

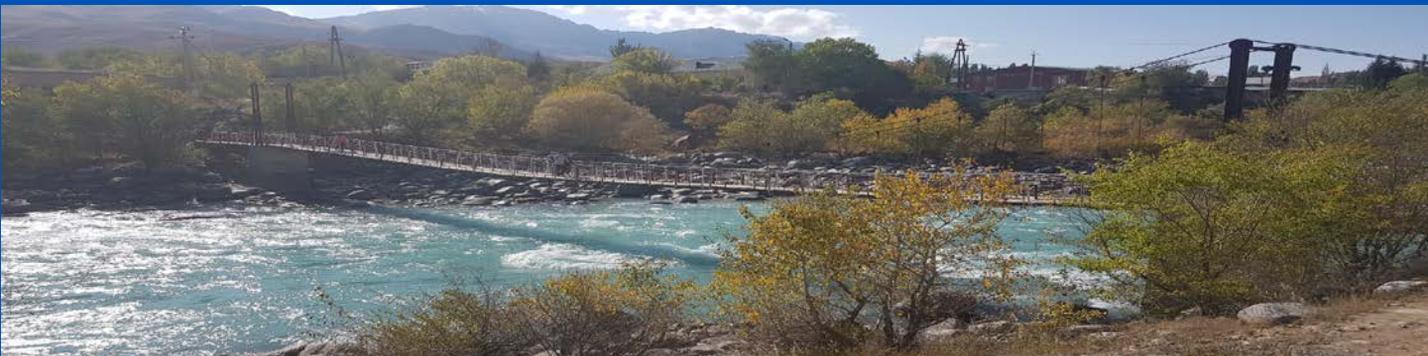


# Book of Abstracts

Tag der Hydrologie 2022

Im Wandel – Klima, Wasser und  
Gesellschaft

22./23.03.2022 in Garching bei München



ausgerichtet von:



Technische  
Universität  
München



mit freundlicher Unterstützung von:





# Vorträge Session A: „Modellierung und Vorhersage von extremen Ereignissen“



Liste der Vorträge in Session A: „Modellierung und Vorhersage von extremen Ereignissen“

<b>Nummer</b>	<b>Titel</b>	<b>Autor</b>
A-01	Bewertung von Niederschlagsextremereignissen auf Basis von Radardaten	<b>A. Jasper-Tönnies</b> , T. Einfalt
A-02	Methodische Untersuchungen für eine Neufassung der regionalisierten Starkregenstatistik KOSTRA-DWD	<b>U. Haberlandt</b> , B. Shehu, L. Thiele, W. Willems, T. Deutschländer, T. Junghänel
A-03	Benchmark-Datenbank für Starkregenereignissen in kleinen Einzugsgebieten	<b>A. Steinbrich</b> , A. Hänsler, H. Leistert, M. Weiler
A-04	Notwendigkeit und Realisierung von Erosionssimulationen auf Grundlage von Starkregenereignissen	<b>R. Hinsberger</b> , J. Kubiniok, A. Yörük
A-05	Oberflächenabflussbildung bei konvektiven Extremen – die Stunde physikalisch basierter Modelle?	<b>F. Villinger</b> , E. Zehe
A-06	Limitierungen in der prozess-getreuen Abbildung und Vorhersage des Erft Hochwassers (Juli 2021) im NA-Modell am Beispiel des Pegels Arloff	<b>D. Bittner</b> , T. Keller, H. Bangel, C. Gattke
A-07	Das Erft Hochwasser vom 14./15. Juli 2021 – Analysen und Einordnungen	<b>T. Keller</b> , H. Bangel, A. Yörük, R. Räder, C. Gattke
A-08	Wahrscheinlichkeitsanalyse von kombinierten Extremereignissen am Beispiel von Starkregen und Hochwasser	<b>F. Simon</b> , C. Mudersbach
A-09	Zur Entwicklung und Innovation datenbasierter 2D-Überflutungsvorhersagesysteme	<b>F. Schmid</b> , J. Leandro, M. Disse
A-10	Starkniederschlag und Hochwasser im Berchtesgadener Land im Juli 2021 – Zeichen des Klimawandels?	<b>B. Poschlod</b>
A-11	Multivariate statistische Bestimmung von Hochwasserszenarien in großen Flusseinzugsgebieten unter Berücksichtigung von Nebenflusseinflüssen und Hochwassertypen	<b>S. Fischer</b> , A. H. Schumann
A-12	Entscheidungsunterstützung im Hochwassermanagement mit hydro-meteorologischen Ensemblevorhersagen	<b>J. Grundmann</b> , A. Philipp
A-13	Szenariobasierte Binnenhochwassergefahren- und -risikokarten im nordwestdeutschen Küstenraum	<b>H. Bormann</b> , J. Kebschull, J. Spiekermann
A-14	Einfluss von Klimaveränderungen auf Niederschlagsextrema und die damit verbundenen Infektionsrisiken beim Baden stromab von Mischwasserentlastungen	<b>H. Müller-Thomy</b> , H. S. Kulic, S. Cervero-Aroga, R. Linke, G. Lindner, J. Walochnik, R. Sommer, J. Komma, A. H. Farnleitner, A. P. Blaschke, J. Derx
A-15	Abflusskomponenten aus Regen-, Schnee-, und Gletscherschmelze im Rhein in der Zukunft: Auswirkungen auf Niedrigwasser	<b>K. Stahl</b> , M. Weiler, M. v. Tiel, I. Kohn, A. Hänsler, D. Freudiger, J. Seibert, G. Moretti, K. Gerlinger

A-16	Experimentelle und modellgestützte Untersuchung naturbasierter Wassermanagementstrategien zur Erhöhung der Resilienz von Wäldern gegenüber Dürren in einem Untersuchungsgebiet in Franken	<b>L. Alcamo</b> , M. Disse
A-17	Dürre und ihre Auswirkungen im Alpenraum – Monitoring im Alpine Drought Observatory	<b>R. Stephan</b> , F. Greifeneder, K. Stahl

## **Bewertung von Niederschlagsextremereignissen auf Basis von Radardaten**

Thomas Einfalt<sup>1</sup>

<sup>1</sup> hydro & meteo GmbH

einfalt@hydrometeo.de

Starkregen ist eines der aktuellen Themen in der meteorologischen und hydrologischen Forschung sowie in den Fachbereichen der Verkehrsplanung und dem Bauingenieurwesen, die die Folgen solcher Ereignisse zu bewältigen haben. Die Aktualität des Themas ist eng mit Klimawandel und den dadurch veränderten Häufigkeiten verknüpft [1].

Radargemessene Niederschlagsdaten sind heute ein unverzichtbares Werkzeug zur Niederschlagsüberwachung und Vorhersage. Aufgrund ihrer hohen zeitlichen (5 Minuten) und räumlichen Auflösung (Einzelradar: 250 m x 1°; Deutschlandkomposit des Deutschen Wetterdienstes: 1 km x 1 km) gestatten sie ein zeitlich-räumliches Monitoring, das weder mit Stationsnetzen noch Satellitendaten möglich ist.

Die hohe Datendichte der Radarmessung ermöglicht es, auf Basis dieser Messdaten Vorhersagen zu erstellen. Bereits frühzeitig wurden einfache Verfahren der KI für die Verarbeitung von Radardaten verwendet wie Bildverarbeitungsverfahren, Objektorientierung und hierarchische Clusteranalyse [2]. Heute werden hier wesentlich weiterentwickelte Methoden eingesetzt, die auch geeignet sind, den Vorhersagehorizont zu verlängern und die Vorhersagegenauigkeit abzuschätzen, zum Beispiel durch Nutzung von Ensembles oder in Kombination mit anderen Verfahren (z.B. [3] [4] [5]).

Für die Nutzung der Radarmessung in der Praxis spielt die Datenqualität der Radarmessung und ihre Verbesserung ([6]) in Kombination mit einer hochqualitativen Stationsmessung eine wesentliche Rolle.

In einem Kooperationsprojekt („DX-Offline“) der Wasserverbände NRW und des LANUV NRW mit dem Deutschen Wetterdienst [7] werden seit 2007 mit jährlicher Aktualisierung Radardaten und

Stationsdaten verarbeitet. Das Ergebnis ist ein kombinierter Datensatz aus Messungen von bis zu 1000 Stationen und von vier Radarstandorten. Sowohl die Stationsdaten als auch die Radardaten wurden im Rahmen des DX-Offline-Kooperationsprojekts einer umfangreichen Qualitätsprüfung unterworfen, die die Eliminierung von unplausiblen Daten und mehrere Korrekturschritte beinhaltet. Diese Daten liegen u.a. auf einem 1 km x 1 km-Raster für NRW vor und haben eine zeitliche Auflösung von 5 Minuten („NRW-Komposit“) mit einer Beobachtungslänge vom 01.11.2000 bis zum 01.11.2020.

Auf diesen Daten basiert die Ereignisdatenbank NRW [8], die gestattet, für beliebige Suchgebiete und Dauerstufen die höchsten Niederschlagsereignisse pro Rasterpunkt zu finden und zu analysieren. Diese können dann einer weitergehenden Bewertung unterzogen werden, und für Modellanwendungen exportiert oder auch an andere Orte verschoben werden.

Extremwertstatistische Auswertungen aus Radardaten nach DWA A-531 haben gezeigt, dass zum einen die bislang vorliegende Beobachtungsdauer von 20 Jahren noch keine robusten Auswertungen für Wiederkehrzeiten größer als 5 Jahre am jeweiligen Rasterpunkt zulässt [1] und dass es im Vergleich zu Punktmessungen zu Unterschätzungen der Extrema bei Dauerstufen bis zu einer Stunde kommt, die durch eine inzwischen verfügbare, höhere räumliche Auflösung verringert werden können [9]. Diese Auswertungen sind deshalb mit Bedacht zu verwenden, zum Beispiel für Vergleiche in der Fläche, aber derzeit nicht für eine präzise statistische Einordnung von aktuellen Ereignissen verwendbar.

Eine Bewertung von aktuellen Extremereignissen ist hingegen auf Basis von KOSTRA 2010R gut durchführbar. Auf dieser Basis können Bewertungen für Punkte mit Starkregenindex [10] und für Flächen mittels Weather Extremity Index [11] oder [12] durchgeführt werden. Vergleichende Ergebnisse zeigen, dass die Verfahren unterschiedlich komplex in der Handhabung und in der Aussagekraft sind. Ein einfaches, allgemein anwendbares und intuitiv verständliches Verfahren ist derzeit leider noch nicht für Flächenaussagen verfügbar.

#### Literatur

[1] Quirnbach, M., Einfalt, T., Freistühler, E., Funke, R., Langstädtler, G., Mehlig, B., Papadakis, I., Schimetzek, V. (2021) ExUS 2020 – Umfassende Analyse der Niederschlagsentwicklung in Nordrhein-Westfalen. Korrespondenz Abwasser KA, Nr. 7, S. 524 – 531

[2] Einfalt, T., Denoeux, T., Jacquet, G., "A Radar Rainfall Forecasting Method Designed for Hydrological Purposes", *Journal of Hydrology*, 114, pp.229-244, 1990

[3] 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*, DOI: 10.2166/wst.2018.079

[4] Sideris, IV, Foresti, L, Nerini, D, Germann, U. NowPrecip: localized precipitation nowcasting in the complex terrain of Switzerland. *QJR Meteorol Soc.* 2020; 146: 1768– 1800. <https://doi.org/10.1002/qj.3766>

[5] Shehu, B., Haberlandt, U. (2021) Relevance of merging radar and rainfall gauge data for rainfall nowcasting in urban hydrology. *Journal of Hydrology*, Volume 594, 2021, 125931, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125931>

[6] Michelson D., Einfalt T., Holleman I., Gjertsen U., Friedrich K., Haase G., Lindskog M., Jurczyk A., 2005: Weather radar data quality in Europe quality control and characterisation. Review, COST Action 717 - Use of radar observations in hydrological and NWP models, Luxembourg

[7] Treis, A.; Einfalt, T.; Weigl, E.; Keller, T.; Gattke, C.; Kaiser, M.; Schitthelm, D.; Pfister, A. (2016): Kombination hochaufgelöster Radarniederschlagsinformationen und terrestrischer Ombrometerdaten, Ergebnisse des DX-Offline Projektes der Wasserverbände NRW mit dem Deutschen Wetterdienst. *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft*, Jg.9, Nr. 4, 2016, S.233-242

[8] Strehz, A., Einfalt, T., Alderlieste, M. (2019) HydroNET-SCOUT – Ein Webportal zum Zugriff auf qualitätsgeprüfte Niederschlagsdaten. Tag der Hydrologie 28./29.3.2019, Karlsruhe

Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

[9] Jessen, M., Einfalt, T. (2020): Auswirkungen der systematischen Unterschätzung von Niederschlagsextremwerten der DX-Radardaten, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 42.20, S. 67 - 75

[10] Schmitt, T.G., Krüger, M., Pfister, A., Becker, M., Mudersbach, C., Fuchs, L., Hoppe, H., Lakes, I. (2018) Einheitliches Konzept zur Bewertung von Starkregenereignissen mittels Starkregenindex, KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, Nr. 2, 2018, pp. 82ff

[11] Mueller, M., Kaspar, M. (2013). Event-adjusted evaluation of weather and climate extremes. Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions. 1. 4481-4510. 10.5194/nhessd-1-4481-2013

[12] Schmitt, T.G. (2021) Starkregenindex SRI als Grundlage der Kategorisierung von Starkregen nach raum-zeitlicher Ereignisausprägung. GWF Wasser / Abwasser, 01/21

## **Methodische Untersuchungen für eine Neufassung der regionalisierten Starkregenstatistik KOSTRA-DWD**

U. Haberlandt<sup>1</sup>, B. Shehu<sup>1</sup>, L. Thiele<sup>1</sup>, W. Willems<sup>2</sup>, T. Deutschländer<sup>3</sup>, T. Junghänel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Leibniz Universität Hannover, Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft

<sup>2</sup> Büro für Ingenieurhydrologie, Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik (IAWG),  
Ottobrunn

<sup>3</sup> Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach am Main

haberlandt@iww.uni-hannover.de

Bemessungsniederschläge stellen die wesentliche Grundlage für die Dimensionierung von Bauwerken zum Schutz vor Hochwasser und Überflutungen in ländlichen und urbanen Räumen dar. Seit vielen Jahren werden in Deutschland auf Basis der regionalisierten Starkregenstatistik KOSTRA-DWD Bemessungsniederschläge ermittelt. Die methodische Basis von KOSTRA-DWD entspricht jedoch inzwischen nicht mehr den wissenschaftlichen Standards. Hier werden die Ergebnisse eines Forschungsprojektes vorgestellt, welches sich mit methodischen Untersuchungen zur Überarbeitung und Fortführung von KOSTRA-DWD beschäftigt hat. Speziell wird im Folgenden auf drei Probleme eingegangen a) die Analyse und Berücksichtigung von Instationaritäten, b) die Auswahl und Anpassung einer robusten lokalen Extremwertanalysemethodik und c) die Ableitung eines optimalen Regionalisierungsansatzes.

Für die finale Statistik wurden 133 Stationen mit langen Reihen (>40a) und 1261 Stationen mit kurzen Reihen (>10a) verwendet. Bei 80% der langen Reihen zeigten sich Instationaritäten vor allem bei kleinen Dauerstufen, die hauptsächlich durch positive Sprünge bei Gerätewechsel verursacht und vor der weiteren Analyse entsprechend bereinigt wurden. Für die lokale Extremwertstatistik wurde der dauerstufenübergreifende Ansatz nach Koutsoyiannis [1] mit fixiertem Shapeparameter ausgewählt. Die verbleibenden vier Parameter dieses Ansatzes werden dann separat mit External Drift Kriging auf ein 5 x 5 km Gitter für Deutschland interpoliert. Als Basis werden die Stationen mit

langen Reihen verwendet, die externe Drift wird mit den kurzen Reihen geschätzt. Die Kreuzvalidierung zeigt eine sehr gute Performanz, wobei die medialen Fehler über alle Dauerstufen und Wiederkehrintervalle für den RMSE zwischen 8% und 10%, für den Bias kleiner als 5% und für das Nash-Sucliffe Kriterium zwischen 0.95 und 0.98 liegen.

### Literatur

[1] Koutsoyiannis, D., Kozonis, D. and Manetas, A. (1998): A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology*, 206, p. 118–135

## **Benchmark-Datenbank für Starkregenereignissen in kleinen Einzugsgebieten**

Andreas Steinbrich<sup>1</sup>, Andreas Hänsler<sup>1</sup>, Hannes Leistert<sup>1</sup>, Markus Weiler<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hydrologie, Universität Freiburg, Friedrichstr. 39, 79098 Freiburg

andreas.steinbrich@hydrology.uni-freiburg.de, markus.weiler@hydrology.uni-freiburg.de

Die räumliche Ausdehnung sommerlicher Starkregenereignisse ist verbunden mit der typischen Ausdehnung der verursachenden Gewitterzellen. Dadurch werden oft nur kleine Einzugsgebiete (< 10 km<sup>2</sup>) vollständig von solchen Ereignissen betroffen. Für Einzugsgebiete dieser Skala sind jedoch nur selten kontinuierliche Abflussmessreihen vorhanden außer in wenigen Forschungseinzugsgebieten. Die Grundlagen für die verfügbaren Hochwassergefahrenkarten beruhen überwiegend auf Pegel-Messreihen mesoskaliger Einzugsgebiete mit Größen deutlich über 10 km<sup>2</sup> und somit ist deren Übertragung auf diese kleinen Gebiete problematisch, da die räumlich begrenzte Starkregen nur eine untergeordnete Rolle bei der Hochwasserentstehung in diesen Gebieten spielen.

Um die Datenlage und das Prozess-Verständnis für durch Starkregen induzierte Hochwasserereignisse in kleinen Einzugsgebieten zu verbessern wird an der Professur für Hydrologie im Auftrag der LUBW eine Benchmark-Datenbank aufgebaut. Dazu werden einerseits Mess- und Beobachtungsdaten aus kleinen Einzugsgebieten zusammengetragen und andererseits hydrologische Modelle für diese Gebiete parametrisiert. Besonderen Mehrwert erhoffen wir uns dabei in der Einbindung von kontinuierlichen Wasserstandsdaten aus den vielen Hochwasserrückhaltebecken, die uns seit 10-20 Jahren zur Verfügung stehen. Gleichzeitig werden aber auch visuelle Informationen aus Bildern und Videos, sowie aus Schadensberichten halbquantitativ einfließen.

Als Ereignis-Eingangsdaten werden 5-Minuten-Radar-Niederschlagsdaten und Niederschlags-Stationsdaten verschiedener Quellen, auch von privaten Messreihen, zusammengestellt. Es wird dabei auch nach Starkregenereignissen gesucht, die keine extreme Abflussreaktion hervorgerufen haben, um Gebiete zu identifizieren, die eher eine geringe Sensitivität für solche Ereignisse zeigen.

Die beobachteten Starkregenereignisse werden mit verschiedenen hydrologischen Modellen nachgebildet und konsistent ausgewertet. Im Zentrum steht dabei das Modell RoGeR, das durch seine Flexibilität eine Vielzahl von Prozessen und Interaktionen zwischen der Hydrologie und Hydraulik in unterschiedlicher Kombination berücksichtigen kann. Der Beitrag soll den bisherigen Umfang der Datenbank sowie Modellergebnisse aufzeigen. Außerdem sollen mögliche Betreiber von hilfreichen Messanlagen auf das Projekt aufmerksam gemacht werden um die langfristige Datenbasis für solche Ereignisse zu verbessern.

### Literatur

Landesanstalt für Umwelt  
Starkregenerisikomanagement in Baden-Württemberg

Steinbrich A, Leistert H, Weiler M (2016): Model-based quantification of runoff generation processes at high spatial and temporal resolution. *Environmental Earth Sciences* (2016) 75:1423. doi:10.1007/s12665-016-6234-9

## **Notwendigkeit und Realisierung von Erosionssimulationen auf Grundlage von Starkregenereignissen**

Rebecca Hinsberger<sup>1,2</sup>, Jochen Kubiniok<sup>2</sup>, Alpaslan Yörük<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Goebenstraße 40, 66117 Saarbrücken

<sup>2</sup> Universität des Saarlandes, Campus, 66123 Saarbrücken

rhinsberger@htwsaar.de, j.kubiniok@mx.uni-saarland.de, alpaslan.yoeruek@htwsaar.de

Im Hinblick auf den Klimawandel stehen zurzeit immer stärkere und in ihrer Häufigkeit zunehmende Starkregenereignisse im Fokus von Ministerien, Kommunen und Ingenieurbüros. Viele Kommunen lassen Starkregengefahrenkarten erarbeiten, um Gefahrenbereiche infolge von Sturzfluten lokalisieren und Wirksamkeitsanalysen von Maßnahmen durchführen zu können. Starkregenereignisse der vergangenen Jahre haben gezeigt, dass diese besonders in der vegetationsarmen Zeit auftreten und daher gering bewachsene, landwirtschaftliche Flächen eine potenzielle Erosionsgefahr durch hohe Niederschlagsintensitäten darstellen. Neben den Schäden durch das Medium Wasser, treten dann sowohl On- als auch Off-Site-Schäden durch Bodenmaterial auf.

Das Ausmaß der Erosionsproblematik ist anhand aktueller Ereignisse nur schwer abzuschätzen. Um die Relevanz der Bodenerosion zu untersuchen, wurden historische Ereignisse im Saarland zusammengestellt. Dazu wurden Interviews mit saarländischen Gemeinden geführt, die herausstellen ob und falls ja, wo erosionsgefährdete Bereiche vorliegen. Die daraus resultierende Flächenkartierung des Saarlandes weist rund 100 Flächen verschiedener Größe auf, die den Kommunen bezüglich Erosionsgefahr bekannt sind. Dabei überlagern sich die genannten Flächen auch häufig mit CC<sub>w</sub>-Flächen, die auf Grundlage der ABAG als „potenziell gefährdete Flächen“ erstellt wurden [1]. Bei der Flächenauswahl beschränkt sich die Kenntnis der Kommunen allerdings vermehrt auf siedlungsnahen und / oder kanalisierte Bereiche. Erosionsereignisse außenliegender Flächen werden zumeist nicht registriert. Durch diese Flächen werden allerdings unter anderem Nährstoffe in Fließgewässer eingetragen und wertvolle Bodenmassen können auf den landwirtschaftlichen Flächen nicht mehr genutzt werden. Kommunen können die räumliche Dimension der Erosionsproblematik nicht vollständig erfassen, wodurch Problembereiche unterschätzt werden. Eine genauere Untersuchung der Thematik kann dazu beitragen die lokale Erosionsgefahr besser abschätzen zu können.

Im Gegensatz zu bestehenden Sturzflutsimulationsmodellen, kann der Erosions- und Sedimentationsanteil durch einzelne Starkregenereignisse hinsichtlich Quantität und Lokalisierung bisher nur schwer abgeschätzt werden. Eine Kopplung eines Bodenerosionsansatzes mit einer 2D-hydrodynamisch numerischen Sturzflutsimulation soll dem Schutz von Infrastruktur und Ökosystemen durch Off-Site-Schäden und der Verminderung von On-site-Schäden dienen. Zur Grundlagenermittlung von Erosions- und Sedimentationsmengen infolge von Starkregenereignissen werden reale Ereignisse dokumentiert. Um aktuelle Starkregenereignisse zu lokalisieren, werden RY-RADOLAN-Daten des DWD (Auflösung 5 min, 1 km<sup>2</sup>) in einem Hochwasservorhersagesystem (FEWS) [2] dargestellt. Damit können regional begrenzte Orte mit hohen Niederschlagsintensitäten 10 Minuten nach dem Ereignis erkannt werden. Zeitnah werden die betroffenen Gebiete auf Bodenerosionsereignisse überprüft. Wenn es zu einem relevanten Ereignis kommt, werden Erosions- und Auflandungsmengen mit Vor-Ort-Messungen kartiert und zusätzlich mit einer Drohne aufgenommen. Eine Beprobung des Bodens zur Analyse der aktuellen Lagerungsdichte und des Wassergehalts erfolgt ebenfalls. Andere Eigenschaften der betroffenen landwirtschaftlichen Flächen, wie beispielsweise die Bodenart, kann nachträglich ermittelt werden. Diese Datengrundlage soll im nächsten Schritt zur Ableitung, Plausibilisierung und Kalibrierung von Modellansätzen zur Simulation von Bodenerosion bei Starkregen verwendet werden.

#### Literatur

[1] Landesamt für Vermessung, Geoinformation und Landentwicklung (LVGL): Geoportal Saarland, CCW Erosionsgefährdungsklasse  
[https://geoportal.saarland.de/mapbender/php/mod\\_showMetadata.php?languageCode=de&resource=layer&layout=tabs&id=31251](https://geoportal.saarland.de/mapbender/php/mod_showMetadata.php?languageCode=de&resource=layer&layout=tabs&id=31251)

[2] Deltares: Delft-FEWS, Version 2019.02, Delft, Niederlande

## **Oberflächenabflussbildung bei konvektiven Extremen –die Stunde physikalisch basierter Modelle?**

Franziska Villinger<sup>1</sup>, Erwin Zehe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Starkregen und Sturzfluten gehören in Mitteleuropa zu den bedrohlichsten Naturgefahren. In Süddeutschland kam es in den letzten Jahren vermehrt zu kleinräumigen Sturzfluten mit teilweise verheerenden Schäden, eine Vielzahl dieser Ereignisse kumulierten im Starkregensommer 2016. Starkregen verursachen durch ihre extremen Intensitäten oft eine heftige Abflussreaktion durch Infiltrationsüberschuss, der auf der Geländeoberfläche hangabwärts über einen teilgesättigten Boden dem Gewässer zuströmt, optional wiederversickert oder zu enormem Hochwasser führt. Starkregen mobilisieren ferner häufig Bodenfeinmaterial, welches die Abflussbildung durch Verschlammung des Oberbodens verstärkt und durch Transport und Sedimentation in Hochwasserrückhaltebecken (HRB) deren Schutzwirkung erheblich mindert. Das Räumen von Gräben und HRB sowie die Entsorgung der in überfluteten Gemeinden abgelagerten Schlammfrachten verursachen dabei enorme Kosten. Allein der durch die Starkregenserie im Sommer 2016 deutschlandweit hervorgerufene Versicherungsschaden beträgt ca. 2,6 Mrd. €.

Die gegenwärtige Hochwasserbemessungspraxis beruht auf den KOSTRA-Niederschlagssummen des Deutschen Wetterdienstes und Simulationen einzelner Hochwasserereignisse mit vereinfachten, ereignisbasierten Niederschlag-Abfluss-Modellen. Dieses Vorgehen birgt enorme Unsicherheiten bei der Auswahl einer Niederschlagsintensitätsverteilung, der Schätzung des Abflussbeiwerts als auch aufgrund der vereinfachten, entkoppelten Simulation von Abflussbildung und Abflusskonzentration. Physikalische basierte hydrologische Modelle ermöglichen hingegen eine zeitkontinuierliche, gekoppelte Simulation von Starkregenhydrologie und –Hydraulik. Dies ist zentral, um Oberflächenabflussbildung durch Infiltrationsüberschuss und dessen optionale Wiederversickerung während des Abströmens entlang der Hänge ins Gewässer zu erfassen.

Anhand von Simulationsbeispielen von Sturzfluten im Kraichgau werden die angesprochenen Unsicherheiten der gängigen Bemessungspraxis beleuchtet. Ferner wird der Einfluss der Landnutzung untersucht und gezeigt, dass durch Änderungen der Rauheit und der Infiltrationskapazität das Abflussgeschehen im Falle von Infiltrationsüberschuss nicht nur verzögert, sondern auch sehr stark gedämpft werden kann. Die daraus erwachsenden Möglichkeiten für einen integrierten Hochwasserschutz durch Kombination von dezentralen Landnutzungsmaßnahmen und Hochwasserrückhaltebecken, werden auf Basis von Simulationen historischer Beckeneinstauereignisse diskutiert.

## **Limitierungen in der prozess-getreuen Abbildung und Vorhersage des Erft Hochwassers (Juli 2021) im NA-Modell am Beispiel des Pegels Arloff**

Daniel Bittner<sup>1,2</sup>, Tilo Keller<sup>1</sup>, Helge Bangel<sup>1</sup>, Christian Gattke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Erftverband, Abteilung Flussgebietsbewirtschaftung, Am Erftverband 6, 50126 Bergheim

<sup>2</sup> Technische Universität Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft, Bergstr. 66, 01069 Dresden

daniel.bittner@erftverband.de, tilo.keller@erftverband.de, helge.bangel@erftverband.de,  
christian.gattke@erftverband.de

Das Hochwasserereignis vom 14. und 15. Juli 2021 hat im Erfteinzugsgebiet zu enormen Schäden geführt. Flächenhaft sind im südlichen Einzugsgebiet in einem Zeitraum von ca. 12 Stunden Niederschlagsmengen in der Größenordnung von 120 mm bis 180 mm aufgetreten. Auf Grund der hohen Vorfeuchte, bedingt durch andauernde Niederschläge verteilt über die gesamte Vorwoche, kam es zu schnell steigenden Pegelständen ohne signifikanten natürlichen Gebietsrückhalt. Im südlichen Erfteinzugsgebiet, welches auf Grund seiner Mittelgebirgseigenschaften teilweise hohe Reliefenergien aufweist, kam es durch die hohe Vorsättigung der Böden zur frühzeitigen Bildung von Oberflächenabfluss mit hohen Fließgeschwindigkeiten. Hinzu kommt der Abfluss aus den aktivierten Karstgrundwasserleitern des südlichen Einzugsgebiets, welcher zwar nur einen geringen Anteil am Spitzenabfluss ausmacht, aber insbesondere zu Beginn der ansteigenden Welle einen erheblichen Beitrag zur Geschwindigkeit der Abflussbildung beitragen kann.

Bedingt sowohl durch die Heterogenität der natürlichen Einzugsgebietscharakteristika, als auch durch den Einfluss technischer Infrastrukturen (z.B. gesteuerte Hochwasserrückhaltebecken), ist die prozess-getreue Vorhersage des Niederschlags-Abfluss Geschehens mit hohen konzeptionellen Unsicherheiten behaftet. Für die Abflussvorhersage kommen die Unsicherheiten in den Prognosen der Höhe und der zeitlichen und räumlichen Verteilung des Niederschlags hinzu. Im konkreten Fall des Juli-Hochwassers haben die seitens des DWD gelieferten Modellprognosen zwar frühzeitig auf außergewöhnlich hohe Niederschlagsmengen hingewiesen, jedoch variierten die vorhergesagten

Mengen und deren räumliche Verteilung stark zwischen den einzelnen Vorhersagen. Bei der Modellanalyse während und im Nachgang des Hochwassers vom Juli 2021 wurden diverse Limitierungen in der prozess-getreuen Abbildung des Niederschlags-Abflussgeschehens in NASIM [1] festgestellt, welche hier konkret herausgearbeitet werden sollen. Dabei wird zwischen Unsicherheiten in den vorliegenden Daten und den Modellunsicherheiten unterschieden.

Datenunsicherheiten beziehen sich sowohl auf die gelieferten Modellprognosen des Niederschlags, als auch auf die gemessenen Pegelwerte und fehlende Daten, welche nötig sind, um die Abflussbildung und -konzentration flächendifferenziert zu verstehen. Insbesondere fehlende Informationen über Abflussmengen unbeobachteter Teilgebiete und die zeitliche und räumliche Verteilung der Oberflächen- und/oder Gerinneabflussmengen lassen keine Validierung der im NA-Modell simulierten Prozesse zu.

## Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Modellunsicherheiten sind sowohl konzeptioneller als auch parametrischer Natur. Für das Erfthochwasser im Juli 2021 wurden speziell konzeptionelle Limitierungen in der Aufteilung der Abflussprozesse festgestellt. Mit den gemessenen Niederschlagsmengen konnte der Beginn der ansteigenden Welle an den meisten Pegeln zwar gut im Modell abgebildet werden, jedoch wurden sowohl die Geschwindigkeit des Scheitelanstiegs (Differenzial), als auch die gemessenen Abflüsse vielerorts unterschätzt. Auch der Vergleich zwischen verschiedenen Modellparametrisierungen deutet darauf hin, dass es sich bei den Unsicherheiten in der Abbildung der abgelaufenen Prozesse primär um konzeptionelle Modellunsicherheiten handelt.

