dass der bewusste Umgang mit Extremereignissen zu Handlungen führt, die über das bisherige HWRM hinausgehen müssen. Diese werden zur Diskussion gestellt.

## Literatur / References

- Fischer, S. & Johann, G. (2021): Identifikation der Veränderung von Hochwassertypen durch Zunahme von Starkregen und Änderungen im Einzugsgebiet. In: HKC-Werkstattbericht Umgang mit hydrologischen Bemessungsgrößen in Zeiten des Klimawandels. <https://www.hkc-online.de/de/Projekte/HKC-Werkstattbericht>
- Grün, E., Johann, G. & Pfister, A. (2014): Hochwassersicherheit im urbanen Raum. In: Tagungsband Essener Tagung
- Johann, G. (2018): Hochwasser- und Starkregenrisikomanagement in Zeiten des Klimawandels. In: Wasser und Abfall 9/2018
- Johann, G. & Frings, H. (2016): Hochwasserrisiko mindern und Ziele des Gewässerschutzes erreichen - geht das? Ein Praxisbeispiel: die ökologische Verbesserung des Gewässersystems der Emscher. In: 39. Dresdner Wasserbaukolloquium 2016



# Wasserbezogene Nutzungskonflikte – Ergebnisse einer deutschlandweiten Medienrecherche

Thorben Uschan<sup>1</sup>, Tim J. Diemel, Martina Flörke

<sup>1</sup>Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Ingenieurhydrologie und Wasserwirtschaft, thorben.uschan@hydrology.rub.de

Wasserbezogene Nutzungskonflikte (WNK) betreffen Verfügbarkeit, Verteilung und Verwendung von Wasserressourcen. Bisher werden WNK vorwiegend mit semi-ariden bis ariden Klimabedingungen in Verbindung gebracht. Im Rahmen einer Medienrecherche konnte jedoch gezeigt werden, dass sich WNK zunehmend auf Deutschland erstrecken und darüber in der Presse berichtet wird. Besonders deutlich wird dies in den durch Trockenheit geprägten Jahren 2018 bis 2020. Das Jahr 2018 gehört bspw. zu den niederschlagsärmsten Jahren seit 1881 (Deutscher Wetterdienst 2018). Geeignete Maßnahmen zur Vermeidung von WNK können mit Hilfe einer Datenbasis entwickelt werden, welche einen regionalisierten Überblick über das Auftreten von WNK in Deutschland verschafft.

Im Rahmen einer Studie wurden WNK in verschiedenen Medienformaten wie Zeitungen, Zeitschriften und Nachrichten systematisch recherchiert. Hierfür wurden verschiedene Quellen wie Suchmaschinen, Mediatheken und die online Datenbank *wiso*<sup>2</sup> genutzt. Bei der Textsuche wurden u. a. die Begriffe: Dürre, Hitze, Wasserknappheit, Mangel, Niedrigwasser, Priorisierung, Trinkwasser, Trockenperiode und Verbote genutzt und kombiniert. Die in thematisch passenden Medienartikel enthaltenen Informationen wurden anschließend abstrahiert, kategorisiert und in einer Datenbank gespeichert. Zur regionalisierten Auswertung wurden die WNK auf Basis der Informationen in die NUTS<sup>3</sup>-Gebietsklassifikation eingeordnet, wobei die höchste Auflösung die NUTS-3 Ebene (Kreise und kreisfreie Städte) darstellt. War diese Zuordnung nicht möglich, wurden die WNK der nächst höheren NUTS-2 Ebene (Regierungsbezirke) zugeordnet.

Aus dem Zeitraum von 2010 bis Sommer 2022 wurden 180 WNK zusammengetragen und vorab analysiert (die Recherche ist noch nicht abgeschlossen). In den durch Trockenheit geprägten Jahren 2018 bis 2020 zeigt sich ein deutlicher Anstieg, mit einem Maximum von 59 WNK im Jahr 2020. 78 % der WNK sind zum Zeitpunkt der Berichterstattung noch nicht wieder gelöst. Am häufigsten von WNK betroffen sind Privatverbraucher\*innen (Trinkwasserversorgung), Ökosysteme (Lebensräume in Wäldern, Flüssen, Feuchtgebieten) sowie Wasserversorger und die Landwirtschaft. Die Konfliktursachen sind vielfältig, können jedoch primär auf Niedrigwasser, Grund- und Trinkwasserknappheit sowie sekundär auf Infrastrukturprobleme bei der Wasserverteilung zurückgeführt werden. Genauso vielfältig ist die räumliche Verteilung der WNK, die vom betrachteten Jahr und der Gebietsklassifikation abhängig ist.

Insgesamt wird deutlich, dass es eine räumlich sehr heterogene Verteilung der WNK, der betroffenen Sektoren und der beteiligten Akteure gibt. In den erfassten Medienartikeln werden vorrangig WNK abgedeckt, die die Bevölkerung direkt betreffen bzw. sichtbar sind. Dies gilt sowohl für die öffentliche Wasserversorgung, bspw. durch Entnahmeverbote, als auch für sichtbare Auswirkungen auf aquatische

---

<sup>2</sup> wiso ist eine Online-Datenbank für Wissenschaft und Forschung. Verfügbar unter: [www.wiso-net.de](http://www.wiso-net.de).

<sup>3</sup> Nomenclature of Territorial Units for Statistics



Ökosysteme, bspw. durch reduzierte Wasserführung von Fließgewässern. WNK im industriellen Bereich sowie die Schifffahrt betreffend, werden von den Medienartikeln kaum erfasst.

## Literatur

Deutscher Wetterdienst 2018. Deutschlandwetter im Jahr 2018. 2018 – ein außergewöhnliches Wetterjahr mit vielen Rekorden [online]. Offenbach [Zugriff am: 3. April 2022]. Verfügbar unter:  
[https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20181228\\_deutschlandwetter\\_jahr2018\\_news.html](https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20181228_deutschlandwetter_jahr2018_news.html)



# Untersuchungen zur Wasserbereitstellung für die Einzugsgebiete Ucker und Havel aus dem Seenspeichersystem Hardenbecker Haussee, Boitzenburger Küchenteich und Schumellensee in Brandenburg

Katja Eulitz<sup>1</sup>, Philipp Huttner<sup>2</sup>, Ferdinand Flechtner<sup>3</sup>, Prof. Dr. Patrick Keilholz<sup>4</sup>

<sup>1</sup>BGD Ecosax GmbH, Abteilung Wasserbewirtschaftung, [K.Eulitz@bgd-ecosax.de](mailto:K.Eulitz@bgd-ecosax.de)

<sup>2</sup>DHI WASY GmbH, Abteilung Wasserbewirtschaftung, [phhu@dhigroup.com](mailto:phhu@dhigroup.com)

<sup>3</sup>DHI WASY GmbH, Abteilung Wasserbewirtschaftung, [feffl@dhigroup.com](mailto:feffl@dhigroup.com)

<sup>4</sup>Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Professur für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, [patrick.keilholz@th-nuernberg.de](mailto:patrick.keilholz@th-nuernberg.de)

In der westlichen Uckermark an der Grenze zwischen Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern befindet sich der Seenspeicher „Hardenbecker Haussee, Boitzenburger Küchenteich und Schumellensee“ (kurz: „HKS-System“). Das Seen- Speichersystem ist Teil eines komplexen, anthropogen geprägten Seensystems im Einzugsgebiet der Ucker im LK Uckermark. Die oberirdische Wasserscheide zwischen dem EZG Ucker und Havel verläuft westlich des Hardenbecker Haussees, die gleichzeitig die Hauptwasserscheide zwischen dem Ostsee- und Nordsee EZG ist. Das Gebiet ist hydrogeologisch sehr anspruchsvoll und durch eine starke Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächengewässersystem geprägt. Die Wasserabgaben an die beiden konkurrierenden Teileinzugsgebiete erfolgt manuell über zwei Schützenwehre, welche teilweise sowohl ober- als auch unterschlächting gefahren werden.

Die Steuerung des HKS-Systems, entsprechend den Vorgaben der Bewirtschaftungsrichtlinien 2001/2006, erwies sich in der Vergangenheit als problematisch. Die an die Bewirtschaftung des Speichersystems gestellten Anforderungen sind vielfältig – von Naturschutz, Gewässerökologie als auch genehmigter Nutzungen (bspw. Fischerei) – und konnten insbesondere im sehr trockenen und wasserdargebotsarmen Jahr 2018 nur unzureichend erfüllt werden. Zudem stellt die bisher vereinbarte Wasserüberleitung in das Haveleinzugsgebiet in extrem trockenen Jahren ein zusätzliches Problem dar. Im Auftrag des Landesamts für Umwelt (LfU) des Landes Brandenburg hat die DHI WASY GmbH eine vollständige integrierte Wasserhaushaltsbilanzierung der Teileinzugsgebiete Ucker und Havel in der westlichen Uckermark durchgeführt. Auf dieser Grundlage wurde das verfügbare Wasserdargebot des Seenspeichers ermittelt und Handlungsempfehlungen zu einer nachhaltigen Steuerung des Speichers erarbeitet.

Im ersten Schritt wurden alle verfügbaren Daten zusammengetragen, um die komplexen Wechselwirkungen zu analysieren und das notwendige Verständnis des hydrologischen Systems zu schaffen. Die dabei identifizierten Datendefizite wurden nach dem Aufbau und der Kalibrierung eines integrierten Wasserhaushaltsmodells durch Simulationsergebnisse ergänzt. Das integrierte Wasserhaushaltsmodell MIKE SHE beinhaltet neben einem vollständigen Grundwassermodell das hydraulische 1D-Gewässermodell in MIKE Hydro River, sodass alle Gewässer fließgewässerscharf inkl. steuerbaren Wehrstrukturen mit abgebildet werden konnten und bilateral mit dem Grundwasserkörper gekoppelt sind.



Zusätzlich wurde eine Stichtagsmessung der (Grund-) Wasserstände und Abflüsse durchgeführt, um den ökologischen Mindestabfluss nach „LAWA Empfehlung zur Ermittlung einer ökologisch begründeten Mindestwasserführung in Ausleitungsstrecken von Wasserkraftanlagen“ zu bestimmen.

Die modelltechnisch erzeugten Zeitreihen wurden mit Hilfe des Folge-Scheitel-Algorithmus analysiert, um einen Mindestwasserabfluss zu ermitteln, welcher auch in langen Trockenperioden dauerhaft zur Verfügung gestellt werden kann. Die somit geschaffene Datengrundlage stellte die Basis für die finalen Handlungsempfehlungen dar, um eine belastbare und nachhaltige Steuerung des HKS-Seenspeichers zu gewährleisten.

Durch die Anwendung eines integrierten Wasserhaushaltsmodells konnten die messtechnisch nur schwierig zu erfassenden Größen Grundwasserneubildung und Grundwasser/Gewässeraustauschrate hinreichend genau berechnet werden. Auf Grundlage der verfügbaren Daten und der Modellergebnisse konnten geschlossene Wasserbilanzen für die vier betrachteten Teileinzugsgebiete und das Seenspeichersystem erstellt werden. Besonders für Einzugsgebiete mit komplexer Oberflächenwasser-Grundwasser-Interaktion, stellt die integrierte Wasserhaushaltsmodellierung für die Behörden und Akteure ein wichtiges Werkzeug da, um in Zukunft zielführende Entscheidungen zu treffen und ein nachhaltiges Wassermanagement in Deutschland zu garantieren.

## **Literatur / References**

- Graham, D.N. und Butts, M. B. (2005). Flexible, integrated watershed modelling with MIKE SHE. In: *Watershed Models* (Hg.): Eds. V.P. Singh & D.K. Frevert. CRC Press. S. 245-272.
- Kristensen, K., und Jensen, S. (1975). A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration. In: *Nordic Hydrology* 6, S. 170-188.



# Ein digitales Tool für nachhaltige wasserwirtschaftliche Entscheidungen in einem anspruchsvollen Einzugsgebiet – Zayandeh Rud

## Von der Ideenentwicklung zur praktischen Anwendung

Ali A. Besalatpour\*<sup>1</sup>, Shahrooz Mohajeri<sup>1</sup>, Daniel Anatolijevic Kaufman<sup>1</sup>, und Esmail Adib<sup>2</sup>

<sup>1</sup> inter 3 - Institut für Ressourcenmanagement, Berlin, Deutschland

<sup>2</sup> Isfahan Regional Water Board Company, Isfahan, Iran

\*Korrespondierender Autor: besalatpour@inter3.de

Der Fluss Zayandeh Rud fließt im gleichnamigen Einzugsgebiet im Zentraliran und bildet als Quelle für Trinkwasser, landwirtschaftliche Bewässerung und industrielle Versorgung die Lebensgrundlage für mehr als 5 Millionen Menschen. Dieser Fluss mündet in das internationale Feuchtgebiet Gavkhuni, das in den vergangenen Jahrhunderten ein einzigartiger Lebensraum für Zugvögel war. Der Klimawandel und die schlechte Bewirtschaftung der Wasserressourcen des Zayandeh Rud haben in den letzten Jahren dazu geführt, dass dieser Fluss und seine Nebenarme sowie das Gavkhuni-Feuchtgebiet zeitweise austrocknen, der Wasserspiegel sinkt, das Land absinkt und das Ökosystem dieses Wassereinzugsgebiets schwer geschädigt wird (Horlemann und Mohajeri, 2018).

Seit 2010 steht dieses Wassereinzugsgebiet daher im Forschungsfokus eines Verbundes aus deutschen und iranischen Experten und Wissenschaftlern. Im Rahmen des Projekts "Integriertes Wasserressourcenmanagement - IWRM Zayandeh Rud", gefördert vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (BMBF), wurden verschiedene Konzepte, Modelle und ein zuverlässiges digitales Wassermanagement-Tool (WMT) entwickelt, das auf die bestehenden Herausforderungen des Wassermanagements im Einzugsgebiet des Zayandeh Rud reagieren kann. In der Vergangenheit waren die meisten Entscheidungen in diesem Einzugsgebiet empirisch und basierten auf der empirischen Diagnose von Experten, was immer mit verschiedenen Herausforderungen und Konsequenzen verbunden war.

Die Grundstruktur des WMT wurde in interaktiven Workshops, unter der Berücksichtigung der sich aus den Zielen ergebenden notwendigen Funktionen, entwickelt. An diesen Workshops beteiligten sich diverse Interessenvertreter, Experten, Forscher und Verantwortliche für das Management des Einzugsgebiets. Die Basis für die Grundstruktur des WMT bilden vier verschiedene Softwares und dynamische Modelle:

1. WISKI-Software: Ein Datenmanagement-Tool
2. SWAT-Modell: Ein hydrologisches Modell zur Simulation des natürlichen Abflusses infolge von Niederschlägen, sowie zur Berechnung von Wasser-Boden-Prozessen in den Oberflächenschichten
3. FEFLOW: Ein Grundwassermodell zur Simulation der Interaktion von Oberflächen- und Grundwasser, sowie zur Simulation von Veränderungen des Grundwasserspiegels im Einzugsgebiet
4. MikeHydroBasin: Ein Modell zur Steuerung des Bedarfs und der Wasserverteilung

Im ersten Schritt des WMT werden die erforderlichen Karten und Daten digital oder manuell in die WISKI-Software eingegeben und nach anschließender Analyse und entsprechenden Korrekturen den anderen Modellen zur Verfügung gestellt. Die Simulationsergebnisse aus dem hydrologischen Modell und dem Grundwassermodell werden in das Modell MikeHydroBasin eingegeben. Das Modell MikeHydroBasin erhält



die erforderlichen Daten aus diesen Modellen und berücksichtigt alle menschlichen und verwaltungstechnischen Eingriffe. Dazu gehören z.B. Wassertransferprojekte, landwirtschaftliche, industrielle und Trinkwasserentnahmen und deren Versorgungsniveaus und Regeln für die Bewirtschaftung von Staudämmen. Dadurch entsteht die Möglichkeit, verschiedene Verwaltungs- und Betriebsszenarien zu definieren. Die Hauptfrage, die das WMT beantworten kann, lautet: Wenn eine bestimmte Bewirtschaftungsentscheidung getroffen wurde, was wären dann die berechneten/erwarteten Auswirkungen.

Im späteren Verlauf wurde das WMT zu einem Entscheidungsunterstützungssystem (decision support system, DSS) erweitert. Dies soll den Entscheidungsprozess vereinfachen. Durch das Anwenden können die Entscheidungen legitimiert werden, und dadurch bei den Beteiligten auf mehr Akzeptanz treffen. So können die erarbeiteten Lösungen allen Beteiligten einfach zur Verfügung gestellt werden.

In dieser Arbeit werden die Struktur dieses digitalen Tools und seine Entwicklungsherausforderungen vorgestellt, seine Stärken und Schwächen untersucht und die für verschiedene Szenarien erzielten Ergebnisse diskutiert, sowie deren Einsetzbarkeit weltweit begründet.

## Literatur

Horlemman L., and Mohajeri S. (2018). Introduction chapter. In: Reviving the dying giant: integrated water resource management in the Zayandeh Rud catchment, Iran. Springer publisher. Edt. Mohajeri S. Horlemman L., pp 1-8.



## Poster: Zukünftige Herausforderungen an die Wasser-Governance

### **Das Kanalsystem der Levadas auf der Atlantikinsel Madeira - Geschichte und Zukunft**

Hartmut Wittenberg<sup>1</sup>, Christiane Rhode<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Leuphana Universität Lüneburg, Institut für Ökologie, wittenberg@uni.leuphana.de

<sup>2</sup>SHW-Sozietät für Hydrologie und Wasserwirtschaft, C\_Rhode@t-online.de

Im Jahre 1619 nahm Portugal die unbewohnte und dicht bewaldete Insel Madeira in Besitz und begann mit der Erschließung und Besiedelung. Neue technische Herausforderungen ergaben sich hierbei durch das starke topografische Relief, das bei einer Inselfläche von nur 742 km<sup>2</sup> zwischen 0 und über 1800 m über dem Meer variiert. Auf etwa 32,5° N in der Mitte des Atlantischen Ozeans gelegen, hat Madeira ein subtropisches Klima. Die vorherrschenden Nordwestwinde führen zu starken Regenfällen besonders in den Höhenlagen und im Norden der Insel; der Süden wird vor allem für die bewässerte Landwirtschaft genutzt. Das Abbrennen der Wälder, der 1625 beginnende Zuckerrohranbau und die Zuckerproduktion mit ihrem hohen Wasser- und Energieverbrauch veränderten das Gesicht der Insel in den ersten hundert Jahren erheblich. Die Siedler bauten eigene Kanäle, genannt Levadas, um Wasser von Bächen und Quellen auf ihre Felder zu leiten. Angepasste Techniken zum Ausheben von Kanälen in schwieriger Topografie, selbst in steilen Felsformationen wurden entwickelt. Im Laufe der Jahrhunderte entstand ein dichtes Netzwerk primärer und sekundärer staatlicher und privater Levadas. Die Gesamtlänge wird auf bis zu 3100 km mit 80 km Tunneln geschätzt, wobei das System der öffentlichen und privaten Hauptkanäle eine Länge von ungefähr 800 km hat

An den Gefällestufen der Levadas wurden Wassermühlen gebaut, wo sie die Fallenergie in mechanische Energie zum Schneiden von Holz, Mahlen von Getreide und zur Herstellung von Zucker umwandelten. Die Mühlen wurden von horizontalen *Rodízio* - Freistrah-Wasserrädern, Vorgängern moderner Pelton-Turbinen, mit Fallhöhen zwischen 4 und 35 m angetrieben. Die seit der Besiedlung errichteten und betriebenen Mühlen wurden im letzten Jahrhundert aufgegeben oder für andere Nutzung umgebaut, während die meisten Levadas noch heute Bewässerungswasser führen. Die Wartungspfade entlang der Kanäle, die als Wanderwege malerische Gebirgslandschaften erschließen sind von einzigartigem touristischem Wert. Der Schwerpunkt der Studie liegt auf der hydraulischen Funktion und der Technologie der Levadas und Wassermühlen und deren Wechselwirkungen, worüber bisher wenig berichtet wurde. Die Untersuchung der Überreste von 21 Wassermühlen und ihrer Levadas ermöglicht Rückschlüsse auf Durchflüsse, Bewässerung, Mechanik und Betrieb der Mühlen, Energieeffizienz und Mehlproduktion. Viele Levadas dienen heute der Wasserzufuhr für Madeiras moderne Wasserkraft- und Pumpenspeichersysteme, die damit dem gleichen

Tag der Hydrologie 2023

22. & 23.03.2023

Ruhr-Universität Bochum & Hochschule Bochum



Geist der optimierten Nutzung des Wassers zur Energieerzeugung, bevor es für Bewässerung und öffentliche Versorgung verwendet wird, folgen.



# Lokalisierung und Quantifizierung von Oberflächenwasser-Grundwasser-Interaktionen auf der regionalen Skala: ein Multi-Tracer-Ansatz an der Mosel

Michael Engel<sup>1</sup>, Simon Mischel<sup>1</sup>, Sabrina Quanz<sup>1</sup>, Sven Frei<sup>2</sup>, Ben Gilfedder<sup>2</sup>, Dirk Radny<sup>1</sup>, Rike Voelpel<sup>1</sup>, Axel Schmidt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde, Michael.Engel@bafg.de

<sup>2</sup>Universität Bayreuth

Oberflächenwasser-Grundwasser-Interaktionen (OGI) stellen wichtige Prozesse dar, die Flüsse mit ihrer Aue und den umgebenden Grundwasserleitern verbinden. Obwohl sie wichtige Elemente bei der Steuerung der Wasserquantität und -qualität von Oberflächen- und Grundwasser sind, ist das Wissen über OGI entlang von Flüssen auf der regionalen Skala, insbesondere Binnenwasserstraßen, noch begrenzt. Um diese Forschungslücke zu schließen, wurden OGI entlang der Mosel, einer bedeutenden Bundeswasserstraße in Deutschland und zweitgrößter Nebenfluss des Rheins, mit Hilfe eines Multi-Tracer-Ansatzes untersucht.

Um influente Verhältnisse an der Mosel auf der regionalen Skala abzuschätzen, wurden Tritium-Inventare basierend auf Monatsmischproben berechnet. Erste Untersuchungen deuten auf einen Tritium-Massenverlust im Unterlauf der Mosel im Vergleich zur eingegangenen Tritium-Masse im Oberlauf hin. Zur Lokalisierung von influenten Verhältnissen auf der Abschnittsskala erfolgten von Juli 2020 bis August 2022 monatliche bzw. vierteljährliche Grundwasser- und Flusswasserprobennahmen. An den Wasserproben wurden stabile Wasserisotope und Tritium analysiert. Die geringe Variabilität in  $\delta^{18}\text{O}$  und niedrige Tritium-Konzentrationen von 0,65 bis 1,12 Bq/l im Grundwasser ergaben jedoch keinen Hinweis auf einen nennenswerten Zustrom von Moselwasser und damit keinen Beleg für den genannten Tritium-Massenverlust. Im Gegensatz dazu konnte ein maximaler Anteil von bis zu  $38 \pm 18\%$  Flusswasser im Grundwasser am Staustufenstandort Lehmen berechnet werden, der mittels End-member-Mischungsmodell mit  $\delta^{18}\text{O}$  und Tritium gemäß Pinder und Jones (1969) ermittelt wurde. Dieses Ergebnis lässt auf stoffliche Eintragswege im Oberstrom von Staustufen schließen.

Effluente Verhältnisse wurden mittels kontinuierlicher Radon-Messungen ( $^{222}\text{Rn}$ ) mit einer räumlichen Auflösung von 2 km während zwei Schiffsbefahrungen zu unterschiedlichen Abflussverhältnissen im Oktober 2020 und im August/September 2021 erfasst. Die Radon-Konzentration wurde während der Schiffsbefahrung ebenfalls für einige Nebengewässer sowie Grundwässer an ausgewählten Messstellen und Flusssedimenten (abgeleitet über die  $^{226}\text{Ra}$ -Konzentration) gemessen. Unter Verwendung eines Finite Elemente Modells nach Frei und Gilfedder (2015) wurden Grundwasserzstrombereiche durch Radon-Massenbilanzen identifiziert. Die simulierten Radon-Konzentrationen im Fluss stimmten gut mit den gemessenen Konzentrationen während der ersten (Spearman's rho: 0,97 und 0,99; MAE: 10,1 und 3,4 Bq/l) und der zweiten Schiffsbefahrung (Spearman's rho: 0,97 und 0,99; MAE: 11 und 6,5 Bq/l) überein. Ein erhöhter Grundwasserzstrom konnte nur im Bereich des Detzem-Mäanders nachgewiesen werden, wo der Zustrom bis zu  $19 \text{ m}^3/\text{s}$  (9,5 % des Gesamtabflusses) im Oktober 2020 und  $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$  (3,8 % des Gesamtabflusses) im August/September 2021 betrug. Diese Ergebnisse sind vor dem Hintergrund möglicher Unsicherheiten durch



die Probenahme zu sehen, deren Rahmenbedingungen beispielsweise die rechtseitige Flussbefahrung und eine Pumpentiefe von 60-80 cm darstellte.

In diesem Zusammenhang verdeutlichen die Ergebnisse, dass OGI an der Mosel räumlich stark begrenzt stattfanden: influente Verhältnisse traten aufgrund des veränderten hydraulischen Gradienten nur an Staustufen auf und bewirkten dort einen möglicherweise für die regionale Skala wichtigen Stofftransport. Effluente Verhältnisse entlang der Mosel zeigten sich nur in Bereichen, die folgende Gebietseigenschaften aufweisen: i) sehr hohe Fallhöhe der Staustufe (9 m), ii) geologische Störungen, und iii) großer Mäander-Bereich mit gut durchlässigen Flusssedimenten.

## Literatur

- Frei, S; Gilfedder, B. (2015).: Technical Note: FINIFLUX an implicit Finite Element model for quantification of groundwater fluxes and hyporheic exchange in streams and rivers using Radon. In: *Water Resources Research*, S. 6776–6786, doi:10.1002/2015WR017212.
- Pinder, G.F., Jones, J.F. (1969). Determination of Ground-Water Component of Peak Discharge from Chemistry of Total Runoff. In: *Water Resources Research* (5), S. 438–445, doi: 10.1029/WR005i002p00438.



# Interkommunale Hochwasserschutzkooperation Erft – Projektstruktur und Ziele

Julian Struck<sup>1</sup>, Dietmar Jansen<sup>1</sup>, Christian Gattke<sup>1</sup>, Daniel Bittner<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Erftverband, Bereich Gewässer, Abteilung Flussgebietsbewirtschaftung, julian.struck@erftverband.de, dietmar.jansen@erftverband.de, christian.gattke@erftverband.de, daniel.bittner@erftverband.de

<sup>2</sup>Technische Universität Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft

Hochwasserereignisse, wie im Juli 2021, werden wahrscheinlich häufiger eintreten und durch die globalen Klimaänderungen intensiviert. Als Konsequenz gewinnen Anpassungsstrategien und Hochwasserschutzmaßnahmen zunehmend an Bedeutung. Hochwasserschutzmaßnahmen sind häufig an Hochwasserschutzkonzepte geknüpft, die in Nordrhein Westfalen in der Verantwortung der jeweiligen Kommunen liegen und im Erft-Einzugsgebiet überwiegend fehlen. Die Betroffenheit im südlichen und mittleren Erft-Einzugsgebiet durch das Ereignis im Juli 2021, hat die Kommunen und Kreise veranlasst sich unter Leitung des Erftverbandes in einer interkommunalen Hochwasserschutzkooperation zusammenzuschließen. Langfristiges Ziel dieses Pilotprojektes ist die nachhaltige Verbesserung des technischen Hochwasserschutzes im gesamten Erft-Einzugsgebiet (inklusive der Nebengewässer). Elementarer Grundstein dafür sind die kommunalen Hochwasserschutzkonzepte, in denen lokale Gegebenheiten und regionale Gebietseigenschaften durch die aktive Einbindung lokaler Akteure Berücksichtigung finden. Parallel wird die Notwendigkeit und Wirksamkeit weiterer Schutzmaßnahmen zwischen den jeweiligen Kommunen abgestimmt und für die Aufstellung eines interkommunalen Hochwasserschutzkonzeptes auf Einzugsgebietsgröße umgesetzt. Der Erftverband unterhält im Rahmen dieses Pilotprojekts u.a. die Projektsteuerung, Qualitätssicherung sowie die Aufstellung der interkommunalen Beiträge, z.B. neue Standorte für Hochwasserrückhaltebecken und Schaffung natürlicher Retentionsgebiete. Bisher zeigen erste Analysen sowie die Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern großes Potential einer solchen interkommunalen Zusammenarbeit, um sich im Hochwasserschutz zukünftig besser aufzustellen. Dieser Beitrag wird den Aufbau sowie den Status dieses Pilotprojekts aufzeigen und deutlich machen, vor welchen Herausforderungen wir stehen um uns bestmöglich vor zukünftigen Hochwasserereignisse zu schützen.



## Disaster Resilience for Extreme Climate Events: Das DIRECTED EU-Projekt

Kai Schröter<sup>1</sup>, Max Steinhausen<sup>1</sup>, Heiko Apel<sup>2</sup>, Stefano Bagli<sup>3</sup>, Sukaina Bharwani<sup>4</sup>, Julian Struck<sup>5</sup>, Tobias Conradt<sup>6</sup>, Lydia Cumiskey<sup>7</sup>, Martin Drews<sup>8</sup>, Benedikt Gräler<sup>9</sup>, Christopher Genillard<sup>10</sup>, Stefan Hochrainer-Stigler<sup>11</sup>, Levente Huszti<sup>12</sup>, Tracy Irvine<sup>13</sup>, Chahan Kropf<sup>14</sup>, Emilie Rønde Nielsen<sup>15</sup>, Valeria Panciolini<sup>16</sup>, Analia Rutili<sup>17</sup>, Pia-Johanna Schweizer<sup>18</sup>,

<sup>1</sup>TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG Technische Universität Braunschweig, Leichtweiß Institut für Wasserbau, Abteilung Hydrologie und Flussgebietsmanagement, kai.schroeter@tu-braunschweig.de

<sup>2</sup>HELMHOLTZ ZENTRUM POTSDAM DEUTSCHESGEOFORSCHUNGSZENTRUM GFZ - GFZ

<sup>3</sup>GECOSISTEMA SRL

<sup>4</sup>SEI OXFORD OFFICE LIMITED

<sup>5</sup>ERFTVERBAND

<sup>6</sup>POTSDAM-INSTITUT FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG EV - PIK

<sup>7</sup>UNIVERSITY COLLEGE CORK - NATIONAL UNIVERSITY OF IRELAND, CORK - UCC

<sup>8</sup>DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET - DTU

<sup>9</sup>52 NORTH SPATIAL INFORMATION RESEARCH GMBH - 52°North GmbH

<sup>10</sup>GENILLARD & CO GMBH

<sup>11</sup>INTERNATIONALES INSTITUT FUER ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE - IIASA

<sup>12</sup>ZALA SPECIAL RESCUE AND VOLUNTARY FIREFIGHTERS ASSOCIATION

<sup>13</sup>OASIS HUB LIMITED

<sup>14</sup>EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH

<sup>15</sup>REGION HOVEDSTADEN

<sup>16</sup>AGENZIA REGIONALE PER LA PREVENZIONE, L'AMBIENTE E L'ENERGIA DELL'EMILIA-ROMAGNA - ARPAE

<sup>17</sup>AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZATERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE

<sup>18</sup>HELMHOLTZ-ZENTRUM-POTSDAM FORSCHUNGSZENTRUM FÜR NACHHALTIGKEIT - RIFS

Die jüngsten Dürreperioden und die beispiellosen Überschwemmungen in Mitteleuropa im Sommer 2021 haben unsere Anfälligkeit gegenüber extremen Wetterereignisse erneut offengelegt. Neben dem Klimawandel als Ursache für häufigere und intensivere Wetterextreme verschärfen der demografische Wandel sowie sozioökonomische Entwicklungen deren gesellschaftliche Auswirkungen (Kreibich et al. 2022). In internationalen Vereinbarungen für die Verringerung des Risikos durch Naturgefahren und die Anpassung an den Klimawandel (z. B. SENDAI-Framework, EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel) wird die Notwendigkeit anerkannt, Risikobeherrschung, Kommunikation und operative Mechanismen zur Bewältigung extremer Klimaereignisse in den gesamten Zyklus des Risikomanagements von Naturgefahren zu integrieren. Dabei wird verstärkt das Augenmerk auf systemische Ansätze (Schröter et al. 2021) und das Zusammenwirken unterschiedlicher Naturgefahren und damit verbundener Risiken gelegt (Ward et al. 2021).



Das DIRECTED Projekt will die Katastrophenresilienz der europäischen Gesellschaften stärken, indem es i) unsere Fähigkeiten zur Kommunikation, zur Nutzung und zum Austausch von Daten, Informationen und Wissen auf dem neuesten Stand der Technik zwischen verschiedenen Akteuren ausbaut, ii) die Integration, Zugänglichkeit und Interoperabilität von Daten und Modellen fördert, iii) den Dialog und die Zusammenarbeit zwischen allen Akteursebenen auf der Grundlage eines verstärkten gesellschaftlichen Engagements verbessert und iv) neue Strategien für die Steuerung und das Management von Risiken entwickelt.

Im Mittelpunkt von DIRECTED stehen vier Real World Labs (Rhein-Erft-Region, Emilia Romagna Region, Donau-Region und die Hauptstadtregion von Dänemark), in denen Ansätze für die Interoperabilität, den Wissensaustausch und Kommunikation sowie die Steuerung und das Management von Risiken durch Naturgefahren gemeinsam mit den Stakeholdern entwickelt und deren praktische Anwendung demonstriert werden. Als zentrales Werkzeug für die Verbesserung der Interoperabilität zwischen Daten, Modellen, Akteuren und vorhandenem Wissen wird eine DATA-FABRIC aufgebaut. Die DATA-FABRIC ist eine Cloud-Plattform, die die Umwandlung und Integration von Daten und Modellen unter Nutzung offener Datenstandards in angepassten Arbeitsabläufen realisiert und somit die Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Risikoreduzierung unterstützt. Darüber hinaus ermöglicht die DATA-FABRIC eine flexible Suche und sichere Nutzung (unter Beachtung von u.a. Zugriffsrechten und Lizenzen) von strukturierten und unstrukturierten Daten. Die Real World Labs stellen sicher, dass das Projekt kontinuierlich und aktiv die wichtigsten Interessengruppen in den gemeinsamen, iterativen Entwicklungsprozess einbezieht und sich mit aktuellen Problemen des Multi-Hazard-Risikomanagements und der Anpassung an den Klimawandel befasst.

Das DIRECTED-Team mit 18 Partnern in 8 europäischen Ländern hat seine gemeinsame Arbeit im Oktober 2022 aufgenommen. Das Projekt läuft über einen Zeitraum von 48 Monaten bis Oktober 2026. DIRECTED wird von der Abteilung Hydrologie und Flussgebietsmanagement des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig koordiniert und wird durch das Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon Europe der Europäischen Union unter der Förderungsvereinbarung Nr. 101073978 gefördert.

## Literatur / References

- Kreibich, Heidi, Anne F. Van Loon, Kai Schröter, Philip J. Ward, Maurizio Mazzoleni, Nivedita Sairam, Guta Wakbulcho Abeshu, u. a. 2022. „The Challenge of Unprecedented Floods and Droughts in Risk Management“. *Nature* 608 (7921): 80–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04917-5>.
- Schröter, Kai, Marlies Barendrecht, Miriam Bertola, Alessio Ciullo, Ricardo Tavares da Costa, Lydia Cumiskey, Alex Curran, u. a. 2021. „Large-Scale Flood Risk Assessment and Management: Prospects of a Systems Approach“. *Water Security* 14 (Dezember): 100109. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2021.100109>.
- Ward, Philip J., Marleen C. de Ruiter, Johanna Mård, Kai Schröter, Anne Van Loon, Ted Veldkamp, Nina von Uexkull, u. a. 2020. „The Need to Integrate Flood and Drought Disaster Risk Reduction Strategies“. *Water Security* 11 (Dezember): 100070. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100070>.



# Impact of catchment and climate attributes on flood generating processes and their effect on flood statistics

Svenja Fischer<sup>1</sup>, Shailesh Kumar Singh<sup>2</sup>, Markus Pahlow<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ruhr-University Bochum, Research Unit Hydrology, Water Management and Environmental Engineering, svenja.fischer@rub.de

<sup>2</sup>National Institute of Water and Atmospheric Research, shailesh.singh@niwa.co.nz

<sup>3</sup>University of Canterbury, Department of Civil and Natural Resources Engineering, markus.pahlow@canterbury.ac.nz

Flood analyses are often based on annual exceedance probabilities of flood peaks estimated from probability distributions and hence depend on various assumptions and data availability. Besides the uncertainty introduced by the choice of the statistical model and the parameter estimation, as well as by the sampling effect and the general stochastic nature of flood events, a major source of uncertainty are the different generating processes of floods. Flood events can have very different generating processes such as high intensity rainfall, long-duration rainfall or snowmelt, which makes the assumption of homogeneous samples questionable and exacerbates the choice of a suitable statistical model.

In this work a hybrid causative-hydrograph-based classification of flood events (Fischer et al. 2019) has been applied to differentiate between meteorological drivers of floods using data from 252 gauged catchments across New Zealand. A peak-over-threshold (POT) approach was employed to specify single flood events based on an automated flood event separation. These events were classified into groups according to the flood type based on their hydrographs and the peak-volume relationship, the so-called flood timescale (Gaál et al., 2012). The frequencies of these types as well as the most dominating flood-generating mechanisms were estimated. To assess the impact of changing frequencies, the annual flood statistic was synthesised by a statistical mixing model to validate the representativeness of the probabilities. The coherence between flood types and catchment characteristics such as topography and geology was analysed in order to obtain the probability of occurrence of each flood type in different regions.

## References

- Fischer, S., Schumann, A., Bühler, P. (2019). Timescale-based flood typing to estimate temporal changes in flood frequencies, In: *Hydrological Sciences Journal* (64), p. 1867-1892.
- Gaál, L., Szolgay, J., Kohnová, S., Parajka, J., Merz, R., Viglione, A., Blöschl, G. (2012). Flood timescales: understanding the interplay of climate and catchment processes through comparative hydrology. *Water Resources Research* (48), p. 1-21.



# Interaktives Grundwassermodell im Bereich Wassermanagement

Ferdinand Flechtner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DHI WASY GmbH, Volmerstr. 8, 12489 Berlin, Tel.: +49 89 23719742, [fefl@dhigroup.com](mailto:fefl@dhigroup.com)

In vielen Regionen zeigt die Auswertung der Grundwasserstandsentwicklung, dass ein Rückgang der Grundwasserstände zu verzeichnen ist (z.B. NLWKN, 2020). Jedoch steigen oft gleichzeitig der Wasserbedarf und die Anzahl der Wasserrechtsanträge, vor allem in landwirtschaftlich geprägten Regionen. Vor diesem Hintergrund, wird auch in der Forderung des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW Wasser-Impuls: Zukunftsbilder 2030 bis 2100) beschrieben, dass bei der Entwicklung und Umsetzung langfristiger Zukunftskonzepte im Bereich Wassermanagement digitale Lösungen eine erhebliche Unterstützung sein sollen. Dazu werden u.a. Prognose- und Managementmodelle für ganze Einzugsgebiete vorgeschlagen.

In diesem Sinne wurde für den Landkreis Vechta ein Grundwassermodell in FEFLOW® (Diersch, 2014) erstellt, um bei der Bearbeitung von Wasserrechtsanträgen zu unterstützen (Flechtner et al., 2022). Grundwassermodelle sind jedoch oft teuer und nur von Experten nutzbar. Das bedeutet, dass die Modellierung von weiteren Szenarien (z.B. erhöhte Pumpraten oder zusätzliche Brunnenstandorte), an denen der Kunde oder die Behörde interessiert ist, sprich die Weiterverwendung des Modells, meist von externen Experten durchgeführt werden muss. Um der Behörde ein wie vom DVGW beschriebenes Prognose- und Managementmodell bereitzustellen, welches von dieser selbstständig im täglichen Geschäft verwendet werden kann, wurde von DHI WASY das Grundwassermodell zu einem interaktiven Modell erweitert. Dieses kann über eine Benutzeroberfläche vom Kunden selbst, mit wenigen, einfachen Arbeitsschritten, bedient werden, ohne auf externe Experten angewiesen zu sein. Darüber hinaus werden alle Modellergebnisse automatisch exportiert und in einem interaktiven HTML-Format angezeigt, so dass der Kunde alle relevanten Daten und Ergebnisse schnell und auf einen Blick für weitere Entscheidungen zur Hand hat.

## Literatur

- Diersch, H.-J. (2014): FEFLOW - Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media. 996 S.; Springer, Berlin.
- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) (März 2020): Grundwasserbericht Niedersachsen – Sonderausgabe zur Grundwasserstandssituation in den Trockenjahren 2018 und 2019. Norden.
- Flechtner, F., Winderl, M., Peters, K. & Klinger, D. (2022): Interaktives Grundwasserströmungsmodell zur Unterstützung von Wasserrechtsanträgen in landwirtschaftlich geprägten Regionen. Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie.



# **Collaborative flood risk management in a transboundary river basin: A new holistic approach on governance for the Mono river of Togo and Benin**

Adrian Almoradie<sup>1</sup>, Rholan Houngue<sup>1</sup>, Mariele Evers<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geography, University of Bonn, [adrian.almoradie@uni-bonn.de](mailto:adrian.almoradie@uni-bonn.de), [rholan.houngue@uni-bonn.de](mailto:rholan.houngue@uni-bonn.de),  
[mariele.evers@uni-bonn.de](mailto:mariele.evers@uni-bonn.de)

Participatory approaches in decision-making have been encouraged throughout the environmental management domain that includes flood risk management (FRM) because expert knowledge solely is insufficient to understand the issues and information, especially in a local setting and the complex decisions to be taken (Douglas et al., 2010; Whatmore, 2013). Thus a co-production of knowledge in the decision-making processes is needed such as from understanding the issues and problems to scenario development and consensual identification and selection of mitigating measures. In transboundary FRM too few collaborative decision-making engagement mechanisms are realized due to the complexity of bringing all together stakeholders from different countries. It is resource intensive and it is difficult to integrate stakeholders' views due to varying self-interests that can oftentimes be conflicting e.g. competing uses of water and the methods and policy do not adapt to the current situation (Birkmann, 2021; Van Eerd et. al. 2015). This can be addressed by strengthening the institutional capacities across countries and creating incentives for collaboration to work on an adaptation framework to discuss the feasibility and effectiveness of the adaptation measures or strategies. Furthermore, transboundary FRM requires inter and transdisciplinary approaches with the use of the right tools and methods for a more holistic assessment and decision-making.