### Literatur

[1] Hydrotec (2017): NASIM Benutzerdokumentation

## **Das Erftthochwasser vom 14./15. Juli 2021 – Analysen und Einordnungen**

Tilo Keller<sup>1</sup>, Helge Bangel<sup>1</sup>, Alpaslan Yörük<sup>2</sup>, Rainer Räder<sup>2</sup>, Christian Gattke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Erftverband, Abteilung Flussgebietsbewirtschaftung, Am Erftverband 6, 50126 Bergheim

<sup>2</sup> Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Bachstraße 62-64, 52066 Aachen

tilo.keller@erftverband.de, helge.bangel@erftverband.de, yoeruek@hydrotec.de,  
rainer.raeder@hydrotec.de, christian.gattke@erftverband.de

Während Niederschlagsverlauf, -verteilung und -mengen des Katastrophenereignisses 14. und 15. Juli 2021 im Erfteinzugsgebiet aufgrund eines dichten Niederschlagsmessnetzes und der Verfügbarkeit von Radardaten gut nachvollzogen werden können, bestehen erhebliche Unsicherheiten bei der Rekonstruktion der tatsächlich abgeflossenen Wassermengen. Grund dafür sind zum einen die unmittelbaren Zerstörungen von Pegelanlagen. Zum anderen lagen die Aufzeichnungen der übrigen Pegelanlagen vielfach deutlich über den bislang für ein Extremereignis (HQExtrem) angenommenen Wasserständen. Diese sind aufgrund von veränderten Fließwegen (Umläufigkeiten) und erheblichen Änderungen der Fließquerschnitte durch Erosions- und Sedimentationsprozessen überwiegend schwierig zu interpretieren und in Abflüsse zu übertragen.

Thema des Beitrags ist eine deskriptive Zusammenfassung der Hochwasserereignisses vom Juli 2021 an der Erft. Zunächst soll eine Darstellung und Einordnung der Niederschlagsverhältnisse erfolgen und ein Vergleich mit Niederschlagsvorhersagen gezogen werden. Anschließend wird auf Methoden zur Rekonstruktion des Abflussgeschehens eingegangen. Dazu zählen neben der Auswertung der verbliebenen Wasserstandsganglinien die Analyse der Änderungen des Volumens von Hochwasserrückhaltebecken, Bilanzbetrachtungen und die Analysen von Abflussspenden. Weitere Möglichkeiten bieten Niederschlags-Abfluss-Simulationen sowie die Vermessung von Hochwassermarken und deren Verwendung im Zusammenhang mit zweidimensionalen hydrodynamisch-numerischen Modellierungen.

## **Wahrscheinlichkeitsanalyse von kombinierten Extremereignissen am Beispiel von Starkregen und Hochwasser**

Felix Simon<sup>1</sup>, Christoph Mudersbach<sup>1</sup>

Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserbau und Hydromechanik,  
Am Hochschulcampus 1, 44801 Bochum

felix.simon@hs-bochum.de, christoph.mudersbach@hs-bochum.de

Die Extremereignisse Starkregen und Hochwasser stellen bereits als Einzelereignisse ein hohes Risiko für Mensch und Umwelt dar, was in den letzten Jahren und besonders in diesem Jahr durch diverse Ereignisse festgestellt werden musste. Treten diese Ereignisse zeitgleich auf, sogenannte kombinierte Extremereignisse (*engl. compound events*), können sich die potenziellen Schäden überlagern und es ist von einem höheren Risiko auszugehen. Bedingt durch den anthropogen verursachten Klimawandel soll die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von kombinierten Extremereignissen zunehmen (Bevacqua et al., [1]). Im Rahmen des BMBF-Forschungsvorhabens ClimXtreme-ProComE werden Analysen für diverse kombinierte Extremereignisse durchgeführt, wobei der Fokus auf der Kombination Starkregen und Flusshochwasser liegt. Am Beispiel dieser Kombination werden Analysen zur Ermittlung von Auftretenswahrscheinlichkeiten kombinierter Extremereignisse vorgestellt.

Für diese Untersuchungen wurden für über 200 Pegel in Deutschland Abflussdaten über das Global Runoff Data Center bezogen und ausgewertet. Anhand der Pegelstandorte wurde der dazugehörige Niederschlag aus regionalisierten Niederschlagshöhen (REGNIE) des Deutschen Wetterdienstes ermittelt. Zunächst wurde für beide Datensätze (Niederschlags- und Abflusszeitreihen) eine univariate Extremwertstatistik auf Basis von jährlichen Maximalwerten (AMAX) durchgeführt. Enthaltene lineare Trends in den Zeitreihen wurden ermittelt und bei entsprechender Signifikanz korrigiert. Anschließend wurden die Randverteilungen der Einzelparameter bestimmt und das Zusammenhangsmaß zwischen Starkregen und Flusshochwasser mittels der Korrelation nach Kendall

ermittelt. Ergänzend dazu wurden weitere Analysen durchgeführt, um Aussagen zum Einfluss der Einzugsgebietsgröße auf die Korrelation der kombinierten Ereignisse treffen zu können. Es stellt sich heraus, dass insbesondere in kleinen bis sehr kleinen Einzugsgebieten ein hoher Zusammenhang zwischen einem Starkregenereignis und dem daraus resultierenden Abfluss im Gewässer vorherrscht. Abschließend wurden die Auftretenswahrscheinlichkeiten der kombinierten Extremereignisse (multivariate Extremwertstatistik) mit Hilfe von Copula-Funktionen ermittelt.

### Literatur

[1] Bevacqua, E., et al. (2019): Higher probability of compound flooding from precipitation and storm surge in Europe under anthropogenic climate change [online]. Science advances, 5(9). Verfügbar unter: doi:10.1126/sciadv.aaw5531

## **Zur Entwicklung und Innovation datenbasiert 2D- Überflutungsvorhersagesysteme**

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

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Hydromechanik und Wasserbau, Forschungsinstitut Wasser und Umwelt, Universität Siegen, Paul-Bonatz-Straße 9-11, 57076 Siegen, Deutschland

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement, Technische Universität München, Arcisstrasse 21, 80333 München, Deutschland

Felix.Schmid@uni-siegen.de, Jorge.Leandro@uni-siegen.de, markus.disse@tum.de

Die extremen Hochwasserereignisse aus dem Jahr 2021 in Deutschland mit mehreren Todesopfern und Schäden in Milliardenhöhe haben erneut das immense Gefahrenpotenzial solcher Ereignisse gezeigt und die Notwendigkeit von effizienten 2D-Vorhersagesystemen verdeutlicht. Für den Schutz der Bevölkerung ist neben der Vorhersage der Niederschlags- und Abflussmenge eine detaillierte räumliche Überflutungsvorhersage in Form von Wasserstandskarten für die zu erwartenden Menge notwendig. Diese Informationen ermöglichen es, Rettungswege und -strategien verkehrstechnisch anzupassen, zu optimieren sowie Evakuierungen gezielt durchzuführen.

Für effiziente Überflutungsvorhersagen sind gerade in großen städtischen Gebieten physikalisch basierte Simulationen mit hoher räumlicher Auflösung jedoch aufgrund ihrer Rechenkomplexität für Echtzeitvorhersagen nicht geeignet. Datengetriebene Modelle wie künstliche neuronale Netze stellen hierzu eine Alternative dar, jedoch unterliegen diese Modelle häufig einem langen Training- und Validierungsprozess.

Um diesen Problematiken zu begegnen und den Vorhersage- sowie Trainingsprozess zu beschleunigen, wurde in dieser Studie der Vorhersageprozess als Bild-zu-Bild-Übersetzungsproblem betrachtet. Dieser innovative Ansatz basiert dabei auf einem faltenden neuronalen Netzwerk („Convolutional neural network – CNN“), welches eine Abflussganglinie als Eingabe aufnimmt und

daraus den resultierenden maximalen Wasserstand für jede Zelle des Gebietsrasters generiert. Um die strukturelle Modellierung dieses Ansatzes genauer zu untersuchen, wurden verschiedene Modellarchitekturen aufgestellt und diese auf Genauigkeit, Anwendbarkeit und Berechnungszeiten untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass dieser innovative Ansatz Berechnungs- und Trainingszeiten um über 90% im Vergleich zu einem künstlichen neuronalen Netz beschleunigt sowie Genauigkeiten mit Abweichungen von lediglich 5cm liefert.

Sehr geehrte Damen und Herren, ich hatte am 30.12.2021 schonmal einen Abstract zum selben Thema eingereicht. Dieser ist nicht mehr gültig, der vorliegende (Upload am: 06.01.22) ist der aktuelle.

## **Starkniederschlag und Hochwasser im Berchtesgadener Land im Juli 2021 – Zeichen des Klimawandels?**

Benjamin Poschlod<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sachgebiet Forschung und Monitoring, Nationalpark Berchtesgaden, 83471 Berchtesgaden,

Benjamin.Poschlod@npv-bgd.bayern.de

Am 17. Juli 2021 induzierte das Tief „Bernd“, das bereits in den Vortagen in Westdeutschland und Belgien zu heftigen Niederschlägen und Überflutungen geführt hatte, Starkniederschlag im Berchtesgadener Land. Aufgrund der komplexen Topographie lösten die Niederschlagsmengen Sturzfluten, Hangrutsche und Muren aus, wobei die Ortschaften überschwemmt wurden. Drei der vier Flüsse in der Region verzeichneten historische Höchststände (Messungen seit 1971). Am Watzmannstock nahe der Mitterkaseralm wurde eine Niederschlagsintensität von 98 mm/3h gemessen.

Diese Studie behandelt im Rahmen der Attributionsforschung die Fragestellung, ob der Klimawandel die Auftrittswahrscheinlichkeit eines solchen Extremereignisses im Berchtesgadener Land bereits erhöht hat und welche zukünftigen Änderungen projiziert werden. Dazu wird das Event auf Basis eines dichten Klimastationsmessnetzes und der Flusspegeldaten analysiert und definiert. Das *single-model initial condition large ensemble* (SMILE) des regionalen Klimamodells CRCM5 besteht aus 50 transienten Simulationen unter dem Emissionsszenario RCP 8.5 für den Zeitraum 1950-2099 ([1]). Die breite Datenbasis des Ensembles und die Eignung des CRCM5 zur Reproduktion von Starkniederschlägen ([2]) ermöglichen eine Attributierung des Ereignisses auf Einzugsgebietsebene für die Zeiträume 1970-1999 („rezente Vergangenheit“), 2006-2035 („aktuelles Klima, zentriert um 2021), 2040-2069 und 2070-2099 („nahe und ferne Zukunft“).

Die Analyse offenbart bereits eine Verdreifachung der Eintrittswahrscheinlichkeit im aktuellen Klima, verglichen mit 1970-1999. Dies ist insbesondere bedeutsam, da die bestehende Infrastruktur, aber auch die Planungen zukünftiger Infrastruktur oftmals auf Daten oder Erfahrungswerten aus der rezenten Vergangenheit beruhen. Für die nahe und ferne Zukunft werden um den Faktor 9 bzw. 15 erhöhte Wahrscheinlichkeiten projiziert. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die aktuelle Dimensionierung des Schutzes vor Hochwasser und Naturgefahren an zukünftige Klimabedingungen adaptiert werden muss.

### Literatur

[1] Leduc M, Mailhot A, Frigon A, Martel J-L, Ludwig R, Brietzke GB, Giguère M, Brissette F, Turcotte R, Braun M, and 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*, 663-693. doi: 10.1175/JAMC-D-18-0021.1

[2] Poschlod B, Sillmann J, and Ludwig R (2021) Ten-year return levels of sub-daily extreme precipitation over Europe. *Earth System Science Data*, 13, 983-1003. doi:10.5194/essd-2020-145

## **Multivariate statistische Bestimmung von Hochwasserszenarien in großen Flusseinzugsgebieten unter Berücksichtigung von Nebenflusseinflüssen und Hochwassertypen**

Svenja Fischer<sup>1</sup>, Andreas H. Schumann<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

Svenja.fischer@rub.de, Andreas.schumann@rub.de

In vielen Hochwasserwahrscheinlichkeitsanalysen ist die Annahme einer homogenen Stichprobe Grundvoraussetzung. Dennoch können Hochwasserereignisse durch sehr heterogene meteorologische und einzugsgebietspezifische Bedingungen ausgelöst werden. In großen Einzugsgebieten wird die Vielfalt der Hochwasserentstehung durch die räumliche und zeitliche Variabilität der meteorologischen Belastungen und hydrologischen Prozesse innerhalb des Einzugsgebietes und die daraus resultierende ereignisspezifische Überlagerung von Haupt- und Nebenflusshochwassern noch vergrößert. Jede Berücksichtigung zusätzlicher Attribute erhöht die Komplexität der statistischen Charakterisierung von Hochwasserereignissen und -szenarien. Die Berücksichtigung solcher Unterschiede ist jedoch unabdingbar, wenn die Wirksamkeit von Hochwasserschutzmaßnahmen im räumlichen Kontext beurteilt werden soll. Dies geschieht meist durch Hochwasserszenarien, die in der Regel aus einzelnen historischen Hochwassern und deterministischen, modellbasierten Simulationen abgeleitet werden. Wir haben stattdessen eine auf Ganglinien basierende Klassifizierung von Hochwassertypen und volumenbasierte Abflussanalysen durchgeführt, um die Beiträge von Teileinzugsgebieten zu Hochwassern in großen Einzugsgebieten abzuschätzen. Auf der Grundlage dieser Informationen haben wir große synthetische Stichproben von Scheitel-Volumen-Paaren erstellt, um ein multivariates statistisches Hochwasserwahrscheinlichkeitsmodell anzuwenden, das eine typspezifische bedingte Wahrscheinlichkeit eines Hochwasserscheitels in Abhängigkeit von den Scheiteln an Nebenflusspegeln liefert. Die Ergebnisse zeigen, dass nur bestimmte Kombinationen von Hochwassertypen zu extremen Scheiteln flussabwärts von Einmündungen führen können. Sie

verdeutlichen auch die Notwendigkeit, die Abflussbildung für größere Hochwasser von der von kleineren, häufigeren Ereignissen zu unterscheiden. Abschließend wurden Bemessungshochwasser für verschiedene Szenarien von Hochwassertypkombinationen und deren Wahrscheinlichkeiten abgeleitet; ein Ansatz, der zur Bewertung möglicher Klimaauswirkungen auf die Hochwasserhäufigkeit verwendet werden kann. Fallstudien in mehreren großen Flusseinzugsgebieten in Deutschland zeigen, wie wichtig die Unterscheidung zwischen Hochwassertypen und Hochwasserszenarien ist, insbesondere für extreme Hochwasserereignisse.

## **Entscheidungsunterstützung im Hochwassermanagement mit hydro-meteorologischen Ensemblevorhersagen**

Jens Grundmann<sup>1</sup>, Andy Philipp<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Landeshochwasserzentrum Sachsen

jens.grundmann@tu-dresden.de, Andy.Philipp@smekul.sachsen.de

Verlässliche Warnungen und Vorhersagen von Extremniederschlägen und daraus resultierenden Hochwasser sind eine wichtige Voraussetzung für den Katastrophenschutz, um Schutzmaßnahmen einzuleiten. Daher sind Einsatzleitungen des Katastrophenschutzes an langen Vorwarnzeiten interessiert, die durch Vorhersagen numerischer Wettermodelle als Antriebsdaten für hydrologische Modelle erreicht werden können. Um die inhärente Unsicherheit der Vorhersage von Wettermodellen abzubilden, können hydro-meteorologische Ensemblevorhersagen verwendet werden. Diese bieten Katastrophenmanagern die Möglichkeit einer wahrheitsbasierten Entscheidungsfindung, ob und wann geeignete Maßnahmen der Hochwasserabwehr einzuleiten sind. Insbesondere bei sich ändernden Wettersystemen unter instabilen atmosphärischen Bedingungen, sowie bei kleinen, schnell reagierenden Einzugsgebieten, können die Signale für extreme Niederschläge in aufeinanderfolgenden Vorhersagen stark bezüglich Intensität, Magnitude und Varianz des Ensembles variieren.

In diesem Beitrag analysieren wir das Verhalten und die Zuverlässigkeit von hydro-meteorologischen Ensemble-Vorhersagen in Abhängigkeit von ihrer Vorwarnzeit, um geeignete Indikatoren für die Entscheidungsfindung abzuleiten. Wir verwenden die Ergebnisse unseres operationellen webbasierten Demonstrators für hydrologische Ensemblevorhersagen in kleinen Einzugsgebieten, der für drei Pilotregionen mit unterschiedlichen hydrologischen Charakteristika in Sachsen, Deutschland, eingerichtet wurde (<http://howa-innovativ.hydro.tu-dresden.de/WebDemoLive/>). Basierend auf dem Vorhersagesystem ICON/COSMO-D2-EPS des Deutschen Wetterdienstes,

prozessieren wir mit einem Niederschlags-Abfluss-Modell ein hydrologisches Vorhersageensemble, das aus 20 Mitgliedern besteht und Vorwarnzeiten bis zu 27 Stunden ermöglicht. In einem anschließenden Postprocessing wird das Ensemble für eine webbasierte Präsentation aufbereitet. Zusätzlich wurden verschiedene Visualisierungen der Unsicherheitsinformationen entwickelt, um das Verhalten und die Zuverlässigkeit des Vorhersageensembles über aufeinanderfolgende Vorhersagezeitpunkte zu überwachen. Diese Optionen enthalten Überschreitungswahrscheinlichkeiten für kritische Schwellenwerte des Niederschlags und resultierendem Abfluss und wurden mit Entscheidungsträgern hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für die Entscheidungsfindung diskutiert. Erste Ergebnisse hierzu werden anhand von Hochwasserereignissen in 2018 und 2021 in den Pilotregionen vorgestellt.

## **Szenariobasierte Binnenhochwassergefahren- und -risikokarten im nordwestdeutschen Küstenraum**

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

<sup>1</sup>Jade Hochschule

<sup>2</sup>Universität Oldenburg

helge.bormann@jade-hs.de

Die tiefliegenden Flächen entlang der Nordseeküste sind vor dem Hintergrund des projizierten Klimawandels neben Sturmfluten auch durch intensiver werdende Niederschlagsabflüsse aus dem Deichhinterland bedroht. Diese Risiken stellen die Binnenentwässerung der Marschgebiete vor große Herausforderungen. Projektionen zeigen, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit extremer Ereignisse, die zu Binnenhochwässern führen, künftig aller Voraussicht nach erheblich steigen wird [1]. Die nach EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie entwickelten Karten für den Küstenraum basieren bislang allerdings allein auf der Betrachtung von Sturmflutgefahren und -risiken, wohingegen die Gefahren und Risiken möglicher Binnenhochwasserereignisse in den Küstenniederungen nicht berücksichtigt werden [2].

Vor dem Hintergrund auch in 2021 wieder gehäuft aufgetretener Starkregen- und Binnenhochwasserereignisse entlang der Nordseeküste wurde im Rahmen des vom BMU im DAS-Programm geförderten KLEVER-Risk Projekts (*Klimaanpassung und Extremwettervorsorge - Verbandsübergreifendes Management von Binnenhochwasserrisiken im westlichen Ostfriesland*) eine Methodik entwickelt, um die Gefahren- und Risikokarten nach EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie um den Aspekt des Binnenhochwassers in Küstengebieten zu erweitern. Ziel ist, den klimawandelbedingten Anpassungserfordernissen für ein wirkungsvolles Binnenhochwasserrisikomanagement in Küstenniederungsgebieten Rechnung zu tragen, indem zukünftige Binnenhochwasserrisiken quantifiziert und räumlich eingegrenzt werden.

In enger Abstimmung mit den regionalen Kooperationspartnern aus der wasserwirtschaftlichen Praxis wurden in einem ersten Schritt Risikofaktoren definiert (z.B. Starkregen, Sturmfluten, technisches Versagen von Siel- und Schöpfwerken), die in die Quantifizierung einbezogen wurden. Basierend auf diesen Risikofaktoren wurden abgestufte, extreme Binnenhochwasser-Szenarien für das Projektgebiet in Ostfriesland definiert. Diese Szenarien dienten als Grundlage für Risikoabschätzungen und die Entwicklung von Maßnahmen zum Risikomanagement. Die räumliche Konkretisierung der Gefahrengebiete der definierten Binnenhochwasserszenarien erfolgte auf Grundlage der Quantifizierung der zu bewältigenden Wassermengen unter Berücksichtigung von Retentionspotenzialen und Geländebeschaffenheit im Projektgebiet. Durch Verschneidung der Binnenhochwassergefahrenkarten mit Informationen über Schutzgüter gemäß EU-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie können zudem entsprechende Binnenhochwasserrisikokarten generiert werden.

Dieser Beitrag weist auf die Lücke in der Umsetzung der EU-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie in Küstengebieten hin, erläutert die vorgeschlagene Vorgehensweise und zeigt beispielhafte Gefahrenkarten.

Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Literatur

[1] Bormann, H., Keschull, J., Ahlhorn, F., Spiekermann, J., Schaal, P. (2018): Modellbasierte Szenarioanalyse zur Anpassung des Entwässerungsmanagements im nordwestdeutschen Küstenraum. Wasser und Abfall 20(7/8), 60-66

[2] European Commission (2007) Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks

## **Einfluss von Klimaveränderungen auf Niederschlagsextrema und die damit verbundenen Infektionsrisiken beim Baden stromab von Mischwasserentlastungen**

Müller-Thomy, H.<sup>CO, 1, 2</sup>, Kılıç, H. S.<sup>CO, 2, †</sup>, Cervero-Arago, S.<sup>3, †</sup>, Linke, R.<sup>4, †</sup>, Lindner G.<sup>2, †</sup>, Walochnik J.<sup>5</sup>, Sommer, R.<sup>3, †</sup>, Komma, J.<sup>2</sup>, Farnleitner, A. H.<sup>4, 6, †</sup>, Blaschke, A. P.<sup>2, †</sup>, Derx, J.<sup>2, †</sup>

<sup>CO</sup> Beide Autoren haben zu gleichen Teilen beigetragen

<sup>1</sup> Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abt. Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

<sup>2</sup> Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien, Wien, Österreich

<sup>3</sup> Institut für Hygiene and Angewandte Immunologie, Medizinische Universität Wien, Wien, Österreich

<sup>4</sup> Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, Technische Universität Wien, Wien, Österreich

<sup>5</sup> Institut für Spezifische Prophylaxe und Tropenmedizin, Medizinische Universität Wien, Wien, Österreich

<sup>6</sup> Department für Pharmakologie, Physiologie und Mikrobiologie, Fachbereich Wasserqualität und Gesundheit, Karl Landsteiner Privatuniversität für Gesundheitswissenschaften, Krems/Donau, Österreich

<sup>†</sup> Interuniversitäres Kooperationszentrum Wasser und Gesundheit ([www.waterandhealth.at](http://www.waterandhealth.at))

Die klimabedingte Zunahme von Niederschlagsextrema führt zu häufigeren Mischwasserentlastungen der Kanalisation in die stadtnahen Fließgewässer, welche sehr häufig zur Naherholung genutzt werden. In dieser Studie werden gleichzeitig die Veränderungen der Niederschlagsextrema, der Entlastungshäufigkeit und -menge sowie die daraus resultierende fäkal-mikrobielle Belastung der Fließgewässer und basierend darauf die Infektionsrisiken beim Baden betrachtet.

Die Studie besteht aus vier Schritten. Zunächst wird mit einem Disaggregationsmodell die zeitliche Auflösung der 22 verwendeten Klimaszenarien erhöht um die Dynamik der urbanhydrologischen Prozesse hinreichend genau abbilden zu können. Anschließend werden kontinuierliche Simulationen mittels eines urbanhydrologischen Modells (SWMM) für den C20-Zeitraum (1971-2000), die nahe (2021-2050) und die ferne Zukunft (2071-2100) durchgeführt. Die mikrobielle Belastung der Mischwasserentlastung mit den Fäkalindikatoren *E. coli*, *C. perfringens*, einem human-assoziierten genetischen Fäkalmarker HF183/BacR287 und den Krankheitserregern *Cryptosporidium* und *Giardia* spp. resultiert aus den Konzentrationen im Trockenwetterabfluss des Entwässerungssystems. Um die Verdünnung im Fließgewässer zu ermitteln, erfolgt im dritten Schritt die Niederschlags-Abfluss-Modellierung für das Einzugsgebiet bis zum Entlastungspunkt. Im letzten Schritt erfolgt eine quantitative mikrobielle Risikoabschätzung (QMRA) um die potenziellen Infektionsrisiken beim Baden für Naherholende durch Verschlucken von Wasser zu quantifizieren.

## Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Als Untersuchungsgebiet dient eine fiktive Stadtentwässerung, welche an die örtlichen Gegebenheiten eines Teilbereichs der Stadt Wien und eines Vorfluters angepasst wurde. Für die Niederschlagsextrema werden über die betrachteten 22 Klimaszenarien und 5 Stationen im Mittel Anstiege der Niederschlagsmengen von 13 % für die nahe Zukunft und von 19 % für die ferne Zukunft ermittelt (Dauerstufen 5 min bis 24 h, Wiederkehrintervalle 0.33 a bis 10 a).

Der Anstieg der Niederschlagsextrema führt sowohl für die nahe als auch die ferne Zukunft zu einer höheren Anzahl an Entlastungen. Der Abfluss im Vorfluter ist aufgrund der Konzentrationszeit des Einzugsgebiets zum Zeitpunkt der Einleitung oftmals noch unbeeinflusst vom Regenereignis, wodurch sich kein direkter Zusammenhang zwischen Abfluss und Überlauf ergibt. Eine realistische Betrachtung der mikrobiellen Belastung ist erstmals durch die in dieser Studie simultan-kontinuierliche Simulation von Hydrologie und Urbanhydrologie möglich.

Die resultierenden Konzentrationen von *E. coli*, *C. perfringens*, HF183/BacR287, *Giardia* und *Cryptosporidium* spp. im Vorfluter sowie die potenziellen Infektionsrisiken werden saisonal und auf jährlicher Basis getrennt analysiert. Für beide Krankheitserreger ergeben sich für die ferne Zukunft ansteigende Infektionsrisiken in allen Saisonen, wobei der Zuwachs in den Wintermonaten (Dezember-Februar) geringer ist als im restlichen Jahr. Das höchste Infektionsrisiko wird für den Herbst festgestellt (September-November).

## **Abflusskomponenten aus Regen-, Schnee-, und Gletscherschmelze im Rhein in der Zukunft: Auswirkungen auf Niedrigwasser**

Kerstin Stahl<sup>1</sup> Markus Weiler<sup>1</sup> Marit van Tiel<sup>1</sup> Irene Kohn<sup>1</sup> Andreas Hänsler<sup>1</sup> Daphné Freudiger<sup>1,2</sup> Jan Seibert<sup>2</sup> Greta Moretti<sup>3</sup> Kai Gerlinger<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Universität Freiburg

<sup>2</sup> Geographisches Institut, Universität Zürich

<sup>3</sup> HYDRON GmbH, Karlsruhe

kerstin.stahl@hydrology.uni-freiburg.de

Der Abfluss des Rheins und seiner Nebenflüsse besteht aus Regen-, Schnee- und Gletscherschmelzkomponenten. Diese Komponenten haben sich bereits in den vergangenen Jahren aufgrund der Klimaerwärmung verändert. Für das Rhein-Einzugsgebiet wurden hydrologische Modellierungen bis zum Jahr 2100 unter Verwendung eines Klimaprojektionsensembles durchgeführt. Diese Modellexperimente erlauben die Quantifizierung täglicher Anteile der Abflusskomponenten auf Grundlage der Klimaszenarien in den Nebenflüssen und entlang des Hauptstroms. Die Klimaprojektionen deuten auf feuchtere Winter und trockenere Sommer hin, haben aber in Oberlauf und Unterlauf des Rheins unterschiedliche Nettoeffekte. Insgesamt ergeben die Simulationen, dass die Regenkomponente im Abfluss die jahreszeitlichen Schwankungen in Zukunft stärker dominieren wird als in der Vergangenheit. Dies hat Auswirkungen auf relevante saisonale Abflüsse und Extreme. Schnee wird im Winter und Frühjahr früher schmelzen, was in einer geringeren saisonalen Wasserspeicherung resultiert. Der Gletscherrückgang wird sich fortsetzen. Trotz unterschiedlicher Rückzug-Geschwindigkeiten der Gletscher wird die Eisschmelzkomponente im Hauptstrom des Rheins den Projektionen zufolge schnell zurückgehen und bis Ende des Jahrhunderts fast verschwinden. Besonders deutlich ist die Auswirkung auf Niedrigwasser flussabwärts, wenn am Ende des Jahrhunderts in heißen sommerlichen Dürrejahre keine Eisschmelze mehr zur Niedrigwasserstützung beiträgt. Deren Abnahme wird Restwassermengen, Energieproduktion, Schifffahrt und andere Nutzungen beeinflussen. Die durchgeführten

Modellexperimente erlauben hierzu konkrete Abschätzungen. Insgesamt werden Variabilität und Extreme zunehmen. Trotz der Unsicherheiten, die sich aus der Verwendung von Klimamodelldaten ergeben, sind die prognostizierten Veränderungen substantiell und ein klares Mandat dafür, die Wassernutzungen bei Niedrigwasser zu überdenken.

## **Abflusskomponenten während Wassermangel: Vergleich von LARSIM-Simulationen und der DFI-Ganglinienseparation im Hinblick auf verschiedene Wassernutzungen**

Michael Stölzle<sup>1</sup>, Kerstin Stahl<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Umwelthydrosysteme, Universität Freiburg, Friedrichstr. 39, 79098 Freiburg, Germany

michael.stoelzle@hydro.uni-freiburg.de

Der Abfluss in Fließgewässern setzt sich aus verschiedenen Abflusskomponenten zusammen. Hierbei wirken schnellere Komponenten durch Niederschlags- oder Schmelzereignissen, aber auch verzögerten Komponenten aus den auslaufenden Gebietsspeichern zusammen. Während niederschlagsfreien Dürreperioden treten schnellere Komponenten in den Hintergrund, können zu Beginn des Niedrigwassers (z.B. Frühjahrstrockenheit) jedoch regional noch eine relevante Rolle einnehmen. Mit fortlaufender Dauer des Dürreereignisses werden Niedrigwassercharakteristika (Dauer, Intensität, Defizit) mehr und mehr durch die langsamsten Abflusskomponenten bestimmt. Die prognostizierten häufigeren, längeren und intensiveren Dürreperioden legen nahe, dass verschiedene Wassernutzungen zukünftig weitere Einschränkungen erfahren werden (z.B. Bewässerung, Wasserkraft) oder aber sich verstärkt negativ auf den ökologischen Zustand der Gewässer auswirken können (z.B. Abwassereinleitungen).

In dieser Studie werden zunächst vier Abflusskomponenten (Oberflächen-, Direkt-, Zwischen- und Basisabfluss) aus dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM in Baden-Württemberg daraufhin untersucht, in wie fern die verschiedenen Komponenten während Dürrejahre unterschiedliche Niedrigwassercharakteristika in verschiedenen Naturräumen bestimmen. Die Ergebnisse zeigen, dass LARSIM den Gesamtabfluss in den verschiedenen Gebieten gut abbilden kann, dennoch kommt es zu regionalen Unterschieden in der Modellgüte und der Dominanz unterschiedlicher Abflusskomponenten. Durch einen Vergleich der simulierten Abflusskomponenten mit den relativen Abflussanteilen aus einer erweiterten DFI-Ganglinienseparation (Delayed Flow Index; Methode zur

Erweiterung der herkömmlichen Basisabflussabtrennung auf vier Abflusskomponenten) können zeitlich-dynamisch verschieden verzögerte Abflussanteile für unterschiedliche Einzugsgebiete und auch erweiterte Zeiträume (d.h. weiter zurückliegende Dürreereignisse) ausgewiesen werden. Die Kopplung des Wasserhaushaltsmodells LARSIM und der DFI-Ganglinienseparation bietet somit die Möglichkeit mittels synthetischer Szenarien (Stresstests) variable Reduzierungen von unterschiedlichen Abflusskomponenten zu testen und deren Auswirkungen auf sommerliche Niedrigwasser zu quantifizieren. Anhand verschiedener Dürreereignisse wird abschließend aufgezeigt, welche wasserwirtschaftlichen Auswirkungen auf besonders relevante Nutzungen unter Berücksichtigung der verschiedenen Abflusskomponenten erwartet werden können.

## **Experimentelle und modellgestützte Untersuchung naturbasierter Wassermanagementstrategien zur Erhöhung der Resilienz von Wäldern gegenüber Dürren in einem Untersuchungsgebiet in Franken**

Lucas Alcamo<sup>1</sup>, Markus Disse<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München

lucas.alcamo@tum.de

Die letzten Jahre waren in Nordbayern von außergewöhnlichen extremen klimatischen Extremen geprägt. Während kurzzeitige intensive Niederschläge häufiger werden, fehlen vielerorts die für die Umwelt nötigen Niederschläge über immer längere Zeiträume. Diese Dürreperioden, in Verbindung mit Hitzewellen und anthropogenen Eingriffen, gefährden besonders in Nordbayern die Vitalität vieler Wälder. Dies gibt Anlass zur Erforschung neuer Wassermanagementstrategien, welche die Resilienz von Ökosystemen erhöhen sollen.

Die zusätzliche Speicherung von Wasser in der ungesättigten Zone bietet einen innovativen naturbasierten Lösungsansatz, um die Resilienz von Wäldern gegenüber extremen Dürren zu steigern. Die Anreicherung der Bodenfeuchte kann mit folgenden Maßnahmen erreicht werden:

1. Verminderter Abfluss aus Drainagen / Gräben
2. Die Nutzung / der Bau von Bodensenken / sehr kleinen Rückhaltebecken mittels Totholz
3. Anpassung im Wegebau

Zur Quantifizierung der Effekte der zweiten oben genannten Maßnahme werden an zwei Standorten hochaufgelöste Bodenfeuchteprofile gemessen, indem in regelmäßigen Tiefen TDR-Messsonden eingebaut wurden. Hiermit können zwei geologisch ähnliche Standorte, einer in einem künstlichen Rückhaltebecken aus Totholz und einer in einer Kuppenlage, verglichen werden. Weiterhin wird das physikalisch-basierte Modell Hydrogeosphere [1], welches den Wassertransport in der ungesättigten

Bodenzone 3-dimensional wiedergeben kann, benutzt, um die Effizienz der verschiedenen oben angegebenen Maßnahmen in einem kleinräumigen Einzugsgebiet (ca. 0.4 km<sup>2</sup>) zu bestimmen. Es wird eine möglichst hohe Auflösung genutzt, (<1m<sup>2</sup>) um die räumlich begrenzten Maßnahmen möglichst realitätsgetreu widerzugeben.

### Literatur

[1] Brunner, P. and Simmons, C.T., 2012. HydroGeoSphere: a fully integrated, physically based hydrological model. *Groundwater*, 50(2), pp.170-176.

## **Dürre und ihre Auswirkungen im Alpenraum – Monitoring im Alpine Drought Observatory**

Ruth Stephan<sup>1</sup>, Felix Greifeneder<sup>2</sup> und Kerstin Stahl<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Professur für Umwelthydrosysteme, Fakultät für Umwelt und natürliche Ressourcen, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, 79098, Deutschland

<sup>2</sup> Institute for Earth Observation, Eurac Research, 39100 Bozen, Italien

ruth.stephan@hydrology.uni-freiburg.de

Wasserknappheit und die daraus folgenden Auswirkungen und Konflikte werden auch im vermeintlich wasserreichen Alpenraum Europas immer häufiger beobachtet. Flussabwärts müssen sich Gebiete außerhalb der Bergregionen auf die Konsequenzen des fehlenden Wassers einstellen, sodass gemeinsame Strategien unabdingbar sind, das Wassermanagement an Extreme wie Dürreperioden anzupassen. Das Projekt Alpine Drought Observatory (ADO) baut ein transnationales Monitoring über Dürrebedingungen der Vergangenheit und in Echtzeit über die ganze Alpenregion hinweg auf. Dazu werden meteorologische und hydrologische Daten auf verschiedenen räumlichen Skalen abgerufen und aufbereitet. Um Dürre zu quantifizieren berechnet ADO verschiedene Indizes, wie z.B. den Standardized Precipitation Index oder den Vegetation Health Index. Des Weiteren arbeitet ADO an einem für die Region geeigneten Schnee-Index. Um Dürre nicht nur als Naturgefahr zu analysieren, sondern auch reale Folgen, bereitet ADO eine Kategorisierung verschiedener Auswirkungen vor. Das Alpine Drought report Impact Inventory (EDII<sub>ALPS</sub>) wurde bereits veröffentlicht und zeigt einen Ausschnitt, wie sich Dürre auf die Alpenregion ausgewirkt hat. In den letzten Jahren zeigt die Anzahl der archivierten Berichte einen deutlichen Anstieg mit besonders vielen Berichten in den Jahren 2003, 2015 und 2018. Damit spiegelt EDII<sub>ALPS</sub> auch im Alpenraum bereits bekannte heftige Dürrejahre wider. Die Aufteilung der Auswirkungen auf verschiedene Sektoren, wie z.B. Landwirtschaft, Energiewirtschaft, Wasserversorgung oder Forstwirtschaft hebt die Landwirtschaft und öffentliche Wasserversorgung als besonders betroffen heraus, da diese über Ländergrenzen hinweg besonders häufig Dürreauswirkungen berichten. Im Vergleich zum Mittel- und Tiefland sind typisch für den Alpenraum trockenes Weideland und Verlust von Futtermittel, sodass der Almbetrieb früher im Jahr veranlasst wird. Auch eingeschränkte öffentlichen Wasserversorgung mit einer Notversorgung über die Feuerwehr oder mit Helikoptern sind typische Konsequenzen bzw. Maßnahmen in den Alpenländern. Im Winter wirken sich die höheren Lufttemperaturen und ausfallender Schneefall auf den Skitourismus aus - sogar soweit, dass Skigebiete mit unpräparierbaren Pisten nicht öffnen können. Datenanalysen im Rahmen des Projekts koppeln diese realen Auswirkungen mit den Dürrebedingungen, um so verschiedene Dürreindizes auf ihre Vorhersagekraft für sektorale Risiken zu überprüfen und zu vergleichen. Das Monitoring und die Ergebnisse der Analyse werden auf einer Online-Plattform bereitgestellt und so der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Dieser Beitrag stellt ADO und seine Komponenten vor.



# Vorträge Session B: „Nicht-stationäres Verhalten hydrologischer Prozesse“



Liste der Vorträge in Session B: „Nicht-stationäres Verhalten hydrologischer Prozesse“

<b>Nummer</b>	<b>Titel</b>	<b>Autor</b>
B-01	Modellierung der Wasserflüsse im Bodenprofil eines degradierten Niedermoor-Standorts	<b>M. F. Davies</b> , O. Dietrich, C. Merz
B-02	Dargebotsnachweise für Grundwasserentnahmen unter Berücksichtigung des Klimawandels am Beispiel Sachsen	<b>K. Eulitz</b> , M. Beyer, A. Kenner, U. Mellentin
B-03	Das Sicherheitsparadox beim Hochwasserschutz: von der Bedeutung Unsicherheiten zu kommunizieren und einzuordnen	<b>B. Höllermann</b> , M. Evers, G. Johann
B-04	Nicht-stationärer Einfluss von Einzugsgebieteigenschaften auf Abfluss und Nitratkonzentrationen identifiziert mit Random Forest	<b>T. Houska</b> , D. Z. Powroschnik, L. Breuer
B-05	Instationäre Flussgezeiten in einem sich ändernden Umfeld	<b>K. Kästner</b> , C. Hinz
B-06	Nicht-Stationaritäten lokaler und regionaler Trockenheits- und Hochwasserereignisse durch Speicherbewirtschaftung	<b>M. I. Brunner</b>
B-07	Integrierte wasserwirtschaftliche Begleitung von urbanen Quartiersentwicklungen	<b>P. Keilholz</b> , K. Eulitz, M. Beyer
B-08	Ermittlung kontinuierlicher Durchflusszeitreihen basieren auf dem optischen Partikel Tracking Velocity (PTV) Verfahren	<b>A. Kutscher</b> , J. Grundmann, A. Ettner, X. Blanch, R. Hedel
B-09	Identifizierung von Hotspots Klimawandelbedingter Instationaritäten in der Landschaft	<b>G. Lischeid</b>
B-10	Probabilistische Bemessung von Flussdeichen unter Berücksichtigung zeitabhängiger Belastungsstrukturen	<b>M. Öttl</b> , J. Bender, J. Stamm
B-11	Nitrat- und Wasserisotopen als Instrument zur Entschlüsselung der Verweilzeiten von Nitrat in einem heterogenen Einzugsgebiet	<b>C. F. Radtke</b> , S. R. Lutz, C. Mueller, J. Rouhiainen, R. Merz Xiaoquiang Yang, R. Kumar, K. Knöller
B-12	Modellierung von Sturzfluten: Wie können wir unsere Modelle verbessern und relevante Prozesse identifizieren?	<b>M. Weiler</b> , A. Steinbrich, A. Hänsler, H. Leistert
B-13	Vergleichende Modellierung von Maßnahmen zur Minderung des Pestizidaustrags auf der Einzugsgebietsskala mit den Modellen SWAT und ZIN-AgriTra	<b>S. Zeunert</b> , J. Schwenkel, M. Schöniger, G. Meon

## **Modellierung der Wasserflüsse im Bodenprofil eines degradierten Niedermoor-Standorts**

Mariel Fiona Davies<sup>1</sup>, Ottfried Dietrich<sup>1</sup>, Christoph Merz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Eberswalder Straße 84, D-15374  
Müncheberg, Deutschland

davies@zalf.de

Die Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen von entwässerten, landwirtschaftlich genutzten Moorstandorten ist ein wichtiger Beitrag für die Erreichung der Klimaschutzziele in Deutschland bis 2050 [1]. Das Verständnis der hydraulischen und geochemischen Prozesse, die eng miteinander gekoppelt sind, ist eine wichtige Voraussetzung hierfür und Grundlage für ein nachhaltiges Land- und Wassermanagement auf diesen Standorten.

Eine hydraulische Modellierung der Wasserflüsse in einem Bodenprofil soll eine räumlich und zeitlich hochaufgelöste Zustandsbeschreibung eines degradierten Niedermoor-Standorts liefern. Grundlage für die Modellierung sind Messdaten von Grundwasser-Lysimetern aus dem Spreewald [2] und das eindimensionale hydraulische Modell Hydrus-1D [3]. Für die Lysimeter wurde ein hydraulisches Modell mit drei Bodenhorizonten aufgebaut. In einem ersten Schritt wurden anhand bodenphysikalischer Kennwerte mit Hilfe des in Hydrus-1D integrierten ROSETTA-Tools bodenhydraulische Parameter für die drei Horizonte abgeleitet und zwei Modellvarianten aufgesetzt, die sich in ihrer unteren Randbedingung unterscheiden. Bei einer Variante diente das gemessene Matrixpotential (Grundwasserstand) und bei der zweiten Variante der gemessene Zu-/Abfluss als untere Randbedingung. Die berechneten Werte des volumetrischer Wassergehalts und des Matrixpotentials in den Messtiefen sowie des Zu- und Abflusses (Variante 1) bzw. des Grundwasserstands (Variante 2) wurden mit den gemessenen Werten des Lysimeters validiert. In einem zweiten Schritt erfolgte eine inverse Optimierung der bodenhydraulischen Parameter für beide Varianten basierend auf Messreihen zum Wassergehalt, Matrixpotential und Grundwasserstand. Zur weiteren Verbesserung des Modells wurde in einem dritten Schritt anstelle einfacher Porosität eine duale Porosität für die Horizonte 1 und 2 angewendet.

Die Modellergebnisse konnten durch die vorgenommenen Veränderungen schrittweise verbessert werden. Die Wahl der unteren Randbedingung wirkte sich dabei unterschiedlich auf die Qualität der Modellergebnisse aus. Durch Anwendung des Grundwasserstands als untere Randbedingung konnten die berechneten volumetrischen Wassergehalte und Matrixpotentiale verbessert werden. Es ergaben sich andererseits deutliche Abweichungen zwischen gemessenem und berechnetem Zu-/Abfluss. Bei Verwendung des Zu-/Abflusses als untere Randbedingungen gibt es zeitweise größere Abweichungen beim berechneten Grundwasserstand, den Wassergehalten und Matrixpotentialen, insbesondere nach Starkregenereignissen. Die Einbeziehung präferenzialer Flüsse (duale Porosität) führte zu deutlich verbesserten Ergebnissen bei Matrixpotential und Wassergehalten in der vadosen Zone.

Literatur

[1] BMU, 2019: Klimaschutzplan 2050, Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), 92 S

[2] Dietrich, O., Fahle, M., Kaiser, T., Steidl, J., 2019. Eine Lysimeter-Studie zu Auswirkungen unterschiedlicher Grundwasser-Steuerregime auf den Bodenwasserhaushalt eines grundwassernahen Standorts. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 63, 6-18

[3] Simůnek, J.; Šejna, M.; van Genuchten, M. Th., 1998: The HYDRUS-1D software package for simulating one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version 1.0. International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines. Golden, Colorado (IGWMC-TPS-70)

## **Dargebotsnachweise für Grundwasserentnahmen unter Berücksichtigung des Klimawandels am Beispiel Sachsen**

Katja Eulitz<sup>1</sup>, Matthias Beyer<sup>1</sup>, Anita Kenner<sup>2</sup>, Udo Mellentin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BGD ECOSAX GmbH, Dresden

<sup>2</sup> LfULG, Dresden

eulitz@bgd-ecosax.de, m.beyer@bgd-ecosax.de

Die mit dem Sommer 2018 einsetzende Grundwasserdürre in Sachsen führte zum Trockenfallen von Brunnen und Quellen, aber gleichzeitig auch zu einer steigenden Nachfrage an der Nutzung der Grundwasserressource. Weiterhin projizieren Klima- und Wasserhaushaltsmodelle für Sachsen regional-spezifische Rückgänge der mittleren Grundwasserneubildung. Um die langfristigen Planungen der Wasserversorgung sowie die nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers zu qualifizieren, wurden Anforderungen und methodische Grundlagen zur Erstellung von Dargebotsnachweisen für Grundwasserentnahmen aktualisiert und in einem Leitfaden zusammengefasst.

Ein wichtiges und leistungsfähiges Werkzeug für die Erarbeitung von Dargebotsnachweisen in Sachsen stellt der Grundwasserneubildungs-Viewer (GWN-Viewer) dar. Mit dem GWN-Viewer lassen sich die Wasserhaushaltsgrößen visualisieren und interpretieren. Auf dieser Basis kann die Abschätzung des vergangenen, aktuellen und zukünftig möglichen (Grund-)Wasserdargebotes auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen sowohl zeitlich als auch räumlich erfolgen.

Die erarbeitete Methodik zur Darstellung einer zukünftig möglichen Dargebotsentwicklung wurde außerdem exemplarisch auf vier Beispielstandorte mit unterschiedlicher Einzugsgebietscharakteristik und Grundwasserneubildung angewandt. Diese beispielhafte Anwendung zur Auswertung und Darstellung beobachteter und modellierter Wasserhaushaltsdaten sollen Antragstellern von Grundwasserentnahmen und wasserrechtlichen Vollzugsbehörden bei der Abschätzung prognostischer Grundwasserdargebote unterstützen.

## **Das Sicherheitsparadox beim Hochwasserschutz: von der Bedeutung Unsicherheiten zu kommunizieren und einzuordnen**

Britta Höllermann<sup>1,2</sup>, Mariele Evers<sup>2</sup>, Georg Johann<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Department für Geographie, Ludwig-Maximilians-Universität München

<sup>2</sup> Institut für Geographie, Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

<sup>3</sup> Emschergenossenschaft / Lippeverband

<sup>4</sup> HochwasserKompetenzCentrum e.V.

hoellermann@lmu.de

Die Hochwasserereignisse vom 13.-15. Juli 2021 führen uns die Relevanz von Hochwasserprävention akut und erneut wieder vor Augen. Die Natur hält mit der Erhitzung der Erdatmosphäre immer mehr und intensivere Ereignisse für uns bereit, die unsere Hochwasserschutz- und Bewältigungsmaßnahmen an ihre Grenzen und darüber hinaus führen. Für Planung, aber auch für den Ereignisfall, ist es daher von hoher Relevanz Unsicherheiten, z.B. in der Vorhersage verstärkt und zielgruppenorientiert zu kommunizieren und einzuordnen.

In Deutschland und in der Europäischen Union wurden seit 2007 mit der Implementierung der Europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL) und den Novellierungen des Wasserhaushaltsgesetzes die Rahmenbedingungen für das Hochwasserrisikomanagement verbessert. Viele neue Instrumente wie Hochwassergefahren- und risikokarten, Bauvorschriften oder die Kategorie Hochwasserentstehungsgebiete wurden eingeführt. Beispielsweise wurden Hochwassergefahrenkarten und Risikokarten und darauf basierend Managementpläne auf Grundlage von historischen Abfluss- und Pegelwerten sowie hydrologischen und hydraulischen Modellierungen erstellt. Die jüngsten Beispiele haben jedoch gezeigt, dass das Ziel der HWRM-RL, hochwasserbedingte Risiken für die menschliche Gesundheit, die Umwelt, die Infrastrukturen und Eigentum zu verringern, nur eingeschränkt erreicht worden ist.

In diesem Beitrag hinterfragen wir, warum die entwickelten Karten und Pläne nicht dazu führen, dass das Risiko ausreichend wahrgenommen wird und nicht klar ist, welche Handlungen im Ereignisfall getroffen werden müssen. Hierbei heben wir drei Aspekte besonders hervor:

- 1) Die Datengrundlage: Bedeutung der Verwendung gemessener Daten und des Umgangs mit historischen Hochwasserereignissen, die mit den heutigen und zukünftigen Verhältnissen nur noch bedingt vergleichbar sind.
- 2) Die Akteure: Bedeutung der Beteiligung verschiedener Akteure im HWRM-Planungsprozess zur Stärkung von Risikowahrnehmung und Verantwortung.
- 3) Die Kommunikation: Bedeutung der Kommunikation und Einordnung von Unsicherheiten sowie deren Visualisierung und Darstellung möglicher Auswirkungen.

## Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Für ein wirkungsvolles und nachhaltiges Hochwasser- und Starkregenrisikomanagement bedarf es daher aus unserer Sicht noch einer Beteiligungs-, Kommunikations- und Verbreitungsstrategie, um somit zu einer transparenten Verteilung der Rolle der Akteure und deren Verantwortung beizutragen. Hierzu sollten die bislang entwickelten Instrumente um Unsicherheitsinformationen ergänzt und dessen Auswirkungen zielgruppengerecht für alle Entscheidungsebenen eingeordnet und kommuniziert werden.

## **Nicht-stationärer Einfluss von Einzugsgebietseigenschaften auf Abfluss und Nitratkonzentrationen identifiziert mit Random Forest**

Tobias Houska<sup>1</sup>, Dunja Zoe Powroschnik<sup>1</sup>, Lutz Breuer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Justus-Liebig Universität Gießen, Heinrich-Buff-Ring 26, 35390 Gießen

tobias.houska@umwelt.uni-giessen.de

Knowledge of runoff processes with localization of nutrient and pollutant inputs across a landscape are essential to achieve water quality goals of national and global guidelines. Many states in the EU still fail to comply with these guidelines because they implement water protection measures too slowly or not in a target-oriented manner. Random Forest (RF) is a machine learning regression technique that can help to determine the importance of different attributes within a landscape. In this paper, we use RF to study the driving factors of landscape attributes on discharge and nitrate concentration. We use data of 28 measured runoff and nitrate concentrations within sixteen subcatchments, located in Hesse, Germany. The subcatchments differ with respect to their specific characteristics (geomorphology, vegetation, land use). To investigate the effects of these attributes on the measurements, we work with subcatchment specific increases/decreases in discharge ( $\delta Q$ ) and nitrate concentration ( $\delta NO_3$ ). Here, the RF approach achieved  $r^2$  values of 0.38 and 0.49 for predicting  $\delta Q$  and  $\delta NO_3$ , respectively. The  $r^2$  values improved to 0.54 and 0.98 when we reduced the data set to specific situations, such as moderate flows or low nitrate concentrations. Based on the RF variable importance, the anthropogenic influence on the landscape is evident with croplands and drained Stagnosols increasing the nitrate concentration. Herein, we report and discuss the non-stationary nature of the investigated variables on the discharge and nitrate concentrations of the catchment. As such, we found slopes to have the highest impact during moderate flows, while the stream itself and deciduous forests were identified as key here to improve the water quality. But, we show that their impact is non-stationary and only effective during already low nitrate concentrations.

## **Instationäre Flussgezeiten in einem sich ändernden Umfeld**

Karl Kästner<sup>1</sup>, Christoph Hinz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hydrology, BTU Cottbus-Senftenberg, 03046 Cottbus, Germany

karl.kaestner@b-tu.de

Gezeiten auf hoher See sind sehr regelmäßig und gut vorhersehbar, da sie durch die gleichmäßige Bewegung der Himmelskörper bestimmt werden. Im Gegensatz dazu werden die Gezeiten in Deltas und Ästuaren durch den Oberflächenwasserabfluss moduliert. Dies führt zu mehreren interessanten Effekten. Zu den Effekten erster Ordnung gehören der Anstieg des mittleren Wasserstandes sowie die Verringerung der Gezeitenamplitude bei hohem Abfluss. Effekte zweiter Ordnung sind die Generierung harmonischer Komponenten und die zweiwöchige Schwankung des mittleren Wasserstands durch die Nichtlinearität der Strömung. Das Zusammenspiel von Gezeiten und Abfluss ist auch von Bedeutung für die damit verbundenen Prozesse wie die Eindringung von Salzwasser, die Trübung durch Schwebeteilchen sowie der Morphodynamik. Aufgrund ihrer Komplexität sind anspruchsvollere Techniken für ihre Analyse und Vorhersage von Gezeiten in Flüssen notwendig. In unserem Vortrag gehen wir kurz auf die Dynamik von Flussgezeiten und Methoden zu ihrer Untersuchung ein. Daraufhin stellen wir die Instationarität der Gezeiten in dem Zusammenhang mit anderen Veränderungen wie dem Meeresspiegelanstieg und lokalen menschlichen Eingriffen dar.

## **Non-stationary of River Tides in a Changing Environment**

Tides at high seas are highly regular and predictable, as they are driven by the perpetual movement of celestial bodies. In contrast, tides in estuaries and deltas are modulated by the river flow. This leads to several interesting effects. First-order effects are the increase of the tidally average water level as well as the reduction of the tidal amplitude with increased river discharge. Second-order effects are the generation of the overtides and fortnightly-mean water level setup due to the non-linearity of the shallow water flow. The interplay between tides and run-off is of importance for linked processes like salinity intrusion and turbidity, and morphodynamics. Due to their complexity, river tides require more sophisticated techniques for their analysis and prediction. In our review, we revise the dynamics of river tides, look into methods for their analysis, and put the non-stationarity in context with other changes, like the eustatic sea-level rise and local human activities.

## **Nicht-Stationaritäten lokaler und regionaler Trockenheits- und Hochwasserereignisse durch Speicherbewirtschaftung**

Manuela I. Brunner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Earth and Environmental Sciences, University of Freiburg, Freiburg, Germany

manuela.brunner@hydrology.uni-freiburg.de

Hochwasser und Trockenheit haben besonders in besiedelten Gebieten, wo Abfluss u.a. durch Speicher reguliert wird, starke Auswirkungen. Trotzdem wissen wir wenig darüber wie Speicherregulierung sich lokal und regional auf hydrologische Extremereignisse auswirkt. Mit Hilfe eines großen Datensets von natürlichen und regulierten Gebietspaaren habe ich untersucht wie sich Speicherbewirtschaftung auf lokale und regionale Trockenheits- und Hochwassercharakteristika in den Vereinigten Staaten von Amerika auswirkt. Meine Resultate zeigen erstens, dass Speicherregulierung lokal die Dauer von Trockenheits- und Hochwasserereignissen erhöht während sie deren Stärke in Bezug auf Intensität und Volumen reduziert. Weiter zeigen die Ergebnisse, dass Regulierung die Wahrscheinlichkeit von regionalen Ereignissen verändert indem sie die räumliche Abhängigkeit von Hochwassern im Winter reduziert aber die räumliche Abhängigkeit von Trockenheitsereignissen im Sommer verstärkt. Außerdem zeigen die Resultate, dass der Regulierungseffekt auf lokale Ereignisse sowohl für Trockenheits- wie auch Hochwasserereignisse nur schwach vom Zweck des Speichers abhängt. Daraus lässt sich schließen, dass sowohl lokale wie auch regionale Extremereignisse substantziell von Speicherbewirtschaftung verändert werden. Deshalb sollte diese Art von Nicht-Stationarität weder in Gefahrenabschätzungen noch Klimafolgenstudien vernachlässigt werden.

## **Integrierte wasserwirtschaftliche Begleitung von urbanen Quartiersentwicklungen**

Patrick Keilholz<sup>1</sup>, Katja Eulitz<sup>2</sup>, Matthias Beyer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BGD ECOSAX GmbH, München

<sup>2</sup> BGD ECOSAX GmbH, Dresden

keilholz@bgd-scosax.de, m.beyer@bgd-ecosax.de, k.eulitz@bgd-ecosax.de

Viele Städte und Kommunen stehen vor der Herausforderung, auf räumlich begrenzten Arealen neue urbane Wohnquartiere zu schaffen. Oft liegt es nahe, die Fahrzeugstellplätze in Tiefgaragen zu verlegen. In Folge nimmt die Zahl an Tiefgaragen zu. Zusammen mit anderen unterirdischen Untergrundverbauungen (z.B. Tunnel) wird das Grundwasser zunehmend beeinflusst. Hinzu kommt die Niederschlagsentwässerung, die vorzugsweise über Versickerungsanlagen gelöst werden soll, um den natürlichen Wasserhaushalt so wenig wie möglich zu beeinflussen. Ein weiterer Aspekt einer integrierten Planung ist die Berücksichtigung der Überflutungssicherheit des Quartiers bei Starkregen. Aber auch die Sicherstellung eines guten Stadtklimas durch Begrünung und ggf. Bewässerung im Sommer sollte bei einer integrierten wasserwirtschaftlichen Betrachtung mitberücksichtigt werden.

Am Beispiel eines neuen Wohn- und Gewerbe-Quartiers im Großraum München wird aufgezeigt, wie eine nachhaltige Begleitung bereits in der Vorplanung erfolgen kann. Die Planung von grundwasserregulierenden Maßnahmen zusammen mit dem Niederschlagswassermanagement und der Bewässerungsplanung wird mit einem 3-dimensionalen Grundwassermodell zusammen mit einem Wasserhaushaltsmodell integriert berechnet und optimiert. Dadurch können bereits in der Vorplanung positive Synergien genutzt und in den Planungsprozess mit aufgenommen werden.

## **Ermittlung kontinuierlicher Durchflusszeitreihen basieren auf dem optischen Partikel Tracking Velocity (PTV) Verfahren**

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

<sup>1</sup> Technische Universität Dresden, Professur für Hydrologie, 01062 Dresden

<sup>2</sup> Technische Universität Dresden, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung,  
01062 Dresden

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

andre.kutscher1@tu-dresden.de, jens.grundmann@tu-dresden.de, anette.eltner@tu-dresden.de,  
xabier.blanch@tu-dresden.de, ralf.hedel@ivi.fraunhofer.de

Optische Messverfahren gewinnen in der Hydrologie zunehmend an Bedeutung, da diese im Gegensatz zu den konventionellen Messmethoden berührungslos funktionieren. Dadurch sind Messungen auch unter schwierigen Messbedingungen für das Messpersonal und die Messgeräte gefahrlos möglich. Aufgrund der Vielzahl verschiedener Methoden zur optischen Bestimmung von Fließgeschwindigkeiten, gibt es noch kein standardisiertes Verfahren, mit dem der Durchfluss optisch bestimmt werden kann. Eine Methode zur Durchflussbestimmung ist das Geschwindigkeitsflächenverfahren [1], ein allgemeines in der Hydrologie anerkanntes und standardisiertes Verfahren, dass bereits seit Jahrzehnten bei der Durchflussbestimmung eingesetzt wird. Die Grundvoraussetzung für das Verfahren sind Fließgeschwindigkeitsmessungen über die gesamte Breite des Fließquerschnitts. Doch dies stellt bei der Anwendung von PTV zur Durchflussbestimmung eine große Herausforderung dar, da sichtbare Partikel über den gesamten Fließquerschnitt vorhanden sein müssen, was in der Natur nicht immer gegeben ist. Daraus resultierende Messlücken im Oberflächengeschwindigkeitsprofil wirken sich negativ auf die Güte der Durchflussbestimmung aus. Um diese Messlücken zu schließen, wurden mehrere statistische Methoden untersucht, die Informationen zu unterschiedlichen Messzeitpunkten mit ähnlichen Abflussverhältnissen einbeziehen. Die Erhebung der Daten erfolgte über längere Zeiträume mit

unterschiedlichen Kameras am Pegel Elbersdorf (Sachsen). Dazu zeichneten die installierten Kameras in regelmäßigen Zeitabständen kurze Filmsequenzen auf. Diese Sequenzen wurden, unter Anwendung des FlowVelo-Tools [2] zur Bestimmung der Oberflächengeschwindigkeitsverteilung auf der Wasseroberfläche mittels PTV genutzt und anschließend der Durchfluss mit dem Geschwindigkeitsflächenverfahren bestimmt. Für den Methodenvergleich der Lückenschließung liegen im Ergebnis mehrere Durchflusszeitreihen von unterschiedlichen Kameras und aus unterschiedlichen Kamerapositionen vor. Zur Validierung der optischen Durchflusszeitreihen wurden die regulären Wasserstands- und Durchflussmessungen am Pegel Elbersdorf der staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) Sachsen herangezogen. Die Auswertung der Zeitreihen zeigt, dass durch die Anwendung der Methoden zur Lückenfüllung eine signifikante Anpassung der Daten an die Referenzmessung stattfindet. Die nächsten Schritte sind die Weiterentwicklung der vorgestellten Methoden durch gezielte Datenfilterung und Einsatz von Deep Learning.

Literatur

[1] DIN EN ISO 748:2008-02, Hydrometrie - Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Fließgeschwindigkeitsmessgeräten oder Schwimmern (ISO 748:2007)

[2] 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

## **Identifizierung von Hotspots Klimawandel-bedingter Instationaritäten in der Landschaft**

Gunnar Lischeid<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Eberswalder Straße 84, 15374  
Müncheberg

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

lischeid@zalf.de

Im Zuge des Klimawandels wird mit einer zunehmenden Instationarität hydrologischer Prozesse gerechnet. Eine praktische Konsequenz wäre, dass die bisherigen Ansätze und Modelle zur Risikobewertung an Gültigkeit verlieren. Wichtig wäre deshalb eine Abschätzung, unter welchen Bedingungen und in welchen Bereichen am ehesten mit Instationaritäten zu rechnen ist. Die folgenden theoretischen Überlegungen werden durch tatsächliche Beobachtungen in Nordostdeutschland während der letzten 40 Jahre gestützt ([1], [2], [3]).

Hydrologische Prozesse werden in erster Linie durch die Dissipation des Eingangssignals (abflusswirksamer Niederschlag oder Grundwasserneubildung) in der ungesättigten Zone bestimmt, die wiederum einer Dispersion unterliegt. Erkennbar ist das an der starken Dämpfung und Glättung bodenhydrologischer Zeitreihen im Vergleich zu denen des Eingangssignals. Entsprechend weisen Ganglinien des Grundwassers unter einer mächtigen Überdeckung einen sehr glatten Verlauf auf. Bei den üblichen Trendanalysen steigt die Wahrscheinlichkeit der Detektion signifikanter Trends mit dem Grad der Glättung der Ganglinie. Tatsächlich weisen in Brandenburg Grundwassermessstellen in Bereichen großer Flurabstände seit 40 Jahren durchweg fallende Trends auf. Offensichtlich reicht die Grundwasserneubildung in diesen Bereichen schon seit Jahrzehnten nicht mehr aus, um den lateralen Grundwasserabstrom zu kompensieren. Inzwischen wirken sich die sinkenden Grundwasserstände zunehmend stärker auch auf die Wasserführung der Oberflächengewässer aus. Am stärksten betroffen sind Gewässer im Bereich relativ hoher mittlerer Flurabstände, d.h., im

Oberstrom der Hauptvorfluter der Region. In den letzten Jahren war hier an vielen Seen eine starke Abnahme der Pegelstände zu beobachten, und in vielen kleineren Fließgewässern eine Verringerung der Abflussraten bis hin zum zeitweisen oder vollständigen Trockenfallen.