Within the CLIMAFRI project, funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF), we explored and tested the applicability of the participatory framework Collaborative Modeling (CM) by Evers et. al. (2012) to holistically with the stakeholders understand the hazard and identify the right adaptation measures in the transboundary Lower Mono river (LMR) basin shared by Togo and Benin. The transboundary LMR CM for FRM was tailored and tested with the case study settings and considering the impact of the COVID-19 pandemic that restricted in-person interaction. Adapting the CM framework, it was structured into five key steps implemented in four workshops supported by models and web-based communication tools. Step 0 is on defining the system aiming to know more about the flooding situation and policies, Step 1 is understating the current situation on existing FRM and its challenges, Step 2 is the identification of flood hotspots (most exposed areas) and scenarios, Step 3 is stakeholders validation of the model results and using it to support the identification of sets of adaptation measures and criteria to evaluate the performance of measures and Step 4 is carrying out a collaborative adaptation measure ranking exercise to support consensual decision making on preference for implementation.



## References

- Birkmann, J., Feldmeyer, D., McMillan, J., Solecki, W., Totin, E., Roberts, D., Trisos, C., Jamshed, A., Boyd, E., & Wrathall, D. (2021). Regional clusters of vulnerability show the need for transboundary cooperation. *Environ. Res. Lett.* 16 094052 DOI 10.1088/1748-9326/ac1f43
- Douglas, I., Garvin, S., Lawson, N., Richards, J., Tippett, J., & White, I. (2010). Urban pluvial flooding: a qualitative case study of cause, effect and nonstructural mitigation. *J. Flood Risk Manag.* 3 (2), 112e125.
- Evers, M., Jonoski, A., Maksimovic´, C., Lange, L., Ochoa, O., Teklesadik, A., Corte´s, J., Almoradie, A., Simoes, N.E., Wang, L., & Makropoulos, C. (2012). Collaborative modelling for active involvement of stakeholders in urban flood risk management. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 2821–2842.
- Van Eerd, M., Wiering, M., & Dieperink, C. (2015). Solidarity in transboundary flood risk management: A view from the Dutch North Rhine–Westphalian catchment area. *Climate Policy*, DOI: 10.1080/14693062.2015.1075376
- Whatmore, S.J. (2013). Where natural and social science meet? Reflections on an experiment in geographical practice. In: Barry, A., Born, G. (Eds.), *Interdisciplinarity: Reconfigurations of the Social and Natural Sciences*. Routledge, New York.



## 20 Jahre modellgestütztes Grundwassermanagement im bergbau- beeinflussten Gebiet der Linksniederrheinischen Entwässerungs- Genossenschaft (LINEG)

Philipp Huttner<sup>1</sup>, Katja Eulitz<sup>2</sup>, Prof. Dr. Patrick Keilholz<sup>3</sup>, Christoph Breit<sup>4</sup>, Heinz Freudenberg<sup>5</sup>

<sup>1</sup>DHI WASY GmbH, Abteilung Wasserbewirtschaftung, [phhu@dhigroup.com](mailto:phhu@dhigroup.com)

<sup>2</sup>BGD Ecosax GmbH, Abteilung Wasserbewirtschaftung, [K.Eulitz@bgd-ecosax.de](mailto:K.Eulitz@bgd-ecosax.de)

<sup>3</sup>Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Professur für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, [patrick.keilholz@th-nuernberg.de](mailto:patrick.keilholz@th-nuernberg.de)

<sup>4</sup>LINEG, OE120, [breit.c@lineg.de](mailto:breit.c@lineg.de)

<sup>5</sup>LINEG, OE120, [freudenberg.h@lineg.de](mailto:freudenberg.h@lineg.de)

Für das Verbandsgebiet der Linksniederrheinischen Gesellschaft (LINEG) betreibt die DHI WASY GmbH seit 20 Jahren ein Grundwassermodell mit der Software FEFLOW, das regelmäßig fortgeschrieben wird und sowohl für wasserwirtschaftliche Maßnahmenplanungen als auch für die durch die EU-WRRRL geforderte verbandsgebietsweite Grundwasserbilanzierung verwendet wird.

Das ca. 1000 km<sup>2</sup> große Modellgebiet ist stark durch die kontinuierlichen Senkungen des Steinsalzabbaus als auch die diskontinuierlichen Senkungen des Steinkohleabbaus geprägt. Die dadurch notwendigen umfangreichen Grundwasserregulierungen umfassen neben den Grundwasser-Pumpanlagen auch zahlreiche Drainagen mit Vorflut-Pumpanlagen und Gräben zur Grundwasseranreicherung.

Die größte Unbekannte für die Wasserhaushaltsbilanzierung stellt die Grundwasserneubildung dar. Im Rahmen der letzten Fortschreibung erfolgte daher die Umstellung auf ein in der Software MIKE SHE neu aufgebautes großräumiges Wasserhaushaltsmodell. Das Wasserhaushaltsmodell berechnet alle wichtigen Bilanzströme der oberflächennahen Hydrologie nahezu physikalisch und bildet die Prozesse Infiltration, Oberflächenabfluss, Evapotranspiration, Bodenwasserhaushalt (Richards-Gleichung), den Einfluss der Landwirtschaft (Bewässerung) vollständig diskretisiert mit einer Auflösung von 50 m x 50 m und auf täglicher Basis ab. Von besonderer Bedeutung ist der Einfluss der Grundwasserflurabstandes hervorzuheben, der im Bodenwasserhaushalt instationär mitberücksichtigt wird. Erst dadurch konnten die Grundwasserneubildungsraten deutlich präziser ausgewiesen werden.

Mit Hilfe des erweiterten Modellsystems konnten zusätzlich Klimaszenarien simuliert werden, um Auswirkungen des Klimawandels bis 2050 auf das Verbandsgebiet der LINEG abzuschätzen. Auf Grundlage dieser Ergebnisse werden zukünftige Maßnahmen geplant, um die zukünftigen Herausforderungen möglichst nachhaltig zu bewältigen.

Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse wurde durch die erfolgreich umgesetzten Planungen mehrmals unter Beweis gestellt. Das Modell ist eines von vielen wichtigen Planungswerkzeugen für die Genossenschaft und ermöglicht eine zukunftsweisende und nachhaltige Planung.



## **Literatur / References**

DHI-WASY (2014). Aktualisierung des instationären Grundwassermodells 2013. Berlin.

Diersch, H-J. (2014). FEFLOW Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media. Berlin Heidelberg.

WASY (2000). Grundwassermodell 2000 (LINEG). Berlin.



# Hochauflösende Grundwasserneubildungsberechnung mit Hilfe integrierter Wasserhaushaltsmodellierung

Philipp Huttner<sup>1</sup>, Maximilian Winderl<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DHI WASY GmbH, Abteilung Wasserbewirtschaftung, [pphu@dhigroup.com](mailto:pphu@dhigroup.com)

<sup>2</sup>DHI WASY GmbH, Abteilung Wasserbewirtschaftung, [mwin@dhigroup.com](mailto:mwin@dhigroup.com)

Durch den Klimawandel verringert sich das verfügbare Wasserdargebot auch in immer mehr Regionen Deutschlands. Länger anhaltende Trockenphasen über mehrere Jahre hinweg führen zu einer dauerhaft niedrigeren Grundwasserneubildung, sodass sich die Aquifere nicht mehr überall ausreichend regenerieren können. Deshalb müssen die Vorgehensweise sowie die Datengrundlage für die künftige Vergabe von Wasserrechten angepasst werden.

Vor allem für ganze Einzugsgebiete lässt sich die flächige Grundwasserneubildung oft nur indirekt ableiten. Eine in der Vergangenheit gängige Methode war die Gleichsetzung der Grundwasserneubildung eines Einzugsgebiets mit dem langjährigen Basisabfluss (MNQ) des Gewässerpegels am Gebietsauslass. Einfache Niederschlags-Abfluss-Modelle simulieren ebenfalls nur die Prozesse des Direkt- bzw. Zwischenabflusses und lassen lediglich Rückschlüsse auf die Gesamtsumme von Verdunstung und Grundwasserneubildung als offenen Bilanzterm zu.

Eine der heutzutage zuverlässigsten Methoden der indirekten Ermittlung der Grundwasserneubildung ist die Simulation mit integrierten Wasserhaushaltsmodellen. Hier werden alle Kompartimente des Wasserkreislaufs vollständig abgebildet und auf Grundlage der physikalischen Gesetze numerisch berechnet. Im Gegensatz zu den bisher gängigen Verfahren, werden die oberflächennahen Abflussprozesse nicht nur auf den Abfluss der Pegelmessstelle des nächstgelegenen Hauptgewässers kalibriert und die Parameter regionalisiert, es erfolgt auch eine stationäre und instationäre Kalibrierung auf räumlich verteilte Grundwassermessstellen. Integrierte Wasserhaushaltsmodelle werden idealerweise an der Umhüllenden von dem ober- und unterirdischen Einzugsgebiet abgegrenzt, sodass möglichst wenig seitliche Zuflussrandbedingungen angenommen werden müssen und ein geschlossenes System entsteht. Im Idealfall sollten dabei Niederschlag und potentielle Verdunstung die einzigen Eingangsgrößen sein.

Ein integriertes Wasserhaushaltsmodell kann dabei aus einer Software, die alle Prozesse abbilden kann (z.B. MIKE SHE oder HydroGeoSphere) oder aus mehreren gekoppelten Modellen bestehen (z.B. MIKE SHE & FEFLOW oder MODFLOW & RIV-Package & UZFLOW-Package). Solange eine instationäre Kalibrierung auf Abflüsse und Grundwasserstände erfolgt, kann es als integrierte Wasserhaushaltsmodellierung bezeichnet werden.

Ist ein integriertes Wasserhaushaltsmodell nach instationärer Kalibrierung in der Lage sowohl Abflüsse an allen verfügbaren Pegelmessstellen des Oberflächengewässersystems als auch die absoluten Höhen und steigenden sowie fallenden Trends der Ganglinien an mehreren Grundwassermessstellen hinreichend genau nachzubilden, so werden alle realen Prozesse des Wasserkreislaufs korrekt wiedergegeben.

Dieser integrierte Ansatz der gekoppelten Modellierung ermöglicht im Vergleich zu den herkömmlichen Wasserhaushaltsmodellierungen nicht nur die Differenzierung innerhalb eines Einzugsgebiets in beliebig



hohe zeitliche und räumliche Auflösung, sondern gewährleistet auch eine deutlich höhere Zuverlässigkeit der berechneten Grundwasserneubildung, da Verdunstung und Grundwasserneubildung separat berechnet werden. Alle Kompartimente können in beliebige Teilflächen unterteilt und bilanziert werden. Dieser Modellansatz ermöglicht deutlich belastbarere Werte für die Grundwasserneubildung und das verfügbare Wasserdargebot, sodass die Behörden der deutschen Wasserwirtschaft weiterhin dazu befähigt werden, langfristig nachhaltige Entscheidungen über neue Wasserrechte zu treffen.

## **Literatur / References**

Graham, D.N. und Butts, M. B. (2005). Flexible, integrated watershed modelling with MIKE SHE. In: *Watershed Models* (Hg.): Eds. V.P. Singh & D.K. Frevert. CRC Press. S. 245-272.

Kristensen, K., und Jensen, S. (1975). A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration. In: *Nordic Hydrology* 6, S. 170-188.



# Innovatives System zur Überwachung und Vorhersage der hydrologischen Dynamik im semiariden Ceará, Nord-Ost Brasilien

*Klaus Vormoor<sup>1,2</sup>, Erwin Rottler<sup>1,2</sup>, Martin Schüttig<sup>1,2</sup>, Axel Bronstert<sup>1,2</sup>,  
Ályson Estacio<sup>3</sup>, Renan Rocha<sup>3</sup>, Valdenor Nilo de Carvalho Jr.<sup>3</sup>, Clecia Cristina Barbosa Guimarães<sup>3</sup>, Eduardo Martins<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>UP Transfer GmbH, Am Kanal 47, 17467 Potsdam

<sup>2</sup>Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, Universität Potsdam, Karl-Liebknecht-Str. 24-25, 14476 Potsdam

<sup>3</sup>FUNCEME, Av. Rui Barbosa, 1246 - Aldeota, Fortaleza - CE, 60115-221, Brasilien

Der Bundesstaat Ceará liegt im semiariden Nordosten Brasiliens und ist gekennzeichnet durch eine starke inter- und intra-annuelle Variabilität im Niederschlag. Dürren und eine unsichere Wasserversorgung bedrohen daher die Menschen in einer der dichtest besiedelten Trockenregionen der Erde. Zur Wasserspeicherung und Wasserversorgung während der Trockenperioden wurden insbesondere seit dem Ende des 19. Jahrhunderts zehntausende Staudämme unterschiedlichster Größe errichtet. Lediglich 155 dieser Stauseen werden systematisch überwacht und verwaltet. Für die übrigen Stauseen gibt es bislang kein systematisches Monitoring und kein koordiniertes Wasserressourcen-Management. Dieses benötigt ferner ein angepasstes hydrologisches Modellierungs- und Vorhersagewerkzeug, um die Wasserressourcen in Ceará bestmöglich zu verwalten und um die Auswirkung zukünftiger Dürren zu reduzieren.

In diesem Projekt wurde unter Mitwirkung der bundesstaatlichen Behörde für Hydrologie und Meteorologie (FUNCEME) ein innovatives System zur Überwachung und Vorhersage der hydrologischen Dynamik in Ceará entwickelt. Dieses System basiert auf einer integrierten Nutzung von Klimamodellierung, prozessbasierter hydrologischer Modellierung, Fernerkundung und bestehenden Datenbanken. Konkret wurden folgende drei komplementierende Produkte entwickelt, die wir hier präsentieren:

- (1) *Satelliten-gestütztes Monitoring von Stauseefüllzuständen*: Eine Quasi-Echtzeit Überwachung der Wasserflächen von > 30.000 Stauseen erfolgt über die Auswertung und Klassifizierung von Sentinel-1 Szenen. Auf das gespeicherte Wasservolumen kann anschließend über die Fläche-Volumen-Beziehung geschlossen werden, die mithilfe von hochaufgelösten TanDEM-X CoSSC DEMs für diese Stauseen während expliziter Dürrejahre (also leeren Stauseen) abgeleitet wurden.
- (2) *Modellierung und saisonale Vorhersage der hydrologischen Dynamik mittels WASA-SED*: Das prozessbasierte und für semi-aride Gebiete entwickelte hydrologische Modell WASA-SED wurde für Ceará angepasst und kalibriert. Die Informationen aus dem Satelliten-gestützten Stauseemonitoring werden in den Simulationen dynamisch nachgeführt. Basierend auf einem Ensemble von ECHAM4.6 Klimasimulationen (monatlich aktualisiert) werden mit dem angepassten hydrologischen Modell saisonale Vorhersagen mit sechs Monaten Vorlaufzeit über das Abflussgeschehen und die Stauseefüllzustände generiert.
- (3) *Web-basierte Visualisierung der Monitoring und Vorhersageergebnisse*: Die Ergebnisse des Satelliten-gestützten Monitorings und der dynamischen hydrologischen Modellierung und Vorhersage werden zentral in einer Datenbank verwaltet und können dort von einer Web-Anwendung abgefragt werden. Die entsprechenden Informationen werden als Karten- und Grafikdarstellungen online visualisiert und verschiedenen Nutzergruppen und Entscheidungsträger\*innen zugänglich gemacht.



# **Integrierte Bewirtschaftung der Wasserressourcen im Zayandeh-Rud-Einzugsgebiet:**

## **Erfahrungen aus einem deutsch-iranischen Forschungs- und Entwicklungsprojekt**

Ali A. Besalatpour\*<sup>1</sup>, Shahrooz Mohajeri<sup>1</sup>, Daniel Anatolijevic Kaufman<sup>1</sup>

<sup>1</sup> inter 3 - Institut für Ressourcenmanagement, Berlin, Deutschland

\*Korrespondierender Autor: besalatpour@inter3.de

Das Einzugsgebiet des Zayandeh Rud, eines der vielfältigsten und am intensivsten bewirtschafteten Einzugsgebiete im Zentraliran, erlebt eine ernste Wasserkrise, die sich in austrocknenden Flüssen und Feuchtgebieten, sinkenden Grundwasserressourcen, Bodensenkungen, einer Verschlechterung der Wasserqualität, Verlusten in der Landwirtschaft und Schäden am Ökosystem äußert (Besalatpour et al. 2020). Darüber hinaus haben die zunehmenden Herausforderungen im Zusammenhang mit der Versorgung, Verteilung und Bewirtschaftung der Wasserressourcen in diesem Einzugsgebiet mit einer Vielzahl von Nutznießern und zahlreichen sozialen Problemen eine Abkehr von den traditionellen sektoralen Ansätzen hin zu einem nachhaltigen und integrierten Wasserressourcenmanagement (IWRM) auf der Ebene des Einzugsgebiets erforderlich gemacht. Diese Änderung des Ansatzes für die Wasserbewirtschaftung muss ein Prozess sein, der die Prioritäten aller Beteiligten bei der Entscheidungsfindung und der Bewirtschaftung der Wasserressourcen berücksichtigt. Aufgrund der Notwendigkeit (und Dringlichkeit) des beschriebenen Problems wurde 2010 mit finanzieller Unterstützung des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung (BMBF) und in Zusammenarbeit mit verschiedenen Universitäten, Organisationen und Unternehmen das Projekt „Integriertes Wasserressourcenmanagement - IWRM Zayandeh Rud“ definiert. Die Projektpartner aus beiden beteiligten Ländern haben ihre Kompetenzen und Erfahrungen zusammengeführt, um das Hauptziel des Projekts zu erreichen. Dieses ist die Entwicklung und Erstellung eines Konzepts für die nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen entlang des Flusses und die Schaffung eines Gleichgewichts zwischen den verschiedenen Verbrauchern.

Unter Berücksichtigung der Interessen der verschiedenen Interessengruppen wie städtischen Nutzungen, Bewässerung von Grünflächen, Landwirtschaft, Industrie und Umwelt wurde eine Reihe von Technologien und digitalen Werkzeugen entworfen und entwickelt. Die wichtigste Errungenschaft der ersten Projektphase (2010-2014) war die Entwicklung der Idee des IWRM durch die Schaffung eines digitalen Wasserressourcen-Management-Tools (WMT). Das WMT, das in der zweiten Phase des Projekts (2015-2018) zu einem Entscheidungsunterstützungssystem (decision support system, DSS) ausgebaut wurde. Dieses DSS kann unterstützend zum Entscheidungsfindungsprozess verwendet werden. Außerdem ermöglicht es den Bewirtschaftern des Einzugsgebiets, die Auswirkungen ihrer Entscheidungen zu bewerten, und verleiht den getroffenen Entscheidungen Legitimität als Grundlage für eine für alle Beteiligten akzeptable Entscheidungsfindung. Auf diese Weise können Manager und Entscheidungsträger gemeinsam Entscheidungen treffen, Lösungen planen und umsetzen und gleichzeitig von allen Beteiligten Rückmeldungen darüber erhalten, wie diese Lösungen zur Lösung der aktuellen wasserwirtschaftlichen Herausforderungen beitragen können.

Durch die Durchführung verschiedener interaktiver Workshops in Anwesenheit von Interessenvertretern und Bewirtschaftern des Einzugsgebiets wurde die optimale Struktur in Form einer Flussgebietsorganisation



(River Basin Organisation, RBO) für die Umsetzung der integrierten Bewirtschaftung von Wasserressourcen im Hinblick auf den Koordinierungsbedarf bei Entscheidungen zwischen den Einheiten und Bewirtschaftungsebenen im Einzugsgebiet sowie den Interessenvertretern, die Aktualisierung und Umsetzung des DSS geplant.

Darüber hinaus wurden im landwirtschaftlichen Sektor (als Hauptwassernutzer im Einzugsgebiet) verschiedene Pilotstudien wie "Beteiligung der Landwirte an der Umgestaltung des landwirtschaftlichen Sektors" und "Verringerung des Wasserverbrauchs durch neue Bewässerungstechnologien und Bodenverbesserungsmethoden" durchgeführt und verschiedene Strategien und Aktionspläne zur Optimierung des Wasserverbrauchs im landwirtschaftlichen Sektor vorgelegt.

Das Projektteam sah sich bei der Umsetzung seiner verschiedenen Teile mit unterschiedlichen Herausforderungen und Einschränkungen konfrontiert, was dazu führte, dass nützliche Erfahrungen gesammelt werden konnten, deren Austausch für die Entwicklung einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserressourcen in anderen Wassereinzugsgebieten weltweit mit ähnlichen Herausforderungen nützlich sein könnte.