Die schnellen Signale des Abflusses als Reaktion auf einzelne Niederschlagsereignisse werden dagegen überwiegend in Vorfluternähe generiert, in denen typischerweise die Grundwasserflurabstände gering sind, solange der Vorfluter Wasser führt. Auch nach längeren trockenen Perioden füllt sich hier die ungesättigte Zone sehr schnell wieder auf. Daraus folgt, dass hinsichtlich der Abflussdynamik und des Hochwasserrisikos der größeren Vorfluter nicht mit Instationaritäten zu rechnen ist. Dies gilt allerdings nicht unter den folgenden Bedingungen: Einerseits können sinkende Grundwasserstände zu einem teilweisen Trockenfallen des Gewässernetzes führen. Werden dadurch großflächige Bereiche niedriger Grundwasserflurabstände (z.B. Niedermoore) hydraulisch vom Vorfluter getrennt, sinkt das Risiko hoher Abflussspitzen. Nehmen andererseits jedoch die Niederschlagsintensitäten oder die Versiegelung der Vorfluternahen Flächen zu, wird das Abflussgeschehen verstärkt durch Oberflächenabfluss bestimmt und die Dämpfung des Eingangssignals in der ungesättigten Zone verliert an Bedeutung. Entsprechend ändert sich der Form-Parameter der Extremwertverteilung, und das Systemverhalten wird deutlich weniger „gutmütig“ und beherrschbar.

#### Literatur

- [1] Lehr, C., Lischeid, G. (2020): Efficient screening of groundwater head monitoring data for anthropogenic effects and measurement errors. *Hydrology and Earth System Sciences* 24: 501–513, DOI: 10.5194/hess-24-501-2020
- [2] Lischeid, G., Dannowski, R., Kaiser, K., Nützmann, G., Steidl, J., Stüve, P. (2021): Inconsistent trends do not necessarily imply spatially heterogeneous drivers. *Journal of Hydrology* 596, 126096, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126096
- [3] Lischeid, G. (2021): Abschätzung des mittelfristigen Niedrigwasserrisikos anhand der Daten des Grundwassermonitorings. *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 14(12): 780 – 785, doi: 10.3243/kwe2021.12.004

## **Probabilistische Bemessung von Flussdeichen unter Berücksichtigung zeitabhängiger Belastungsstrukturen**

Marco A. Öttl, Jens Bender, Jürgen Stamm

Bei der Analyse der Standsicherheit von Flussdeichen sind die Wechselwirkungen zwischen der Belastungsgröße des Hochwasserstandes und der daraus resultierenden Durchsickerung ein Prozess von hoher Relevanz. Schließlich trennt die Sickerlinie die Querschnittsfläche in den wassergesättigten und ungesättigten Querschnittsanteil.

Bei stationärer Betrachtung wird die Lage der Sickerlinie in homogenen Deichen durch die äußere Kubatur in das System eingepreßt [1] und liegt für reale Hochwasserereignisse weit auf der sicheren Seite. Die Berücksichtigung zeitabhängiger Belastungsstrukturen im Rahmen einer instationären Betrachtung zeigt jedoch deutlich, dass die Lage der Sickerlinie vom zeitlichen Verlauf der Hochwasserganglinie, den daraus resultierenden Wassergehalts- und Saugspannungen im Deich sowie der gesättigten Durchlässigkeit der Deichbaumaterialien abhängt.

Die Charakteristik der Ganglinie findet allerdings in der derzeitigen Bemessungspraxis nach DIN 19712 und DWA-M-507 keine direkte Anwendung. So wird beispielsweise die resultierende Einstaudauer einer Hochwasserganglinie nur indirekt berücksichtigt.

Mit diesem Beitrag wird eine Methodik präsentiert, die für einen ausgewählten Deichabschnitt natürliche Abhängigkeitsstrukturen durch synthetisch erzeugte Bemessungsganglinien in der probabilistischen Bemessung quantifiziert und direkt in den geohydraulischen Prozess der Durchsickerung integriert. Unter Verwendung ausgewählter Wasserstands- und Abflusszeitreihen an einem Deichabschnitt können mithilfe der erweiterten Hochwassermerkmalsimulation nach MUNLV [2,3], Hochwasserwellen anhand von fünf Parametern beschrieben werden. Nach erfolgreicher Anpassung geeigneter Verteilungsfunktionen werden im nächsten Schritt Abhängigkeiten der Parameter mithilfe von Co-pula-Funktionen quantifiziert. Anschließend werden durch die

Kombination der Parameter und deren Abhängigkeiten beliebig viele synthetische Hochwasserganglinien generiert. Nach dem Prinzip der Monte-Carlo-Simulation führt eine ausreichend große Anzahl synthetischer Ereignisse dazu, auch extreme Ereignisse mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit gut abzubilden. Durch eine entwickelte Routine kann der Verlauf der Durchsickerung für die jeweiligen Hochwasserganglinien zu unterschiedlichen Zeitpunkten in einem instationären, geohydraulisch numerischen Modell simuliert und visualisiert werden.

Im Ergebnis lassen sich Aussagen hinsichtlich der Verhaltensmuster der resultierenden Sickerlinien, basierend auf den synthetischen Bemessungsganglinien, ableiten und prognostizieren.

Diese werden einer Zuverlässigkeitsanalyse zugeführt und ermöglichen somit eine probabilistisch gestützte Bewertung der Standsicherheit des Deichabschnitts.

Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Literatur

[1] Schwiersch, Dumke, Stamm (2021): Probabilistische Verortung der stationären Sickerlinie in Flussscheiden unter Verwendung analytischer Berechnungsverfahren

[2] Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

[3] Bender und Jensen (2012): Ein erweitertes Verfahren zur Generierung synthetischer Bemessungshochwasserganglinien

## **Nitrat- und Wasserisotopen als Instrument zur Entschlüsselung der Verweilzeiten von Nitrat in einem heterogenen Einzugsgebiet**

Christina F. Radtke<sup>1</sup>, Stefanie R. Lutz<sup>2</sup>, Christin Mueller<sup>1</sup>, Jarno Rouhiainen<sup>1</sup>, Ralf Merz<sup>1</sup>,  
Xiaoqiang Yang<sup>3</sup>, Rohini Kumar<sup>4</sup>, Kay Knöller<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ, Department Catchment Hydrology, Deutschland

<sup>2</sup> Utrecht Universität, Institut für Umweltwissenschaften, Niederlande

<sup>3</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ, Department Aquatische Ökosystemanalyse und -management, Deutschland

<sup>4</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ, Department Hydrosystemmodellierung, Deutschland

Zur Nahrungsmittelproduktion werden Nährstoffe wie Phosphor und Stickstoff auf agrarwirtschaftlich genutzten Flächen ausgebracht, um Kulturpflanzen zu versorgen. Trotz guter, fachlicher Praxis in der Agrarwirtschaft, ist die zugeführte Menge an Nährstoffen oftmals signifikant höher als das Aufnahmepotenzial der Kulturpflanzen, wodurch ein Nährstoffüberschuss im Boden entsteht. Durch Grundwasserzuflüsse oder Starkregenereignisse kann ein Teil des akkumulierten Speichers mobilisiert werden, sodass das Nitrat in tiefere Bodenschichten und Aquifere transportiert wird. Hohe Nitratanreicherungen verursachen einen schlechten chemischen Zustand in 27% aller Grundwasserkörper in Deutschland und verstärken die Eutrophierung von Seen und Flüssen und verringern dadurch die Biodiversität. Das Hauptproblem stellen Altlasten der Nitratverschmutzung dar, welche durch die zeitliche Verschiebung zwischen Applikation und Mobilisierung und Transport entstehen. Die Erforschung von Verweilzeiten und Altersstrukturen des Nitrates ist höchst relevant hinsichtlich der Vorhersage über die Fähigkeit von Flusseinzugsgebieten Nitrat zu akkumulieren, abzapuffern und freizugeben. In der vorliegenden Studie liegt der Fokus auf einem 11 km<sup>2</sup> großen Flusseinzugsgebiet mit heterogener Landnutzung innerhalb des Harzvorlandes in Deutschland, welches vom Frühjahr 2017 bis Ende 2020 beprobt wurde. Innerhalb der ersten zwei Jahre wurden Proben im zweiwöchigen Abstand vom Flusswasser genommen. Die Niederschlagsproben wurden als tägliche Mischproben genommen, wann immer Niederschlag fiel. Im Jahr 2019 wurde die

Probennahmefrequenz auf tägliche Proben erhöht und für Niederschlagsereignisse auf mehrere Proben pro Tag sowohl für Proben aus dem Flusswasser als auch für Proben des Niederschlages. Isotopensignaturen vom Wasser ( $\delta_{18O}$  und  $\delta_2H$ ) und Nitrat ( $\delta_{18O}$  und  $\delta_{15N}$ ) wurden analysiert, sowie die Nitratkonzentration im Fluss gemessen. Um die Verweilzeiten von Nitrat zu untersuchen, wurde das numerische Modell tran-SAS (Benettin & Bertuzzo, 2018) angewandt und für das Einzugsgebiet modifiziert. Eine zeitlich verändernde Potenzgesetzfunktion im Rahmen der Funktionen zur Auswahl des Speicheralters (SAS-functions) wurde genutzt, um die Isotopensignaturen zu simulieren. Daten, die in einer kontinuierlichen Zeitreihe benötigt werden, wurden mit Hilfe des mesoskaligen hydrologischen Modells (mHM) (Samaniego et al., 2010; Kumar et al., 2013; Thober et al., 2019) in einem 1 km Raster simuliert, Niederschlagsdaten basierend auf globalen Messungen wurden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bezogen. Nitratkonzentrationen, die versickern und jene, die im Fluss vorkommen, wurden mit Hilfe des Modells mHM-Nitrate (Yang et al. 2020) simuliert. Der Einbau der Isotopenfraktionierung während des Denitrifizierungsprozesses, transformiert das Modell tran-SAS in ein einfaches reaktives Transportmodell (RTM). Nitrat mit verschiedenen Isotopensignaturen von  $\delta_{18O}$ , welche entsprechend der Gl. 1 während mikrobieller Aktivität in der oberen Bodenzone gebildet werden, versickern mit dem Wasser in den Unterbodenspeicher, wo Denitrifizierung und die dazugehörige Fraktionierung stattfinden.

$$\delta^{18}O_{NO_3^-} = \frac{2}{3}\delta^{18}O_{H_2O} + \frac{1}{3}\delta^{18}O_{O_2} \quad \text{Gl. 1}$$

Es wird erwartet, dass eine Entkopplung des Alters des Nitrates und des Alters des Wassers als auch der Verweilzeiten beider Variablen stattfindet. Darüber hinaus liegt ein weiterer Fokus auf signifikante Niederschlagsereignisse, wodurch weitreichende Informationen über Prozesse im Einzugsgebiet und Verweilzeitdynamiken, die sich unter verschiedenen hydrologischen Bedingungen verändern, gesammelt werden.

## **Modellierung von Sturzfluten: Wie können wir unsere Modelle verbessern und relevante Prozesse identifizieren?**

Markus Weiler<sup>1</sup>, Andreas Steinbrich<sup>1</sup>, Andreas Hänsler<sup>1</sup>, Hannes Leistert<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Hydrologie, Universität Freiburg, Friedrichstr. 39, 79098 Freiburg

markus.weiler@hydrology.uni-freiburg.de

Die Vorhersage von Sturzfluten aufgrund lokaler Starkniederschläge in kleinen Einzugsgebieten ist immer noch sehr herausfordernd und mit einer hohen Unsicherheit verbunden. Geeignete lokale Niederschlags- und Abflussaufzeichnungen sind in der Regel nicht verfügbar. Auf der anderen Seite werden Modellstrukturen und Modelle kontinuierlich verbessert, um alle relevanten Prozesse bestmöglich zu erfassen. Aber aufgrund der Datenknappheit müssen neue Wege gefunden werden, um unsere Modelle räumlich und zeitlich zu bewerten und zu verbessern. Wir haben eine Reihe von Benchmark-Daten, Experimenten und Datenquellen zusammengestellt, um unser Prozessverständnis zu verbessern und die Unsicherheit der Vorhersagen zu verringern.

Niederschlagseigenschaften (Dauer, Verlauf, Menge), Anfangsbedingungen wie die Bodenfeuchte und Grundwasserflurabstand können einen erheblichen Einfluss auf die Reaktion der Gebiete haben. Aber auch die Vegetationsbedeckung und insbesondere die zeitlich-räumliche Entwicklung landwirtschaftlicher Nutzung sowie kleinräumige Strukturen zur Speicherung und Leitung von Oberflächenabfluss können relevant sein. Die häufig fehlende direkte Verknüpfung zwischen hydraulischen und hydrologischen Prozessen in den meisten Einzugsgebietsmodellen könnte ein weiterer Grund für die ungenügende Performance der Modelle sein. Solche Verknüpfungen sind einschließlich der möglichen Infiltration von Oberflächenabfluss entlang des Fließweges und des Rückhalts in Senken möglichst zu berücksichtigen. Aber auch zeitvariable Prozesse wie die hydrophoben Eigenschaften des Oberbodens, die Entstehung von Bodenrissen, die Dynamik der Durchwurzelung von Ackerfrüchten und Makroporen sowie Verschlämmung durch ein Zusammenspiel von hydrologischen und geomorphologischen Prozessen auf unterschiedlichen Skalen sollten besser berücksichtigt werden.

In dieser Studie werden wir anhand verschiedener Beispiele verdeutlichen, wie wir neuartige Datensätze nutzen, um die relevanten Prozesse in das verteilte, prozess-basierte Niederschlags-Abfluss-Modells RoGeR [1] einzubeziehen und dieses zielführend weiterzuentwickeln. Die Grundlage bilden künstliche Großberegnungsversuche [2], Bodenfeuchtedaten, direkte- und indirekte Abflussbeobachtungen (beispielsweise auch in Hochwasserrückhaltebecken mit kontinuierlichen Wasserstandsaufzeichnungen), Bilder, Schadensmeldungen und Videobeobachtungen von Sturzfluten der jüngeren Vergangenheit sowie Messwerte privater Wetterstationen zur Validierung von Niederschlagsradarprodukten [3]. Mit unserem Ansatz sind wir in der Lage, die verschiedenen Unsicherheitsquellen aufzuzeigen, um davon ausgehend Empfehlungen zu geben, welche Prozesse in Modelle implementiert werden sollten, um Sturzfluten erfolgreich vorherzusagen.

Literatur

[1] Steinbrich, A., Leistert, H., Weiler, M. (2016): Model-based quantification of runoff generation processes at high spatial and temporal resolution. *Environmental Earth Sciences* (2016) 75:1423. doi:10.1007/s12665-016-6234-9

[2] Ries, F., Kirn, L., & Weiler, M. (2020). Runoff reaction from extreme rainfall events on natural hillslopes: a data set from 132 large-scale sprinkling experiments in south-western Germany. *Earth System Science Data*, 12(1), 245-255

[3] Weiler, M., Hänsler, A., Zimmer, J., Moser, M. (2019) Nutzung von Radardaten im Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg. *WasserWirtschaft*, 12-2019, 63 – 67

## **Vergleichende Modellierung von Maßnahmen zur Minderung des Pestizidaustrags auf der Einzugsgebietskala mit den Modellen SWAT und ZIN-AgriTra**

Stephanie Zeunert<sup>1</sup>, Johanna Schwenkel<sup>1</sup>, Matthias Schöniger<sup>1</sup>, Günter Meon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TU Braunschweig, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz, Beethovenstr. 51a, 38106 Braunschweig

zeunert@tu-braunschweig.de, j.schwenkel@tu-braunschweig.de, m.schoeniger@tu-braunschweig.de, g.meon@tu-braunschweig.de

Pflanzenschutzmittel (PSM) werden in der Landwirtschaft in großen Mengen eingesetzt, um die Pflanzengesundheit zu erhalten und die Ernteerträge zu optimieren. Allerdings können diese hochwirksamen Stoffe und ihre Abbauprodukte durch Niederschläge mit dem Wasser von den landwirtschaftlichen Zielflächen in angrenzende Oberflächengewässer oder das Grundwasser gelangen und dort zu einer Schädigung des Ökosystems führen.

In der Praxis existieren verschiedene Minderungsmaßnahmen, um den Eintrag von PSM infolge von Oberflächenabfluss und Erosionsprozessen zu reduzieren. Der Einfluss ausgewählter Maßnahmen auf der Einzugsgebietskala wurde im Rahmen des Projektes PSMIn, gefördert vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), modelltechnisch nachgebildet. Hierfür wurden die beiden ökohydrologischen Modelle ZIN-AgriTra und SWAT verwendet. ZIN-AgriTra ist ein physikalisch basiertes, distributives Modell, das die Transport- und Reaktionsprozesse von PSM zeitlich<sup>S</sup> und räumlich hoch aufgelöst berechnet. Aufgrund der hohen Rechenzeit wird es vorwiegend für die Modellierung sehr kleiner Einzugsgebiete auf der Mikroskala verwendet. SWAT ist ein semi-distributives Modell, welches in der Regel für Langzeitsimulationen auf der Meso- bis Makroskala angewandt wird. Transport- und Reaktionsprozesse von PSM werden mit vereinfachten Prozessroutinen und in geringerer zeitlicher Auflösung berechnet. Vorteil ist der deutlich geringere Rechenaufwand, der es ermöglicht, dass Modell auch auf größerer Skala anzuwenden. Allerdings ist

hierfür zunächst die modellinterne Abbildung von Minderungsmaßnahmen wie Randstreifen mit Hilfe eines hoch aufgelösten physikalisch-basierten Modells wie ZIN-AgriTra für ein kleineres Einzugsgebiet zu plausibilisieren.

Im Projekt wurden beide Modelle auf das Einzugsgebiet des Lahbachs (ca. 5,3 km<sup>2</sup>) angewendet, das im Südosten Niedersachsens am Rand eines kleinen Höhenzuges liegt. Das Einzugsgebiet ist landwirtschaftlich geprägt, zu den Hauptanbaufrüchten zählen Winterweizen, Zuckerrüben und Wintergerste. Durch eine erhöhte Hangneigung und überwiegend schluffhaltige Böden weisen die Flächen im Einzugsgebiet ein erhöhtes Risiko für Oberflächenabfluss und ein damit verbundenes erhöhtes Erosionspotenzial auf, was einen Eintrag von PSM in angrenzende Gewässer begünstigt.

## Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

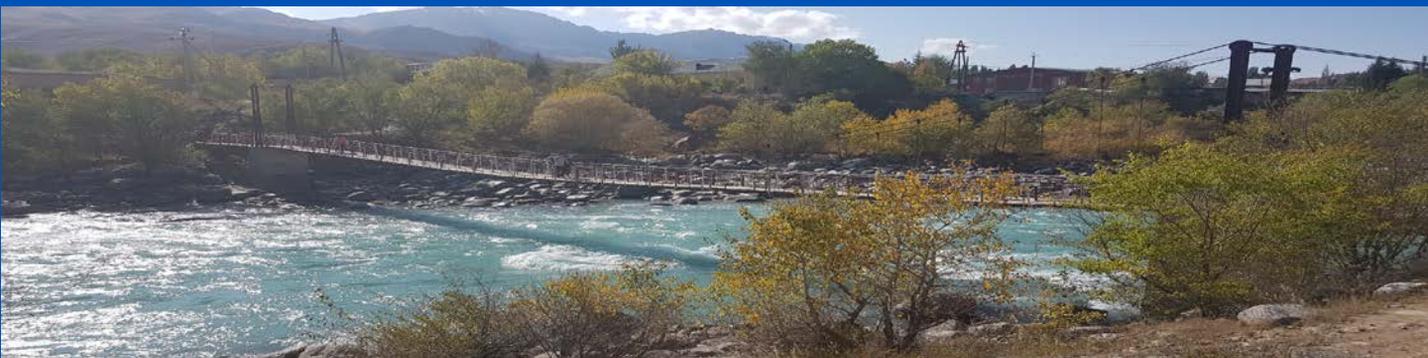
Zur Aufnahme von Daten zur Kalibrierung der Modelle wurde im Einzugsgebiet des Lahbachs über 1 ½ Jahre eine Monitoringkampagne durchgeführt. Hierbei wurde sowohl die Wassermenge (Wasserstand, Abfluss) als auch die Wasserqualität (Sediment, Nährstoffe, PSM) erfasst. Die Beprobung der Wasserqualität erfolgte ereignisbasiert mit automatischen Probenehmern.

Die aufgenommenen Daten konnten zur erfolgreichen Kalibrierung der beiden Modelle verwendet werden. Anschließend wurden ausgewählte Managementmaßnahmen zur Reduktion des Pestizidaustrags infolge von Oberflächenabfluss und Erosionsprozessen implementiert. Hierfür wurden in beiden Modellen zum einen Randstreifen verschiedener Breiten integriert, zum anderen wurde der Effekt einer konservierenden Bodenbearbeitung untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass beide Modelle grundsätzlich in der Lage sind, Maßnahmen zur Reduktion des PSM-Austrags aus der Landwirtschaft zu integrieren. Allerdings variiert die vorhergesagte Reduktionsleistung zwischen den Modellen teilweise deutlich. Dies ist zum einen auf die unterschiedliche räumliche und zeitliche Abbildung der Transport- und Reaktionsprozesse zurückzuführen, zum anderen auf die momentan verwendeten Verfahren zur Berechnung der Reduktionsleistung (physikalisch basiert/empirisch). Trotz der grundsätzlich guten Eignung sind daher noch weitere Anpassungen in den Modellen sinnvoll, um die Minderungswirkung von Managementmaßnahmen im Einzugsgebiet aussagekräftiger abzubilden. Gleichzeitig sind weitere Felduntersuchungen durchzuführen, um den Einfluss der Minderungsmaßnahmen auf den Pestizidaustrag direkt zu quantifizieren und die Modellergebnisse zu verifizieren.



# Vorträge Session C: „Water-Food-Energy- Nexus“



## Liste der Vorträge in Session C: „Water-Food-Energy-Nexus“

<b>Nummer</b>	<b>Titel</b>	<b>Autor</b>
C-01	Eine auenökologische Perspektive auf den Water-Food-Energy-Nexus des Naryn/Syr Darya Flusssystem in Zentralasien	<b>F. Betz</b> , T. Schaffhauser, M. Laueremann, A. Chymyrov, B. Cyffka, M. Disse
C-02	Wie PV-Freiflächenanlagen den Bodenwasserhaushalt verändern – Begleitforschung im größten Solarpark Deutschlands	<b>U. Feistel</b> , S. Kettner, J. Ebermann, S. Werisch
C-03	Virtual Water Values (ViWA) – A Monitoring System for Global Water Use Efficiency in Agriculture	<b>T. Hank</b> , C. Werner, E. Probst, P. Klug, H. Bach, W. Mauser
C-04	Abschätzung von Klimafolgen auf die Land- und Wasserbewirtschaftung und Möglichkeiten der Anpassung in Bolivien	<b>F. Hattermann</b> , A. Gädeke, C. A. Fernandez-Palomino et al.
C-05	Integrated Water-Food-Energy Nexus Assessment in the Danube River Basin Using a Hydro-Agroecological Nexus-Model	<b>E. Probst</b> , C. Werner, T. Hank, H. Bach, W. Mauser

## **Eine auenökologische Perspektive auf den Water-Food-Energy-Nexus des Naryn/Syr Darya Flusssystem in Zentralasien**

Florian Betz<sup>1\*</sup>, Timo Schaffhauser<sup>2</sup>, Magdalena Lauer<sup>1</sup>, Akylbek Chymyrov<sup>3</sup>, Bernd Cyffka<sup>1</sup>,  
Markus Disse<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Ostenstr. 14, 85072 Eichstätt

<sup>2</sup> Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München

<sup>3</sup> Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture, Bishkek, Kirgistan

florian.betz@ku.de

In den ariden und semiariden Regionen Zentralasiens haben die Flüsse eine hohe Relevanz für die Bewässerung in der Landwirtschaft sowie die Erzeugung von Hydroenergie. Gleichzeitig sind die Flusskorridore mit ihren Auen regionale Biodiversitätshotspots und stellen wichtige Ökosystemleistungen für die lokale Bevölkerung bereit. Die Entwicklung und Struktur der Fluss- und Auenökosysteme hängt dabei direkt vom Abfluss und seiner Dynamik ab. Die Bedeutung der Abflussdynamik für den Erhalt der natürlichen Ökosysteme wurde bislang in der Analyse des Water-Energy-Food-Nexus in Zentralasien kaum beachtet.

In dem Beitrag wird der Water-Food-Energy-Ecosystem-Nexus für das Naryn-Syr Darya Flusssystem in Zentralasien diskutiert. Die Wasserressourcen dieser Flüsse sind zum einen extrem wichtig für die Bewässerung in der Landwirtschaft in den Unterliegern Usbekistan und Kasachstan. Zum anderen hat Kirgistan als Oberlieger ein hohes Interesse an der Produktion von Hydroenergie. Derzeit stellt der in Kirgistan liegende Toktogulstausee die wichtigste Infrastruktur zum Management der Wasserressourcen dar. Während Usbekistan und Kasachstan vor allem im Sommer Wasser für die Bewässerung benötigen, hat Kirgistan sein Hauptinteresse in der Energieproduktion im Winter. Da Ausgleichsmechanismen aus der Sowjetzeit nicht mehr in Kraft sind, stellen diese gegensätzlichen Interessen der Bewirtschaftung des Toktogul-Stausees einen relevanten Konflikt im Management der Wasserressourcen des Naryn-Syr Darya Flusssystem dar. Oberhalb des Toktogul ist der Naryn auf einer Länge von mehr als 700 km noch ein freifließender Fluss. Aufgrund der hohen Dynamik findet sich im Flusskorridor ein Mosaik an Habitaten mit einer sehr hohen Biodiversität. Derzeit existieren Pläne zum Bau von Wasserkraftwerken im freifließenden Teil des Naryn. Diese könnten zwar einen Beitrag dazu leisten, den Konflikt um die Bewirtschaftung des Toktogul zu entschärfen. Gleichzeitig sind durch den Bau von Querbauwerken eine Beeinträchtigung des natürlichen Abflussregimes und damit eine Bedrohung der Biodiversität im Flusskorridor zu erwarten. Daraus ergibt sich eine komplexe Abwägung zwischen der Nutzung von Hydroenergie und dem internationalen Wassermanagement auf der einen sowie dem Erhalt des natürlichen Abflussregimes und damit dem Schutz der Biodiversität auf der anderen Seite.

Der Beitrag analysiert diesen Water-Food-Energy-Ecosystem-Nexus aus einer auenökologischen Perspektive. Dabei wird der freifließende Abschnitt im Oberlauf in den Mittelpunkt gestellt. Auf Basis einer detaillierten Analyse der räumlichen Struktur des Flusskorridors und des natürlichen

## Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Abflussregimes mit seiner hohen Dynamik werden die potentiellen Auswirkungen von Wasserkraftwerken auf die natürlichen Ökosysteme abgeleitet. Darauf aufbauend werden Optionen diskutiert, die den Erhalt der Biodiversität in dem freifließenden Oberlauf ermöglichen können. Dies umfasst etwa die Nutzung alternativer erneuerbaren Energien, eine angepasste Planung der Lage von Kraftwerken in der Fließstrecke oder der Berücksichtigung des natürlichen Abflussregimes beim Betrieb von Wasserkraftwerken.

## **Wie PV-Freiflächenanlagen den Bodenwasserhaushalt verändern – Begleitforschung im größten Solarpark Deutschlands**

Ulrike Feistel<sup>1</sup>, Susanna Kettner<sup>1</sup>, Jakob Ebermann<sup>1</sup> und Stefan Werisch<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Friedrich List Platz 1, 01069 Dresden

<sup>2</sup> FB31 – Lysimeterstation Brandis, Lysimeterweg 1-3, 04821 Brandis

ulrike.feistel@htw-dresden.de, susanna.kettner@htw-dresden.de, jakob.ebermann@htw-dresden.de, Stefan.Werisch@smekul.sachsen.de

Als Antwort auf die Diskrepanz zwischen der weltweit steigenden Anzahl großer Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA) und dem geringen Wissenstand, was deren Einfluss auf die Umwelt und im Besonderen das System Wasser-Boden-Pflanze betrifft, begann das Team Ingenieurhydrologie der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTWD) 2017 mit seinen Untersuchungen. Die ersten Ergebnisse an der 164 ha großen PV-FFA in Weesow werden im Kontext der Voruntersuchungen an der kleineren PV-FFA in Boxberg sowie zwei Lysimetern des BfUL in Brandis diskutiert.

Die Umverteilung des Niederschlages durch Bedeckung und die Veränderung der Verdunstung durch Beschattung von Bodenflächen bewirken entsprechende Veränderungen in Quantität und Verteilung von Bodenfeuchte, Infiltration und Versickerung sowie Grundwasserneubildung. Die zwei folgenden Hypothesen (H) wurden basierend auf den Ergebnissen der Voruntersuchungen formuliert:

H1: Durch Teilbeschattung kommt es zu einer Verringerung der Verdunstung, ein in den Sommermonaten dominanter Prozess.

H2: Durch an der Tropfkante konzentriertem Niederschlag kommt es zu einer erhöhten Infiltration, Versickerung und Grundwasserneubildung, ein in den Wintermonaten dominanter Prozess.

Das entwickelte Messkonzept dient der Überprüfung dieser Hypothesen, wobei hier lediglich Hypothese H1 diskutiert wird. Die Voruntersuchungen in Boxberg sowie die Messungen in Weesow konzentrieren sich auf die Erfassung der Bodenfeuchte und deren zeitliche und räumliche Verteilung, während auf den Lysimetern in Brandis die Verdunstung erfasst wird. Es wird jeweils eine Referenzfläche mit Messungen unter den Modulen verglichen.

Voruntersuchungen mit TDR Sonden (PR2/6 der Fa. Delta-T Devices, [1]) in Boxberg zeigen, dass in Trockenperioden der Rückgang der Bodenfeuchte in den obersten Bodenschichten unter den Modulen im Vergleich zur Referenzfläche reduziert ist. Im Mittel von acht Trockenperioden zwischen April 2019 und April 2020 betrug der prozentuale Rückgang der Bodenfeuchte in 10 cm Tiefe 18,6 %  $\pm$  11,5 % unter den Modulen und 42,4 %  $\pm$  10,0 % auf der Referenzfläche. Sommerliche Messungen der Globalstrahlung sowie der Bodentemperatur in 10 cm Tiefe reflektieren den Einfluss der Beschattung. So überschreiten die Tageswerte der Globalstrahlung von Mai bis Juli 2018 auf der Referenzfläche die Messwerte unter den Modulen um das 9-fache ( $8,9 \pm 2,3$ ).

## Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Die ermittelten Verdunstungswerte zwischen dem 28.11.2019 und 09.04.2020 an den beiden Lysimetern in Brandis zeigen bei gleicher Gesamtverdunstung des beschatteten und des Referenzlysimeters (158 mm und 163 mm) einen unterschiedlichen Verlauf mit höherer Verdunstung unter dem Modul während der Wintermonate, wohingegen ab März die Verdunstung des Lysimeters mit Beschattung geringer ist als die des Referenzlysimeters.

Aktuelle Messungen unter den Modulen mit erweiterter Instrumentierung zur statistischen Absicherung der Ergebnisse in Weesow, die seit 26.08.2020, durchgeführt werden, bestätigen die Ergebnisse der Voruntersuchungen. Während der niederschlagsfreien und noch warmen Zeit vom 24.10.2021 bis 02.11.2021 sinkt die Bodenfeuchte in 10 cm Tiefe auf der Referenzfläche um 18 %, während unter den Modulen die Bodenfeuchte konstant bleibt.

### Literatur

[1] Delta-T Devices (2016): User manual for the SDI-12 Profile Probes. Version 4.1, Cambridge

## **Virtual Water Values (ViWA) – A Monitoring System for Global Water Use Efficiency in Agriculture**

Tobias Hank<sup>1</sup>, Christine Werner<sup>1</sup>, Elisabeth Probst<sup>1</sup>, Philipp Klug<sup>2</sup>, Heike Bach<sup>2</sup>, Wolfram Mauser<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dept. of Geography, Ludwig-Maximilians-Universität Munich, Luisenstrasse 37, 80333 Munich

<sup>2</sup> VISTA Remote Sensing in Geosciences GmbH, Gabelsbergerstrasse 51, 80333 Munich

tobias.hank@lmu.de, c.werner@iggf.geo.uni-muenchen.de,  
elisabeth.probst@iggf.geo.uni-muenchen.de, klug@vista-geo.de, bach@vista-geo.de,  
w.mauser@lmu.de

The water-food-energy nexus intimately binds food and energy production to water use. The largest fraction of today's water use is through food and energy production in agriculture. Water use in agriculture, however, is predominantly wasteful and not sustainable, due to over-exploitation of scarce water resources on one hand and through inefficient use of water on the other. So far, no global monitoring system for Agricultural Water Use Efficiency (AWUE) and sustainability exists. Both quantities thus are largely unknown especially on a global level. This leads to the limitation that efficiency and sustainability of water use cannot yet be incorporated in control mechanisms for virtual water flows in global food trade.

The BMBF ViWA (Virtual Water Values, [1]) project aims to close this knowledge gap by using an innovative approach of combining global environmental simulations and remote sensing observations: a process-based, dynamic environmental model globally and with high spatial and temporal resolution simulates crop growth, yield and water use for the major food and feed crops and a whole variety of different environmental conditions and farming practices. A unique global dataset is produced, which demonstrates through simulated management scenarios all achievable AWUEs and yields for all farming locations on the Globe. The huge Earth observation data streams of the COPERNICUS Sentinel-2 satellites, after adequate processing [2], deliver global and up-to-date data on crop growth from all corners of the Globe. By comparison with scenario simulations, these satellite-based measurements of crop growth allow choosing from all possible simulated management scenarios and crops the one realized at each location on the Globe. The result is a global system that can monitor AWUE and its change over time, thereby allowing to identify regional and local hot-spots of improving and deteriorating AWUE.

ViWA uses the simulation model PROMET [3]. PROMET is developed in FORTRAN and completely parallelized using OpenMP. Complex coupled physical and biological processes are simulated on ca. 54 billion pixels driven by downscaled global climate data. For each pixel, timestep and crop both energy balance (temperature, radiation, latent heat flow etc.) and mass balance (carbon and water uptake and release) are closed by numerically iterating the coupled equations describing the

processes of the land-surface interaction, plant photosynthesis and phenological development in a dynamic crop growth model [4].

Part of the results of the ViWA simulations, which were carried out on the SuperMUC HPC system at LRZ in Garching, are global maps of AWUE for different crops. The maps show that AWUE is highly spatially heterogeneous around the globe and that the type and intensity of agricultural management largely influence the efficiency of water use in agricultural crop production. The spatial data will soon be provided via the cloud-based Food Security-Thematic Exploitation Platform of the European Space Agency (ESA FS-TEP) and thus will potentially contribute to the land surface related United Nations Sustainable Development Goals (UN SDGs).

#### Literatur

[1] W. Mauser, T. Hank, T. Jaksztat & E. Probst (2018): Virtual Water Values – A project for global and regional assessment of agricultural yields and water use efficiency. *Land Reclamation Earth Observation & Surveying Environmental Engineering*, Vol. 7, pp. 192-197.

[2] W. Verhoef & H. Bach (2007): Coupled soil-leaf-canopy and atmosphere radiative transfer modeling to simulate hyperspectral multi-angular surface reflectance and TOA radiance data, *Remote Sensing of Environment*, vol. 109, pp. 166-182.

[3] W. Mauser & H. Bach (2009): PROMET - Large scale distributed hydrological modelling to study the impact of climate change on the water flows of mountain watersheds, *Journal of Hydrology*, vol. 376, pp. 362-377.

[4] T. Hank, H. Bach & W. Mauser (2015): Using a Remote Sensing-Supported Hydro-Agroecological Model for Field-Scale Simulation of Heterogeneous Crop Growth and Yield: Application for Wheat in Central Europe, *Remote Sensing*, vol. 7, pp. 3934-3965.

## **Abschätzung von Klimafolgen auf die Land- und Wasserbewirtschaftung und Möglichkeiten der Anpassung in Bolivien**

Fred Hattermann<sup>1</sup>, Anne Gädeke<sup>1</sup>, Carlos Antonio Fernandez-Palomino<sup>1</sup>, et al.

<sup>1</sup> Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Teil der Leibniz Gesellschaft, Telegrafenberg, Potsdam  
14412

hattermann@pik-potsdam.de

Der fortschreitende Klimawandel stellt die Bewirtschaftung der Wasser- und Landressourcen in Bolivien vor eine Reihe von Herausforderungen: Rückgang der Gletscher, verstärkt auftretende Extremereignisse wie Hochwasser und Dürren und dadurch eine verstärkte Variabilität der landwirtschaftlichen Erträge. Gesucht werden Strategien, um durch eine angepasste Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen negative Folgen für die Bevölkerung zu mindern oder zu vermeiden und gleichzeitig eine nachhaltige Entwicklung zu ermöglichen.

In unserem Beitrag zeigen wir die potentiellen Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Anpassungsoptionen in zwei unterschiedlichen Regionen Boliviens (Teileinzugsgebiete des Bolivianischen Amazonas (~610200 km<sup>2</sup>) und des Río de la Plata (3400 km<sup>2</sup>)) auf die natürlichen und bewirtschafteten Wasserressourcen und damit verbunden auf Erträge ausgewählter Feldfrüchte sowie die Wasserkrafterzeugung. Basierend auf den modellierten Klimafolgen werden in Zusammenarbeit mit regionalen Akteuren Anpassungsmaßnahmen identifiziert, deren Wirkung modellhaft untersucht und deren Wirtschaftlichkeit im Rahmen einer Kosten-Nutzen Analyse abgeschätzt wird. Das für die Studie genutzte Modell SWIM integriert dabei die relevanten hydrologischen und Vegetationsprozesse, die Bewirtschaftung von Talsperren und Ackerfrüchten sowie die Erzeugung von Wasserkraft und wird durch bias-korrigierte CMIP6-Klimaszenarien und regionale Entwicklungsszenarien angetrieben.

Die Ergebnisse der Klimaprojektionen zeigen ein regional-differenziertes Bild für Bolivien: Im bolivianischen Teil des Amazonas-Einzugsgebiets nehmen das natürliche Wasserdargebot und landwirtschaftliche Erträge (z.B. Mais, Soja, Kartoffeln) zukünftig ab, wohingegen im Río de la Plata Teileinzugsgebiet tendenziell eine Zunahme simuliert wird. Gleichzeitig nehmen Extremereignisse (Dürren im Amazonas, Hochwasser im Río de la Plata) zu. Eine an die Klimafolgen angepasste Talsperrenbewirtschaftung kann die verstärkte Saisonalität unter Klimawandel ausgleichen und zu einer deutlich erhöhten Wasserverfügbarkeit in der Trockenzeit führen. Das Wasser kann dann zur Bewässerung von "cash crops" eingesetzt werden, wobei man die Talsperre so steuern muss, dass sich daraus keine wesentlichen Nachteile für die Wasserkrafterzeugung und für den ökologischen Mindestabfluss ergeben. Trockenresistente Gräser (z.B. Sorghumhirse) können die Vulnerabilität der Viehwirtschaft, welche einen wichtigen Wirtschaftszweig im Amazonasbecken darstellt, gegenüber Trockenperioden kosten-effektiv mindern. Die Ergebnisse der Studie zeigen regionalen

Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Akteuren exemplarisch, dass eine an den Klimawandel angepasste Land- und Wasserressourcenbewirtschaftung potentielle negative Folgen in gewissen Maßen mindern kann. Globaler Klimaschutz und das Einhalten des Pariser Klimaabkommen sind jedoch essentiell, um Klimafolgen und Kosten für Anpassungsmaßnahmen gering zu halten.

## **Integrated Water-Food-Energy Nexus Assessment in the Danube River Basin Using a Hydro-Agroecological Nexus-Model**

Elisabeth Probst<sup>1</sup>, Christine Werner<sup>1</sup>, Tobias Hank<sup>1</sup>, Heike Bach<sup>2</sup>, Wolfram Mauser<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dept. of Geography, Ludwig-Maximilians-Universität Munich, Luisenstrasse 37, 80333 Munich

<sup>2</sup> VISTA Remote Sensing in Geosciences GmbH, Gabelsbergerstrasse 51, 80333 Munich

elisabeth.probst@iggf.geo.uni-muenchen.de, c.werner@iggf.geo.uni-muenchen.de,  
tobias.hank@lmu.de, bach@vista-geo.de, w.mauser@lmu.de

The water-food-energy nexus is an integrated framework, in which food production, energy generation and water use are closely interlinked. In the light of the United Nations Sustainable Development Goals (UN SDGs), many of which are directly or indirectly related to water, an integrative view of the water-food-energy nexus is essential for a holistic assessment of the sustainability of water use. Agriculture is the most water-intensive sector, dominating global freshwater withdrawals. Climate change and energy transition are anticipated to increase competition for the scarce resource of water. Therefore, improving agricultural water use efficiency is key for intelligent and sustainable agricultural management.

The BMBF ViWA (Virtual Water Values, [1]) project aims to develop a global high resolution monitoring system for assessing the efficiency of agricultural water use. A special regional focus lies on the investigation of water flows within a water-food-energy nexus approach in representative pilot catchments. One of the pilot catchments is the Danube River Basin, a particularly heterogeneous basin in terms of climate, hydrology and agriculture. Here, very different climatic conditions lead to varying water availability, causing water competition not only between different sectors, but also between upstream and downstream countries.

For the integrative high-resolution simulation of water flows, the mechanistic hydro-agroecological Nexus-model PROMET is used [2, 3]. PROMET interlinks hydrological modelling and biophysically based crop growth and crop management modelling under a strictly closed water, carbon and energy balance. Simulations are carried out on a spatially distributed raster grid of 1 km<sup>2</sup> resolution and hourly temporal resolution. Within the Danube River Basin, coupled hydrological and biophysical processes and their corresponding vertical and lateral water flows are computed in a soil-vegetation-atmosphere-transfer (SVAT) scheme, including dynamic crop growth, plant evapotranspiration and its direct feedbacks on catchment hydrology, crop yield and agricultural water use efficiency. For the Danube River Basin, agricultural management scenarios (esp. large-scale irrigation) are incorporated and their impacts on crop yield, agricultural water use efficiency and hydrology are systematically analysed. Here, irrigation scenarios based on large-scale surface water vs. groundwater extraction are investigated and their impacts on river discharge, energy production at downstream hydropower plants and first indications of ecological consequences are revealed. Results show that river runoff is

drastically reduced through full irrigation of maize in the basin (e.g. up to 60% at the mouth in summer) with serious expected damage for the downstream freshwater ecology. At the same time the anticipated total turnover of maize, which is added by irrigation, strongly outweighs the economic losses of hydropower production.

The results show that freshwater is a highly competitive resource between sectors and upstream and downstream actors in the Danube River Basin. PROMET allows analysing scenarios of water-food-energy conflicts and their ecological impacts in large river basins on a very fine spatial resolution. The findings of the regional nexus assessment in the Danube River Basin can help to identify trade-offs between increasing agricultural production for food and bioenergy through irrigation and sectoral and ecological impacts, potentially providing important decision support on land and water basin management.

### Literatur

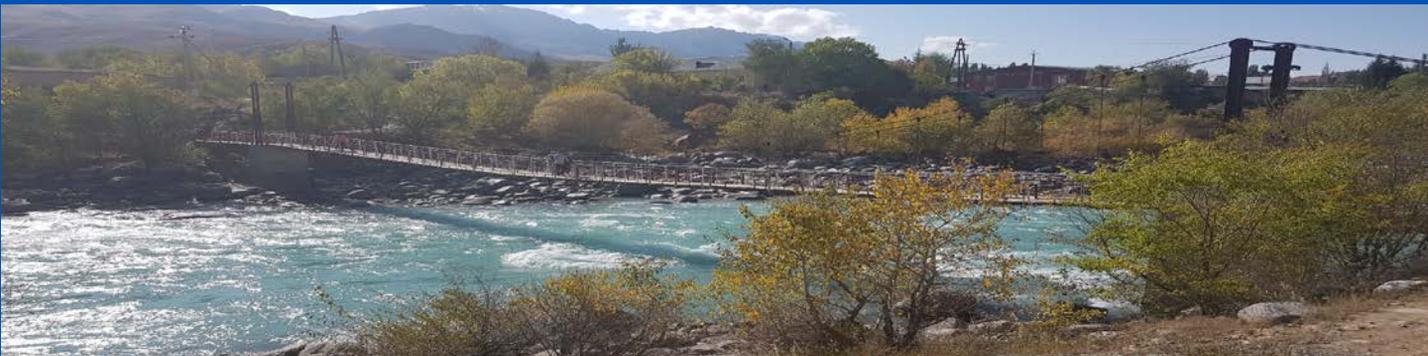
[1] W. Mauser, T. Hank, T. Jaksztat & E. Probst (2018): Virtual Water Values – A project for global and regional assessment of agricultural yields and water use efficiency. *Land Reclamation Earth Observation & Surveying Environmental Engineering*, Vol. 7, pp. 192-197.

[2] W. Mauser & H. Bach (2009): PROMET - Large scale distributed hydrological modelling to study the impact of climate change on the water flows of mountain watersheds, *Journal of Hydrology*, Vol. 376, pp. 362-377.

[3] T. Hank, H. Bach & W. Mauser (2015): Using a Remote Sensing-Supported Hydro-Agroecological Model for Field-Scale Simulation of Heterogeneous Crop Growth and Yield: Application for Wheat in Central Europe, *Remote Sensing*, Vol. 7, pp. 3934-3965.



# Poster Session 1: „Modellierung und Vorhersage von extremen Ereignissen“



## Liste der Poster in Session 1: „Modellierung und Vorhersage von extremen Ereignissen“

<b>Nummer</b>	<b>Titel</b>	<b>Autor</b>
S1-01	Von Trockenheit zu Hochwasser – Übergangszeiten in verschiedenen Hydroklimata	<b>J. Götte</b> , M. I. Brunner
S1-02	Niederschlagsschätzungen von opportunistischen Sensoren am Beispiel der Flutkatastrophe in Rheinland-Pfalz im Juli 2021	<b>M. Eisele</b> , A. Bárdossy, C. Chwala, N. Demuth, A. E. Hachem, M. Graf, H. Kunstmann, J. Seidel
S1-03	KIWaSuS: KI-basiertes Warnsystem vor Starkregen und urbanen Sturzfluten	<b>J. Koltermann da Silva</b> , M. Quirnbach, B. Burrichter
S1-04	Hot Spots und interne Variabilität von meteorologischen Dürren in Europa	<b>M. Mittermeier</b> , A. Böhnisch, M. Leduc, R. Ludwig
S1-05	Systematische Analyse des Modellverhaltens des 2D hydrodynamischen Niederschlags-Abflussmodells HEC-RAS mit Fokus auf der räumlichen Auflösung	<b>A. David</b> , B. Schmalz
S1-06	Flash flood modelling and forecasting in data scarce regions like Jordan – A first step of an adequate model selection	<b>C. Hohmann</b> , C. Maus, D. Ziegler, M. Brum, M. Thiemann
S1-07	Analyse und Quantifizierung der Querbewirtschaftung auf Ackerflächen zur verbesserten Abschätzung des Bodenabtrags durch Niederschlag und Wassererosion	<b>D. Scholand</b> , B. Schmalz
S1-08	Einfluss des Niederschlagsregimes und der Saisonalität auf die Ränder (Upper Tails) von Extremniederschlagsverteilungen	<b>L. Wietzke</b> , B. Merz, B. Guse, E. MacDonald & S. Vorogushyn
S1-09	Limitierungen in der Modellierung historischer Flutereignisse aufgrund von Gletscherseeausbrüchen in einem alpinen Einzugsgebiet	<b>G. Chiogna</b> , F. Hofmeister, M. Pfeiffer, I. Labuhn, B. Marzeion und M. Disse
S1-10	Möglichkeiten, Grenzen und offene Fragen bei der praktischen Nutzung von Abflussscheitel-Füllen-Copulas für die Hochwasserbemessung	<b>N. Dalla Valle</b> , S. P. Seibert, N. Stahl-van Rooijen
S1-11	Modellgestützte Untersuchungen zur Nutzung von Waldflächen als Element der aktiven Starkregenvorsorge	<b>S. Gürke</b> , J. Jensen
S1-12	A Comparison of Evapotranspiration- and Soil Moisture-Based Definitions of Traditional and Flash Drought over the California Central Valley Region	<b>S. Quynh-Giang Ho</b> , Y. Tuo
S1-13	Transport organischer Spurenstoffe in der Elbe beim Niedrigwasser 2019	<b>G. Hübner</b> , D. Schwandt, M. Schlüsener, A. Wick
S1-14	Große Niederschlag-Abfluss-Ereignisse aus Einzugsgebieten < 250 km <sup>2</sup> aus Bayern, Baden Württemberg und Rheinland-Pfalz (Datensatz)	<b>K. Krüger</b> , H. Stockel, W. Willems, K. Stricker, S. P. Seibert
S1-15	Intensitätsvariabilität von Starkniederschlagsereignissen	<b>M. Perschke</b> , E. Ruiz Rodriguez, B. Schmalz

S1-16	Einfluss von Parametern auf die Bestimmung des abflusswirksamen Niederschlags nach dem SCS-Verfahren	<b>L. Nersissian</b> , B. Schmalz
S1-17	Modellbasierte Planung multi-funktionaler wasserwirtschaftlicher Anlagen zur Antizipation des erwarteten Klimawandels	<b>P. Nistahl</b> , T. Müller, G. Riedel, G. Meon
S1-18	Ableitung stündlicher Bodenfeuchtwerte basierend auf RADOLAN Wetterradar Daten	<b>T. Ramsauer</b> , P. Marzahn, R. Ludwig
S1-19	Aufbau einer Modellkette für die Hochwasservorhersage an der Spree in Brandenburg	<b>M. Renner</b> , M. Roers, S. Hartwich, E.-R.Trübger, A. Yörük, R. Müller, B. Pfützner, A. Becker, S. Patzke, O. Buchholz et al.
S1-20	Aufbau des neuen Hochwassermeldezentrams Brandenburg	<b>M. Roers</b> , M. Renner, A. Baldy
S1-21	Die Auswirkungen des Klimawandels auf Trockenheit und Dürre im Einzugsgebiet der Gersprenz	<b>P. F. Grosser</b> , B. Schmalz
S1-22	Wie reagiert die Wasserqualität eines landwirtschaftlich beeinflussten Flusses auf den extremen sommerlichen Niedrigwasserabfluss 2018 mit Hilfe von Hochfrequenzsensor-Messungen?	<b>J. Huang</b> , D. Borchardt, M. Rode
S1-23	Niederschlags-Abfluss-Modellierung des Kalkgrabens – Vergleich verschiedener Ansätze zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen	<b>M. Winkler</b> , T. Büche, D. Gampe
S1-24	Hochwasservorhersage mit LSTM-Netzen: Erweiterung der Inputdaten um statistische Niederschlagsinformationen	<b>T. Morgenstern</b> , J. Grundmann, N. Schütze
S1-25	Effects of storm movement on flash flood modelling	<b>S. K. B. Ghomash</b> , D. Bachmann, D. Caviedes Voullième, C. Hinz
S1-26	SINFONY – Integriertes Vorhersagesystem für konvektive Ereignisse und die Schnittstelle zur Hochwasservorhersage	<b>J. Bondy</b> , V. Fundel, M. Schmidt, C. Berndt, U. Blahak
S1-27	Ereignisbasierte Ableitung eines Risikofaktors für Starkregenereignisse am Beispiel von Einzugsgebieten unbeeinflusster Pegel	<b>F. Netzel</b> , F. Simon, A. Hotzel, F. Oestermann, C. Mudersbach
S1-28	Role of mean and variability change for changes in European seasonal extreme precipitation events	<b>Raul R. Wood</b>
S1-29	Vorhersagefähigkeit Bias-korrigierter saisonaler SEAS5 Vorhersagen für Deutschland	<b>J. N. Weber</b> , C. Lorenz, T. C. Portele, H. Kunstmann
S1-30	Analyse der räumlichen Prozessabbildung in einem Wasserhaushaltsmodell	<b>M. Casper</b> , O. Gronz, M. Jackel, H. Mohajerani
S1-31	Auswirkungen des Klimawandels auf Niedrigwasser in Bayern - Hydrologische Modellierung auf Basis eines Klimamodellensembles -	<b>A. Sasse</b> , B. Poschlod, R. Ludwig

S1-32	Hochwasseresilienz durch integrierte sozio-technische Ansätze – das PARADeS Konzept in Ghana	<b>M. Evers</b> , A. Almoradie, J. Ntajal, B. Höllermann, G. Johann, H. Meyer, A. Schüttrumpf, S. Kruse, I. Wallin, F. Ziga-Abortta et al.
S1-33	Wie Sturzfluten das Überleben sichern können – Ein Beispiel aus der Antike mit Zukunftspotential	<b>P. Keilholz</b> , B. Lucke
S1-34	Auswirkungen des globalen Klimawandels auf Binnenhochwassergefahren und Entwässerungsbedarf an der niedersächsischen Nordseeküste	<b>T. Langmann</b> , H. M. Schöniger, M. Eley, G. Meon
S1-35	Aktualisierung konzeptioneller Abflussbildungs- und -konzentrationsverfahren für wasserwirtschaftliche Aufgaben in Einzugsgebieten <250 km <sup>2</sup>	<b>S. P. Seibert</b> , K. Krüger, H. Stockel, W. Willems, K. Stricker
S1-36	Ein neuer Ansatz zur Ermittlung des Extremhochwassers HQExtrem	<b>C. Mudersbach</b> , F. Oestermann, F. Netzel, F. Simon
S1-37	Abschätzung von Hochwasserabflüssen als Grundlage für Planungen auf kommunaler Ebene – Anforderungen und Probleme in der Praxis	<b>T. Büche</b>

## **Von Trockenheit zu Hochwasser – Übergangszeiten in verschiedenen Hydroklimata**

Jonas Götte<sup>1</sup> und Manuela Irene Brunner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Friedrichstr. 39, 79104 Freiburg im Breisgau

jonas.goette@hydrology.uni-freiburg.de, manuela.brunner@hydrology.uni-freiburg.de

Der Wechsel von Trockenheit zu Hochwasser stellt eine große Herausforderung für das Wassermanagement und die Entwicklung von Maßnahmen zum Schutz vor Extremereignissen dar. Der Übergang von einem Extrem zum nächsten kann innerhalb weniger Tage erfolgen, aber auch mehrere Monate oder Jahre dauern. Bisher wurden diese Übergänge meist anhand von klimatischen Daten analysiert, wodurch abflussrelevante Prozesse vernachlässigt werden. Einzugsgebietscharakteristika wie Klima, Topographie, Bodentyp oder Abflussmenge können die Übergangszeit maßgeblich beeinflussen – wie, ist aktuell aber noch unklar.

Daher untersuchen wir in dieser Studie Variationen der Übergangszeit zwischen Trockenheitsperioden und Hochwassern in Regionen mit verschiedenem hydroklimatischen Eigenschaften. Wir betrachten insbesondere die räumliche Verteilung von Übergangszeiten, d.h. der Anzahl Tage zwischen dem Ende einer Dürreperiode und einem Hochwasser. Zusätzlich analysieren wir Indikatoren und Muster von abrupten Übergängen und deren Zusammenhänge mit verschiedenen Trockenheits- und Hochwassercharakteristika, bspw. Intensität und Dauer. Datensätze wie CAMELS und LamaH sind dafür sehr gut geeignet, da sie neben Abflussdaten noch weitere Informationen, beispielsweise zum lokalen Klima, beinhalten. Mit diesen Informationen können Einzugsgebiete mit einer hohen Wahrscheinlichkeit für abrupte Übergänge besser identifiziert werden. Diese zu identifizieren ist wichtig, da eine unzureichende Vorbereitung auf ein Hochwasser dessen Auswirkungen stark erhöhen kann.

## **Niederschlagsschätzungen von opportunistischen Sensoren am Beispiel der Flutkatastrophe in Rheinland-Pfalz im Juli 2021**

Micha Eisele<sup>1</sup>, András Bárdossy<sup>1</sup>, Christian Chwala<sup>2,3</sup>, Norbert Demuth<sup>4</sup>, Abbas El Hachem<sup>1</sup>, Maximilian Graf<sup>2</sup>, Harald Kunstmann<sup>2,3</sup>, Jochen Seidel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung, Universität Stuttgart

<sup>2</sup> Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT-Campus Alpin, Garmisch-Partenkirchen

<sup>3</sup> Institut für Geographie, Universität Augsburg

<sup>4</sup> Landesamt für Umwelt, Rheinland-Pfalz

micha.eisele@iws.uni-stuttgart.de

Niederschläge sind hochvariabel in Raum und Zeit und die wichtigste Eingangsgröße für hydrologische Modelle. Da diese Modelle räumlich und zeitlich immer detaillierter werden, sind entsprechend aufgelöste Eingangsdaten erforderlich. Insbesondere für die Modellierung und Vorhersage in kleinen, schnell reagierenden Einzugsgebieten ist eine höhere raumzeitliche Auflösung erforderlich, als sie die derzeitigen Bodenmessnetze, z.B. das des Deutschen Wetterdienstes (DWD), üblicherweise bieten. Mit der zunehmenden Anzahl und Verfügbarkeit von opportunistischen Sensoren (OS), wie kommerziellen Richtfunkstrecken und privaten Wetterstationen, ergeben sich neue Möglichkeiten bestehende Niederschlagsmessnetze zu verdichten.

Wir haben ein geostatistisches Interpolationsverfahren entwickelt, das eine Kombination verschiedener opportunistischer Sensoren und ihrer spezifischen Merkmale und geometrischen Eigenschaften, z. B. Punkt- und Linieninformationen, ermöglicht. Zusätzlich kann die Unsicherheit der verschiedenen Datensätze berücksichtigt werden [1].

Anhand des Extremhochwassers im Juli 2021 in Rheinland-Pfalz soll gezeigt werden, dass durch das Berücksichtigen von OS-Daten Verbesserungen der Niederschlagsfelder, sowohl bei der flächenhaften Niederschlagsmenge als auch bei der räumlichen Verteilung, erzielt werden können.

Beobachtungen des Landesamts für Umwelt Rheinland-Pfalz haben dabei gezeigt, dass sowohl die konventionellen Niederschlagsinterpolationen aus DWD-Stationen, Stationen der Landesmessnetze in Rheinland-Pfalz, sowie weiterer Messnetzbetreiber, als auch das Radarprodukt RADOLAN die Niederschlagsmengen bei diesem Hochwasserereignis systematisch unterschätzt haben.

### Literatur

[1] Graf, M., El Hachem, A., Eisele, M., Seidel, J., Chwala, C., Kunstmann, H. and Bárdossy, A.: Rainfall estimates from opportunistic sensors in Germany across spatio-temporal scales, <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100883>

## **KIWaSuS: KI-basiertes Warnsystem vor Starkregen und urbanen Sturzfluten**

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

<sup>1</sup> Hochschule Ruhr West, Duisburger Str. 100, 45479 Mülheim an der Ruhr

Juliana.KoltermannDaSilva@hs-ruhrwest.de, Markus.Quirnbach@hs-ruhrwest.de,  
Benjamin.Burrichter@hs-ruhrwest.de

Eine Folge des Klimawandels ist das zunehmende Auftreten von Starkregenereignissen, die häufig zu Überflutungen führen. In diesem Sinn sind hochverdichtete urbane Gebieten von Sturzfluten besonders in den Sommermonaten betroffen, welche ein hohes Sicherheitsrisiko für die betroffene Bevölkerung darstellen. Die Ereignisse im Juli 2021 haben besonders verheerend gezeigt, dass ein genaueres und frühzeitiges Warnsystem dringend notwendig ist, um Bürgerinnen und Bürger besser zu schützen. Durch die Überlastung der Kanalnetze werden Straßen und Unterführungen, die z. B. auch als Rettungswege dienen, überflutet, was die Tätigkeit der Einsatzkräfte während des Ereignisses beeinträchtigt.

Im Rahmen des Forschungsprojektes KIWaSuS wird ein Echtzeitwarn- und Echtzeitmanagementsystem für urbane Sturzfluten unter Einsatz von Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) entwickelt. Ziele sind, die Überflutungsflächen durch Vorhersagemodelle besser zu lokalisieren, detaillierte Informationen für das kommunale Krisenmanagement bereitzustellen und Vorwarnzeiten signifikant zu erhöhen. Mithilfe einer Cloud-basierten Datenplattform können die im Projekt angewendeten Daten und KI-Modelle bearbeitet werden, sodass am Ende durch eine intuitive digitale Karte die vorhergesagten Überflutungsflächen zuverlässig und rechtzeitig vermittelt werden können. Für die erfolgreiche Entwicklung des Projekts arbeiten verschiedene Verbundpartner aus Wissenschaft und Industrie in unterschiedlichen Arbeitspaketen intensiv und eng miteinander zusammen.

Im Poster wird auf die Teilprojekte fokussiert, in denen die Vorhersagemodelle entwickelt werden. Es wird ein Niederschlagsvorhersagemodell zum Nowcasting von Starkregenereignissen unter Einsatz von Maschinellen Lernverfahren entwickelt. Hier soll auf KI-Algorithmen zurückgegriffen werden, um den Unzulänglichkeiten aktueller Niederschlagsvorhersagemodelle zu entgegen. Konvektive Niederschlagsereignisse zeichnen sich durch hochdynamische Entstehungs- und Entwicklungsprozesse aus, sodass Änderungen in den Niederschlagsintensitäten und die geographische Verortung von Starkregenzellen für die kommenden zwei Stunden nicht ausreichend mit den klassischen Verfahren vorhergesagt werden können. Für die Vorhersagen werden Radardaten des DX-Produkts vom Deutschen Wetter Dienst (DWD) verwendet, die flächendeckende und zeitlich hoch aufgelöste Aufzeichnungen des Niederschlags zur Verfügung stellen. Das KI-Modell soll dann mit relevanten historischen Starkregenereignissen trainiert werden, um Entstehungsmuster von Starkregenzellen zu erlernen und genauere Vorhersageergebnisse zu ermöglichen.

## Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Darüber hinaus werden zwei KI-Modelle für die Prognose des Überstaus und der Überflutung aus dem Kanalnetz entwickelt. Aktuelle physikalisch-basierte Niederschlag-Abfluss-Modelle ermöglichen eine ausreichende Genauigkeit in der Abbildung von Überflutungsflächen, sie benötigen dafür aber lange Rechendauern, welche eine Echtzeitanwendung dieser Modelle verhindert. Die KI-Modelle sollen dazu verwendet werden, die Rechendauer signifikant zu verkürzen, um aus den prognostizierten Niederschlagsmengen die Überflutungsflächen für das Untersuchungsgebiet frühzeitig auszugeben. Für das Training der Modelle werden dafür aus hydrodynamischen Überflutungsmodellen zunächst künstlich Datensätze generiert, die im späteren Projektverlauf durch Messdaten ergänzt werden sollen.

## Hot Spots und interne Variabilität von meteorologischen Dürren in Europa

M. Mittermeier<sup>1</sup>, A. Böhnisch<sup>1</sup>, M. Leduc<sup>2</sup>, R. Ludwig<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department für Geographie, Ludwig-Maximilians-Universität München

<sup>2</sup> Ouranos Consortium, Montréal, Kanada

Kontakt: m.mittermeier@lmu.de

Meteorologische Dürre in Form eines langanhaltenden Niederschlagsdefizits birgt das Risiko schwerwiegender wirtschaftlicher und ökologischer Folgen. Klimaprojektionen weisen darauf hin, dass das Auftreten dieser bedeutenden hydrometeorologischen Extreme in vielen Regionen aufgrund des Klimawandels stark zunehmen wird, sie unterliegen jedoch auch weiterhin einer hohen natürlichen Variabilität. Eine Bewertung von Klimatrends und Hot Spots kann mithilfe von Klimamodellen gelingen, die auch die Berücksichtigung der internen Variabilität des Klimasystems ermöglichen.

In dieser Studie wird der *Percent of Normal Index (PNI)* verwendet, der meteorologische Dürreperioden mittels prozentualer Abweichung von einem langfristigen Referenzmittelwert beschreibt. Der PNI wird in einem *Single-Model Initial-Condition Large Ensemble (SMILE)* des kanadischen regionalen Klimamodells CRCM5 über Europa analysiert, das aus 50 Realisationen des Klimamodells mit verschiedenen Initialisierungen besteht und eine Bewertung der Spannweite der internen Variabilität bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erlaubt. Die Analysen erfolgen für europäische Teilregionen mit verschiedenen klimatischen und topographischen Charakteristika. Zur Berechnung der Klimatrends wird eine Periode in der fernen Zukunft (2080-2099) unter dem repräsentativen Konzentrationspfad RCP8.5 verwendet und mit dem heutigen Klima (2001-2020) sowie einer vorindustriellen Referenz (<1850), bereitgestellt aus Kontrollläufen des CRCM5, verglichen, die eine kontrafaktische Welt ohne anthropogenen Klimawandel darstellt.

Unsere Analyse des SMILE ergibt eine deutliche Zunahme der Dauer, Anzahl und Intensität von Dürren in der fernen Zukunft in Europa; die Ergebnisse zeigen weiterhin auch eine hohe interne Variabilität des Auftretens. Darüber hinaus stellen wir eine starke saisonale Divergenz mit einer deutlichen Zunahme der Sommertrockenheit und einer Abnahme der Wintertrockenheit in den meisten Regionen fest. Außerdem nimmt der Prozentsatz der Sommertrockenheit, gefolgt von feuchten Wintern, in allen Regionen mit Ausnahme der Iberischen Halbinsel zu. Dürre-Hotspots, d.h. Regionen mit besonders ausgeprägten Trockenheitstrends, entstehen bzw. verstärken sich in den Alpen, dem Mittelmeerraum, Frankreich und der Iberischen Halbinsel.