## Literatur

Besalatpour A.A., Horlemman L., Raber W., Mohajeri S. (2020). Introduction chapter. In: *Satanding up to climate change: Creating Prospects for a sustainable future in rural Iran*. Springer publisher. Edt. Mohajeri S. Horlemman L., Besalatpour A.A., Raber W. pp 1–26.



# The Global Runoff Database - Providing data for science and integrated water resources management

Claudia Färber<sup>1</sup>, Henning Plessow<sup>1</sup>, Thomas Recknagel<sup>1</sup>, Uli Looser<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Global Runoff Data Centre (GRDC), Federal Institute of Hydrology (BfG), Koblenz, [grdc@bafg.de](mailto:grdc@bafg.de)

River discharge data is critical for effective water governance. Accurate and reliable river discharge data allows for the proper management and allocation of water resources, as well as the prediction and mitigation of potential water-related disasters such as floods and droughts. In addition, it is essential for monitoring and protecting water quality, as well as for the assessment of the health and sustainability of aquatic ecosystems. As such, observational runoff data are fundamental for the sustainable management of available water resources and for the validation of hydrological models across all scales.

The Global Runoff Data Centre (GRDC) operates under the auspices of the World Meteorological Organization (WMO) at the German Federal Institute of Hydrology (BfG). It holds the most substantive collection of quality assured river discharge data on global scale. Established in 1988 to support the research on global and climate change and integrated water resources management, GRDC has been a key partner in a number of data collection and data management projects. It connects national hydrological and hydrometeorological services, the primary providers of river discharge data and associated metadata, and the scientific research community utilizing this unique data collection.

By implementing seamless workflows and simplifying data retrieval, annual downloads of GRDC data have increased significantly. However, there are still hurdles on the way to a completely open and free exchange of data. Some countries have a strict data policy and are required not to give out the data for certain reasons. Non-standardized data exchange formats still require preprocessing steps. The WMO is working to establish frameworks at both the technical and regulatory levels to overcome these hurdles.

Currently, the Global Runoff Database contains river discharge data collected at daily or monthly intervals from more than 10,700 stations in 160 countries. GRDC archives international data of up to 200 years old, fostering multinational and global long-term hydrological studies. In 2022, more than 100 peer-reviewed papers have referenced GRDC data. As a trustworthy source for runoff data, GRDC has been integrated into the WMO Catalogue for Climate Data, supporting the scientific community to analyze global climate trends and assess environmental impacts and risks. In addition, GRDC provides different sets of geospatial data products that have formed an important basis for various hydrological modelling studies. GRDC data and products are accessible online for non-commercial use at <https://grdc.bafg.de/>.



# Effiziente Wasserzuteilung in einem zentralasiatischen grenzüberschreitenden Flusseinzugsgebiet - WE-ACT Projekt

Jingshui Huang<sup>1</sup>, Max Linsen<sup>2</sup> Timo Schaffhauser<sup>1</sup>, Markus Disse<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement, Technische Universität München, jingshui.huang@tum.de

<sup>2</sup>Portolan Association, Genf, Schweiz, max.linsen@portolan-association.org

Die Bergregionen in Zentralasien sind durch die Folgen des Klimawandels gefährdet. Aufgrund des Wirtschafts- und Bevölkerungswachstums sowie der klimabedingten Veränderungen der hydrologischen Verhältnisse in den wichtigsten grenzüberschreitenden Flusseinzugsgebieten Zentralasiens wird es immer schwieriger, angemessene Entscheidungen über die Verteilung von Wasser an Gemeinschaften, die Umwelt und wichtige Wirtschaftssektoren wie Landwirtschaft und Energie zu treffen. Das EU-HORIZON Projekt WE-ACT (Water Efficient Allocation in a Central Asian Transboundary River Basin) schlägt die Einrichtung eines klimasensitiven Entscheidungshilfesystems für die Wasserzuteilung in zwei Teileinzugsgebieten eines grenzüberschreitenden Flussgebiets in Zentralasien vor, nämlich in den Einzugsgebieten von Naryn und Kara Darya des Syr Darya Flussgebiets (das Teile Kirgisistans und Usbekistans umfasst). WE-ACT basiert auf einem innovativen Wasserinformationssystem, das ein umfassendes Verständnis der Wasserverfügbarkeit, des Wasserbedarfs, des Wasserverbrauchs und der Wasserzuteilung in einem von Gletschern gespeisten Flusseinzugsgebiet vermittelt. Mit Hilfe von WE-ACT können Wassermanager mit einem zugänglichen und intuitiven DSS interagieren, um kurz- und langfristig den Wasserstress für Gemeinden, Wirtschaft und Umwelt zu verringern. WE-ACT wird sie in die Lage versetzen, die Zuteilung von Wasserressourcen an die bekannten und erwarteten Auswirkungen des Klimawandels anzupassen und gleichzeitig die Verbesserung der Politik zur korrekten Festsetzung von Wassertarifen, zur Verringerung des Wasser-Fußabdrucks und zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz in der Landwirtschaft und im Energiesektor zu fördern. Das Rückgrat des Projekts ist eine zuverlässige Datenversorgungskette auf der Grundlage von Echtzeitüberwachung, integrierter Modellierung von Wasserbedarf, -verfügbarkeit und -nutzung, maschinellem Lernen und Datenspeicherung in einem grenzüberschreitenden Kontext. Dies wird mit einem eingehenden Verständnis der Wasserpolitik und der Prioritäten einhergehen, die durch den Klimawandel, die wachsende Nachfrage und die Abhängigkeit von Wasser immer stärker unter Druck geraten. Die Endnutzer des Projekts (hydrometeorologische Stationen, integrierte Modelle, DSS für die Wasserzuteilung) werden sorgfältig kartiert, eingeladen, einbezogen und geschult, um von Beginn des Projekts an aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen und zu nutzen.



## Vorträge: Urbane Hydrologie

### **RIM2D – Hocheffiziente 2D hydraulische Simulation von fluvialen, pluvialen und urbanen Hochwassern**

Heiko Apel<sup>1</sup>, Sergiy Vorogushyn<sup>1</sup>, Bruno Merz<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion Hydrologie, Potsdam

<sup>2</sup>Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, Universität Potsdam, Potsdam

Hochwasser, insbesondere urbane Überflutungen durch Starkregen sind ein zunehmendes Problem für den regionalen und kommunalen Hochwasserschutz, das sich im Zuge des Klimawandels in Zukunft noch verschärfen wird. Überflutungen durch Starkregen betreffen zudem alle Kommunen, nicht nur solche entlang von Flussläufen. Die Planung und Durchführung von Hochwassermanagementmaßnahmen sind daher ein zentrales Ziel für alle Kommunen. Für die Ableitung von geeigneten Schutzmaßnahmen sind modellbasierte Risikoabschätzungen von grundlegender Bedeutung. Diese erfordern im urbanen Raum eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung, sowie die Berücksichtigung der Entwässerungssysteme. Die Erstellung detaillierter hydraulischer Überflutungsmodelle ist aufgrund des hohen Datenbedarfs und der Komplexität der gekoppelten Oberflächen- und Kanalnetzmodelle für viele Kommunen eine große Herausforderung. Um dennoch eine Starkregen-Risikoabschätzung zu ermöglichen, wurde das 2D hydraulische Modell RIM2D entwickelt, das auf Basis überwiegend frei verfügbarer Geodaten eine Risikoabschätzung für jede Kommune in Deutschland ermöglichen soll.

Der Kern dieses Modellsystems RIM2D besteht aus einem vereinfachten rasterbasierten 2D-Überflutungsmodell, das die oberflächliche Überflutungsdynamik rasterbasiert auf Grundlage von vereinfachten Flachwassergleichungen berechnet. Im urbanen Raum kann die Überflutungsdynamik mit hoher Auflösung von  $\leq 5$  m simuliert werden. Gebäude und Straßenzüge werden hierbei explizit berücksichtigt. Die Berücksichtigung der Stadtentwässerung durch das Kanalnetz und Infiltration geschieht über einen kapazitiven Ansatz auf den versiegelten/unversiegelten Flächen. RIM2D liefert als Ergebnis räumlich explizite Überflutungskarten sowie die Belastung des Abwassersystems in hoher zeitlicher Auflösung, kumuliert für die gesamte Kommune. Aus den Überflutungssimulationen können Überflutungstiefen und Fließgeschwindigkeiten entnommen werden, woraus noch weitere Hochwasser-Impakt-Informationen wie Gefährdung von Menschenleben oder Abtreiben von Fahrzeugen oder die zu erwartenden Schäden an privaten Wohngebäuden abgeleitet können. Die Leistungsfähigkeit und die Ergebnisse werden am Beispiel des Hochwassers 2021 an der Ahr und für Überflutungen durch Starkregen in Dresden illustriert.

Durch die einfache Modellstruktur und den geringen Datenbedarf ist RIM2D auf jede Kommune in Deutschland übertragbar und ermöglicht so eine vereinfachte Risikoabschätzung durch Starkregen auch für solche Kommunen, die nicht über die Kapazitäten für eine detaillierte Risikoabschätzung verfügen.



# Kompensation der unterirdischen Verdichtung im urbanen Bereich durch Grundwasserüberleitungsanlagen und deren Dimensionierung mittels Grundwassermodellierung

Prof. Dr. Patrick Keilholz<sup>1</sup>, Philipp Huttner<sup>2</sup>, Ferdinand Flechtner<sup>3</sup>, Katja Eulitz<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Professur für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, [patrick.keilholz@th-nuernberg.de](mailto:patrick.keilholz@th-nuernberg.de)

<sup>2</sup>DHI WASY GmbH, Abteilung Wasserbewirtschaftung, [phhu@dhigroup.com](mailto:phhu@dhigroup.com)

<sup>3</sup>DHI WASY GmbH, Abteilung Wasserbewirtschaftung, [fefl@dhigroup.com](mailto:fefl@dhigroup.com)

<sup>4</sup>BGD Ecosax GmbH, Abteilung Wasserbewirtschaftung, [K.Eulitz@bgd-ecosax.de](mailto:K.Eulitz@bgd-ecosax.de)

Die Flächen für Neuerschließungen und neue Bebauungsgebiete werden vor allem im städtischen und stadtnahen Gebieten immer weniger. Grundstücke mit grundsätzlich ungünstigen Rahmenbedingungen, wie z.B. flurnahem Grundwasserspiegel, werden dadurch heutzutage immer interessanter für Städteplaner. Ebenso steigt das Interesse und die Tendenz, alte Gebäude abzureißen und mit größerer Gründungstiefe für Tiefgaragen im Stadtkern zu planen. Diese Verdichtung im städtischen Bereich hat nicht nur auf die Grundwasserneubildung einen nachteiligen Effekt, sondern beeinflusst auch die natürliche Grundwasserströmung.

Der neue Baukörper stellt dabei oft ein unüberwindbares Hindernis für den natürlichen Grundwasserstrom dar, sodass es zu dauerhaftem Aufstau und zur Absenkung führen kann. Eine in der Praxis bereits vielfach angewandte und oft bewährte Lösung stellt dabei eine Grundwasserdüker-Überleitung dar (auch Grundwasserkommunikationsanlagen genannt). Dabei wird mit horizontalen, geschlitzten Filterrohren (ähnlich der Bauweise von horizontalen Trinkwasserbrunnen) das Grundwasser auf der Entnahmeseite gefasst, mittels Vollrohren über Transportleitungen unter oder um den Baukörper herumgeführt und auf der Abstromseite über abermals geschlitzte Filterrohre an den Grundwasserleiter wieder abgegeben, sodass der natürliche Grundwassergradient nahezu wieder hergestellt wird (gängige Anforderung der Behörden: dauerhafter Aufstau/Absenkung  $< \pm 10$  cm und keine negative Beeinflussung der Nachbarbebauung).

Bisher wurden Planungen der Grundwasserdüker oftmals analytisch oder mit Hilfe einfacher Box-Grundwassermodelle berechnet. Aufgrund dieses einfachen Ansatzes werden Düker teilweise überdimensioniert oder völlig unpassend angeordnet. Durch den Aufbau deutlich komplexerer 3D-Grundwassermodelle mit der Software FEFLOW, in denen die Geometrie und Rohrhydraulik des Dükers durch innovative Ansätze besser abgebildet werden, können verschiedenste Konstellationen schnell und effizient modelliert werden. Die Innovation in diesem Ansatz ist die gemeinsame Abbildung von Grundwasserströmung und Rohrhydraulik in einem System. Oft wird dadurch erst eine effiziente Planung des Systems ermöglicht.

Den technischen Nachweis der Durchführbarkeit und der Funktionsweise kann man ausschließlich mit einer modellgestützten Grundwassermodellierung erbringen. Dabei wird auf Grundlage der Planungsunterlagen und meist öffentlich verfügbaren Daten ein 3-D Grundwassermodell aufgebaut, welches dabei die Grundwasserdüker in ihrer Geometrie mit abbildet. Das Modell wird anschließend für verschiedene



hydrologische Zustände (z.B. Mittel-/Niedrig-/Hochwasser) stationär kalibriert, bis die vorherrschende Grundwasserströmung gut abgebildet wird. Sobald das Grundwassermodell als prognosefähiges Planungswerkzeug eingestuft werden kann, werden unterschiedliche Düker-Anordnungen iterativ zwischen numerischem Grundwassermodell und analytischen Ansätzen der Rohrreibungsverluste simuliert, bis der zulässige Aufstau unterschritten wird. Dabei ist oft eine Überarbeitung des Berechnungsnetzes notwendig, um die lokalen Einflüsse des Dükersystems belastbar abbilden zu können.

Die Möglichkeiten einer Dükeranlage umfassen auf Grund der komplexen Zusammenhänge vielfältige Konstellationen. Die Reduzierung des bauseitig bedingten Grundwasseraufstaus erfordert meist größere Rohrdurchmesser, sowie längere Filterstrecken, um die Rohrreibungsverluste und somit die verringerte Durchflussleistung möglichst auszugleichen. Aber durch eine wohlüberlegte Untersuchung von unterschiedlichen Ausführungsvarianten können gleichermaßen Grundwasseraufstau reduziert und Baukosten optimiert werden.

Dieser bisher noch nicht sehr weit verbreitete Ansatz wurde unter anderem am Flughafen München, für diverse U-Bahn Stationen in München, in Geretsried und am City Tunnel in Leipzig erfolgreich angewendet.

## **Literatur / References**

- Diersch, H-J. (2014). FEFLOW Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media. Berlin Heidelberg.
- Glitsch, W. und Spang, C. (2009). Grundwasserkommunikationsanlagen zur Beherrschung von Aufstau und Sunk am Beispiel des City Tunnel Leipzig. In: Taschenbuch Tunnelbau.
- Huttner, P. und Keilholz, P. (2020). 3-dimensionale Modellierung der Grundwasserstände an der Tiefgarage Egerlandstraße.



# Niederschlagsklimatologie und Starkregenkatalog basierend auf Radardaten des Deutschen Wetterdienstes

Tanja Winterrath<sup>1</sup>, Katharina Lengfeld<sup>1</sup>, Ewelina Walawender<sup>1</sup>, Elmar Weigl<sup>1</sup>, Stephanie Hänsel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Deutscher Wetterdienst, Regionale Niederschlagsüberwachung, tanja.winterrath@dwd.de

Extreme Niederschlagsereignisse beeinflussen unser Leben und unsere Infrastruktur. Nicht selten gehen sie mit großen Schäden einher oder fordern im schlimmsten Fall sogar Menschenleben. Informationen zur Häufigkeit und Ausprägung solcher Starkregenereignisse sind daher von großer Bedeutung. Mittels Radardaten kann seit 2001 der Niederschlag in Deutschland flächenhaft erfasst werden. Da insbesondere kurz andauernde Niederschlagsereignisse häufig lokal begrenzt auftreten, werden sie durch das Stationsmessnetz des DWD zum Teil nicht erfasst. Untersuchungen haben gezeigt, dass weniger als ein Fünftel der mittels Radarniederschlagsdaten erfassten Ereignisse mit einer charakteristischen Dauerstufe von einer Stunde vom Stationsmessnetz des DWD erfasst wurden (Lengfeld et al. 2020). Dieses Ergebnis macht deutlich, wie wichtig die flächenhafte Erfassung der Niederschläge für eine belastbare Analyse der Starkregenhäufigkeit ist.

Mit dem Datensatz RADKLIM (Winterrath et al. 2018a und 2018b) bietet der DWD eine zeitlich (bis 5 Min.) und räumlich (bis 1 km<sup>2</sup>) hoch aufgelöste Niederschlagsklimatologie auf der Basis wetterradar- und stationsgestützter Messungen (Lengfeld et al. 2020). Der Datensatz ist über den Opendata-Server des DWD frei verfügbar und wird jährlich um das zurückliegende Jahr erweitert.

Der RADKLIM-Datensatz bildet die Grundlage für einen Katalog von Extremereignissen CatRaRE (Lengfeld et al. 2021), die als zeitlich und räumlich unabhängige Objekte mit spezifischen Eigenschaften definiert sind. CatRaRE bietet dabei erstmals die Möglichkeit, Niederschlagsereignisse nicht nur über die Intensität und die Dauer an einem Ort, sondern, erweitert um die räumliche Dimension, bezüglich ihrer objektbezogenen Extremität zu klassifizieren. Des Weiteren wurden die Ereignisattribute mit meteorologischen, geografischen und demografischen Daten sowie Informationen zum Ereignisimpact wie Einsatzdaten von Feuerwehren und Schadensdaten von Versicherungen verknüpft, um potenzielle Zusammenhänge detailliert zu analysieren. Ergebnisse von Fallstudien extremer Niederschlagsereignisse zeigen insbesondere den Einfluss der Topografie sowie starker Versiegelung auf das lokale Risiko beim Auftreten von Starkregen.

Im Rahmen des Vortrags geben wir einen Überblick über die Erstellung des RADKLIM-Datensatzes, zeigen Auswertungen zur statistischen Häufigkeit von Starkregen in Deutschland und stellen den Ereigniskatalog CatRaRE (<https://www.dwd.de/catrare>) vor. Die Präsentation umfasst statistische Auswertungen zum Auftreten von Starkregenereignissen sowie Fallstudien zu ausgewählten Extremereignissen. Erste Ansätze zur Bestimmung des lokalen Georisikos und des potenziellen Impacts von Starkregenereignissen werden präsentiert. Wir informieren darüber hinaus über Datenquellen, Publikationen wie das RADKLIM-Bulletin (<https://www.dwd.de/radklim-rss>) sowie ein webbasiertes Tool zur einfachen Analyse der Ereigniskataloge (<https://wetterdienst.maps.arcgis.com/apps/dashboards/a490b2b390044ff0a8b8b4c51aa24c60>).



## Literatur

- Lengfeld, K., Kirstetter, P.-E., Fowler, H.J., Yu, J., und Becker, A., Flamig, Z., Gourley, J. (2020). Use of radar data for characterizing extreme precipitation at fine scales and short durations. In: *Env. Res. Letters* 15(8), <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab98b4>.
- Lengfeld, K., Walawender, E., Winterrath, T., Becker, A. (2021). CatRaRE: A Catalogue of radar-based heavy rainfall events in Germany derived from 20 years of data. In: *Meteorologische Zeitschrift*, <https://doi.org/10.1127/metz/2021/1088>.
- Winterrath, T., Brendel, C., Hafer, M., Junghänel, T., Klameth, A., Lengfeld, K., Walawender, E., Weigl, E., und Becker, A. (2018a). RADKLIM Version 2017.002: Reprocessed gauge-adjusted radar-data, one-hour precipitation sums (RW), [https://doi.org/10.5676/DWD/RADKLIM\\_RW\\_V2017.002](https://doi.org/10.5676/DWD/RADKLIM_RW_V2017.002).
- Winterrath, T., Brendel, C., Hafer, M., Junghänel, T., Klameth, A., Lengfeld, K., Walawender, E., Weigl, E., und Becker, A. (2018b). RADKLIM Version 2017.002: Reprocessed quasi gauge-adjusted radar data, 5-minute precipitation sums (YW), [https://doi.org/10.5676/DWD/RADKLIM\\_YW\\_V2017.002](https://doi.org/10.5676/DWD/RADKLIM_YW_V2017.002)



# Hydrodynamische N-A-Ensemblesimulationen mit variablen räumlich-zeitlichen Verteilungen von Starkniederschlägen

Franziska Tügel<sup>1</sup>, Elsa Kronke<sup>1</sup>, Lennart Steffen<sup>1</sup>, Katrin Nissen<sup>2</sup>, Uwe Ulbrich<sup>2</sup> & Reinhard Hinkelmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Berlin, Fachgebiet für Wasserwirtschaft und Hydrosystemmodellierung, [franziska.tuegel@wahyd.tu-berlin.de](mailto:franziska.tuegel@wahyd.tu-berlin.de)

<sup>2</sup>Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, [katrin.nissen@met.fu-berlin.de](mailto:katrin.nissen@met.fu-berlin.de)

Starke Regenfälle und resultierende Überschwemmungen führen überall auf der Welt zu schwerwiegenden Folgen. Die klimawandelbedingte Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen sowie die zunehmende Urbanisierung führen zu steigenden Risiken im Zusammenhang mit Starkregen und Sturzfluten. In den letzten Jahren sind die besonderen Risiken und Herausforderungen im Zusammenhang mit Starkregenereignissen zunehmend in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt und das Risikomanagement für Starkregenereignisse wird kontinuierlich weiterentwickelt. In Deutschland haben verschiedene Bundesländer bereits Gefahren- und Risikokarten zu Überschwemmungen aus Starkregenereignissen veröffentlicht, die in den meisten Fällen auf hochauflösenden hydrodynamischen Simulationen beruhen.