## **Systematische Analyse des Modellverhaltens des 2D hydrodynamischen Niederschlags-Abflussmodells HEC-RAS mit Fokus auf der räumlichen Auflösung**

Amrei David<sup>1</sup>, Britta Schmalz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (ihwb), Technische Universität Darmstadt, Franziska-Braun-Straße 7, 64287 Darmstadt

david@ihwb.tu-darmstadt.de, b.schmalz@ihwb.tu-darmstadt.de

Die Methode der direkten Berechnung beinhaltet die flächenhafte hydrodynamische Simulation von Hochwassergefahren innerhalb von urbanen oder ländlichen Einzugsgebieten. Durch das Hinzufügen des Niederschlags als Quellterm zu den meist ursprünglich für die Berechnung von Wasserspiegellagen entwickelten Modellen, besteht die Möglichkeit das Einzugsgebiet flächenhaft zu berechnen und als quasi 2D hydrologisch-hydrodynamisches Modell (engl. Hydrological Hydrodynamic Rainfall Runoff Model – ‚HDRRM‘) anzuwenden. In der Literatur ist diese Methode auch als sogenannte Direct Rainfall Method oder rain-on-grid-Methode bekannt. Mittlerweile existieren viele Anwendungsbeispiele in ländlichen und urbanen Gebieten unterschiedlicher Größe, Topographie und Landnutzung. Generell stellen sich aufgrund der unterschiedlichen Abflussdynamik der Oberflächenabflüsse (geringe Fließtiefen, hohe Geschwindigkeiten, große Gefälle) andere Probleme im Vergleich zu den besser erforschten Flusslaufuntersuchungen im Zuge des Hochwasserrisikomanagements. Schwerpunkt der Untersuchung ist eine systematische Analyse des Modellverhaltens des 2D hydrodynamischen Modells HEC-RAS mit Anwendung als Niederschlags-Abflussmodell. Der Fokus liegt auf der Modellsensitivität in Bezug auf die räumliche Auflösung. Hieraus werden Empfehlungen für eine anwendungsspezifische Modellparametrisierung für die Umsetzung der Methode der direkten Berechnung in HEC-RAS abgeleitet und Modelldefizite aufgedeckt. Als Projektgebiet wird ein kleines ländliches Einzugsgebiet mit einer Modellgröße von 2,13 km<sup>2</sup> im Fischbach, Teileinzugsgebiet der Gersprenz im vorderen Odenwald, Südhessen

untersucht. Aufgrund fehlender Wasserstandsmessungen werden die Modellergebnisse mit einem hochaufgelösten Benchmark-Lauf (Geländemodell/Subgrid DGM 0,25 m, Rechengitter 1 m) verglichen. Insgesamt werden 50 Simulationen für Rechengitter mit einer Auflösung zwischen 1 m bis 30 m und darunterliegendem DGM zwischen 0.25 m und 5 m ausgewertet. In einem zweiten Schritt wird eine Auswahl von Rechenläufen unterschiedlicher Auflösung mit weiteren Modelleinstellungen kombiniert, um hieraus gezielt Modellsensitivitäten und Defizite aufzudecken.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass vor allem die Zellauflösung des Rechengitters (*Mesh*) einen erheblichen Einfluss auf die Modellergebnisse hat. Ab einer Auflösung größer als 5 m Rechengitter gibt es am Auslass vom Einzugsgebiet starke Retentions- und Dämpfungseffekte auf die Abflussganglinie. Diese werden modellbedingt bei größerem Rechengitter durch im Einzugsgebiet flächenhaft künstlich erzeugte Senken im flachen Gelände mit geringen Wassertiefen hervorgerufen.

## **Flash flood modelling and forecasting in data scarce regions like Jordan – A first step of an adequate model selection**

Clara Hohmann<sup>1</sup>, Christina Maus<sup>1</sup>, Dörte Ziegler<sup>1</sup>, Marianne Brum<sup>2</sup>, Michael Thiemann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bauingenieurwesen, Fachbereich bauen-kunst-werkstoffe, Hochschule Koblenz

<sup>2</sup> KISTERS AG, Aachen

hohmann@hs-koblenz.de

Severe flash floods have hit Jordan in recent years, e.g., in 2018 and 2020, leading to fatalities and infrastructure damage. Even though Jordan is one of the water scarcest countries of the world, extreme rainfall events might occur more frequently under climate change [1], causing flash floods in wadi systems. Also, the population growth combined with construction and sealing in cities increases the risk of damages, and authorities are under pressure to provide solutions for risk reduction. Therefore, beside the analysis of recent flash floods, risk communication, early warning, and adaption measures come more and more in focus.

The BMBF funded German-Jordanian project “CapTain Rain” (Capture and retain heavy rainfall in Jordan) studies flash flood risks within a transdisciplinary approach in Jordan. The focus is to minimize the damages of such flood events and to improve the water retention in this water-scarce country. The pilot regions comprise an urban (Amman) and a rural (Petra historic site) environment. The interaction with stakeholders, such as authorities and communities, is important to transfer scientific knowledge on climate change and flash flood risks, as well as mitigation measures. This requires a scientific dialogue on the variety of hydrological model options for flash flood modelling and forecasting, including a better understanding regarding the selection process.

Hydraulic and hydrological modelling and forecasting are an important source of information to flash flood risk assessments, and appropriate models must be chosen to produce useful results from the available data. Model selection is often based on different aspects like application of interest, data requirements and availability, model complexity, code availability and licensing (e.g., open source), user knowledge and modeling group experience. In the context of operational early warning and risk communication systems, model resolution, stability, and scalability also play an important role during selection.

On the one hand, Beven and Young argue that the model selection should not be more complex than necessary and fit-for-purpose [2]. On the other hand, Addor and Melsen note a strong social component [3]. They mention the hydrological model selection is more influenced by legacy aspects instead of adequacy aspects. Horton et al. reviewed the hydrological models for Switzerland [4]. They also observe that not all criteria of model selection are mentioned in the published articles, especially social aspects. In addition, their author survey shows that modeling group experience plays a key factor in model selection, and most models used have a strong basis in the country.

By focusing on Jordan or other dry and data scarce regions worldwide, other model selection criteria need to be considered. Models used in the northern hemisphere or industrialized countries are not necessarily transferable to the Middle East due to very different physical and administrative conditions. For example, validation and calibration data is scarce, the modelling capacities might be limited, and financial resources for software are limited. Therefore, this study analyses the criteria of model selection with a focus on Jordan. We will present recommendations on how to select the appropriate hydrological model as part of a flash flood risk assessment.

#### Literatur

[1] 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. Cambridge University Press. In Press. <https://www.ipcc.ch>

[2] Beven, K.; Young, P. (2013): A guide to good practice in modeling semantics for authors and referees. *Water Resour. Res.* 49, 5092–5098. DOI: 10.1002/wrcr.20393

[3] Addor, N.; Melsen, L. A. (2019): Legacy, Rather Than Adequacy, Drives the Selection of Hydrological Models. *Water Resour. Res.* 55, 378–390. DOI: 10.1029/2018WR022958

[4] Horton, P.; Schaefli, B.; Kauzlaric, M. (2021): Why do we have so many different hydrological models? A review based on the case of Switzerland. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, e1574. DOI: 10.1002/wat2.1574

## **Analyse und Quantifizierung der Querbewirtschaftung auf Ackerflächen zur verbesserten Abschätzung des Bodenabtrags durch Niederschlag und Wassererosion**

Dominik Scholand<sup>1</sup>, Britta Schmalz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung, Technische Universität Darmstadt

D.Scholand@ihwb.tu-darmstadt.de

Bei der Gefahrenabschätzung durch Hochwasser und Sturzfluten werden in erster Linie die quantitativen Wassermengen betrachtet und daraus Überflutungsflächen sowie zugehörige Wassertiefen abgeleitet. Darüber hinaus gilt es aber auch, den erosiven Einfluss durch Niederschlag und Oberflächenabfluss auf den Boden zu berücksichtigen. Abgetragene Partikel werden bei vorhandenem Gewässeranschluss über das Fließgewässer abtransportiert und können dadurch das Abflussgeschehen erheblich beeinträchtigen. Eine erhöhte Erosionsgefahr durch Wasser besteht insbesondere für den Oberboden landwirtschaftlich genutzter Ackerflächen. Die Erodierbarkeit des Bodens steigt mit wachsender Niederschlagsintensität, zunehmender Hangneigung und -länge sowie bei erosiven Bodenarten. Im Rahmen der Bewirtschaftung sind daher erosionsmindernde Maßnahmen zu ergreifen, um Material- und Stoffeinträge in das Gewässer zu reduzieren. Die Erosionsgefährdung durch Wasser wird in Deutschland typischerweise mit Hilfe der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) bestimmt, um eine Abschätzung des mittleren jährlichen Bodenabtrags treffen zu können. Bei der praktischen Anwendung der ABAG wird der P-Faktor, welcher die Erosionsschutzmaßnahmen berücksichtigt, aufgrund des hohen Aufwandes oder fehlender Eingangsdaten jedoch häufig vernachlässigt, sodass die Ergebnisse der Vorhersage überschätzt werden.

In diesem Posterbeitrag werden bestehende Techniken der Bildanalyse auf hochaufgelöste, frei verfügbare Fernerkundungsdaten von Google Earth™ angewendet, um lineare Strukturen wie Fahrgassen oder Saatreihen mit einem Liniendetektor zu identifizieren. Aus diesen automatisch

detektierten Linien wird eine gewichtete Hauptbearbeitungsrichtung für jeden einzelnen Ackerschlag berechnet. Ein anschließender Vergleich der Hauptbearbeitungsrichtung mit der Hauptgefällerrichtung aus dem digitalen Geländemodell ermöglicht es, die erosionsmindernde Maßnahme der Querbewirtschaftung für jeden Ackerschlag zu überprüfen. In Abhängigkeit von der Hangneigung sowie der erosiven Hanglänge kann daraus schließlich ein individueller P-Faktor abgeleitet werden, um die Maßnahme der Querbewirtschaftung bei der Abschätzung der Erosionsgefährdung quantitativ berücksichtigen zu können. Eine erste Testanwendung in einem 169 km<sup>2</sup> großen Teilegebiet des Mittelgebirgs-Einzugsgebiet der Gersprenz in Hessen für das Jahr 2016 hat gezeigt, dass

## Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

- eine eindeutige Querbewirtschaftung bereits auf 37% der insgesamt 2495 Ackerschlägen angewendet wird;
- auf 243 Ackerschlägen (9,7%) keine Querbewirtschaftung angewendet wird, obwohl dringend Maßnahmen zum Erosionsschutz notwendig sind.

Mit dieser neuen Methode können auch Behörden und Akteure Ackerschläge identifizieren, die für eine Querbewirtschaftung als erosionsmindernde Maßnahme geeignet wären oder die Erosionsgefährdung unter Berücksichtigung von Szenarien mit unterschiedlichen erosionsmindernden Maßnahmen abschätzen.

## **Einfluss des Niederschlagsregimes und der Saisonalität auf die Ränder (Upper Tails) von Extremniederschlagsverteilungen**

Luzie Wietzke<sup>1</sup>, Bruno Merz<sup>1,2</sup>, Björn Guse<sup>1</sup>, Elena MacDonald<sup>1</sup> & Sergiy Vorogushyn<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GFZ Potsdam, Sektion Hydrologie

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

lwietzke@gfz-potsdam.de

Heavy Tail-Phänomene sind in vielen Gebieten der Naturwissenschaften und insbesondere bei einigen hydrometeorologischen Variablen wie Abfluss, Niederschlag oder Sedimenttransport bekannt. Als Heavy Tails bezeichnet man die rechten Ränder (Upper Tails) von Verteilungen, wenn diese langsamer abfallen im Vergleich zu exponentiell abfallenden Tails und deshalb extreme Ereignisse mit höherer Wahrscheinlichkeit auftreten.

In dieser Studie wird das Heavy Tail-Verhalten von Niederschlagsverteilungen von über 600 deutschen Niederschlagsstationen untersucht. Die Zeitreihen von jährlichen Block Maxima mit mindestens 75 Ereignissen werden für alle Stationen aus täglichen Niederschlagssummen gebildet und die Schwere oder Heaviness der Upper Tails wird mit dem Shape Parameter der GEV-Verteilung quantifiziert. In einem weiteren Schritt werden Reanalyse-Daten (4DAS COSMO-CLM) genutzt, um alle Ereignisse in konvektive und stratiforme Niederschlagsereignisse zu klassifizieren. Dafür wird ein objektiver Schwellenwert der Convective Available Potential Energy (CAPE) hergeleitet, die als Indikator für konvektive Bedingungen gilt. Die Shape Parameter der Stationen werden in Abhängigkeit von Niederschlagsregime und Saisonalität der Ereignisse analysiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Niederschlagsverteilungen in großer Mehrheit Heavy Tail-Verhalten aufweisen. Heavy Tails treten eher im Flachland auf und sind im Norden Deutschlands häufiger als im Süden. Die räumliche Analyse zeigt darüber hinaus, dass es verschiedene Heavy Tail-Hotspots gibt. Die meisten Stationen weisen eine ausgeprägte Saisonalität auf, bei der die Ereignisse überwiegend im Sommer auftreten. Bei Stationen mit Heavy Tails ist diese Saisonalität noch deutlicher, wofür

neben konvektiven Ereignissen auch stratiforme Sommerniederschläge verantwortlich sind. Die Schwere der Upper Tails wird bestimmt durch eine Mischung der beiden Niederschlagsregimes und der Einfluss beider Komponenten unterscheidet sich regional.

Für das Risikomanagement von Starkregenereignissen ist eine robuste Abschätzung des Upper Tail-Verhaltens von zentraler Bedeutung. Die Ergebnisse dieser Studie können dazu beitragen, die Häufigkeit und Ursachen von Heavy Tail-Verhalten in Niederschlagsverteilungen besser zu verstehen.

## Limitierungen in der Modellierung historischer Flutereignisse aufgrund von Gletscherseeausbrüchen in einem alpinen Einzugsgebiet

Gabriele Chiogna<sup>1</sup>, Florentin Hofmeister<sup>1</sup>, Madlene Pfeiffer<sup>2</sup>, Inga Labuhn<sup>2</sup>, Ben Marzeion<sup>2</sup> und Markus Disse<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München

<sup>2</sup> Universität Bremen, Universitätsboulevard 13, 28359 Bremen

Gabriele.chiogna@tum.de, florentin.hofmeister@tum.de, madlene.pfeiffer@uni-bremen.de, labuhn@uni-bremen.de, ben.marzeion@uni-bremen.de, markus.disse@tum.de

Gegen Ende der 1880er und Anfang der 1890er Jahre traten in einem Seitental der Etsch (Martelltal) jährliche Flutereignisse (1888, 1889 und 1891) mit katastrophalen Folgen für die Talbewohner auf. Zu Beginn der Flutereignisse war unerklärlich wie bei wolkenfreiem Himmel so große Abflüsse erzeugt werden konnten. Wie sich nach genauerer Untersuchung durch Richter (1889) herausstellte, wurden diese Flutereignisse durch jährliche Gletscherseeausbrüche im oberen Martelltal ausgelöst. Die in den 1880er Jahren vorstoßende Gletscherzunge des Zufallferners staute die obere Plima und damit die Schmelzwasser eines weiteren Gletschers (Langenferner) zu einem Gletschersee mit ca. 0.6 km<sup>3</sup> auf [2, 3]. Das sich anstauende Wasser konnte nicht komplett durch das Gletschertor des Zufallferners abfließen [4]. Durch einen subglazialen Tunnel brachen plötzlich die Wassermassen des Gletschersees aus [5] und flossen mit einem geschätzten Abfluss von 300 m<sup>3</sup>/s ins Tal [3]. Der Bau einer Talsperre im Jahre 1891 schützte das Tal vor weiteren Ausbrüchen. Der letzte Gletscherseeausbruch fand 1895 statt ehe sich die Gletscher dauerhaft in höhere Bereiche zurückzogen.

Auch wenn diese extremen Abflussereignisse heutzutage nicht mehr auftreten können, waren diese Ereignisse prägend für die geomorphologische Entwicklung des gesamten Tals. Im Rahmen des SEHAG-Projektes (**S**ensitivität **h**ochalpiner **G**eosysteme gegenüber dem Klimawandel seit 1850) werden unter anderem die Koppelung von hydrologischen Ereignissen und dem Sedimenttransport

im oberen Martelltal untersucht. Dazu treiben wir ein flächendifferenziertes hydrologisches Modell (*WaSiM* [6]) mit globalen Reanalyse-Datensätzen, die mit dem *Weather and Research Forecasting Model* (WRF Version 4.2.1 [7]) auf 2 km räumliche Auflösung runterskaliert wurden, ab 1850 an. Erste Modellergebnisse vom Sommer 1889 zeigen, dass das hydrologische Modell *WaSiM* erwartungsgemäß nicht in der Lage ist den rekonstruierten Abfluss aus dem Gletscherseeausbruch von ca. 300 m<sup>3</sup>/s zu simulieren. Es können zwar die Zuflüsse aus Schnee- und Gletscherschmelze in den Gletschersee abgeschätzt werden, jedoch ist *WaSiM* nicht in der Lage das plötzliche Ausbrechen des Gletschersees zu simulieren. Gerade im Kontext von Klimawandelfolgeforschung, wie der Veränderung von Frequenz und Magnitude von hydrologischen Extremereignissen, ergibt sich eine Limitierung bei der Anwendung hydrologischer Modelle im oberen Martelltal.

Literatur

- [1] Richter, E. (1889): Der Gletscherausbruch im Martellthal und seine Wiederkehr. Verlag des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins
- [2] Richter, E. (1893): Bericht über die Schwankungen der Gletscher der Ostalpine 1888-1892. Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins 24, 473-485
- [3] Walder, J. S. & Costa, J. E. (1996): OUTBURST FLOODS FROM GLACIER-DAMMED LAKES: THE EFFECT OF MODE OF LAKE DRAINAGE ON FLOOD MAGNITUDE. EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS, VOL. 21,701-723
- [4] Toula, F. (1892): Über Wildbach-Verheerungen und die Mittel, ihnen vorzubeugen. Vorträge des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien. XXXII. Band, Jahrgang 1891/92
- [5] Eisbacher, G. H. & Clague, J.J. (1984): Destructive Mass Movements in High Mountains: Hazard and Management
- [6] Schulla, J. (2021): Model Description WaSiM (Water balance Simulation Model). Zugriff unter: [http://www.wasim.ch/downloads/doku/wasim/wasim\\_2021\\_en.pdf](http://www.wasim.ch/downloads/doku/wasim/wasim_2021_en.pdf)
- [7] Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, J. G., Duda, M. G., Barker, D. M., Huang, X.-Y. (2019). A Description of the Advanced Research WRF Version 4, NCAR Tech. Note NCAR/TN-556+STR, 145, doi:10.5065/1dfh-6p97

## **Möglichkeiten, Grenzen und offene Fragen bei der praktischen Nutzung von Abflussscheitel-Füllen-Copulas für die Hochwasserbemessung**

Nicolas Dalla Valle<sup>1</sup>, Simon P. Seibert<sup>1</sup>, Natalie Stahl-van Rooijen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg

nicolas.dallavalle@lfu.bayern.de, simon.seibert@lfu.bayern.de, natalie.stahl-vanRooijen@lfu.bayern.de

Zur Bemessung und DIN-konformen Überprüfung von Hochwasserschutzbauwerken wie Talsperren und Rückhaltebecken werden Bemessungsganglinien definierter Jährlichkeiten mit sehr geringen Überschreitungswahrscheinlichkeiten benötigt (100 a bis 10.000 a). In der Praxis werden diese Ganglinien meist auf Basis maximaler Abflussscheitelwerte ermittelt. Eine statistische Betrachtung der Abflussfüllen wird bisher häufig nicht durchgeführt. Dabei stellt die DIN den Anspruch nicht nur Hochwasser mit extremen Abflussscheiteln, sondern auch mit extremen Abflussfüllen bzw. wahrscheinliche Kombinationen zu betrachten, um den für die Speicherbauwerke kritischsten Fall zu ermitteln.

Durch Copula-Verfahren existiert ein in der Wissenschaft seit langem etabliertes Vorgehen zur gemeinsamen, multivariaten Betrachtung von Abflussscheiteln und –füllen, das bisher aber noch kaum Eingang in die Bemessungspraxis gefunden hat. Von der Ereignisabgrenzung als Grundlage für die Füllenberechnung bis zur Wahl einer geeigneten Copula-Formulierung müssen dabei vom Praktiker in jedem Schritt Entscheidungen getroffen werden, für die es in den einschlägigen Regelwerken bislang kaum klare Empfehlungen gibt.

In diesem Beitrag stellen wir das Vorgehen zur Aufstellung einer Scheitel-Füllen-Copula am Beispiel des Sylvensteinsees vor. Dabei werden die in jedem Schritt erforderlichen Entscheidungen dargelegt und die aus Perspektive der Praxis gegenwärtig noch offenen Fragen benannt. Die Ergebnisse der Copula-Auswertung werden diskutiert, indem sie dem üblichen Vorgehen zur Füllenberechnung durch Niederschlag-Abfluss-Modellierung sowie Ergebnissen aus der klassischen, univariaten Extremwertstatistik gegenübergestellt werden.

Wir möchten mit unserem Beitrag einen Anstoß zur Erarbeitung einer „guten Praxis“ für die Verwendung von Copulas in der Bemessungspraxis geben und laden Theoretiker und Praktiker zur Diskussion ein.

## **Modellgestützte Untersuchungen zur Nutzung von Waldflächen als Element der aktiven Starkregenvorsorge**

Sebastian Gürke<sup>1</sup>, Jürgen Jensen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Siegen, Paul-Bonatz-Str. 9-11, 57076 Siegen

sebastian.guerke@uni-siegen.de, juergen.jensen@uni-siegen.de

Starkregenereignisse haben in den vergangenen Jahren deutschlandweit zu erheblichen Schäden in urban geprägten Gebieten geführt. Bausteine im Katalog der insgesamt zahlreichen und vielfältigen Maßnahmen der kommunalen Überflutungsvorsorge sind beispielsweise Versickerungsanlagen oder die Zwischenspeicherung der Oberflächenabflüsse auf multifunktionalen Retentionsflächen. Die zur Verfügung stehenden Frei- und Grünflächen sind im Bestand allerdings oftmals begrenzt. Gleichwohl weisen viele Städte in den Randgebieten und zum Teil Innenstädten bewaldete Flächen auf. Waldböden, dies zeigen Untersuchungen (z. B. [1]), gelangen jedoch selbst bei großen Niederschlagsmengen und -intensitäten oftmals nicht an die Grenzen ihrer Aufnahmefähigkeit.

Idee des vom BMU und Kreis Siegen-Wittgenstein geförderten Forschungsprojekts WaldAktiv ist es, die aus Starkregenereignissen resultierenden Fließwege an vorhandene Waldflächen anzuschließen. Hierdurch sollen Teilströme des Oberflächenabflusses in die Waldflächen geleitet und dort zur Zwischenspeicherung und Versickerung gebracht werden. Aufgrund seines Mittelgebirgscharakters weist der Kreis Siegen-Wittgenstein gegenüber Starkregen und daraus resultierenden Sturzfluten eine hohe Vulnerabilität auf. Gleichzeitig ist er mit einem Flächenanteil von 71 % [2] der walddreichste Kreis Deutschlands und damit besonders gut geeignet, um entsprechende Potenziale zu ermitteln. Im Fokus steht dabei die Entwicklung einer Methodik bzw. geeigneten planerischen und technischen Werkzeugen, um das Rückhalte- und Versickerungspotenzial bestehender Waldflächen für die kommunale Starkregenvorsorge aktiv nutzbar zu machen.

Zunächst wurden mittels GIS durch die Kombination von Geodaten Waldflächen ermittelt, die aufgrund ihrer Topografie und aufgrund der Rahmenbedingungen grundsätzlich für die Einleitung von Niederschlagswasser infrage kommen. Mittels topografischer Analysen wurden des Weiteren Fließwege und Geländesenken ermittelt. Letztere stellen potenzielle Speichermöglichkeiten in den Waldflächen für die Oberflächenabflüsse dar, die mittels hydrologischen und hydrodynamisch-numerischen Modellierungen ermittelt werden. Bei der Versickerung von Niederschlagswasser spielen geologische, hydraulische, ökologische und rechtliche Belange eine Rolle, die bei den Untersuchungen zu berücksichtigen sind. Die Ergebnisse des Projekts sollen später in einem Leitfaden zusammengefasst und damit auch anderen Kommunen zugänglich gemacht werden.

Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Literatur

[1] Puhlmann, H., v. Wilpert, K., Sucker, C. (2013): Können Wälder sicheren Hochwasserschutz bieten? In: AFZ-DerWald, 13/2013, S. 9-11

[2] Wald und Holz NRW (2017): Regionalforstamt Siegen-Wittgenstein, Wald und Holz NRW (Hrsg.), Münster

## **A Comparison of Evapotranspiration- and Soil Moisture-Based Definitions of Traditional and Flash Drought over the California Central Valley Region**

Sarah Quynh-Giang Ho<sup>1</sup>, Ye Tuo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität München

sarah.ho@tum.de, ye.tuo@tum.de

Despite significant advancements in the burgeoning field of flash drought, little is known about the differences between soil moisture-based and evapotranspiration-based definitions of flash drought and the impact of irrigation on these events, especially when compared to normal drought. Flash and normal droughts were identified in the California Central Valley by applying the method of Li, Wang [1] in both a Standardized Soil Moisture Index (SSmI) [2, 3] and the recommended Standardized Evapotranspiration Deficit Index (SEDI) [4], with modifications for to accommodate data from the daily-scale, regionally-optimized Western Land Data Assimilation System [5]. Overall, SSmI shows higher sensitivity to drought characteristics than SEDI, particularly on a spatial scale. SEDI-defined droughts tend to be larger and affects pixels for longer, indicating SEDI-defined drought may be better for regional-scale assessment of flash drought, whereas SSmI-defined drought may be more applicable for local-scale applications due to its high spatial variability. Characteristics of flash droughts are more extreme and spatially nonuniform than normal drought. Irrigated pixels show relatively little difference from rainfed pixels in correlation to vegetation health in normal drought but more polarized correlations in flash drought. The expanded knowledge of the impact of irrigation and drought definition on flash drought characteristics, as well as identification of flash drought events in the California Central Valley, can help researchers pick the appropriate index for future studies and further evaluate the impacts of increasingly common flash drought events.

### Literatur

- [1] Li, J., et al., A new framework for tracking flash drought events in space and time. *Catena*, 2020. 194
- [2] Hao, Z. and A. AghaKouchak, Multivariate Standardized Drought Index: A parametric multi-index model. *Advances in Water Resources*, 2013. 57: p. 12-18
- [3] AghaKouchak, A., A baseline probabilistic drought forecasting framework using standardized soil moisture index: application to the 2012 United States drought. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2014. 18(7): p. 2485-2492
- [4] Vicente-Serrano, S.M., et al., Global Assessment of the Standardized Evapotranspiration Deficit Index (SEDI) for Drought Analysis and Monitoring. *Journal of Climate*, 2018. 31(14): p. 5371-5393.
- [5] Erlingis, J.M., et al., A High - Resolution Land Data Assimilation System Optimized for the Western United States. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 2021

## **Transport organischer Spurenstoffe in der Elbe beim Niedrigwasser 2019**

Gerd Hübner<sup>1</sup>, Daniel Schwandt<sup>1</sup>, Michael Schlüsener<sup>1</sup>, Arne Wick<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz

huebner@bafg.de, schwandt@bafg.de, schluesener@bafg.de, wick@bafg.de

In Niedrigwasserphasen ist eine Aufkonzentration der durch Punktquellen ins Gewässer eingetragenen anthropogenen Spurenstoffe zu erwarten. Die transportierte Stofffracht kann hingegen an den betrachteten Messtationen bei konservativen (nicht bzw. schwer abbaubaren) Stoffen ohne Hinweise auf Eintragsänderungen als nahezu konstant angenommen werden. Entsprechen die Monitoringergebnisse dieser Annahme oder bewirken die Stofftransportbedingungen bei Niedrigwasser abweichende Verhältnisse? Am Beispiel des Niedrigwassers der Elbe im Sommer / Herbst 2019, das kürzer, aber ähnlich intensiv ausgeprägt war wie im Jahr 2018, wird der Frachtverlauf ausgewählter organischer Spurenstoffe (Arzneistoffe u.a.) bei extremem Niedrigwasser bilanziert und modelliert.

Als wesentliche Datengrundlage dienen die Ergebnisse der aufeinander abgestimmten Niedrigwasser-Sondermessprogramme für die Elbe in der Tschechischen Republik (Povodi Labe) und in Deutschland (FGG Elbe), wobei das deutsche Programm durch weitere Messungen der Bundesländer und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) ergänzt wurde. Für die Bilanzierung wird das Frachtgeschehen auf dem über 800 km langen Elbelauf von Valy nad Labem bis Geesthacht betrachtet. Modelliert wurde der Transport des Humanarzneistoffs Carbamazepin (Antikonvulsivum) im deutschen Abschnitt der Elbe mit dem Gewässergütemodell QSim (eindimensional, Modul „Konservative Substanzen“).

Für die betrachteten Arzneistoffe ergeben sich mit dem Flussverlauf zunehmende Frachten bis Tangermünde, wobei die Fracht zwischen Wittenberg und Tangermünde (Zufluss der Mulde und Saale) besonders stark ansteigt. Von Tangermünde bis Geesthacht zeigt sich je nach Substanz eine weitere Frachtzunahme (z. B. Carbamazepin) oder auch Abnahme (Sulfamethoxazol).

Hinsichtlich der Gewässerbelastung mit Arzneistoffen ist der Anteil gereinigten Abwassers der maßgebliche Einflussfaktor. Anhand der Befunde zum Carbamazepin wird dieser Anteil auf den einzelnen Abschnitten der Elbe bei ausgeprägtem Niedrigwasser abgeschätzt und Literaturangaben gegenübergestellt.

## **Große Niederschlag-Abfluss-Ereignisse aus Einzugsgebieten < 250 km<sup>2</sup> aus Bayern, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz (Datensatz)**

Krüger, Kilian<sup>1</sup>, Stockel, Henrike<sup>2</sup>, Willems, Winfried<sup>2</sup>, Stricker, Konstantin<sup>2</sup>, Seibert, Simon P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bürgermeister-Ulrich-Str. 160, 86179 Augsburg

<sup>2</sup> IAWG, Ingenieurhydrologie, Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik, Alte Landstr. 12 – 14, 85521 Ottobrunn

kilian.krueger@lfu.bayern.de

Hydrologische Bemessungswerte sind zentrale Planungsgrundlagen z.B. für die Dimensionierung von Bauwerken, die Planung von Maßnahmen oder die Ausweisung von Überschwemmungsgebieten. Für ihre Ableitung werden z. B. Niederschlag-Abfluss-Modelle oder statistische (Regionalisierungs-)Methoden verwendet. Um diese Verfahren zu entwickeln, zu kalibrieren oder für ihre Fortschreibung sind Messdaten erforderlich. Insbesondere für kleine Einzugsgebiete (<250 km<sup>2</sup>) und große Niederschlag-Abfluss-Ereignisse ist bisher jedoch keine umfangreiche Datenbasis vorhanden.

Um dafür eine valide Basis zu schaffen, wurden Mess- und Gebietsdaten von rund 400 Einzugsgebieten (<200 km<sup>2</sup>) aus Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz zusammengestellt, homogenisiert und aufbereitet. Für jedes dieser Gebiete wurden durch Auswertung hochaufgelöster Niederschlag- (RADKLIM) und Abflusszeitreihen historische Ereignisse identifiziert. Parallel erfolgte eine umfangreiche Ableitung von insgesamt etwa 40 Einzugsgebiets- und 80 Ereignisseigenschaften (z. B. Informationen über Boden, Vorfeuchte, die Bedeckung landwirtschaftlicher Kulturen, Ereignisabflussbeiwerte, Niederschlagsverläufe, usw.). Im Ergebnis steht nun ein umfangreicher Datensatz von knapp 6000 Ereignissen aus drei Bundesländern zur Verfügung, der für vielfältige hydrologische Fragen und Anwendungsfälle genutzt werden kann.