Während für die Erstellung von Gefahren- und Risikokarten üblicherweise statistische Niederschlagsereignisse betrachtet werden, wird hier der Ansatz verfolgt, mögliche Variationen historischer Niederschlagsereignisse zu simulieren und die Auswirkungen der zeitlichen und räumlichen Niederschlagsverteilung zu untersuchen. Kleinräumige Starkregenereignisse können sich unter denselben großräumigen atmosphärischen Bedingungen unterschiedlich entwickeln. Ensemble-Resimulationen vergangener Extremereignisse können die Bandbreite möglicher Niederschlagsverteilungen und Ereignisschweregrade erfassen. Im Rahmen dieses Beitrags werden mit dem an der TU Berlin entwickelten robusten Flachwassermodell hms<sup>++</sup> (Steffen et al. 2023) die Überflutungen aus einem Ensemble räumlich-zeitlich variabler Starkregenereignisse für ein Teilgebiet der Stadt Berlin in Deutschland untersucht und die Ergebnisse untereinander sowie mit denen von statistischen Starkregenereignissen verglichen.

Im Rahmen des CliWaC-Projekts (Climate and Water Under Change) wurden vergangene Starkregenereignisse in Berlin mit einem konvektionsauflösenden Regionalmodell mit einer Auflösung von 2,7 km x 2,7 km resimuliert. Mit diesem Regionalmodell wurden Ensembles von 9 möglichen und theoretisch betrachtet gleich wahrscheinlichen räumlich-zeitlichen Niederschlagsentwicklungen aus der gleichen großräumigen atmosphärischen Bedingung (basierend auf der ERA5-Reanalyse) erzeugt. Diese Ensemble-Resimulationen ausgewählter historischer Starkregenereignisse werden als Niederschlagsinput für ein 2D-hydrodynamisches Niederschlags-Abfluss-Modell eines ca. 400 km<sup>2</sup> großen Teilgebietes von Berlin verwendet. Die Rauigkeitsbeiwerte werden räumlich verteilt basierend auf den verschiedenen Landnutzungsarten im Modell berücksichtigt. Die Gebäudehöhen werden in das digitale Höhenmodell integriert. Das Kanalnetz sowie die Versickerung werden zunächst vernachlässigt.

Die Ergebnisse umfassen Überflutungsflächen, Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten für das Ensemble von 9 resimulierten Niederschlagsverteilungen sowie für Beobachtungsdaten eines ausgewählten Starkregenereignisses in Berlin. Standardmäßig zur Erstellung von Starkregengefahrenkarten verwendete statistische Ereignisse werden für den Vergleich ebenfalls simuliert. Die räumlichen Verteilungen der maximalen Überflutungstiefen und Fließgeschwindigkeiten werden verglichen, um die Auswirkungen



unterschiedlicher räumlich-zeitlicher Niederschlagsverteilungen auf die Entwicklung und das Ausmaß von Oberflächenüberflutungen zu untersuchen. Außerdem werden für jede Zelle im Untersuchungsgebiet die maximalen Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten aus den gesamten Simulationsergebnissen ermittelt. Insgesamt soll mit den Ensemblesimulationen eine Bandbreite von Ereignisschweregraden geliefert werden, um die mit der starken Variabilität von Starkniederschlägen einhergehenden Unsicherheiten zu berücksichtigen. Diese Ergebnisse sowie Ensemble-Simulationen für weitere Starkregenereignisse könnten außerdem als Datengrundlage für eine KI-basierte Echtzeitvorhersage dienen.

Das hydrodynamische Niederschlags-Abfluss-Modell für Berlin soll später auch zur Untersuchung möglicher Anpassungsmaßnahmen wie beispielweise Entsiegelung, Gründächer, Infiltrations- und Rückhaltebecken verwendet werden, wobei hierfür geeignete Ansätze für Infiltration und Retention in das Modell integriert werden müssen. Auch die Berücksichtigung des Kanalnetzes und weiterer wasserwirtschaftlicher sowie urbaner Infrastruktur ist in der Entwicklung.

## **Literatur / References**

Steffen, L, Tügel, F., Hinkelmann, R. (2022). The Shallow Water Model Intercomparison Session: Hydroinformatics Modeling System (hms/hms++). 39th IAHR World Congress, Granada, Spain



# Fortschritte bei der Berechnung von Niederschlägen und Nowcasts aus Radarmessungen für Echtzeitanwendungen in der Stadthydrologie

Alrun Jasper-Tönnies<sup>1</sup>, Thomas Einfalt<sup>2</sup>, Manfred Schütze<sup>3</sup>, Erik Ristenpart<sup>4</sup>, Alexander Strehz<sup>5</sup>

<sup>1</sup>hydro & meteo GmbH, [jasper-toennies@hydrometeo.de](mailto:jasper-toennies@hydrometeo.de)

<sup>2</sup>hydro & meteo GmbH, [einfalt@hydrometeo.de](mailto:einfalt@hydrometeo.de)

<sup>3</sup>Institut für Automation und Kommunikation e. V., [manfred.schuetze@ifak.eu](mailto:manfred.schuetze@ifak.eu)

<sup>4</sup>Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH, [ristenpart@ifs-hannover.de](mailto:ristenpart@ifs-hannover.de)

<sup>5</sup>hydro & meteo GmbH, [a.strehz@hydrometeo.de](mailto:a.strehz@hydrometeo.de)

Im Rahmen des Verbundprojekts “Zwille” wird ein digitaler Zwilling für die Stadt Hannover entwickelt. Dieses hat zum Ziel, ein virtuelles Abbild des Entwässerungssystems mit Kanalnetz, Kläranlagen und Gewässern zu erschaffen, um damit die Auswirkungen extremer Regenereignisse besser abschätzen zu können und mithilfe eines KI-basierten Assistenten nachvollziehbare Handlungsempfehlungen abzuleiten.

In diesem Beitrag stellen wir Arbeiten und erste Ergebnisse zum Thema Niederschlagsmessungen und -vorhersagen im Echtzeitsystem vor. Radarmessungen, kombiniert mit Stationsdaten, bieten vielerorts die beste Datenquelle für aktuelle Niederschlagsschätzungen. Gerade in Echtzeitsystemen müssen dabei häufig Abstriche an der Datenqualität in Kauf genommen werden, da eine schnelle Datenverfügbarkeit wichtiger ist als eine möglichst gute Aufbereitung. Nachfolgend geben wir einen kurzen Überblick, welche Komponenten neu entwickelt oder verbessert wurden, um damit eine verbesserte Datengrundlage für hydrologische Echtzeitanwendungen zu erreichen.

Ein wichtiger Faktor ist die Erhöhung der räumlichen Auflösung der polaren Radarscans von 1 km x 1° auf 250 m x 1° (vom Deutschen Wetterdienst, verfügbar über DWD Open Data). Damit können u. a. verbesserte radarbasierte Niederschlagssummen berechnet werden, die auch als Grundlage für die Radar-Regenschreiber-Aneichung dienen. Für die Summenberechnung kommt eine Advektionskorrektur auf dem polaren Gitter zum Einsatz (Jasper-Tönnies et al., 2014).

Eine neue, flexible Methode zur Radar-Regenschreiber-Aneichung wurde entwickelt, die für die Anwendung in Echtzeitsystemen optimiert ist. Die Methode wurde in die Software SCOUT (hydro & meteo, 2009) implementiert und ermöglicht eine „Quasi-Aneichung“ des aktuellen Radarbilds, basierend auf einem Faktor- und Differenzenverfahren (Strehz et al., 2021). Neu ist ein sich flexibel anpassender Algorithmus, in Abhängigkeit von der Anzahl an Punkten mit gültiger Niederschlagsmessung und ihrem Abstand zum betrachteten Rasterpunkt. Hierbei werden auch Annahmen zur Messungenauigkeit von Radar- und Regenschreibermessungen berücksichtigt. Eine weitere Neuerung ist eine Advektionsberechnung der Aneichfelder. Da Regenschreibermessungen nur für einen zurückliegenden Zeitraum vorliegen, wird ein vergangener Zeitraum betrachtet, in dem überlappende Daten von Radar und Regenschreibern vorliegen. Die Advektionsberechnung wird durchgeführt, um die räumlich-zeitliche Bewegung des Niederschlagsfelds zu berücksichtigen, wobei Methoden aus dem Nowcasting zum Einsatz kommen, wie die Zellerkennung und die Semi-Lagrange-Methode zur Berechnung der Advektion auf dem Raster.



Weiterhin sind in Entwicklung: eine automatische Regenschreiberprüfung basierend auf sowohl Regenschreiber als auch Radardaten (Fennig et al. 2022) und die Erzeugung von Nowcasts mit einer erhöhten räumlichen Auflösung.

Die Ergebnisse der neuen Verfahren werden ausgewertet und vorgestellt. Dabei wird ein Zeitraum über mehrere Monate betrachtet und die Ergebnisse werden im Vergleich mit unabhängigen Regenschreibermessungen evaluiert.

Im Projekt „ZwillE“ gehen die neuen Verfahren in die Berechnung von Ensemble-Nowcasts ein sowie in ein Blending Verfahren (Jasper-Tönnies et al. 2018), um Nowcasts und die numerischen Wettervorhersagen ICON-D2-EPS zu kombinieren. Die Niederschlagsmessungen und Vorhersagen werden im Modell SIMBA# (ifak 2021) zur Kanalnetzmodellierung und zur Modellierung von Kläranlagen genutzt. Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Überflutungsvorhersage und Warnung. Hierzu sind weitere Forschungsarbeiten geplant.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert das Verbundprojekt „ZwillE – Digitaler Zwilling zum KI-unterstützten Management von Wasser-Extremereignissen im urbanen Raum“ zur Fördermaßnahme „Wasser-Extremereignisse (WaX)“ im Rahmen des Bundesprogramms „Wasser: N“. Wasser: N ist Teil der BMBF-Strategie „Forschung für Nachhaltigkeit (FONA)“.

## Literatur / References

- Fennig, C., Einfalt, T., Jessen, M. (2022). Improvement of automatic rain gauge checks relevant to radar data adjustment. ERAD 2022–The 11th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, 29th Aug- 2nd Sep 2022, Locarno
- hydro & meteo 2009 The SCOUT Documentation, version 3.30. Lübeck, 69 Seiten.
- ifak (2021): Simba# water, Version 5. Manual, Institut für Automation und Kommunikation e. V. (ifak), Magdeburg
- Jasper-Tönnies, A., and Jessen, M. (2014). Improved radar QPE with temporal interpolation using an advection scheme. In Proceedings of ERAD 2014–The 8th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, S. 1-5.
- Jasper-Tönnies, A., Hellmers, S., Einfalt, T., Strehz, A., & Fröhle, P. (2018). Ensembles of radar nowcasts and COSMO-DE-EPS for urban flood management. Water Science and Technology, 2017(1), S. 27-35.
- Strehz, A., Behnken, U., Einfalt, T. (2021) Analyse der Datenqualität angeeichter Radardaten. Poster am Tag der Hydrologie, Potsdam. 1.9.2021.



## Poster: Urbane Hydrologie

# Sensitivitätsanalysen als Ansatz zur Identifizierung wirksamer Beckenstandorte am Beispiel des Erft-Einzugsgebiets

Brenda Rubens Venegas<sup>1</sup>, Christian Gattke<sup>1</sup>, Daniel Bittner<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Erftverband, Bereich Gewässer, Abteilung Flussgebietsbewirtschaftung, Am Erftverband 6, 50126 Bergheim, [brenda.rubensvenegas@erftverband.de](mailto:brenda.rubensvenegas@erftverband.de), [christian.gattke@erftverband.de](mailto:christian.gattke@erftverband.de), [daniel.bittner@erftverband.de](mailto:daniel.bittner@erftverband.de)

<sup>2</sup>Technische Universität Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft, Bergstr. 66, 01069 Dresden

Im Juli 2021 wurde das Erft-Einzugsgebiet in Nordrhein-Westfalen von einem Hochwasserereignis schwer getroffen. Die Folgen davon sind heute noch vielerorts zu sehen. Es wurde dadurch deutlich, dass der technische Hochwasserschutz vielerorts verbessert werden muss. Dazu wurde eine automatisierte Retentionsraumanalyse durchgeführt, um topografisch und geometrisch mögliche Standorte für neue Hochwasserrückhaltebecken (HRB) zu identifizieren. Aus dieser Analyse wurden 50 potentielle Standorte im südlichen Erft-Einzugsgebiet selektiert, welche hinsichtlich ihrer Wirksamkeit in verschiedenen Kombinationen und unterschiedlichen technischen Eigenschaften (Beckenvolumen und Drossel) untersucht werden sollen.

Da die Anzahl möglicher Szenarien deutlich zu groß für eine manuelle Auswertung ist, haben wir für die weitere hydrologische Betrachtung der selektierten Standorte auf eine globale Sensitivitätsanalyse gesetzt. Dabei werden die Drosselabflüsse und das Beckenvolumen aller HRB als unsichere Parameter betrachtet. Die Beckenvolumina variieren zwischen 10.000 m<sup>3</sup> und dem über die Retentionsraumanalyse ermittelten maximal möglichen Beckenvolumen. Die jeweiligen Drosselabflüsse variieren im Bereich zwischen 200 l/s und dem HQ100 an der respektiven Stelle. Die Parametersets wurden über den FAST-Algorithmus erzeugt, dessen Sampling-Strategie auf Fourier Wellen mit unterschiedlichen Frequenzen basiert (Saltelli und Bolado 1998). Die Hypothese ist, dass die Parameter eines Beckenstandortes, i.e. das Beckenvolumen und der Drosselabfluss, nicht sensitiv sind, wenn das Becken für die ausgewählte Zielfunktion nicht wirksam ist.

Das Einzugsgebiet der Erft wurde für die Analyse in Teileinzugsgebiete unterteilt. Jedes dieser Teileinzugsgebiete verfügt über mehrere potentielle HRB-Standorte. Der FAST-Algorithmus wird für die jeweiligen Teilgebiete individuell angewendet. Mit den erzeugten Parametersets kann die Sensitivität des Abflussverhaltens gegenüber den theoretischen HRBs betrachtet werden. Die hydrologischen Simulationen wurden mittels des NASIM Modells (Hydrotec 2022) durchgeführt. Es wurden zwölf verschiedene NASIM-Szenarien erstellt, um die Wirksamkeit der Becken möglichst gut zu untersuchen. Diese Szenarien unterscheiden sich in der Anfangsbodenfeuchte und der Niederschlagsmenge und -dauer. Für die Niederschlagsdaten wurden KOSTRA Werte für ein Wiederkehrintervall von 100 Jahren in verschiedenen Dauerstufen angewendet. Um die optimale Beckenkombination zu ermitteln, wird als Ziel die maximale Scheitelwertreduzierung an unterschiedlichen Pegeln in den Teileinzugsgebiete angestrebt.



Die Analysen zeigen, dass der Sensitivitätsanalysenansatz geeignet ist, um wirksame Standorte für HRB zu erkennen. Weiterhin können bestimmte Kriterien definiert werden, z.B. die Erhaltung der innerörtlichen maximalen Leistungsfähigkeit eines Flusses.

## **Literatur**

Hydrotec (2022). NASIM Benutzerdokumentation Version 5.3.3

Saltelli, A. und Bolado, R. (1998). An alternative way to compute Fourier amplitude sensitivity test (FAST). In: Computational Statistics & Data Analysis (26), S. 445-460.



# Räumliche und zeitliche Dynamiken von eDNA in urbanen Fließgewässern in Berlin

Maria Magdalena Warter<sup>1</sup>, Michael T. Monaghan<sup>12</sup>, Ann-Marie Ring<sup>1</sup>, Jan Christopher<sup>1</sup>, Hanna L. Kissener<sup>1</sup>, Elisabeth Funke<sup>1</sup>, Chris Soulsby<sup>134</sup>, Dörthe Tetzlaff<sup>145</sup>

<sup>1</sup>Abteilung für Ökohydrologie, Leibniz Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, (IGB), Berlin

<sup>2</sup>Institut für Biologie, Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland

<sup>3</sup>Chair of Water Resources Management and Modeling of Hydrosystems, TU Berlin, Berlin, Deutschland

<sup>4</sup>Humboldt Universität Berlin, Abteilung für Geographie, Berlin, Deutschland

<sup>5</sup>Northern Rivers Institute, School of Geosciences, University of Aberdeen, Aberdeen, UK

Ein besseres Verständnis von urbanen ökohydrologischen Dynamiken ist essentiell, um die Effekte des Klimawandels und den kontinuierlichen anthropogenen Einwirkungen auf natürliche Ökosysteme in Zukunft abschätzen zu können. Urbane Fließgewässer tragen wesentlich zu lokaler Biodiversität bei, wobei insbesondere blaue Infrastrukturmaßnahmen im urbanen Raum (z.B. Teiche, Kanäle) eine wertvolle Ergänzung darstellen und ein gesünderes und nachhaltigeres Stadtklima erzeugen. Aus ökohydrologischer Sicht ist der urbane Wasserkreislauf jedoch weniger resilient gegenüber Extremereignissen wie Starkregen oder extreme Trockenperioden. Aus diesem Grund bedarf es eines verbesserten prozess-basierten Verständnisses wie biologische Fließwege mit Klima und hydrologischen Dynamiken interagieren.

Hierfür wurde über ein Jahr auf wöchentlicher Basis eine synoptische Probennahme von eDNA an vier urbanen Flüssen in Berlin (Spree, Erpe, Wuhle, Panke) durchgeführt. Gemeinsam mit Klima und Durchflussdaten wurden die temporalen und räumlichen Dynamiken von planktonischen mikrobiellen Artengemeinschaften untersucht, um Unterschiede in ökohydrologischen Interaktionen zwischen urbanen Gewässern zu analysieren. Vorzeitige Resultate zeigen, dass die abwasser-dominierten Flüsse Panke und Erpe ähnliche bakterielle Gruppen aufweisen, während Wuhle und Spree jeweils unterschiedliche taxonomische Zusammensetzungen zeigen. Alle Gewässer weisen ein klar erkenntliches saisonales Signal auf, wobei die Intensität und Dynamiken sich zwischen den Gewässern unterscheiden. Die Wuhle im speziellen zeigt besonders starke saisonale Variation. Um den Einfluss auf saisonale Unterschiede genauer zu evaluieren, werden zusätzlich zu Klimadaten auch Wasserqualität sowie Bodennutzung und Wasserisotopen analysiert.

Die Integration von eDNA mit stabilen Wasserisotopen erweist sich als besonders zukunftssträftig für detaillierte Tracerstudien im urbanen Raum. Dies hat weitreichende Implikationen nicht nur aus hydrologischer und ökologischer Sicht, sondern auch in Bezug auf zukünftige urbane Raum und Ressourcenplanung, um den negativen Auswirkungen des Klimawandels in Städten entgegenzuwirken und städtische Gewässer und Lebensräume nachhaltiger und resilienter zu machen.



# Unterscheidung zwischen natürlichen und anthropogenen Einflussgrößen auf Grundwasserganglinien in Berlin

Ina Pohle<sup>1</sup>, Sarah Zeifelder<sup>1</sup>, Johannes Birner<sup>1</sup>, Benjamin Creutzfeldt<sup>1</sup>, Gunnar Lischeid<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz Berlin, Abteilung Integrativer Umweltschutz (II), Ina.Pohle@senumvk.berlin.de; Sarah.Zeifelder@senumvk.berlin.de; Johannes.Birner@senumvk.berlin.de; Benjamin.Creutzfeldt@senumvk.berlin.de

<sup>2</sup> Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V., Lischeid@zalf.de

<sup>3</sup> Universität Potsdam, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie

Die Interpretation des zeitlichen Verlaufs von Grundwasserständen einzelner Messstellen, und damit auch die Aussage zu zukünftigen Entwicklungen, wird in urbanen Räumen dadurch erschwert, dass anthropogene Einflüsse auf verschiedenen Raum- und Zeitskalen die natürliche Grundwasserdynamik überprägen.

Daher wurden in dieser Studie die Grundwasserstände des Berliner Landesmessnetzes und der Berliner Wasserbetriebe (insgesamt ca. 600 Messstellen im Zeitraum 1980-2022 in monatlicher Auflösung) unabhängig von ihrer (hydro-)geologischen oder räumlichen Einordnung einer gemeinsamen Hauptkomponentenanalyse unterzogen.

Die generelle zeitliche Dynamik der Grundwasserstände in Berlin kann durch die ersten vier Hauptkomponenten gut wiedergegeben werden (erklärte Varianz > 70 %). Die Ladungen der Hauptkomponenten, d.h. die Wichtigkeit der Hauptkomponenten an den jeweiligen Messstellen, zeigten räumlich klar ausgeprägte Muster. Durch den Vergleich mit räumlichen Informationen zeigen sich Flächennutzung, Einfluss der Wasserwerke und die großräumige geologische Einheit als wichtige Einflussfaktoren auf die Ladungen der zweiten bis vierten Hauptkomponente.