In diesem Beitrag werden wesentliche Eigenschaften des Datensatz, wichtige Methoden seiner Ableitung, die Nutzungsmodalitäten und exemplarische Anwendungsbeispiele vorgestellt. Ein weiterführender, separater Beitrag behandelt Auswertung, Nutzung und Methodenfortschreibung auf Basis dieses Datensatzes für ausgewählte hydrologische Planungsgrundlagen in Bayern.

## **Intensitätsvariabilität von Starkniederschlagsereignissen**

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

<sup>1</sup> 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

Manuel.Perschke@hs-rm.de, Ernesto.RuizRodriguez@hs-rm.de, B.Schmalz@ihwb.tu-darmstadt.de

Konvektive Starkregenereignisse zeichnen sich häufig durch ihr spontanes Auftreten, kurze Dauerphasen und extrem hohe Intensitäten in einem sehr kleinen Gebiet (~10 km<sup>2</sup>) aus. Aufgrund der geringen Ausdehnung und der Intensitätsvariabilität konvektiver Niederschläge können diese Ereignisse durch ein Messnetz von terrestrischen Niederschlagsstationen nur begrenzt bzw. lückenhaft lokalisiert werden. Die Radardaten des DWD, als flächendeckende Niederschlagsinformation mit einer räumlichen Auflösung von 1 km<sup>2</sup>, schaffen hier Abhilfe. Neben der räumlichen Komponente haben die Radardaten eine zeitliche Auflösung von 5 min (YW/RY-RADOLAN-Produkt) und ermöglichen so die Erfassung von Niederschlagsmustern und damit die qualitative und quantitative Darstellung von Intensitätsspitzen.

Aufgrund genannter Eigenschaften eignen sich Radardaten als Modellinput für flächendifferenzierte Niederschlags-Abfluss-Modelle. Erste Fallstudien, wie sie z.B. im Starkregenprojekt KLIMPRAX des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) oder der Emschergenossenschaft und des Lippeverbandes (EGLV) [1] durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass die Verwendung von Radardaten als Input für die Simulation von Extremereignissen zu einer Verbesserung der Modellqualität und damit zu einer realistischeren Darstellung des Abflussgeschehens führt. Aus der hier durchgeführten Studie geht hervor, dass das konventionell verwendete KOSTRA-Modellregen im Gegensatz zu den verwendeten historischen Ereignissen dazu neigt, die Abflussmenge aufgrund der hohen Niederschlagssummen zu überschätzen und die Intensitätsspitzen aufgrund der gewählten Verteilungsmodelle (Blockregen, Euler Typ II) falsch darzustellen.

Derzeit stellen die Simulationen jedoch nur eine Szenarienbetrachtung dar. Dementsprechend ist eine statistische Auswertung der aus den Radardaten identifizierten Starkniederschlagsserien erforderlich. Zusätzlich zu den statistischen Niederschlägen aus dem stündlichen RADKLIM-Produkt des DWD wird im Rahmen dieser Studie eine Methodik für Dauerstufen < 1 h entwickelt und eine entsprechende Auswertung der 5-min-Daten durchgeführt. Darüber hinaus werden aus den unabhängigen Starkregenereignissen normierte charakteristische Niederschlagsverteilungen abgeleitet. In Kombination führt dies zu hochaufgelösten lokalen Modellregen. Aufgrund des relativ kurzen Erfassungszeitraums der Radardaten von 20 Jahren ist die statistische Belastbarkeit der Ergebnisse jedoch begrenzt.

Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Literatur

[1] Pfister, A., Treis, A., Teichgräber, B. (2015). Der Einsatz von Radardaten für wasserwirtschaftliche Zwecke bei Emschergenossenschaft und Lippeverband. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 8(2), 115–124.

## **Einfluss von Parametern auf die Bestimmung des abflusswirksamen Niederschlags nach dem SCS-Verfahren**

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, schmalz@ihwb.tu-darmstadt.de

Die Abschätzung der Abflussbildung nimmt in der Hydrologie einen immer größeren Stellenwert ein, da unter anderem Prognosen und Maßnahmenplanung für den Hochwasserschutz von Abflussbildungsprozessen abhängig sind. Im aktuellen Beitrag wird zur Bestimmung des abflusswirksamen Niederschlags die in DVWK (2003) gegebene Empfehlung einer modifizierten Form des SCS-Verfahrens nach Kleeberg & Overland (1989) für das Mittelgebirgseinzugsgebiet Fischbach (35,6 km<sup>2</sup>) angewendet [1] [2]. Bei diesem Verfahren werden im Gegensatz zu dem klassischen Curve-Number-Verfahren des amerikanischen Soil Conservation Services (SCS) die Anfangsverluste angepasst sowie die Hangneigung und die Spannweite der Vorfeuchte miteinbezogen. Das Einzugsgebiet wird in seine charakteristischen Eigenschaften wie Landnutzung (Wald, Wiese, Ackerfläche), Bodenart und Topographie abgebildet. Darauf aufbauend wird eine ausgewählte Ackerfrucht auf allen Ackerflächen implementiert, um für ein bestimmtes Starkregenereignis den abflusswirksamen Niederschlag für jede Fläche zu berechnen und miteinander zu vergleichen. Dazu wird eine Curve-Number (CN) nach DVWK (2003) abhängig von der Art der Landnutzung und den hydrologischen Bodenklassen zugeordnet. Als Datengrundlage werden Niederschlagsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) herangezogen. Aussagen zu hydrologischen Bodenklassen und der Landnutzung wurden aus den Bodenflächendaten (BFD50) vom HLNUG gewonnen. Diese standortorientierte Anwendung soll zum besseren Verständnis von Zusammenhängen sensitiver Parameter (CN-Wert, Hangneigung und Vorregen-Index) führen. Um zusätzlich eine Allgemeingültigkeit und eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Einzugsgebiete im Mittelgebirge zu erreichen, wird in einem weiteren Ansatz die Wirkung von Parametern anhand von möglichen Szenarien berechnet und statistisch dargestellt. Hierbei werden die Parameter von den Ackerflächen für alle vier hydrologischen Bodentypen schrittweise verändert. Durch die Veränderung der Parameter wird die Empfindlichkeit der Ergebnisse abgeschätzt und ihre Abhängigkeit voneinander bewertet. Durch das bessere Verständnis der Parameterzusammenhänge wird zusätzlich die Anforderung an die benötigte Datenbasis minimiert.

Literatur

[1] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DVWK) (2003): Ursache-Wirkungsbeziehungen zu Hochwasserereignissen. ATV-DVWK-Arbeitsgruppe HW-3.2 „Hochwasser“. Hennef.

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

## **Modellbasierte Planung multi-funktionaler wasserwirtschaftlicher Anlagen zur Antizipation des erwarteten Klimawandels**

Patrick Nistahl<sup>1</sup>, Tim Müller<sup>1</sup>, Gerhard Riedel<sup>1</sup>, Günter Meon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Braunschweig, Beethovenstr. 51a, 38106 Braunschweig

p.nistahl@tu-braunschweig.de, tim.mueller@tu-braunschweig.de, g.riedel@tu-braunschweig.de,  
g.meon@tu-braunschweig.de

Die bisherigen Auswirkungen des menschengemachten Klimawandels stellen die Wasserwirtschaft bereits heute vor große Herausforderungen [1]. Die Analyse der zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels auf den regionalen Wasserhaushalt ist seit vielen Jahren ein Schwerpunkt der hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Forschung. Um valide Aussagen auf der Mesoskala treffen zu können, werden bias-korrigierte Ergebnisse von regionalen Klimamodellen als Eingangsdaten von hydrologischen Impakt-Modellen verwendet und über Zeiträume von in der Regel 20-30 Jahren simuliert [2]. Hierdurch können statistische Änderungssignale für hydrologische Extreme analysiert werden. Für das obere Aller-Einzugsgebiet in Niedersachsen deutet sich eine Verschiebung der langjährigen Abflusshöhen zu höheren Abflüssen im Winter und geringeren Abflüssen im Sommer sowie eine Zunahme von erwarteten Bemessungsabflüssen an [3].

Eine Möglichkeit zur Anpassung an zunehmende hydrologische Extreme besteht in der Konstruktion bzw. Erweiterung von multi-funktionalen Speicheranlagen. Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen des laufenden Projektes Energie- und Wasserspeicher Harz (EWAZ) verschiedene konstruktive und operationelle Anpassungen an das bestehende Speicherverbundsystem im westlichen Harz (Niedersachsen) betrachtet. So werden beispielsweise neue Pumpspeicheranlagen mit Verbindung zu bestehenden Talsperren neben Ihrer Nutzung als Energiespeicher auch auf Ihre Wirkung auf die Zielgrößen Hochwasserschutz, Niedrigwasseraufhöhung und Trinkwasserversorgung untersucht. Hierfür wird der Zufluss zu den Speicheranlagen für die Vergangenheit (1971-2000) sowie Zukunft (2041-2070) mithilfe des semi-distributiven Wasserhaushaltsmodells PANTA RHEI unter Verwendung von Ergebnissen eines Ensembles aus acht regionalen Klimamodellen als Eingangszeitreihen verwendet. Der Betrieb der Anlagen nach zuvor erarbeiteten Regeln erfolgt mithilfe des Speicherbetriebsmodells IGOmod. Die resultierenden Bauwerksabgaben werden wiederum vom hydrologischen Modell eingelesen und mit den natürlichen Abflüssen der Zwischeneinzugsgebieten überlagert, um die Auswirkungen in den Wirkungsgebieten bewerten zu können.

Vorläufige Ergebnisse deuten darauf hin, dass zusätzliche Speicheranlagen im Nordharz die von einigen Modellen prognostizierte Zunahme von extremen Niedrigwasserereignissen deutlich abmindern und damit einen wichtigen Beitrag zur Trinkwasserversorgungssicherheit der Region liefern können. Darüber hinaus werden auch prognostizierte extreme Niederschlagsereignisse mit Zentrum im Harz in Ihrer Wirkung auf unterstrom der Talsperren gelegene Siedlungen deutlich reduziert.

Literatur

[1] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp

[2] Hakala, K., Addor, N., Teutschbein, C., Vis, M., Dakhlaoui, H., & Seibert, J. (2019). Hydrological modeling of climate change impacts. Encyclopedia of water: Science, technology, and society, 1-20

[3] Anhalt, M., Forberg, C., Johannes, F., Petry, U., Schmid R., Theobald, M., Langmann, T., Meon, G. (2021): Globaler Klimawandel - Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland. Abschlussbericht des Projektes KliBiW Phase 6 – Vertiefende Hochwasseranalysen. Oberirdische Gewässer Band 45. NLWKN, Hannover

## **Ableitung stündlicher Bodenfeuchtwerte basierend auf RADOLAN Wetterradar Daten**

Thomas Ramsauer<sup>1</sup>, Philip Marzahn<sup>1,2</sup>, Ralf Ludwig<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ludwig-Maximilians-Universität München, Luisenstraße 37, 80333 München

<sup>2</sup> Universität Rostock, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock

thomas.ramsauer@lmu.de, philip.marzahn@uni-rostock.de, r.ludwig@lmu.de

Im terrestrischen Wasser- und Energiesystem spielt Bodenfeuchte eine entscheidende Rolle. Allgemeine hydrologische Prozesse wie die Abflussbildung hängen stark von dieser Variable ab. Aktueller Zustand und Entwicklung der Bodenfeuchte ist für eine Vielzahl von Anwendungen von entscheidender Bedeutung. Die zeitliche Auflösung von entsprechend räumlich verteilten Bodenfeuchtedaten ist jedoch meist auf tägliche Datensätze beschränkt. Diese werden beispielsweise indirekt aus Mikrowellen-Satellitendaten abgeleitet oder modelliert.

In dieser Studie wird ein empirischer Ansatz vorgestellt, der Bodenfeuchte mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung (stündliche Werte, 1 km × 1 km) liefert. Grundlegende Basis für die Berechnung sind Niederschlagsdaten, welche in Deutschland den Haupttreiber der Bodenfeuchte darstellen. Durch den Einsatz von Wetterradardaten, welche mit Abstraten im Minutenbereich auch kurze (und meist starke) Niederschlagsereignisse erfassen, wird eine genaue, flächenhafte Ableitung der lokalen Bodenfeuchteentwicklung ermöglicht. Speziell findet der Wetterradardatensatz RADOLAN RW des Deutschen Wetterdienstes (DWD) Anwendung [1,2]. Dabei handelt es sich um ein Produkt, welches die Radardaten einer Stunde aggregiert und mit den Daten des vorhandenen in situ Messnetzes des DWD zusammenführt (RADOLAN: RADar-OnLine-Aneichung). Der Datensatz besitzt eine radiometrische Sensitivität, räumliche und zeitliche Auflösung von 0,1 mm, 1 km bzw. eine Stunde.

Der seit langem etablierte Antecedent Precipitation Index (API) [3], auch Vorregen- oder Vorfeuchteindex, wird in dieser Studie um bodenspezifische und temperaturabhängige Verlustfunktionen erweitert. Informationen zu Bodenartzusammensetzung aus dem SoilGrids-Datensatz [4] und Temperaturwerte aus dem ERA5-Reanalyse-Datensatz [5] werden dabei zur Bereitstellung der räumlich und zeitlich variierenden Verlustfaktoren verwendet. Die empirischen Variablen in den Gleichungen werden unter Verwendung von 23 in-situ Bodenfeuchtemessstationen der Terrestrial Environmental Observatories (TERENO, [6,7]) und einer separat durchgeführten Feldkampagne optimiert.

Der RADOLAN API-Datensatz zeigt geringe Fehlerwerte von 3,45 Vol% mittlerer *ubRMSD* im Vergleich zu den Messstationsdaten, wobei aufgrund der zeitlich hochaufgelösten Niederschlagseingangsdaten eine hohe zeitliche Übereinstimmung insbesondere von Anstiegen der Bodenfeuchte erreicht wird. Darüber hinaus wurde der RADOLAN API-Datensatz räumlich mit dem ESA CCI-Bodenfeuchteprodukt [8] verglichen, wo er insgesamt eine gute Übereinstimmung zeigt.

## Literatur

- [1] Bartels, H. Projekt RADOLAN. Routineverfahren zur Online-Aneicherung der Radarniederschlagsdaten mit Hilfe von Automatischen Bodenniederschlagsstationen (Ombrometer); Technical Report; Deutscher Wetterdienst, Hydrometeorologie: Offenbach, Germany, 2004
- [2] Winterrath, T.; Brendel, T.; Junghänel, T.; Klameth, A.; Lengfeld, K.; Walawender, E.; Weigl, E.; Hafer, M.; Becker, A. An overview of the new radar-based precipitation climatology of the Deutscher Wetterdienst—data, methods, products. In Rainfall Monitoring, Modelling and Forecasting in Urban Environment. UrbanRain18: 11th International Workshop on Precipitation in Urban Areas. Conference Proceedings; ETH Zurich, Institute of Environmental Engineering: Zürich, Switzerland, 2019
- [3] Kohler, M.A.; Linsley, R.K. Predicting the Runoff from Storm Rainfall; U.S. Department of Commerce, Weather Bureau: Washington, DC, USA, 1951
- [4] Hengl, T.; de Jesus, J.M.; Heuvelink, G.B.M.; Gonzalez, M.R.; Kilibarda, M.; Blagotić, A.; Shangguan, W.; Wright, M.N.; Geng, X.; Bauer-Marschallinger, B.; et al. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. PLoS ONE 2017, 12
- [5] Hersbach, H.; Bell, B.; Berrisford, P.; Biavati, G.; Horányi, A.; Muñoz Sabater, J.; Nicolas, J.; Peubey, C.; Radu, R.; Rozum, I.; et al. Copernicus Climate Change Service (C3S). In ERA5: Fifth Generation of ECMWF Atmospheric Reanalyses of the Global Climate; Climate Change Service Climate Data Store (CDS), 2018
- [6] Zacharias, S.; Bogena, H.; Samaniego, L.; Mauder, M.; Fuß, R.; Pütz, T.; Frenzel, M.; Schwank, M.; Baessler, C.; Butterbach-Bahl, K.; et al. A Network of Terrestrial Environmental Observatories in Germany. Vadose Zone J. 2011, 10, 955–973
- [7] Dorigo, W.A.; Wagner, W.; Hohensinn, R.; Hahn, S.; Paulik, C.; Xaver, A.; Gruber, A.; Drusch, M.; Mecklenburg, S.; van Oevelen, P.; et al. The International Soil Moisture Network: A data hosting facility for global in situ soil moisture measurements. Hydrol. Earth Syst. Sci. 2011, 15, 1675–1698
- [8] Gruber, A.; Scanlon, T.; van der Schalie, R.; Wagner, W.; Dorigo, W. Evolution of the ESA CCI Soil Moisture climate data records and their underlying merging methodology. Earth Syst. Sci. Data 2019, 11, 717–739

## **Aufbau einer Modellkette für die Hochwasservorhersage an der Spree in Brandenburg**

Dr. Maik Renner<sup>1</sup>, Dr. Michael Roers<sup>1</sup>, Stefan Hartwich<sup>1</sup>, Dr. Ellen-Rose Trübger<sup>2</sup>, Prof. Dr.-Ing. Alpaslan Yörük<sup>2</sup>, Dr. Ruben Müller<sup>3</sup>, Dr. Bernd Pfützner<sup>3</sup>, Anke Becker<sup>4</sup>, Simone Patzke<sup>2</sup>, Dr.-Ing. Oliver Buchholz<sup>2</sup>, Frank Trosien<sup>1</sup>, Mathias Schuster<sup>1</sup>, Katrin Kumke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Landesamt für Umwelt, Brandenburg, Abteilung Wasserwirtschaft Genehmigungen und Grundlagen, Postfach 60 10 61, 14410 Potsdam

<sup>2</sup> Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, 52066 Aachen

<sup>3</sup> Büro für Angewandte Hydrologie GmbH, Köberlesteig 6, 13156 Berlin

<sup>4</sup> Deltares, Boussinesqweg 1, 2629 HV Delft, Niederlande

Maik.Renner@lfu.brandenburg.de

Die Spree in Brandenburg ist ein abwechslungsreicher Tieflandfluss, dessen Hochwässer noch vor 60 Jahren regelmäßig zu Überschwemmungen führten. Die Auswirkungen wurden durch große wasserbauliche Maßnahmen wie dem Bau der Talsperre Spremberg oder den Umflutkanälen im Spreewald, in den 1970er Jahren deutlich reduziert. Kleinere Hochwasserereignisse können so gut reguliert werden, gleichwohl ist die Einflussnahme bei extremen Ereignissen begrenzt.

Vorhersagen von Wasserstand und Durchfluss sollen den Entscheidungsträgern im Hochwasserfall wichtige Informationen liefern. Neben der frühzeitigen Warnung der Bevölkerung können diese genutzt werden, um beispielsweise durch eine Vorentlastung die Hochwasserwelle abzumindern oder um Einsatzkräfte zu koordinieren. Die Hochwassermeldezentrale Brandenburg baut derzeit ein Vorhersagesystem für die Spree auf, dessen Konzept und erste Ergebnisse hier vorgestellt werden sollen.

Kern des Vorhersagesystems ist ein hydrodynamisches Modell (SOBEK, Deltares), das die zahlreichen Aufteilungen, Wehre und Rückstauereffekte abbildet. Somit können auch extreme Ereignisse simuliert werden, die nicht in den Beobachtungsreihen zu finden sind. Das Modell wurde ursprünglich für die Ausweisung von Hochwasserrisikogebieten 1D/2D-gekoppelt aufgebaut und stationär betrieben. Um den Ansprüchen an die Hochwasservorhersage gerecht zu werden, wird nun die Rechengeschwindigkeit durch eine reine 1D-Abbildung erhöht und es werden Bauwerkssteuerungen in das Modell integriert. Hydrologische Zuflussrandbedingungen werden dem hydrodynamischen Modell in Form von gemessenen Zeitreihen und wasserwirtschaftlichen Vorgaben sowie von simulierten Zeitreihen eines hydrologischen Niederschlags-Abflussmodells (ArcEGMO, BAH) bereitgestellt. Auf diese Weise fließen zusätzlich meteorologische Vorhersagen in die Prognosen ein, wodurch der Vorhersagehorizont deutlich erweitert werden kann. Die Zeitschrittweite des hydrologischen Modells wird hierzu von Tag auf Stunde reduziert. Für die Kopplung der Modelle, die Organisation der Datenströme und die Visualisierung wird die Plattform Delft-FEWS (Deltares) eingesetzt.

Im Validierungszeitraum konnten gute Ergebnisse mit ArcEGMO in Einzugsgebieten mit geringer anthropogener Beeinflussung erzielt werden, es zeigen sich jedoch große Abweichungen in den stark überprägten Bergbaufolgelandschaften sowie entlang des Hauptstroms.

## Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Ziel des Vorhabens ist es, ein robustes Vorhersagesystem zu entwickeln, das sowohl eine für die Veröffentlichung der Prognosen geeignete Vorhersagegüte gewährleistet als auch die interne Lageeinschätzung unterstützt. Mit dem Vorhersagesystem sollen zum einen hydro-meteorologische Ensemblevorhersagen erstellt und zum anderen Szenarien für die Steuerung von Wehren sowie der Talsperre Spremberg simuliert und visualisiert werden.

## **Aufbau des neuen Hochwassermeldezentrams Brandenburg**

Dr. Michael Roers<sup>1</sup>, Dr. Maik Renner<sup>1</sup>, Agnes Baldy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Landesamt für Umwelt, Brandenburg, Abteilung Wasserwirtschaft Genehmigungen und Grundlagen

Michael.roers@lfu.brandenburg.de

Infolge der Neustrukturierung der Umweltbehörden des Landes Brandenburg wird am Landesamt für Umwelt ein zentrales Hochwassermeldezentrum aufgebaut.

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“ soll dieser schrittweise in ein zentrales Hochwassermeldezentrum des Landes Brandenburg (HWMZ-BB) mit einem einheitlichen Management- und Vorhersagesystem sowie identischen Arbeitsabläufen an den drei Standorten umgestaltet werden.

Ein Hauptziel des Projektes besteht darin, die Prozesse zur Datenerhebung, -übertragung und -Veröffentlichung zu vereinheitlichen und zu automatisieren. Dieses soll durch die Ertüchtigung der Datenmanagementsystems WISKI sowie der peripheren Systeme und Schnittstellen erreicht werden.

Ein weiteres Ziel ist die Verbesserung der Lageeinschätzung durch die Entwicklung von Hochwasservorhersagemodelle 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. Zudem bietet das Vorhersage-System die Möglichkeit (Bewirtschaftungs-)Szenarienanalysen kurzfristig durchzuführen, um diese bei der Lageeinschätzung zu berücksichtigen.

Ein Fokus des Projekts liegt außerdem auf der Modernisierung der Webpräsenz des HWMZ-BB. Über das neue Pegelportal Brandenburg, das im Rahmen einer Kooperation mit den Bundesländern Berlin und Mecklenburg-Vorpommern entwickelt wurde, werden hydrologische Daten und Informationen für das Land Brandenburg in einfacher und intuitiver Weise bereitgestellt. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Vermittlung der hydrologischen Lage sowie der Bereitstellung von Informationen zu Hochwasserereignissen.

Es wird der Stand der Projektbearbeitung vorgestellt und ein Ausblick auf die anstehenden Aufgaben gegeben.

## **Die Auswirkungen des Klimawandels auf Trockenheit und Dürre im Einzugsgebiet der Gersprenz**

Paula Farina Grosser<sup>1\*</sup>, Britta Schmalz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung, Technische Universität Darmstadt \*

p.grosser@ihwb.tu-darmstadt.de, b.schmalz@ihwb.tu-darmstadt.de

Dürre und Trockenheit können weitreichende Auswirkungen auf die Umwelt, die Gesellschaft und die Wirtschaft haben. Das Thema Trockenheit ist spätestens seit 2018 auch in Deutschland ein aktuelles und viel diskutiertes Thema. Innerhalb Deutschlands manifestiert sich die Sensibilität gegenüber Trockenheit und der daraus resultierenden Wasserknappheit regional unterschiedlich.

Die am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung der Technischen Universität Darmstadt entstandene Studie setzt sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf Trockenheit und Dürre in einem durch Wald und Landwirtschaft geprägtem Mittelgebirgseinzugsgebiet auseinander. Das in Hessen liegende Gersprenz-EZG umfasst ca. 500 km<sup>2</sup> und ist Teil der Flussgebietseinheit Rhein.

Anhand von zwei Szenarien RCP8.5 und RCP2.6 wurden die Entwicklung von Trockenheit und Dürre für ein emissionsreiches und ein emissionsarmes Szenario für den Zeitraum 2011-2100 untersucht. Die dazu verwendeten Klimaprojektionen sind Teil des Bias-korrigierten Kernensembles des Deutschen Wetterdienstes (DWD).

Es zeigte sich, dass unter dem emissionsreichen RCP8.5 Szenario die Sommer tendenziell trockener und die Winter feuchter werden. Darüber hinaus wurden Tendenzen in Bezug auf das Ausmaß der Dürren und die Länge der Dürreperioden identifiziert. Alle extremen Entwicklungen wurden unter dem RCP2.6-Szenario merklich abgeschwächt.

## **Wie reagiert die Wasserqualität eines landwirtschaftlich beeinflussten Flusses auf den extremen sommerlichen Niedrigwasserabfluss 2018 mit Hilfe von Hochfrequenzsensor-Messungen?**

Jingshui Huang<sup>1,2</sup> Dietrich Borchardt<sup>1</sup> Michael Rode<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Chair of Hydrology and River Basin Management, Technical University of Munich, Arcisstrasse 21, 80333 Munich, Germany

<sup>2</sup> Department of Aquatic Ecosystem Analysis, Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Brückstraße 3a, 39114 Magdeburg, Germany.

jingshui.huang@tum.de

Im Zuge des Klimawandels wird eine Zunahme der Häufigkeit von Sommertrockenperioden in Mitteleuropa erwartet. Dadurch wird es häufiger zu sommerlichen Niedrigwasserperioden kommen, was zu einer Kaskade von Auswirkungen auf die Wasserqualität der Fließgewässer führt. Die Dringlichkeit des Problems ist allgemein anerkannt. Die tatsächlichen Auswirkungen auf die Wasserqualität und die Stickstoffaufnahme auf der Grundlage von Überwachungsdaten werden jedoch nur selten untersucht. Wir wählten den 27,4 km langen landwirtschaftlich beeinflussten Fluss Untere Bode 6. Strahler-Ordnung in Sachsen-Anhalt als Untersuchungsgebiet. Dieser war im Jahr 2018 einen extremen sommerlichen Niedrigwasserabfluss ausgesetzt. Zunächst verglichen wir die physikalisch-chemischen Variablen des extremen Sommerniedrigwassers 2018 mit denen des normalen Sommerniedrigwassers 2014-2017 unter Verwendung von 5-Jahres-Hochfrequenzsensormessungen. Mit Hilfe eines Wasserqualitätsmodells, das sich auf Hochfrequenzdaten stützt, quantifizierten wir den Ökosystem Metabolismus des Flusses und die Stickstoffaufnahme über verschiedene Wege und verglichen die Ergebnisse des Sommers 2018 mit denen des Sommers 2014-2017 mittels Kruskal-Wallis-Test. Die Ergebnisse zeigten, dass die Wassertemperatur und die Chlorophyll-a-Konzentrationen in der extremen Sommer-Niedrigwasserperiode signifikant höher waren als in der normalen Periode und auch der gelöste Sauerstoff (DO) und Nitrat signifikant niedriger waren. Die Amplituden der täglichen DO-Kurven waren signifikant größer resultierend war auch die Bruttotoprimärproduktivität signifikant höher. Die Netto-Stickstoffaufnahmeunterschieden sich in der extremen sommerlichen Niedrigwasserperiode nicht signifikant von denen in der normalen Periode. Im Gegensatz dazu waren die Stickstoff-Aufnahmegeschwindigkeiten/-effizienz signifikant höher. Die Raten der Denitrifikation und der assimilatorischen Aufnahme durch das Phytoplankton unterschieden sich bei extremem Niedrigwasser nicht signifikant von denen bei normalem Niedrigwasser. Es ist jedoch erwähnenswert, dass die Stickstoffassimilation durch benthische Algen einen deutlich höheren Beitrag zur Netto-Stickstoff-Aufnahme leistete während des extremen sommerlichen Niedrigwassersperiode. Unsere Ergebnisse bereichern das Verständnis der Wasserqualität und der Fließgewässerprozesse unter extremen sommerlichen Niedrigwasserbedingungen und können dazu beitragen Prognosen zu verbessern.

## **Niederschlags-Abfluss-Modellierung des Kalkgrabens – Vergleich verschiedener Ansätze zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen**

Mareike Winkler<sup>1,2</sup>, Thomas Büche<sup>2</sup>, David Gampe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lehr- und Forschungseinheit Physische Geographie und Landnutzungssysteme, LMU München

<sup>2</sup> WipflerPLAN, Pfaffenhofen a. d. Ilm

mareike.winkler@mail.de, tb@wipflerplan.de, d.gampe@lmu.de

Bei der Planung von Maßnahmen zum Schutz vor Hochwasser und Oberflächenabfluss bei Starkregenereignissen ist die Abschätzung von Abflusswerten für bestimmte Jährlichkeiten von zentraler Bedeutung. Für Betrachtungen zum potentiellen Hochwasserrückhalt sind neben den Werten des Scheitelabflusses auch Abflussganglinien erforderlich. Diese Abschätzungen werden vor allem auf kommunaler Planungsebene sehr häufig für kleine Einzugsgebiete (Einzugsgebietsgrößen <5 km<sup>2</sup>) benötigt, für welche in der Regel keine Pegelbeobachtungen vorliegen. Daher werden die erforderlichen hydrologischen Planungsgrundlagen in der Praxis häufig notgedrungen mittels einer Niederschlags-Abfluss-Modellierung unter der Verwendung einer Einheitsganglinie ermittelt. Die der Modellierung zu Grunde liegenden verschiedenen Verfahren liefern jedoch teilweise sehr unterschiedliche Ergebnisse. Eine Einschätzung zur Anwendbarkeit der verschiedenen Verfahren für kleine Einzugsgebiete existiert bislang nicht.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer Abschätzung von Hochwasserabflüssen durch eine Niederschlags-Abfluss-Modellierung (Modell LUNA) anhand verschiedener, in der Praxis üblicher, Ansätze präsentiert. Als Untersuchungsgebiet der Studie dient der Kalkgraben, ein kleiner Zufluss des Starnberger Sees (Einzugsgebietsgröße ca. 1,2 km<sup>2</sup>). Für dieses Untersuchungsgebiet liegen durchgängige Pegelmessungen sowie Hochwasserabflusswerte verschiedener Jährlichkeiten vor. Der Fokus der Studie liegt auf der Modellierung des HQ10 und HQ100. Neben der Abbildung des maximalen Abflusses für die statistischen HQ-Werte als zentrale Größe wird auch Reproduktion der Form der Hochwasserganglinie anhand von gemessenen Ereignissen betrachtet. Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede auf, wobei die Wahl des Modellierungsansatzes und des Verfahrens zur Bestimmung des Abflussbeiwertes einen deutlich größeren Einfluss auf die Abflussganglinie aufweist und den Einfluss verschiedener Niederschlagsverteilungen überlagert.

## **Hochwasservorhersage mit LSTM-Netzen: Erweiterung der Inputdaten um statistische Niederschlagsinformationen**

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

Verlässliche Vorhersagen des Wasserstands und Durchflusses gehören im Hochwasserfall zu den Grundvoraussetzungen eines effizienten Katastrophenmanagements. Die Methoden dieser Durchflussvorhersagen unterliegen einer immer rasanteren Entwicklung. Teil dessen sind Künstliche Neuronale Netze (KNN). Sie zählen zu den Datengetriebenen Modellen und reagieren daher empfindlich auf die Qualität, Quantität und Relevanz der Input- bzw. Trainingsdaten.

Bisher durchgeführte Untersuchungen am Institut für Hydrologie und Meteorologie der TU Dresden nutzten sowohl stündliche Durchfluss- als auch Niederschlagszeitreihen für die Abbildung des Niederschlags-Abfluss-Prozesses mit KNN, z.B. Deep Learning LSTM-Netzen [1, 2] (Long Short-Term Memory - eine Subkategorie von KNN). Die Niederschlagswerte entstammten Gebietsmitteln aus Radardaten, in welchen die räumliche Struktur des Niederschlags und damit wichtige Informationen für die Niederschlags-Abfluss-Modellierung verloren gehen. Dies ist insbesondere bei kleinräumigen, konvektiven Regenereignissen ein Problem.