Die Hauptkomponentenanalyse erweist sich auch in urbanen Räumen, in dem der Grad der anthropogenen Überprägung deutlich höher ist als in Flächenländern, als effiziente Methode, die Grundwasserstände einer Vielzahl von Messstellen gleichzeitig auszuwerten und anthropogene Einflüsse von natürlichen Gegebenheiten zu trennen. Die hier erzielten Ergebnisse bilden die Basis für weitere Untersuchungen. Beispielsweise können Ergebnisse hydrologischer Modelle, die v.a. nicht alle anthropogenen Einflüsse auf die Grundwasserstände Berlins berücksichtigen, ergänzend zu den beobachteten Grundwasserganglinien mit den Grundwasserganglinien der Hauptkomponenten bzw. deren Kombinationen verglichen werden. Weiterhin können die Ursachen langfristiger Veränderungen von Grundwasserständen durch Betrachtung der beobachteten Ganglinien und der Hauptkomponenten untersucht werden.



## Das Wasserportal Berlin 2.0: Gewässerkundliche Messdaten

Benjamin Creutzfeldt<sup>1</sup>, Ina Pohle<sup>1</sup>, Matthias Schroeder<sup>1</sup>, Dörthe von Seggern<sup>1</sup>, Sarah Zeilfelder<sup>1</sup>, Martin Schreiner<sup>2</sup>, Jens Bölscher<sup>1</sup>, Johannes Birner<sup>1</sup>, Andreas Rinker<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz, Abteilung Integrativer Umweltschutz,

benjamin.creutzfeldt@senumvk.berlin.de; Ina.Pohle@senumvk.berlin.de; Matthias.Schroeder@SenUMVK.berlin.de;  
Doerthe.Seggern@SenUMVK.berlin.de; Sarah.Zeilfelder@senumvk.berlin.de; Jens.Boelscher@SenUMVK.berlin.de;  
Johannes.Birner@senumvk.berlin.de

<sup>2</sup>Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz, Pflanzenschutzamt;  
Martin.Schreiner@SenUMVK.berlin.de

<sup>3</sup>DigSyLand, Institut für Digitale Systemanalyse und Landschaftsdiagnose; [rinker@digsyland.de](mailto:rinker@digsyland.de)

Die Wasserwirtschaft Berlins steht vor einer Vielzahl von Herausforderungen, die sich über das Spektrum Wassermangel bis hin zu Starkregen und Hochwasser erstrecken, aber auch verschiedenste Aspekte der Wasserqualität umfassen. Messdaten der Wassermenge und –qualität von Flüssen und Seen, vom Boden- und Grundwasser stellen die Grundlage für wasserwirtschaftliche Entscheidungen und Planungen dar. Dies stellt besondere Anforderungen an die Daten. Zum einen ist eine umfassende, räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Überwachung der Berliner Gewässer, des Bodenwassers und des Grundwassers notwendig. Von zentraler Bedeutung ist zum anderen aber auch, dass Daten und Informationen für Bürger, Unternehmen, und die Zivilgesellschaft leicht verfügbar und verständlich dargestellt sind, so dass alle Beteiligten sich einfach und umfassend informieren können.

Mit der umfassenden Erweiterung hinsichtlich Bodenwasser, Wasserqualität anhand von Probenahmedaten sowie durch verbesserte Darstellungen (bspw. animierte Karten als Diashow, Darstellung mehrerer Zeitreihen übereinander) informiert das Wasserportal Berlin (<https://wasserportal.berlin.de/>) nun über aktuelle (d.h. mit einer Zeitverzögerung von z.T. nur wenigen Minuten) und historische Messwerte aus den Berliner Landesmessnetzen zu den Oberflächengewässern (Flüsse und Seen), dem Bodenwasser und dem Grundwasser (Grundwasserleitern). Das Portal bietet messstellenscharf einen Zugang zu Wasserständen, Durchflüssen oder Bodenfeuchte. Ebenso stehen Parameter wie bspw. Wassertemperatur oder Sauerstoffgehalt, sowie hydrochemische Analyseergebnisse zur Ansicht und zum Download in verschiedenen zeitlichen Auflösungen zur Verfügung. Für die einzelnen Messstationen können weiterhin die zugrundeliegenden Stammdaten und statistischen Kennwerte eingesehen werden.

Im Rahmen des E-Government-Gesetzes Berlin und der Open-Data-Strategie verfolgt das Portal einen offenen Ansatz, indem alle Daten als OpenData unter der Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0 nach dem Open Geospatial Consortium (OGC), in diesem Fall als csv/WaterML 2.0 Standard, bereitgestellt werden. Die Anwendung selbst basiert auf Free and Open Source Software (FOSS) Tools. Zudem sind die Daten auch über eine Art API (Application Programming Interface) erreichbar bzw. abrufbar.



# Boden-Rohr-System als innovatives Element der klimaangepassten Stadtentwässerung (BoRSiS)

Henrike Walther<sup>1</sup>, Markus Quimbach<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet: Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau, [henrike.walther@hs-ruhrwest.de](mailto:henrike.walther@hs-ruhrwest.de)

<sup>2</sup>Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet: Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau, [markus.quirmbach@hs-ruhrwest.de](mailto:markus.quirmbach@hs-ruhrwest.de)

Das vom BMBF geförderte Verbundprojekt Boden-Rohr-System als innovatives Element der klimaangepassten Stadtentwässerung, kurz BoRSiS, setzt sich im doppelten Sinne mit Anpassungsstrategien an den Klimawandel auseinander. Es bietet einerseits einen Speicherraum für Niederschlagswasser bei (Stark-) Regen, andererseits stellt es das gespeicherte Niederschlagswasser Bäumen zeitverzögert zur Verdunstung zur Verfügung. Das Projekt vereint dabei Baum-Rigolen-Systeme mit bereits existierende Leitungsräben und Regenwasser-Speicherelementen. Die Leitungsräben bieten für den Wasserspeicher und den Wurzelraum der Bäume einen bisher ungenutzten Raum, ohne dass ein zusätzlicher Platzbedarf auf der Oberfläche entsteht. So ist es möglich, den Wurzelraum für die Baumstandorte zu vergrößern und den Bäumen die Möglichkeit zu geben, weiter zu wachsen. Durch die verzögerte Wasserabgabe des Wassers aus dem Speicher können die Bäume länger bewässert werden. Diese Faktoren sorgen für eine bessere Vitalität und Lebensdauer der Bäume an den Baumstandorten. Die vitalen und großen Bäume haben einen positiven Effekt auf das Stadtklima in dem sie durch die Verdunstung von Wasser und das Spenden von Schatten helfen, Urbane Hitzeinseln zu minimieren. Zudem gewinnen die Städte durch die Begrünung an Lebensqualität (Kruse et al. 2019). Der Wasserspeicher hilft im Fall von Starkregenereignissen, die Kanalisation zu entlasten und beugt Überschwemmungen in Städten vor. Das aufgenommene Wasser kann teilweise versickert werden und wird zur Bewässerung der Bäume in den Baumstandorten verwendet (Rockwool 2021).

Um den bisher ungenutzten Leitungsräben überhaupt als Speicher für Niederschlagswasser und Wurzelraum nutzen zu können, ist eine Abkehr von der bisherigen Praxis erforderlich. Derzeit werden Leitungsräben hoch verdichtet, um eine stabile Bettung der Rohre zu gewährleisten. Wurzeln sollen, soweit möglich, vom Leitungsraben ferngehalten werden. Rohre aus duktilem Gusseisen, wie sie von den Mitgliedern des Industriepartners EADIPS®/FGR® e. V. hergestellt werden, können in porenreiche, grobe Schottermaterialien gebettet werden und gelten als wurzelfest. Baumwurzeln können daher in den Leitungsräben des Boden-Rohr-Systems einwachsen, ohne das Rohr zu schädigen (EADIPS FGR 2022). Der Industriepartner Rockflow stellt das Speicherelement. Das aus Steinwolle entwickelte Rockflow, das gegenüber Kieskörpern mit 95 Prozent ein höheres Speichervermögen besitzt wird in den Leitungsräben sowie direkt unterhalb der Baumstandorte verlegt.

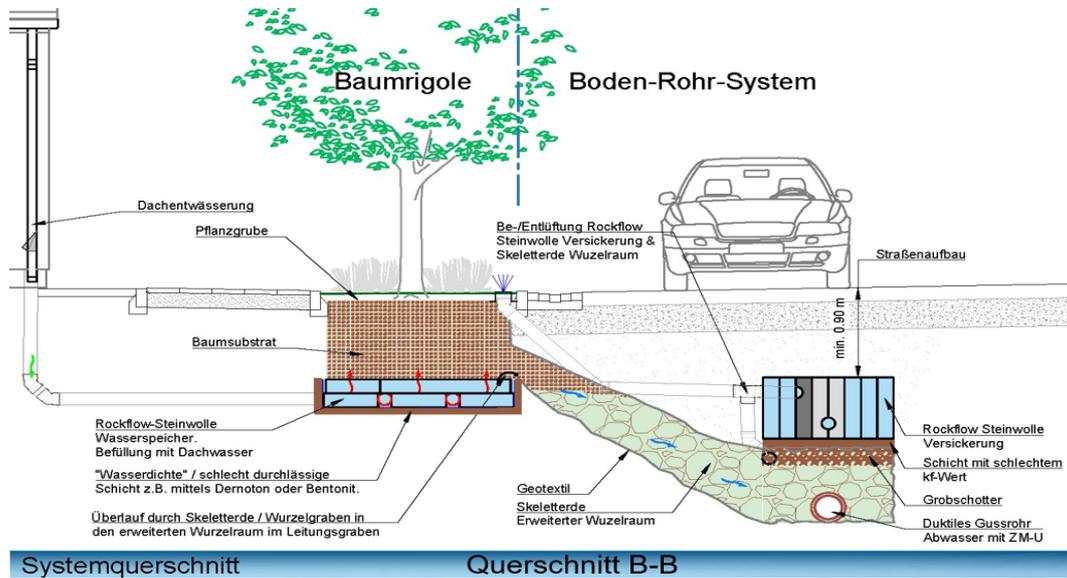


Abbildung 1: Querschnitt durch das Boden-Rohr-System

Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Wasserwirtschaftlern, Geotechnikern, Ökonomen und Ökologen wird ein ganzheitlicher, innovativer Lösungsansatz entwickelt, dessen praxisnahe Umsetzung zur Lösung wichtiger gesellschaftlicher Problemstellungen als Folge des Klimawandels beiträgt.

Das Projekt ist geplant bis September 2024. Finanziert wird das Projekt neben Eigenanteilen der Industriepartner, durch eine Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Förderprogramm „Forschung an Fachhochschulen“ unter dem Förderkennzeichen 13FH002KA0.



## Stadtvegetation im Trockenstress – Hochaufgelöste Dynamiken stabiler Wasserisotope

Ann-Marie Ring<sup>1,2</sup>, Dörthe Tetzlaff<sup>1,2,3</sup>, Maren Dubbert<sup>4</sup>, Chris Soulsby<sup>3,5</sup>

<sup>1</sup>Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries (IGB), ann-marie.ring@igb-berlin.de

<sup>2</sup>Humboldt-Universität zu Berlin

<sup>3</sup>University of Aberdeen

<sup>4</sup>Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.

<sup>5</sup>Technische Universität Berlin

Grünflächen bieten Regenwasserrückhaltung, Verdunstungskühlung und Beschattung und sind deshalb äußerst wertvoll für das Klima und die Infrastruktur von Städten. Es besteht ein Bedarf nach Untersuchungen der tages- und jahreszeitlichen Dynamik ökohydrologischer Prozesse urbaner Grünflächen im Kontinuum von Boden, Pflanzen und Atmosphäre. Sie geben Aufschluss darüber, welche Arten der Bodenbedeckung die Wasserumverteilung in einer bestimmten städtischen Landschaft am besten ausbalancieren können, um Kühlungseffekte zu erzielen und gleichzeitig die Grundwasseranreicherung nicht zu beeinträchtigen.

Stabile Wasserisotope sind sehr nützliche Instrumente, um diese komplexen Wechselwirkungen zwischen Bodeneigenschaften, Pflanzenphysiologie und atmosphärischen Einflüssen zu untersuchen. Im Jahr 2022 führten wir eine experimentelle Studie in Berlin durch, in der wir die komplexen Muster der städtischen Boden-Pflanzen-Atmosphären-Grenzfläche mit hoher zeitlicher Auflösung an einem städtischen Baumbestand und einer Wiese während einer gesamten Vegetationsperiode untersuchten. Um die Wasserdynamiken vor Ort zu bewerten, haben wir sequenzielle in-situ Echtzeit-Messungen in verschiedenen Höhen in der Atmosphäre über der Gras- und Baumfläche und im Xylem der Bäume durchgeführt. Ergänzt wurde dies durch destruktive Probenahmen von Bodenwasserisotopen aus verschiedenen Tiefen und Eddy-Flux Messungen auf einem offenen Feld in der Nähe der Standorte.

Wir konnten in den verschiedenen Komponenten des lokalen Wasserkreislaufs eindeutige Verdunstungs- und Dürresignale erkennen, einschließlich der ausgedehnten Sommertrockenheit in Kontinentaleuropa im Juli und August 2022. Die Ergebnisse zeigten einen schnelleren und stärkeren Anstieg der oberen Bodenfeuchte nach Niederschlagseinträgen auf der Grasfläche. Der atmosphärische Wasserdampf zeigte tagsüber deutliche Verdunstungsverluste knapp über dem Gras (15 cm Höhe). In der Baumfläche reagierten die oberen Böden langsamer auf Niederschlagseinträge, und das Höhenprofil wies räumlich und zeitlich eine homogenere Verteilung der Isotopensignale im atmosphärischen Wasserdampf auf. Die Wasserdynamik im Xylem zeigte verschiedene tages- und jahreszeitliche Schwankungen in unterschiedlichen Baumarten (Ahorn und Birke) und Baumhöhen. Das Xylemwasser der Bäume stammte meist aus tieferen Bodenhorizonten (70 cm). Während der ausgedehnten Periode der Wasserknappheit im August ergaben sich deutliche Dürresignale aus dem isotopisch angereicherten atmosphärischen Wasserdampf und dem geringen Saftfluss.

Dieses Wissen über die Prozessdynamiken des Wassers unter verschiedenen dürre-gestressten städtischen Vegetationsformen ist äußerst nützlich für die Entwicklung isotopengestützter ökohydrologischer Modelle und ermöglicht wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse für eine nachhaltige Stadtplanung im Hinblick auf den Klimawandel und Verdichtung in Städten.



# GoGreen - Bauwerks- und Grundstücksbegrünungen - Instrumente und Strategien zur Umsetzung und Aktivierung in der kommunalen Klimafolgenanpassung

Loisa Welfers<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RWTH Aachen University, Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr, [welfers@isb.rwth-aachen.de](mailto:welfers@isb.rwth-aachen.de)

Urbane Hitzeinseleffekte, Trockenstress und durch Starkregen verursachte Hochwasser- und Überschwemmungsgefahren stellen unsere Städte vor große Herausforderungen. In dicht besiedelten urbanen Räumen ist der Ausbau urbaner grüner Infrastruktur ein wichtiges Instrument, um auf die Folgen des Klimawandels zu reagieren. Platzmangel, hohe Baulandpreise und Flächennutzungskonflikte beschränken die Möglichkeit, flächenhafte grüne Infrastruktur in urbanen Gebieten einzurichten. Naturbasierte Lösungen wie Bauwerks- und Grundstücksbegrünungen bilden sinnvolle Klimaanpassungsmaßnahmen die sowohl einen Beitrag zur Reduktion der Hitzebelastung leisten und gleichzeitig auch das Regenwassermanagement unterstützen können (Brune et al. 2017).

In sogenannten Mischkanalisationen kann im Fall eines Starkregenereignisses der Volumenstrom zeitweise das 100- fache der Schmutzwassermengen bei Trockenheit betragen (Hegger et al. 2007). Mit Hilfe von Begrünungssystemen ist es möglich diesen Überlastungen entgegenzuwirken. Vor allem Dachbegrünungen bieten eine gute Möglichkeit des Regenwasserrückhalts bzw. der Regenwasserspeicherung. Je nach Aufbau können bis zu 99 % des Jahresniederschlags zurückgehalten werden (BuGG 2022). Ein Großteil der Niederschläge kann über den Boden bzw. die Pflanzen verdunsten. Außerdem kann das Regenwasser für Nutzungen, wie beispielsweise Bewässerung, gespeichert oder zeitverzögert der Kanalisation zugeführt werden. Neben der Entlastung der Siedlungsentwässerung können Dachbegrünungen durch ihre Verdunstungsleistung das Stadtklima positiv beeinflussen (Pfoser et al. 2013).

Viele deutsche Kommunen sind bereits auf der Umsetzungsebene aktiv geworden. Deutschlandweit existieren schon einige Projekte, die sich mit Dach- und Fassadenbegrünung beschäftigen allerdings fehlen bislang Analysen zu den Entscheidungsrahmenbedingungen der Nutzer\*innen und die Inhalte dieser Projekte werden nur selten am Ende Umfang umgesetzt. Ohne Umsetzung sind Strategien zur Klimaanpassung jedoch wirkungslos.

Klimaanpassung kann nur unter Einbezug und Beteiligung verschiedener Akteure – inklusive der Bewohner – gelingen. Neben dem Thema Akzeptanz „harter“, rechtlicher Maßnahmen ist eine Umsetzung, die auf Freiwilligkeit basiert, von Bedeutung. Zudem wird nicht jede formal-rechtliche vorgegebene Maßnahme automatisch realisiert oder bleibt langfristig bestehen. So müssen sich Kommunen oftmals auf die Gesetzestreue der Grundstücksund Gebäudeeigentümer verlassen, da personelle und finanzielle Ressourcen zur Kontrolle fehlen.

Ziel des Projektes „GoGreen“ ist es daher wirkungsvolle Instrumente zu identifizieren sowie Strategien für die Umsetzbarkeit von Bauwerks- und Grundstücksbegrünungen zu entwickeln und zu testen. So kann der Anteil an klimarelevanten Grünflächen auf kommunaler Ebene erhöht und bislang nicht genutzte Potentiale zur Hitzeminderung und zum Regenwassermanagement aktiviert werden. Als ein Ergebnis des Projektes wird jeweils ein Konzept zur Steigerung der Durchführbarkeit von Anpassungsmaßnahmen in Form von



Bauwerksund Grundstücksbegrünungen in den beiden Städten Aachen und Eschweiler entwickelt und die Umsetzung priorisierter Maßnahmen im Rahmen eines Reallabors realisiert.

## **Literatur / References**

- BuGG, Bundesverband Gebäudegrün e.V. (2022). BuGG-Fachinformation „Positive Wirkungen von Gebäudebegrünungen (Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünung)“, S. 8.
- Brune, M., Bender, S., Groth, M. (2017). Gebäudebegrünung und Klimawandel. Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch klimawandeltaugliche Begrünung. Report 30. Climate Service Center Germany, Hamburg. S. 5.
- Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., Zeumer, M. (2007). "Energie Atlas": Nachhaltige Architektur, München, S. 75
- Pfoser; N., Jenner, N., Henrich, J., Heusinger, J., Weber, S. (2013). "Gebäude Begrünung Energie: Potenziale und Wechselwirkungen": Abschlussbericht 2013, S. 151.



# Aus dem Abwasserkanal wird ein Fluss: Hochauflösende Modellierung des Abflusses im stark anthropogen beeinflussten Einzugsgebiet der Boye mit SWAT+

Kristin Peters<sup>1</sup>, Jens Kiesel<sup>1</sup>, Nicola Fohrer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Abteilung für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 75, 24118, Kiel

kpeters@hydrology.uni-kiel.de, jkiesel@hydrology.uni-kiel.de, nfohrer@hydrology.uni-kiel.de

Fließgewässerökosysteme werden durch zahlreiche Stressfaktoren beeinträchtigt, die wiederum verschiedene Organismen und Funktionen in komplexen räumlichen und zeitlichen Wechselwirkungen beeinflussen. Der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Sonderforschungsbereich RESIST (<https://sfb-resist.de/index.html>) zielt darauf ab, diese komplexen Abhängigkeiten mit Hilfe eines neuen theoretischen Rahmens zu entschlüsseln: dem "Asymmetric Response Concept". Das Konzept geht davon aus, dass Degradations- und Erholungsprozesse von unterschiedlichen, nicht-linearen biotischen und abiotischen Wechselwirkungen zwischen Stressoren, Umweltvariablen und Organismen abhängen. Um diese Wechselwirkungen zu entschlüsseln, werden durch Labor- und Feldexperimente, Beobachtungen von Umweltvariablen und Modellierung Daten gesammelt. In diesem Prozess ist die hochauflösende ökohydrologische Modellierung ein zentraler Bestandteil, um historische Informationen in den mesoskaligen Einzugsgebieten (~109 km<sup>2</sup>) der Boye und des Rotbachs zu erhalten. Für etwa 70 Standorte werden tägliche Daten für die Wasserqualitätskomponenten Temperatur, Sauerstoff, Stickstoffkomponenten und Salzgehalt (TONS) im letzten Jahrzehnt benötigt. Das Modell SWAT+ wird daher zur Simulation des Abflusses als Voraussetzung für Wasserqualitätssimulationen eingesetzt, die Informationen über die Degradations- und Erholungsprozesse im Flusssystem liefern können. Eine große Herausforderung ist das stark anthropogen veränderte Flussnetz der Boye. Die historische bergbauliche Nutzung des Gebietes war der Grund für die Nutzung des Flussnetzes als Abwasserkanal. Nach der Beendigung des Bergbaus in den 1990er Jahren wurde damit begonnen, das gesamte System zu renaturieren und die Abwässer in einen unterirdischen Kanal zu leiten. Dieser Prozess wurde im Jahr 2022 abgeschlossen, und heute umfasst das System noch mehrere Pumpwerke und Rückhaltebecken, die die Hydromorphologie verändern. Um diese Veränderungen in SWAT+ abzubilden, wurden die neuen Decision Tables, Veränderungen der Konnektivität und hoch aufgelöste Landnutzungsdaten verwendet. Die Kalibrierung des modellierten Abflusses anhand der gemessenen Durchflüsse der Pumpwerke zeigt, dass das ökohydrologische Modell SWAT+ in der Lage ist, ein stark anthropogen geprägtes Einzugsgebiet darzustellen und den Abfluss hoch aufgelöst zu modellieren.



# Potenziale für proaktives Hochwasserrisikomanagement durch einen Multi-Methoden-Ansatz

Mariele Evers<sup>1</sup>, Adrian Almoradie<sup>1</sup>, Joshua Ntjal<sup>1</sup>, Britta Höllermann<sup>1,2</sup>, Georg Johann<sup>3</sup>, Helene Meyer<sup>3</sup>, Annika Schüttrumpf<sup>3</sup>, Sylvia Kruse<sup>4</sup>, Ida Wallin<sup>4</sup>, Fafali Ziga-Abortta<sup>4</sup>, Daniel Bachmann<sup>5</sup>, Roman Schotten<sup>5</sup>, Mawuli Lumor<sup>6</sup>, Charlotte Norman<sup>7</sup>, Kwaku Adjei<sup>8</sup>, James Aggrey<sup>6</sup>, Samuel Guug<sup>9</sup>

1 Universität Bonn, Geographisches Institut, 2 Universität Osnabrück, 3 HochwasserKompetenzCentrum (HKC), 4 Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 5 Hochschule Magdeburg-Stendal, 6 Water Resources Commission (WRC), Ghana, 7 National Disaster Management Organization (NADMO), 8 Kwame Nkrumah University of Science and Technology (KNUST), 9 West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use (WASCAL)

Verstädterung, Landnutzungsveränderung sowie klimatische Veränderungen erhöhen die Risiken durch Hochwasser. Für eine gute Hochwasserprävention ist eine gute Datenlage zu Hochwassergefahr, -Exposition und Vulnerabilität unerlässlich. Dabei sind sowohl quantitative Daten u.a. zu Hydrologie, Klima, Landnutzung oder Sozio-Ökonomie als auch lokales Wissen und kontextspezifische Expertise von besonderer Relevanz.

Ghana ist eines der am stärksten von Überschwemmungen betroffenen Länder in Westafrika. Das Hochwasserrisikomanagement Ghanas ist eher reaktiv als präventiv aufgestellt. Insbesondere ist das der Fall, weil Daten zur quantitativen Gefahren- und Risikobewertung fehlen (siehe Almoradie et al. 2020) und deshalb keine präventiven Maßnahmen planbar sind. Die jährlich auftretenden Überschwemmungen führen häufig zu Katastrophen, von denen vor allem die arme Bevölkerung in den Städten betroffen ist. Trotz der zahlreichen Aktivitäten zur Verringerung des Überschwemmungsrisikos in Ghana gibt es nach wie vor massive Hochwasserprobleme – und das jedes Jahr.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten PARADeS Projektes entwickeln und testen wir einem integrierten Multi-Methoden-Ansatz, um proaktive Maßnahmen zu Schutz und Verhalten zu identifizieren und zu implementieren. Hierzu werden quantitative Daten ergänzt mit Modellen und qualitativen Informationen, die sich aus Expert:innenwissen und Wissen aus der Bevölkerung zusammensetzen. Dabei werden folgende Methoden verwendet: (1) hydrologische /hydro-dynamische Modellierung, (2) partizipative Modellierung, (3) Citizen Science, (4) Focus Group Discussion, (5) Expert:innen Workshop, (6) Hochwasser-Pass, (7) und Modellierung von Risikokaskaden in Bezug auf kritische Infrastruktur.

Durch die kombinierten und sich ergänzenden Daten und Ergebnisse wird die Informationsbasis deutlich verbessert, um vulnerable Bereiche und kritische Infrastruktur zu definieren und somit effiziente Maßnahmen zur Reduktion des Hochwasserrisikos zu identifizieren.

Der Beitrag erläutert die Methodik am Beispiel von Ghana und zeigt Möglichkeiten der generellen Übertragbarkeit auf.

## Literatur

Almoradie, A., de Brito, M.M., Evers, M., Bossa, A., Lumor, M., Norman, C., Yacouba, Y., Hounkpe, J. (2020) Current flood risk management practices in Ghana: gaps and opportunities for improving resilience. *International Journal of Flood Risk Management*, doi:10.1111/jfr3.12664.



# Rainwater Living Lab (RWLL) Aachen - Wasser in der Stadt gemeinsam denken

Projekthomepage: <https://www.ersrainwaterlivinglab.rwth-aachen.de/>

Loisa Welfers<sup>1</sup>, Dr.-Ing. Julian Hofmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup>RWTH Aachen University, Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr, [welfers@isb.rwth-aachen.de](mailto:welfers@isb.rwth-aachen.de)

<sup>2</sup>RWTH Aachen University, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, [hofmann@iww.rwth-aachen.de](mailto:hofmann@iww.rwth-aachen.de)

## Projektteam:

RWTH Aachen University, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft: Prof. Holger Schüttrumpf, Dr. Julian Hofmann

RWTH Aachen University, Institut für Siedlungswasserwirtschaft: Prof. Thomas Wintgens, Peter Schleiffer

RWTH Aachen University, Lehr- und Forschungsgebiet Physische Geographie und Klimatologie: Prof. Michael Leuchner, Dr. Gunnar Ketzler, Niels Döscher

RWTH Aachen University, Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr: Prof. Tobias Kuhnimhof, Dr. Andreas Witte, Loisa Welfers

RWTH Aachen, Lehrstuhl für Soziologie mit dem Schwerpunkt Technik- und Organisationssoziologie: Tim Franke

Die Herausforderungen rund um den Klimawandel werden stetig größer. Laut aktuellsten Ergebnissen europäischer Klimamodelle sowie regionalen Auswertungen der Wetterradardaten des Deutschen Wetterdienstes, müssen wir uns auf eine neue Gefährdungslage durch extreme Unwetterereignisse vorbereiten. Die letzten Jahre, vor allem auch die Ereignisse im Juli 2021, haben gezeigt, wie real die Gefährdung durch Starkniederschläge sein kann. Zahlreiche Kommunen in Deutschland waren von Überflutungen in Folge von Starkniederschlägen betroffen. Im Jahr 2018 traf es die Stadt Aachen gleich zweimal innerhalb eines Monats. Am 28. und 29. Mai führten die Starkniederschläge zu extremen Überflutungen in der gesamten Innenstadt – innerhalb kürzester Zeit gingen über 400 Notrufe bei der Feuerwehr ein (Schmetz, Esser 2018; Aachener Nachrichten, 2018).

Vor dem Hintergrund globaler Megatrends, wie dem voranschreitenden Klimawandel und der Urbanisierung, gewinnt das Thema „Starkregen“ zunehmend an Bedeutung. Starkniederschlagsereignisse können vor allem in urbanen, dicht bebauten Gebieten verheerende Folgen haben. Beispielsweise erreichen die örtlichen Entwässerungssysteme, aufgrund des hohen Anteils an versiegelten Oberflächen, bei Starkniederschlagsereignisse schnell die Kapazitätsgrenze und fehlende Notwasserwege oder Retentionsflächen führen zu wild abfließendem Oberflächenwasser, welches große Schäden verursachen kann. Ebenso können auch Verkehrswege durch Starkregenerereignisse beschädigt oder sogar blockiert werden (DWD 2021).

Klassische Konzepte des Flusshochwasserschutzes können nicht auf Starkniederschlagsereignisse übertragen werden. Denn diese unterscheiden sich wesentlich im Entstehungs- und Wirkprozess. Im Gegensatz zu Flusshochwasserereignissen, die sich ausschließlich auf flussnahe Bereiche auswirken, können Starkniederschlagsereignisse überall auftreten. Entsprechend werden innovative und interdisziplinäre



Ansätze für eine nachhaltige Überflutungsvorsorge im urbanen Raum und der Starkregenrisikokommunikation benötigt (LAWA 2017).

Im Kontext dieser Herausforderungen wurde das ERS-Projekt Rainwater Living Lab Aachen angestoßen. Hier forschte ein interdisziplinäres zur nachhaltigen und ganzheitlichen zur Überflutungs- und Schadensvorsorge bei Starkregenereignissen. Schwerpunkt dieser Zusammenarbeit bildete die Entwicklung einer Proof-of-Concept Methode, um eine Wirkungsanalyse verschiedener Maßnahmen zur Reduktion des Starkregen-Überflutungsrisikos durchzuführen. Dazu ist zunächst ein hydrodynamisches bidirektional-gekoppeltes Modell erstellt worden, welches die Interaktion zwischen Oberfläche und Kanalnetz detailliert beschreibt und simuliert. Für einen ausgewählten Untersuchungsbereich der Stadt Aachen wurden beispielhaft Maßnahmen zur oberflächlichen und kanalseitigen Rückhaltung bzw. Umlenkung konzipiert und auf ihre Wirksamkeit im Kontext des Starkniederschlagsereignisses am 29. Mai 2018 geprüft. Zur Unterstützung der Analyse sind neue Werkzeuge der Drohnen-Photogrammetrie eingesetzt worden.

Im Kontext verschiedener Einflussfaktoren sind für das Untersuchungsgebiet drei individuell passende Maßnahmen ausgewählt worden: Notwasserweg (inkl. Retentionsraum), Retentionsraum im Kanalnetz und Gründächer (verschiedene Substratschichtdecken). Insgesamt zeigten die Ergebnisse, dass eine Abbildung von Maßnahmen zur Reduktion des Überflutungsrisikos numerisch möglich ist und vielversprechende Möglichkeiten bietet. Auf Grundlage des numerischen Tools konnten so erstmalig Maßnahmen konzipiert und auf ihre Wirksamkeit hin überprüft werden.

## Literatur / References

- Aachener Nachrichten (2018). Extremes Gewitter wütet über Aachen und Wuppertal. Aachener Nachrichten. Aachener Nachrichten, 29.05.2018.
- LAWA (2017). LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement. LAWA; LAWA-Kleingruppe "Starkregen". Darmstadt, S. 24, 26
- Nikogosian, C., Winterrath, T., Walawander, E., Fischer, I., Schmitz-Kröll, D., Wischott, V. (2021). Klassifikation meteorologischer Extremereignisse zur Risikovorsorge gegenüber Starkregen für den Bevölkerungsschutz und die Stadtentwicklung. Projekt der Strategischen Behördenallianz „Anpassung an den Klimawandel“. Abschlussbericht., S. 25
- Schmetz, O., Esser, R. (2018). Die Innenstadt versinkt in Wassermassen. Schweres Unwetter trifft Aachen mit voller Wucht: ungezählte Keller vollgelaufen, Straßen überflutet. Feuerwehr fährt 400 Einsätze. Aachener Zeitung 73, 30.05.2018(123), S. 15.



# **Ermittlung des Wasserbedarfs zur Befüllung und zum Betrieb privater Schwimmbecken und dessen Beitrag zur Wasserknappheit unter Einfluss des Klimawandels**

Nina Grundmann<sup>1</sup>, Martina Flörke, Thomas Christian van Dijk, Thorben Uschan

<sup>1</sup>Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Ingenieurhydrologie und Wasserwirtschaft, nina.grundmann-q9a@rub.de

Im Zuge der Trockenperiode 2018 bis 2020 kam es in Deutschland zu lokalen Einschränkungen in der Wasserversorgung, zudem begann die COVID-19-Pandemie im Jahr 2020, wodurch die öffentliche Versorgung mit Trinkwasser vor eine weitere Herausforderung gestellt wurde (Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz, 2021). Durch die Pandemie erlebte Deutschland eine starke Zunahme privater Schwimmbecken, da durch die Reisebeschränkungen der Urlaub in den eigenen Garten verlegt wurde (Lüdkte et al., 2021). Es wurde angenommen, dass Schwimmbecken einen Faktor für lokale Engpässe in der Trinkwasserversorgung darstellten (BBC, 2022), jedoch gibt es dazu keine systematische Erfassung und Analyse in Deutschland.

Im Rahmen einer Masterarbeit wurden die Auswirkungen des Wasserbedarfs privater Schwimmbecken auf die Wasserversorgung in Berlin untersucht. Dazu wurde die raum-zeitliche Entwicklung privater Schwimmbecken der Jahre 2015 und 2020, auf Grundlage hochaufgelöster digitaler Orthophotos (DOP) analysiert. Die Methode setzt sich aus der Bildklassifizierung durch ein neuronales Netz und Pixelklassifizierung durch die Erweiterung SCP<sup>1</sup> in QGIS zusammen. Die DOP wurden zuerst in die Klassen „Schwimmbecken vorhanden“ und „Schwimmbecken nicht vorhanden“ unterteilt. Durch SCP wurden die Schwimmbeckenflächen extrahiert, um das Wasservolumen unter der Annahme einer durchschnittlichen Höhe zu berechnen. Zusätzlich wurde der Ausgleich von Verdunstungsverlusten berücksichtigt. Durch die Disaggregation jährlicher Daten zur öffentlichen und nichtöffentlichen Wasserversorgung wurde der ermittelte Wasserbedarf der Schwimmbecken prozentual eingeordnet. Weiterhin wurde der Wassernutzungsindex herangezogen, um die Auswirkungen der Schwimmbeckenbefüllungen auf eine nachhaltige Bewirtschaftung der Grundwasserressourcen zu bewerten.

Mit der beschriebenen Vorgehensweise wurden 30.919 (2015) und 25.950 (2020) Schwimmbecken erfasst. Der Wasserbedarf der Schwimmbecken beträgt 0,32 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr 2015 und 0,27 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr 2020. Der Ausgleich von Verdunstungsverlusten erfordert einen Anteil von 0,41 % bzw. 0,43 % der öffentlichen Wasserversorgung. Der Wassernutzungsindex verdeutlicht, dass ein vollständiger Verzicht auf private Schwimmbecken die Grundwasserressourcen nicht entlasten wird, da andere Faktoren, wie der Wasserverbrauch im Haushalt, eine nicht nachhaltige Bewirtschaftung stärker beeinflussen (Wassernutzungsindex größer 20 %).

---

<sup>1</sup> Semi-Automatic Classification Plugin:  
[www.plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/](http://www.plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/)



Diese Arbeit bietet am Beispiel von Berlin eine erste Abschätzung der Auswirkungen privater Schwimmbecken auf die Wasserversorgung. Diese stellen anhand der Ergebnisse nicht den Hauptfaktor für eine Wasserknappheit in Berlin dar, sodass Einschränkungen in der Trinkwasserversorgung auf infrastrukturelle Gründe zurückgeführt werden können. Trotz des geringen Einflusses der Schwimmbecken auf die Wasserversorgung, ist durch die zu erwartende Klimaentwicklung ein sparsamer und verantwortungsvoller Umgang mit der Ressource Wasser geboten.

## Literatur

Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz (2021). Die Niedrigwasserjahre 2018, 2019 und 2020 - Analysen und Auswirkungen für das Land Berlin.

Lüdkte, D. U., Luetkemeier, R., Schneemann, M. und Liehr, S. (2021). Increase in daily household water demand during the first wave of the covid-19 pandemic in germany. In: Water 13(3), 260.

BBC (2022). Undeclared pools in France uncovered by AI technology [online, Zugriff am 18.12.2022]. Verfügbar unter: [www.bbc.com/news/world-europe-62717599](http://www.bbc.com/news/world-europe-62717599)



# Modelling flash floods in data- and water-scarce regions like Jordan – a multi-model approach

Christina Maus<sup>1</sup>, Clara Hohmann<sup>1</sup>, Dörte Ziegler<sup>1</sup>, Stefanie Maßmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Koblenz, Fachbereich bauen-kunst-werkstoffe/ Bauingenieurwesen, [maus@hs-koblenz.de](mailto:maus@hs-koblenz.de) / [hohmann@hs-koblenz.de](mailto:hohmann@hs-koblenz.de) / [ziegler@hs-koblenz.de](mailto:ziegler@hs-koblenz.de)

<sup>2</sup>Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH, [s.massmann@itwh.de](mailto:s.massmann@itwh.de)

Jordan is one of the water-scarcest countries worldwide, but is regularly hit by severe flash floods. Especially under climate change, these events might occur more frequently because of an increase in extreme rainfall events (IPCC, 2021). Beside the hazards of such events, the potential water retention of these rainfall events should be considered in the region. The BMBF-funded German-Jordanian research project “Capture and reTain heavy rainfall in Jordan” (CapTain Rain, [www.captain-rain.de](http://www.captain-rain.de)) studies flash flood risks and vulnerability with a transdisciplinary approach, interacting with local stakeholders. In this study, we want to focus mainly on the aspect of hydrological and hydraulic modelling of flash floods in arid regions.

Flash flood modelling approaches and available software tools for humid regions cannot be easily transferred to water- and data-scarce regions like Jordan. Instead of relying to one model we want to use different hydrologic and hydraulic models. With this multi-model approach, we can provide a better overview of model options and possible uncertainties. All models will be set up for our focus regions in Jordan, the city of Amman as well as Wadi Musa with the world heritage site of Petra and its rural surroundings. Both, Downtown Amman and Petra, are hotspots for flash flood events which can lead to severe damages including touristic infrastructure and local businesses.

Our multi-model approach will include the widely used hydrological model HEC-HMS of the Hydrologic Engineering Center within the U.S. Army Corps of Engineers ([www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/)). HEC-HMS, with its Soil Conservation Service (SCS) - Curve Number (CN) approach, is often used in ungauged regions because of its low data needs. It was also already used in the Wadi Musa watershed by Al-Weshah and El-Khoury (1999) as well as for a small subbasin in the area by Abdelal et al. (2021). For Wadi Musa, we will also use the Rainfall-Runoff-Inundation model (RRI, [www.pwri.go.jp/icharm/research/rri/rri\\_top.html](http://www.pwri.go.jp/icharm/research/rri/rri_top.html)). This model is also already used to simulate flash floods in Wadi systems (e.g. Saber et al. 2022). In the distributed RRI model lateral subsurface flow, vertical infiltration flow and surface flow are simulated. The surface flow is calculated with the diffusive wave model depending mainly on the parameter Manning’s n. As a third model a 2D hydraulic model with an extensive surface runoff calculation based on the 2D surface water equations is used and examined (HE2D/FOG2D, <https://itwh.de/en/software/desktop-software/urban-flash-floods/>).

Our results show that modelling of flash flood events in the two watersheds is possible but has high uncertainties. The simulated runoff and inundated areas differ significantly when comparing the models. That is mainly due to the insufficient runoff data for calibration, the models can only be compared to some water marks from historical events. Also, our input datasets (e.g. DEM, soil, LULC) have a coarse resolution and quite high uncertainties. Nevertheless, the models can be used to test adaptation measures and to provide recommendations to stakeholders.



## References

- Abdelal, Q., Al-Rawabdeh, A., Al Qudah, K., Hamarneh, C., Abu-Jaber, C. (2021). Hydrological assessment and management implications for the ancient Nabataean flood control system in Petra, Jordan. *Journal of Hydrology*, Volume 601, 2021, 126583, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126583>.
- Al-Weshah, R und El-Khoury, F. (1999). Flood analysis and mitigation for Petra area in Jordan. *Journal of Water Resources Planning and Management*, May/June 1999, S. 170-177.
- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Hg.): Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.
- Saber, M., Kantoush, S.A., Abdel-Fattah, M., Sumi, T., Moya, J.A., Abdrabo, K. (2022). Flash Flood Modeling and Mitigation in Arid and Semiarid Basins: Case Studies from Oman and Brazil. In: Sumi, T., Kantoush, S.A., Saber, M. (Hg.): *Wadi Flash Floods. Natural Disaster Science and Mitigation Engineering: DPRI reports*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-2904-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-16-2904-4_13)



# Grüne Infrastruktur – Übersicht über Maßnahmen und deren Auswirkungen auf das urbane Überflutungsrisiko

Sophia Dobkowitz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Potsdam, Lehrstuhl für Hydrologie und Klimatologie, [sophia.dobkowitz@uni-potsdam.de](mailto:sophia.dobkowitz@uni-potsdam.de)

Der Anteil der Weltbevölkerung, der in Städten lebt, steigt seit der Mitte des 20. Jahrhunderts stark an (United Nations 2019). Die mit der Urbanisierung einhergehende Flächenversiegelung führt zu einer Abnahme von Infiltration und Evapotranspiration und einer verstärkten und schnelleren Abflussbildung (Fletcher et al. 2013), wodurch sich das urbane Hochwasserrisiko erhöht. Dieser Effekt wird durch den Klimawandel verstärkt, der weltweit in vielen Regionen eine höhere Intensität der Starkregenereignisse verursacht (Caretta et al. 2022).

Um den städtischen Wasserkreislauf wieder dem natürlichen anzunähern, kann Grüne Infrastruktur (GI) genutzt werden. Hierbei handelt es sich um Maßnahmen, die dezentral Wasser rückhalten, durch Speicherung, Verdunstung und Versickerung (Eckart et al. 2017). Je nach Region und thematischem Fokus werden auch Begriffe wie Schwammstadt, Low impact development, Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung usw. verwendet. Neben einer Verringerung des Überflutungsrisikos kann GI weitere Ökosystemdienstleistungen erbringen, wie die Verbesserung der Wasserqualität durch das Filtern des versickernden Wassers im Boden und durch das Verhindern von Mischwasserkanalisationsüberläufen in die Oberflächengewässer. Sie kann die Lebensqualität des öffentlichen Raums verbessern, indem der Urbane Hitzeinseleffekt abgeschwächt, sowie Luftqualität und Ästhetik verbessert werden. Außerdem kann GI zur Grundwasserneubildung beitragen und Habitate für mehr Biodiversität bieten. In Regentonnen und Zisternen gespeichertes Wasser kann zur Bewässerung oder in Haushalten als Brauchwasser genutzt werden.

Die vorliegende Arbeit soll eine Übersicht über den aktuellen Stand der Forschung zu den folgenden Maßnahmen geben: Gründächer, Regentonnen, Zisternen, durchlässiges Pflaster, Straßenbäume, Muldenspeicher, Rigolen-Systeme und Teiche. Hierbei liegt der Fokus insbesondere auf der quantitativen Erfassung, um das Potenzial der GI als Beitrag zum urbanen Hochwassermanagement zu untersuchen.

Bei der Untersuchung der Auswirkung der GI werden häufig Modellierungsstudien durchgeführt. Diese bieten den Vorteil, dass in Szenarien verschiedene Maßnahmen eingesetzt und deren Auswirkungen in Kombination mit Niederschlagsereignissen unterschiedlicher Intensität und Dauer untersucht werden können. Bei den 25 im Rahmen dieser Studie verglichenen Modellen werden am häufigsten die Green-Ampt Methode und der Curve number Ansatz angewendet, aber auch die Richards Gleichung und weitere, teilweise besteht auch die Wahl zwischen mehreren Methoden. Mehr als die Hälfte der Modelle sind frei verfügbar, andere kommerziell zu erwerben.

Mindestens genauso wichtig sind die auf Messungen beruhenden Studien, um die Modelle zu validieren und Langzeiteffekte zu untersuchen, wie z. B. die Auswirkung von Verschlämmung auf die Infiltrationsleistung von Muldenspeichern. So stellen Speak et al. (2013) bei der Untersuchung eines gealterten intensiven Gründachs fest, dass das Substrat einen erhöhten Humusgehalt aufweist, was dessen Wasserspeicherfähigkeit erhöhen kann.



GI zeigt sich für kleinere Niederschlagsereignisse besonders effektiv (Eckart et al. 2017). Doch auch die Relevanz kleinerer Ereignisse sollte nicht vernachlässigt werden. So zeigen Merz et al. (2009), dass im Fall von Flusshochwasserereignissen in Deutschland der geschätzte jährliche Schaden durch Ereignisse geringer Wahrscheinlichkeit mit großem Schaden geringer ist als durch kleine Hochwasser, die mit höherer Wahrscheinlichkeit auftreten. Der Einsatz von GI kann Mischwasserkanalisationsüberläufe erheblich verringern und ist dabei kosteneffizienter als herkömmliche Regenüberlaufbecken (Joshi et al. 2021).

## Literatur

- Eckart, K., McPhee, Z., Bolisetti, T. (2017). Performance and implementation of low impact development – A review. In: *Science of The Total Environment*, Vol. 607–608, S. 413-432.
- Fletcher, T.D., Andrieu, H., Hamel, P. (2013) Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. In: *Advances in Water Resources*, Vol. 51, S. 261-279.
- Caretta, M.A., A. Mukherji, M. Arfanuzzaman, R.A. Betts, A. Gelfan, Y. Hirabayashi, T.K. Lissner, J. Liu, E. Lopez Gunn, R. Morgan, S. Mwanga, S. Supratid. (2022). Water. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. S. 551–712.
- Joshi, P., Leitão, J.P., Maurer, M., Bach, P.M. (2021). Not all SuDS are created equal: Impact of different approaches on combined sewer overflows. In: *Water Research*, Vol. 191.
- Merz, B., Elmer, F., Thielen, A.H. (2009). Significance of "high probability/low damage" versus "low probability/high damage" flood events. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 9, S. 1033–1046.
- Speak, A.F., Rothwell, J.J., Lindley, S.J., Smith, C.L. (2013). Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof. In: *Science of The Total Environment*, Vol. 461–462, S. 28-38.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York, United Nations.



# **Einfluss urbaner Strukturen auf die räumliche und zeitliche Dynamik pluvialer Fluten**

## **Effects of urban structures on spatial and temporal flood distribution**

Marlin Shlewet<sup>1</sup>, Karl Kästner<sup>1</sup>, Daniel Caviedes-Voullième<sup>2,3</sup>, Christoph Hinz<sup>1</sup>

1) Hydrology, BTU Cottbus-Senftenberg, 03046 Cottbus, Germany

2) Institute of Bio- and Geosciences: Agrosphere (IGB-3), Forschungszentrum Jülich, 52428 Jülich, Germany

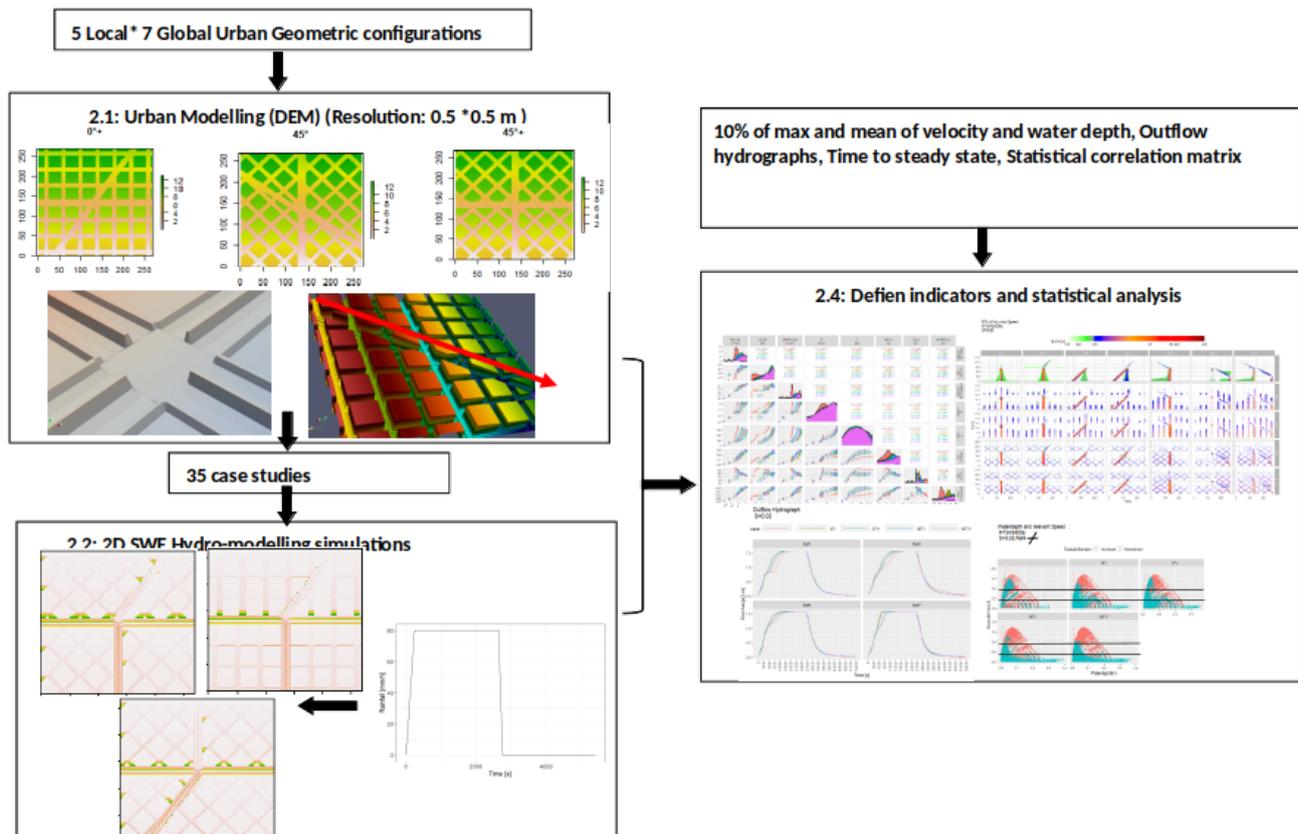
3) Simulation and Data Lab Terrestrial Systems, Jülich Supercomputing Centre (JSC), 52425 Jülich, Germany

[German] Überschwemmungen in urbanen Gebieten sind eine neue, weltweit zunehmende Katastrophe, welche insbesondere in Entwicklungsländern mit unzureichender Infrastruktur besonders trifft, da sie durch demografische Entwicklung und den Klimawandel besonders belastet wird. Trotz neuerer Entwicklung von Modellen für die Überflutung von Städten, ist es nach wie vor eine Herausforderung, die komplexe und detaillierte städtische Topographie genau zu modellieren und die Auswirkungen räumlicher städtischer Muster auf die sich den Niederschlagsabflusses zu interpretieren. Wie wirken sich Veränderungen der städtischen räumlichen Konfigurationen auf den Oberflächenabfluss und die hydrodynamischen Variablen wie Wassertiefe, Geschwindigkeit und Abflussmenge aus. Wir nutzen ein 2D-Flachwassermodell, um den Einfluss räumlicher urbaner Strukturen, wie die Ausrichtung von Straßen und Gebäuden und das Anlegen von Gehwegen, in kleinen idealisierten Einzugsgebieten während eines pluvialen Hochwasserereignisses aufzuzeigen. Das modellierte Areal erstreckt sich über eine Fläche von 270mx270m und hat eine 3%ige Hangneigung. Wir modellieren unterschiedliche Straßenlayouts i) zwei sich kreuzende Hauptstrassen von 14 m Breite mit Bürgersteig und ii) Nebenstraßen von 10 m Breite. Wir definieren räumlich integrierte Indikatoren im stationären Zustand zur quantitativen Analyse des Abflussverhalten und korrelieren sie mit den urbanen Strukturen. Zusätzlich erstellen lokale Hotspot-Karten, die die Stellen, die das 90% der Fließgeschwindigkeitsmagnitude oder der Wassertiefe übersteigen. zur Bewertung des Hochwasserrisikos. Wir fanden heraus, dass die Anordnung der Hauptstraßen der erste städtische Faktor ist, der den Abfluss beeinflusst, während die Verringerung der Straßenbreite durch das Anlegen von Gehwegen der zweite Faktor ist, der die Fließgeschwindigkeit erhöht. Der Vergleich mit realen Schwellwerten für das Hochwasserrisiko zeigt, dass der untere Teil der Hauptstraße am empfindlichsten auf das Hochwasserrisiko in dem Bereich reagiert, in dem ein hohes Risiko für die Standsicherheit von Menschen besteht. Die Variation der räumlichen städtischen Konfigurationen verändert die Schwellenwerte für das Hochwasserrisiko und verzögert den Abfluss. Andererseits zeigen räumlich integrierte Indikatoren der Abflussvariablen in dem Gebiet eine geringe Empfindlichkeit gegenüber den räumlichen Strukturen. Wir geben eine neue Perspektive für die Bewertung des Städtischen Hochwasserrisikos, insbesondere in urbanen Bereichen, die sich schnell entwickeln.

[English] Urban pluvial flooding is a modern, growing global disaster, particularly in developing countries with inadequate infrastructure that is constantly strained by demographic pressure and climate change. Despite recent studies that have attempted to develop urban inundation models, it remains a challenge to accurately model the complex and fine urban topography and to fully interpret the impact of spatial urban patterns on changing urban rainfall-runoff response. The question to be addressed is how varying the urban spatial



configurations can quantitatively influence the overland flow response in relation to the spatiotemporal hydrodynamic variables such as water depth, velocity, and outflow discharge, and how this varying affects the flood risk. We use a 2D shallow water model to indicate the influence of changing spatial urban factors (such as the orientation of streets and buildings, and adding sidewalks) in small idealized urban catchments during a single pluvial flood event. The domain layout extends over a size of 267.5 m\*267.5 m with a 3% longitude slope, and it differentiates mainly between two street networks: i) the two-way main street with a 7-m width of each way and a detailed cross-section, including the road median, cross slope, and sidewalks around, ii) and the 10-m wide side streets surrounding the buildings. We then define novel spatially integrated indicators over the domain at the steady state to analyze quantitatively runoff variables in correlation with the urban features. Additionally, we produce hotspots maps, that show the local distribution of max top 10% of velocity magnitude and water depth over the domain, to assess the flood risk thresholds, such as human stability and failure of buildings. We found that the main street layout is the first urban factor that affects the runoff response of the small urban catchment, while decreasing the streets' width, by adding sidewalks around, is the second factor that increases the flow variables. The validation with flood risk thresholds shows that the lower part of the main road is the most sensitive to flood risk in the domain with a high-risk hazard for human stability. However, the riskiest case is not corresponding to the fastest hydrograph response. Varying the spatial urban configurations changes the flood risk thresholds and makes an overall difference of about 20 min in runoff response. On the other hand, spatially integrated indicators of the flow variables in the domain are showing low sensitivity to the spatial urban features. Our findings offer a new important perspective on the development of urban flood risk assessment, especially for rapidly urbanizing cities, and provide a better understanding of the spatiotemporal rainfall-runoff generation in a small urban catchment considering the spatial layout of the urban structures.





# Einfluss urbaner Strukturen auf die raum-zeitliche Dynamik pluvialer Fluten

Marlin Shlewet<sup>1</sup>, Karl Kästner<sup>1</sup>, Daniel Caviedes-Voullième<sup>2,3</sup>, Christoph Hinz<sup>1</sup>

1) Hydrology, BTU Cottbus-Senftenberg, 03046 Cottbus, Germany

2) Institute of Bio- and Geosciences: Agrosphere (IGB-3), Forschungszentrum Jülich, 52428 Jülich, Germany

3) Simulation and Data Lab Terrestrial Systems, Jülich Supercomputing Centre (JSC), 52425 Jülich, Germany

Überschwemmungen in urbanen Gebieten sind eine weltweit zunehmende Katastrophe, welche insbesondere Entwicklungsländer mit unzureichender Infrastruktur besonders trifft. Es ist nach wie vor eine Herausforderung das Abflussverhalten in urbanen Gebieten mit komplexer Topographie genau zu modellieren und die Auswirkungen räumlicher Strukturen auf den Abfluss quantitativ zu bestimmen. In diesem Beitrag wird der Frage nachgegangen, wie sich Veränderungen der städtischen räumlichen Konfigurationen auf den Oberflächenabfluss und die hydrodynamischen Variablen wie Wassertiefe, Geschwindigkeit und Abflussmenge auswirken. Wir nutzen ein 2D-Flachwassermodell, um den Einfluss räumlicher urbaner Strukturen, wie die Ausrichtung von Straßen und Gebäuden und das Anlegen von Gehwegen, in kleinen idealisierten (synthetischen) Einzugsgebieten während eines pluvialen Hochwasserereignisses aufzuzeigen. Das modellierte Areal erstreckt sich über eine Fläche von 270mx270m und hat eine 3%ige Hangneigung. Wir modellieren unterschiedliche Straßenlayouts i) zwei sich kreuzende Hauptstrassen von 14 m Breite mit Bürgersteig, die mit unterschiedlichen Winkeln zur Hangneigung des urbanen Gebietes angelegt wurden und ii) Nebenstraßen von 10 m Breite (Abb. 1). Wir definieren räumlich integrierte Indikatoren im stationären Zustand zur quantitativen Analyse des Abflussverhalten und korrelieren sie mit den urbanen Strukturen (Abb. 1). Zusätzlich wurden lokale Hotspot-Karten erstellt. Hotspots sind als die Orte definiert, die die höchsten Fließgeschwindigkeitsmagnituden und Wassertiefen (> 90 %) aufweisen. Die Resultate der Modellierung ergaben, dass mit Bezug auf die Fließgeschwindigkeiten die Anordnung der Hauptstraßen die dominante urbane Struktur darstellt, gefolgt von den Straßenbreiten, die durch die Geometrie der Gehwege maßgeblich bestimmt wurden. Der Vergleich mit realen Schwellwerten für das Hochwasserrisiko zeigt, dass der untere Teil der Hauptstraße am empfindlichsten auf das Hochwasserrisiko reagiert. Die Variation der räumlichen städtischen Konfigurationen, insbesondere die Rotation der Hauptstrassen, verändert die Schwellenwerte für das Hochwasserrisiko und verzögert den Abfluss. Andererseits zeigen räumlich integrierte Indikatoren der Abflussvariablen in dem Gebiet eine geringe Empfindlichkeit gegenüber den räumlichen Strukturen. Wir geben eine neue Perspektive für die Bewertung des Städtischen Hochwasserrisikos, insbesondere in urbanen Bereichen, die sich schnell entwickeln.

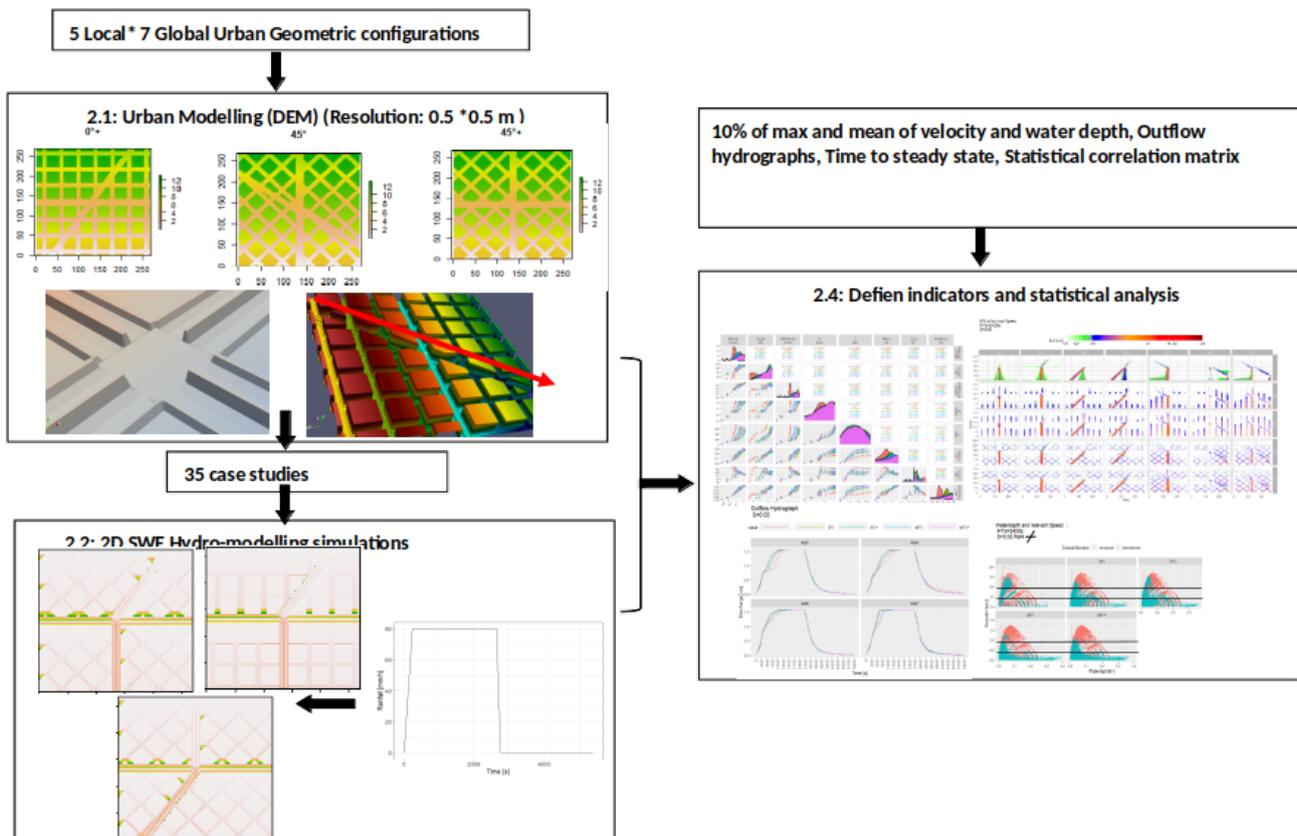


Abbildung 1: Übersicht des Modellierungsansatzes und der Auswertung der Abflussdaten