Im Rahmen des Projekts KIWA („Künstliche Intelligenz für die Hochwasserwarnung“) wird nun eine Studie mit dem Ziel durchgeführt, die Verlässlichkeit der Hochwasservorhersagen eines LSTM-Netzes durch eine Ergänzung der Inputdaten um statistische Niederschlagsinformationen zu verbessern. Dazu werden die Gebietsmittelwerte des Niederschlags aus stündlichen Radardaten um statistische Informationen wie Gebietsmaximum und -minimum der Niederschlagsintensität, sowie deren Standardabweichung über dem Gebiet ergänzt.

Da diese Informationen zusätzliche Details zur Niederschlagsintensitätsverteilung über dem Gebiet enthalten, wird eine Verbesserung der Durchflussvorhersagegüte, ebenso wie eine Verbesserung des Timings erwartet. Zudem wird erwartet, dass das LSTM-Netz aus den statistischen Informationen lernt, die Relevanz und Qualität der zugespielten Niederschlagswerte besser einzuordnen und die den Gebietsmitteln inhärenten räumlichen Unsicherheiten abzuschätzen. Das daraus resultierende Wissen des Netzes kann nun für eine Durchflussvorhersage genutzt werden, welche zusätzlich Informationen zur Vorhersageunsicherheit kommuniziert.

Die vorläufigen Ergebnisse dieser Untersuchung werden anhand von kleinen sächsischen Einzugsgebieten mit unterschiedlichen hydrologischen und geographischen Eigenschaften präsentiert.

Literatur

[1] 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. 10.13140/RG.2.2.36770.89286

[2] Morgenstern, T., Pahner, S., Mietrach, R., Schütze, N. (2021): Flood forecasting in small catchments using deep learning LSTM networks. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-15072>

## Effects of storm movement on flash flood modelling

Shahin Khosh Bin Ghomash<sup>1</sup>, Daniel Bachmann<sup>1</sup>, Daniel Caviedes-Voullième<sup>2</sup>, Christoph Hinz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of applied Science Magdeburg-Stendal, Breitscheidstr. 2 39114 Magdeburg

<sup>2</sup> Jülich Supercomputing Centre (JSC) & Institut für Bio- und Geosciences (IBG)

<sup>3</sup> Chair of Hydrology, Brandenburg University of Technology Cottbus-Senftenberg

Shahin.khoshbinghomash@h2.de, daniel.bachmann@h2.de

Rainfall is a complex, spatial and temporally varied process and one of the core inputs for hydrological and hydrodynamic modelling. Most rainfalls are known to be moving storms with varying directions and velocities. Storm movement is known to be an important influence on runoff generation, both affecting peak discharge and the shape of hydrographs. Therefore, exploring the extent rainfall dynamics affect runoff generation and consequently flooded areas, can be an asset in effective flood risk management.

In this work, we study how storm movement (e.g. characterized by velocity and direction) can affect surface flow generation, water levels and flooded areas within a catchment. Moreover, the influence of rainfall temporal variability in correlation with storm movement is taken into account. This is achieved by means of numerical-based, spatially explicit surface flow simulations using the tool ProMaDes (2021), a free software for risk-based evaluation of flood risk mitigation measures. The storm events are generated using a microcanonical random cascade model and further on trajected across the catchment area.

The study area is the Kan river catchment located in the province of Tehran (Iran) with a total area of 836 km<sup>2</sup>, which has experienced multiple flooding events in recent years. Due to its semi-arid climate, steep topography with narrow valleys, this area has high potential for flash flood occurrence as a result of high intensity precipitation.

The results of this study show a range of possible magnitudes of influence of rainfall movement on the catchment's runoff response. The resulting flood maps highlight the importance of rainfall velocity and most importantly the direction of the movement in the estimation of flood events as well as their likelihood in catchment area. Moreover, its shown that the magnitude of influence of storm velocity and direction on discharge strongly depends on the location within the river network which it is measured.

### Literatur

[1] ProMaDes (2021): Protection Measures against Inundation Decision support. <https://promaides.h2.de>

## **SINFONY – Integriertes Vorhersagesystem für konvektive Ereignisse und die Schnittstelle zur Hochwasservorhersage**

Jan Bondy<sup>1</sup>, Vanessa Fundel<sup>2</sup>, Malte Schmidt<sup>1</sup>, Christian Berndt<sup>3</sup>, Ulrich Blahak<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Deutscher Wetterdienst, Geschäftsbereich Wettervorhersage, Abteilung Kundenservices und Entwicklung, IVS-Unwetter/SINFONY Projekt

<sup>2</sup>Deutscher Wetterdienst, Geschäftsbereich Wettervorhersage, Abteilung Kundenservices und Entwicklung

<sup>3</sup>Deutscher Wetterdienst, Geschäftsbereich Forschung und Entwicklung, Abteilung Zentrale Meteorologische Fachverfahren, SINFONY Projekt

<sup>4</sup>Deutscher Wetterdienst, Projektleiter von SINFONY

Jan.Bondy@dwd.de

Spätestens seit dem Starkregensommer 2016 mit den verheerenden Sturzfluten in Braunsbach und Simbach ist die Vorhersage konvektiver Extremereignisse in den Fokus gerückt. Auch auf hydrologischer Seite sind die kleinen raumzeitlichen Skalen bzw. das Verhalten kleiner und schnell reagierender Einzugsgebiete schwer vorherzusagen, wobei ein erheblicher Teil der Schwierigkeit auf die Unsicherheit der Niederschlagsvorhersage zurückzuführen ist. Aus den Herausforderungen bei der Vorhersage solch kleinräumiger und hochdynamischer Starkregenereignisse erwuchs das SINFONY Forschungsprojekt beim Deutschen Wetterdienst. SINFONY verfolgt die Ziele, einerseits die beiden Vorhersagesysteme Nowcasting und numerische Wettervorhersage separat weiterzuentwickeln für die bessere Vorhersage von konvektiven Ereignissen, sowie andererseits die Systeme in einem einzigen Produkt bruchfrei ineinander zu überführen.

In SINFONY werden neben der numerischen Wettervorhersage ebenso die Nowcasting-Vorhersagen in Form von probabilistischen Ensembles entwickelt. Auch in der operationellen Hochwassermodellierung werden zunehmend Ensemblevorhersagen getestet und genutzt, um diese dann in probabilistische Abflussvorhersagen zu transformieren und meteorologische wie hydrologische Unsicherheiten abzubilden. Ein Teil der nutzerorientierten Produktentwicklung in SINFONY für die Hochwasservorhersage zielt darauf ab, reduzierte Ensembles und sog. pseudo-deterministische Produkte zu entwickeln, welche die extensive Datenmenge des kompletten meteorologischen Ensembles komprimieren. Dies soll eventuelle IT-Engpässen vermeiden, aber auch die Nutzung dieser komplexen Information in einem dynamischen Fall für Entscheidungsträger vereinfachen. Darüber hinaus sollen in Visualisierungsprodukten vermehrt Starkregenklimatologien mit den aktuellen hochaufgelösten Vorhersagen verschnitten werden, um den Schweregrade in Form von Starkregenindizes besser einordnen zu können. Bei all diesen Entwicklungen verfolgen wir einen Co-Design Ansatz mit den Hochwasservorhersagezentralen, um anwendungsbezogene Produkte für den direkten Einsatz in der Hochwasservorhersage bereitstellen zu können.

## **Ereignisbasierte Ableitung eines Risikofaktors für Starkregenereignisse am Beispiel von Einzugsgebieten unbeeinflusster Pegel**

Fabian Netzel<sup>1</sup>, Felix Simon<sup>1</sup>, Anika Hotzel<sup>1</sup>, Florian Oestermann<sup>1</sup>, Christoph Mudersbach<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserbau und Hydromechanik,  
Am Hochschulcampus 1, 44801 Bochum

fabian.netzel@hs-bochum.de, felix.simon@hs-bochum.de, anika.hotzel@stud.hs-bochum.de,  
florian.oestermann@hs-bochum.de, christoph.mudersbach@hs-bochum.de

Die Vorhersage und Warnung vor Starkniederschlagsereignissen sowie deren Auswirkungen sind stark abhängig von regionalen Faktoren wie z. B. der Versickerungsfähigkeit der Böden, Vorregenindizes und den vorherrschenden orographischen Verhältnissen. Hierdurch erschwert sich eine explizite Warnung vor den Auswirkungen eines prognostizierten Starkniederschlagsereignisses. So hat ein kleinräumiges Tief im Nordosten Brandenburgs mit der Regenmenge von ca. 300 l/m<sup>2</sup> im Vergleich weitaus geringere Schäden mit sich gebracht als das Tiefdruckgebiet Bernd in der Eifel mit ca. 150 l/m<sup>2</sup> im Juli vergangenen Jahres (Korrespondenz Wasserwirtschaft 12/21 [1]).

Für entsprechende Untersuchungen stellt der Deutsche Wetterdienst DWD unter anderem Kataloge der Starkregenereignisse (CatRaRE) bereit, die aus Daten des DWD-Radarverbundes abgeleitet werden. Die Kataloge enthalten umfangreiche Informationen zu allen seit 2001 in Deutschland aufgetretenen Starkregenereignissen. Für eine konkrete Risikobewertung fehlen jedoch weiterführende Kenngrößen. Die vorliegenden Untersuchungen haben daher zum Ziel, die bestehenden Kataloge um möglichst frei verfügbare Kenngrößen sowie Informationen zu ortsspezifischen Gegebenheiten zu ergänzen. Am Beispiel ausgewählter Pegel im Einzugsgebiet des Ruhrverbands in Nordrhein-Westfalen wird ein Risikofaktor entwickelt, der eine Bewertung von zu erwartenden Starkniederschlagsereignissen und Wetterwarnungen vereinfachen soll.

Aus vorangehenden Geoanalysen werden auf Basis eines Digitalen Geländemodells (DGM50) die Einzugsgebiete (EZG) der jeweiligen Pegelstandorte bestimmt. Es erfolgt weiter eine Zuordnung der Starkregenereignisse aus dem CatRaRe-Katalog zu den jeweiligen EZG. Für jeden einzelnen Pegelstandort werden anschließend die maximalen Wasserstände innerhalb eines vorgegeben Zeitfensters nach dem Niederschlagsereignis gesucht. Der Verhältniswert zwischen maximalem Wasserstand nach dem Niederschlagsereignis zum mittleren Wasserstand wird dann als ein zusätzlicher Faktor zur Berechnung eines Risikofaktors herangezogen.

Weitere Einflussgrößen für den Risikofaktor sind die vorrangige Bodenart, Größe und Topografie des jeweiligen EZG. Als unterschiedlich gewichtete Maßzahlen fließen weiter Informationen über den Vorregenindex und die Extremität der Einzelereignisse ein, sodass besonders anfällige EZG erkannt werden können. Mit wachsender Datengrundlage sollen in weiterführenden Analysen bereits aufgetretene Ereignisse – insbesondere das Juli-Ereignis im vergangenen Jahr – entsprechend ausgewertet und so die Sensitivität der jeweiligen Einflussgrößen für den Risikofaktor angepasst werden.

Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Literatur

[1] Korrespondenz Wasserwirtschaft (2021): DWA-Gespräch zwischen Wasserwirtschaft, Hochwasservorsorge und Meteorologie in Korrespondenz Wasserwirtschaft 12/21

## **Role of mean and variability change for changes in European seasonal extreme precipitation events**

Raul R. Wood<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ludwig-Maximilians-Universität München, Department of Geography, Munich, Germany

raul.wood@lmu.de

The frequency of precipitation extremes is set to change in response to a warming climate. Thereby, the change in precipitation extreme event occurrence is influenced by both a shift in the mean and a change in variability. How large the individual contributions from either of them (mean or variability) to the change in precipitation extremes are, is largely unknown. This is however relevant for a better understanding of how and why climate extremes change. The mechanisms behind a change in either the mean or the variability can thereby be very different.

For this study, two sets of forcing experiments from the regional CRCM5 initial-condition large ensemble are used. A set of 50 members with historical and RCP8.5 forcing as well as a 35-member (700 year) ensemble of pre-industrial natural forcing. The concept of the probability risk ratio is used to partition the change in extreme event occurrence into contributions from a change in mean climate or a change in variability.

The results show that the contributions from a change in variability are in parts equally important to changes in the mean, and can even exceed them. The level of contributions shows high spatial variation which underlines the importance of regional processes for changes in extremes. Further, the results reveal a smaller influence of the level of warming and level of extremeness on the individual contributions than the seasonality or temporal aggregation (3h, 24h, 72h). These results highlight the need for a better understanding of changes in climate variability to better understand the mechanisms behind changes in climate extremes.

## **Vorhersagefähigkeit Bias-korrigierter saisonaler SEAS5 Vorhersagen für Deutschland**

Jan N. Weber<sup>1</sup>, Christof Lorenz<sup>2</sup>, Tanja C. Portele<sup>2</sup>, Harald Kunstmann<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universität Augsburg, Institut für Geographie, Alter Postweg 118, 86159 Augsburg

<sup>2</sup> Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Meteorologie und Klimaforschung,  
Kreuzeckbahnstr. 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen

jan.niklas.weber@uni-a.de, christof.lorenz@kit.edu, tanja.portele@kit.edu,  
harald.kunstmann@geo.uni-augsburg.de

Für eine optimierte Nutzung von Wasserressourcen zur Bewässerung oder Stromerzeugung ist das Wissen über deren voraussichtliche Verfügbarkeit in den nächsten Monaten essentiell. Das Europäische Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (EZMW) gibt monatlich Ensemblevorhersagen für die kommenden sieben Monate heraus (SEAS5-Modell). Um diese auch für Deutschland nutzen zu können, stellen wir eine Analyse der Vorhersagegüte der Temperatur- und Niederschlagsvorhersagen des Modells für Deutschland vor. Als Vergleichsgrundlage werden ERA5-Reanalysedaten des EZMW sowie E-OBS-Daten benutzt. Zur Steigerung der Performance wurden zwei Bias-Korrekturen getestet, eine Mittelwertkorrektur und eine Korrektur sowohl des Mittelwertes als auch der Standardabweichung.

Mittels mehrerer Güteparameter wie dem Continuous Ranked Probability Skill Score (CRPSS), dem Brier Skill Score (BSS) und den Receiver Operating Characteristic (ROC) Curves wird gezeigt, dass die korrigierten SEAS5 saisonalen Vorhersagen bei monatlicher Auflösung eine erhöhte Performance gegenüber rein klimatologischen Vorhersagen liefern, hauptsächlich im ersten Vorhersagemonat. Die Zuverlässigkeit (RV) beläuft sich auf durchschnittlich 78 % über die Jahre, Monate, Regionen und Variablen gemittelt, wobei der erste Vorhersagemonat mit 86 % eine besonders gute RV bietet. Die Bias-Korrektur des Mittelwertes verbessert den Skill um durchschnittlich 33 % anhand des CRPSS. Zudem verbessern beide Bias-Korrekturen die Vorhersagequalität der überdurchschnittlichen Extreme (> 90. Perzentil) für Temperaturen und Niederschlag. Extremereignisse wie schwere Dürren können bereits mehrere Monate im Vorhinein zuverlässig erkannt werden. Somit eröffnen die SEAS5-saisonalen Vorhersagen zusammen mit anschließenden Bias-Korrekturverfahren die Möglichkeit, die erwartete Wasserverfügbarkeit auf Bezirksebene mit Voraussagezeiträumen von mehreren Monaten abzuschätzen.

## Analyse der räumlichen Prozessabbildung in einem Wasserhaushaltsmodell

Markus Casper<sup>1</sup>, Oliver Gronz<sup>1</sup>, Mathias Jackel<sup>1</sup>, Hadis Mohajerani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Trier, Fachbereich VI, Physische Geographie, 54286 Trier

casper@uni-trier.de

Vor allem für die korrekte Abbildung extremer Abflussereignisse ist es essenziell, dass das verwendete hydrologische Modell die räumlichen Muster der Abflussbildung korrekt abbildet. Dabei ist es wichtig zu wissen welcher Prozess wo jeweils dominiert. Erwarten wir eher Oberflächenabfluss oder teilweise stark verzögerten Zwischenabfluss?

Für die Landesfläche von Rheinland-Pfalz existiert dazu eine sog. Bodenhydrologische Karte, die die dominanten Abflussprozesse im Starkregenfall ausweist [1, 2]. Detailkartierungen an realen Bodenprofilen erlauben eine Validierung dieser Karte [3]. Dabei wird für die Schätzung des dominierenden Abflussprozesses ein extremer Niederschlag (z.B. 100mm) bei trockenen, feuchten und nassen Vorbedingungen angenommen. Um nun die Abflussbildung in einem räumlich verteilten Wasserhaushaltsmodell (hier WaSim) mit den so gewonnenen Informationen zu validieren zu können, wurde die Abflussreaktion auf einen künstlichen Niederschlagsimpuls (hier 100mm in 4h) bei unterschiedlichen Vorbedingungen analysiert. Dabei wurden unterschiedliche Pedotransferfunktionen [4, 5] zur Parametrisierung des Bodens eingesetzt. Die Simulationsergebnisse zeigen eine große Streuung im Modellverhalten. Eine detaillierte Musteranalyse erlaubt eine Bewertung der Simulationsgüte hinsichtlich der räumlichen Abbildung der Abflussbildung.

### Literatur

[1] Behrens, T., Zhu, A.-X., Schmidt, K., Scholten, T., 2010. Multi-scale digital terrain analysis and feature selection for digital soil mapping. *Geoderma* 155, 175–185.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.07.010>

[2] Behrens, T., Förster, H., Scholten, T., Steinrücken, U., Spies, E.-D., Goldschmitt, M., 2005. Digital soil mapping using artificial neural networks. *Journal of plant nutrition and soil science* 168, 21–33

[3] DWA, 2020. Bodenhydrologische Kartierung und Modellierung. Merkblatt DWA-M 922, 1st ed. DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER e.V., Hennef

[4] Mohajerani, H., Teschemacher, S., Casper, M.C., 2021. A Comparative Investigation of Various Pedotransfer Functions and Their Impact on Hydrological Simulations. *Water* 13.

<https://doi.org/10.3390/w13101401>

[5] Vereecken, H., Weynants, M., Javaux, M., Pachepsky, Y., Schaap, M., Van Genuchten, M.T., 2010. Using pedotransfer functions to estimate the van Genuchten–Mualem soil hydraulic properties: A review. *Vadose Zone Journal* 9, 795–820. <https://doi.org/10.2136/vzj2010.0045>

## **Auswirkungen des Klimawandels auf Niedrigwasser in Bayern**

### **- Hydrologische Modellierung auf Basis eines Klimamodellensembles –**

Alexander Sasse<sup>1</sup>, Benjamin Poschlod<sup>2</sup> & Ralf Ludwig<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department für Geographie, Ludwig-Maximilians-Universität München, 80333 München

<sup>2</sup> Sachgebiet Forschung und Monitoring, Nationalpark Berchtesgaden, 83471 Berchtesgaden

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 Schiffbarkeit 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 prognostizieren 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 Adaptionenmaßnahmen 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) von jeweils 150 Jahren (1950-2099 → 7500 Modelljahre) und stellt die meteorologischen Antriebsdaten für das Wasserhaushaltsmodell WaSiM-ETH zur Verfügung ([1]). Aufgrund der hohen Anzahl an Modelljahren wird eine ausreichend große Anzahl von Extremereignissen simuliert, um robuste Statistiken und fundierte Aussagen über die Veränderungen der Intensität, Häufigkeit und Saisonalität von Niedrigwasser zu ermöglichen ([2]).

Das Kernziel der Studie ist es, ein Wasserhaushaltsmodell für das hydrologisch begrenzte Bayern zu erstellen, um die aktuellen und zukünftigen Niedrigwasserbedingungen zu analysieren. Darüber hinaus wird eine ganzheitliche Modellkalibrierung angestrebt, um hohe Konsistenz im Untersuchungsgebiet zu gewährleisten und Überparametrisierung zu vermeiden. Da WaSiM-ETH deterministisch und räumlich verteilt ist, weist die Modellstruktur einen hohen Grad an Komplexität auf. Dies erfordert sowohl eine hohe zeitliche als auch räumliche Auflösung der Eingangsdaten. Da ein besonderer Schwerpunkt auf Niedrigwasser liegt, ist das Modell so kalibriert, dass es die entsprechende Dynamik besonders gut abbildet. Dieser Zustand wird durch die Kombination einer Sensitivitätsanalyse und der Anwendung einer kombinierten Objektivfunktion erreicht, die die Performanz des Modells unter Bedingungen hydrologische Dürre bewertet. Auf diese Weise kann beurteilt werden, wie bestimmte Aspekte des Modells die Niedrigwasserdynamik beeinflussen und gegebenenfalls die Modellqualität weiter verbessern können.

Anhand der Ergebnisse einzelner Einzugsgebiete werden exemplarisch die Unterschiede der hydrologischen Regime innerhalb Bayerns aufgezeigt und die jeweiligen Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflussdynamik sowie die zukünftige Wasserverfügbarkeit dargestellt. Die Auswertungen liefern wichtige Anhaltspunkte zu Konzeption einer zukunftsfähigen Wassernutzungsstrategie.

#### Literatur

[1] 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

[2] 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

## **Hochwasseresilienz durch integrierte sozio-technische Ansätze – das PARADeS Konzept in Ghana**

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>8,9</sup>, Samuel Guug<sup>9</sup>

<sup>1</sup> Universität Bonn, Geographisches Institut

<sup>2</sup> Ludwig-Maximilian Universität München

<sup>3</sup> HochwasserKompetenz Centrum (HKC)

<sup>4</sup> Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

<sup>5</sup> Hochschule Magdeburg-Stendal

<sup>6</sup> Water Resources Commission (WRC), Ghana

<sup>7</sup> National Disaster Management Organization (NADMO)

<sup>8</sup> Kwame Nkrumah University of Science and Technology (KNUST)

<sup>9</sup> West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use (WASCAL)

mariele.evers@uni-bonn.de

Ghana ist eines der am stärksten von Überschwemmungen betroffenen Länder in Westafrika. 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. Das Hochwasserrisikomanagement Ghanas ist eher reaktiv als präventiv aufgestellt und die Forschung im Bereich der quantitativen Gefahren- und Risikobewertung ist eher rudimentär. Hochwasserrisiko-Strategien und -Instrumente wie Hochwasser-Frühwarnsysteme (FEWS) sind teilweise vorhanden, aber die Umsetzung und Überwachung auf den unterschiedlichen Management-Ebenen weist Defizite auf [1].

Das PARADeS Vorhaben wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Schwerpunktes“ Forschung für die zivile Sicherheit“ gefördert. Aufbauend auf einer vorbereitenden Studie mit Workshops und Haushaltsbefragungen in Ghana wurde ein Forschungsprojekt konzipiert, das konsequent einen partizipativen Ansatz verfolgt. Dabei arbeiten wir gemeinsam mit der Katastrophenschutzbehörde NADMO, der Water Recource Commission (WRC) und dem West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use (WASCAL) sowie mit vielen weiteren Stakeholdern in Ghana intensiv zusammen. Das Vorhaben verfolgt einen sozio-technischen Ansatz, bei dem folgende Komponenten integrativ bearbeitet werden: (1) (kollaborierte) hydrologische, hydraulische und system-dynamische Modellierung, um neue Informationen zum Verständnis von HWR unter Berücksichtigung der Mensch-Hochwasser-Beziehung zu generieren, (2) Entwicklung von Szenarien über die Wirkung von kaskadierenden Effekten auf Kritische Infrastruktur (KRITIS), (3) Identifikation und Priorisierung von Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen – und das auch auf Haushaltsebene, (4) Entwicklung von Ansätzen zur Weiterentwicklung von Politiken und Governance-Strukturen im Hochwassermanagement, (5) Entwicklung eines innovativen web-basierten mobilen Entscheidungsunterstützungssystems (EUS) sowie (6) Schulungen von Fachleuten zur Erhöhung der Bewältigungskapazität.

Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Der Beitrag beschreibt das integrierte sozio-technische Forschungskonzept und erläutert erste Projektergebnisse.

#### Literatur

[1] 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

## **Wie Sturzfluten das Überleben sichern können – Ein Beispiel aus der Antike mit Zukunftspotential**

Patrick Keilholz<sup>1</sup>, Bernhard Lucke<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BGD ECOSAX GmbH, München

<sup>2</sup> Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

p.keilholz@bgd-scosax.de

Besonders in ariden Regionen können Starkregen fatale Folgen haben. Aufgrund der geringen Infiltrationskapazität der trockenen Böden kann es in einigen sensiblen Einzugsgebieten zu Sturzfluten kommen. Die sogenannten Wadifluten sind eine nicht zu unterschätzende Gefahr für die Bewohner, die jedes Jahr Opfer fordert.

Die Hochkultur der Nabatäer hat wie kaum eine andere Hochkultur zuvor einen ganz eigenen Ansatz zum Hochwassermanagement und der Wasserversorgung praktiziert. Der auch als „Rainwater Harvesting“ bekannte Ansatz sieht es vor, so viel Regenwasser wie möglich zusammen zu speichern und für die Wasserversorgung und Landwirtschaft nutzbar zu machen. Der Spagat zwischen Hochwasserschutz und Bewässerung wird am Beispiel der Terrassen am Jabal Haroun nahe der antiken Stadt Petra im heutigen Jordanien untersucht [2,3]. Auf Basis von archäologischen Erkenntnissen [1], gekoppelter sowie räumlich-zeitlich hoch aufgelöster hydrologischer und hydraulischer Modellierung kann die Wirksamkeit der Hochwasserrückhaltung und der Nutzbarmachung für die Bewässerung sichtbar gemacht werden. Die Ergebnisse zeigen, dass eine effektive Landwirtschaft nur möglich war, wenn es zuvor zu abflusswirksamen Starkregenereignissen gekommen ist.

Besonders die letzten Jahre haben in Deutschland gezeigt, dass die Wetterextrema zunehmen. Um die Resilienz der Landwirtschaft gegenüber Dürren und Starkregen zu verbessern, sollte über die Anwendung des „Nabathäischen“-Ansatzes nachgedacht werden. Als Beispiel bietet sich die Möglichkeit im Weinbau an. Die vorhandenen Terrassen könnten für den Wasserrückhalt optimiert werden und somit zum besseren Hochwasserschutz beitragen.

### Literatur

[1] Kouki (2006): Environmental change and human history in the Jabal Harûn area, Jordan

[2] Lucke et al. (submitted): The terraces of Petra, Jordan: environmental archives of a lost agricultural hinterland

[3] Al Qudah et al. (2016): Taming the torrents: The hydrological impacts of ancient terracing practices in Jordan. Journal of Hydrology 542 (2016) 913–922

## **Auswirkungen des globalen Klimawandels auf Binnenhochwassergefahren und Entwässerungsbedarf an der niedersächsischen Nordseeküste**

Tobias Langmann<sup>1</sup>, Hans Matthias Schöniger<sup>1</sup>, Malte Eley<sup>2</sup>, Günter Meon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Abteilung Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, Beethovenstraße 51a, 38106 Braunschweig

<sup>2</sup> CONSULAQUA Hamburg Beratungsgesellschaft mbH, Bördestraße 3, 31135 Hildesheim

t.langmann@tu-braunschweig.de, m.eley@cah-hildesheim.de, m.schoeniger@tu-braunschweig.de, g.meon@tu-braunschweig.de

Der norddeutsche Küstenraum ist von den Folgen des Klimawandels in doppelter Hinsicht betroffen – durch Veränderungen der binnenhydrologischen Verhältnisse und den steigenden Meeresspiegel in Kombination mit häufigeren Sturmhochwässern und durch die daraus resultierende Überflutungsgefahr. Das Küstenwassermanagement muss deshalb schrittweise an die einzelnen Herausforderungen angepasst werden, unter Einbindung der relevanten Akteure. Grundlage der Entwicklung von Anpassungsstrategien sind belastbare Prognosen der Einwirkung des globalen Klimawandels auf den regionalen Landschaftswasserhaushalt, der Abfluss- und Entwässerungsverhältnisse sowie der daraus resultierenden Risiken. Im Rahmen des BMBF-Projektes go-CAM (Implementierung strategischer Entwicklungsziele im Küstenzonenmanagement) wurden u.a. für eine Fallstudienregion auf der Ost-Friesischen Halbinsel ausführliche Modellstudien des Wasserhaushaltes unter Einfluss des Klimawandels durchgeführt. Da es an der niedersächsischen Nordseeküste kaum Pegel der Binnengewässer gibt, an denen langjährige Zeitreihen der Abflüsse bzw. der Bauwerksdurchflüsse vorliegen, wurde ein begleitendes Abflussmonitoring am Auslassbauwerk Maadesiel bei Wilhelmshaven aufgebaut. Aktuell wird dies auf weitere Küstenregelbauwerke ausgeweitet (Projekt „SiSchöMo“). Dies ist zwingend notwendig, da Zeitreihen der Wasserstände und Abflüsse der Fließgewässer im Binnenbereich der Küstenregion Grundlage für die erfolgreiche Anwendung von Wasserhaushaltsmodellen als Prognosewerkzeug sind.

Für die Simulation der Einwirkung des Klimawandels auf den Landschaftswasserhaushalt und die Abflussverhältnisse wurde für ein rd. 1.000 km<sup>2</sup> großes Modellgebiet an der niedersächsischen Nordseeküste ein Wasserhaushaltsmodell mit dem deterministischen, semi-distributiven hydrologischen Modellsystem PANTA RHEI aufgebaut. Der Einfluss des Klimawandels wurde durch Verwendung von bias-adjustierten RCP 4.5- und RCP-8.5-Klimamodellensembles aus dem EURO-CORDEX-Programm simuliert. Es erfolgten saisonal differenzierte Analysen der künftigen klimatischen Verhältnisse und der Wasserhaushaltsparameter Abfluss, Verdunstung und Grundwasserneubildung unter Klimawandeleinfluss für die nahe (Z2, 2021-2050) und ferne Zukunft (Z3, 2071-2100). Der Fokus der Analysen lag auf der künftigen Entwicklung des Entwässerungsbedarfs sowie der binnenseitigen Hochwassergefahr. Aus den Simulationen gehen ein künftig zunehmender Binnenentwässerungsbedarf sowie eine Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Binnenhochwässern hervor.

## **Aktualisierung konzeptioneller Abflussbildungs- und -konzentrationsverfahren für wasserwirtschaftliche Aufgaben in Einzugsgebieten <250 km<sup>2</sup>**

Simon P. Seibert<sup>1</sup>, Kilian Krüger<sup>1</sup>, Henrike Stockel<sup>2</sup>, Winfried Willems<sup>2</sup>, Konstant Stricker<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg

<sup>2</sup> Ingenieurhydrologie, Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik (IAWG), Ottobrunn

Simon.seibert@lfu.bayern.de, kilian.lruenger@lfu.bayern.de, Henrike.Stockel@iawg.de,  
willems@iawg.de, stricker@iawg.de

Bauwerke zum Hochwasserschutz sind überaus zahlreich, in Planung, Bau und Betrieb sehr kostspielig und sowohl für den Schutz der Bevölkerung als auch volkswirtschaftlich von sehr hoher Bedeutung. Zur Bemessung z. B. von Rückhaltebecken oder der Ausweisung von Überschwemmungsgebieten sind hydrologische Planungsgrundlagen wie Abflussscheitel oder –füllen definierter Eintrittswahrscheinlichkeit erforderlich.

Insbesondere in kleinen Gebieten (< 250 km<sup>2</sup>), wo die große Mehrzahl von Hochwasserschutzbauwerken steht, werden zur Ableitung hydrologischer Kenngrößen häufig Niederschlag-Abfluss-Modelle verwendet. Hierbei handelt es sich (noch immer) überwiegend um ereignisbasierte Ansätze, wo anhand synthetischer Bemessungsregen und mittels konzeptioneller Verfahren (z. B. SCS-CN oder Einheitsganglinien) die Abflussreaktion eines definierten Einzugsgebietes ermittelt wird. Die meisten dieser Ansätze stammen noch aus den 1960-1980er Jahren. Gleiches gilt für die Konventionen und Annahmen, mit denen sie bis heute angewendet werden.

Trotz der Bedeutung und des hohen Alters der Verfahren steht eine umfangreiche Evaluierung an aktuellen Daten (Herausforderung 1) und eine Überprüfung der bestehenden Anwendungskonventionen (Herausforderung 2) bis heute aus. Um dem entgegenzuwirken erfolgte eine umfangreiche Aufbereitung großer historischer Niederschlag-Abfluss-Ereignisse aus kleinen Einzugsgebieten (<250 km<sup>2</sup>) aus Bayern, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz (siehe Beitrag von Krüger et al.). Die so generierte Stichprobe wurde genutzt, um die in der bayerischen wasserwirtschaftlichen Praxis bestehenden Abflussbildungs- und konzentrationsverfahren zu evaluieren und um ihre Parametrisierung zu aktualisieren (Herausforderung 1). In diesem Beitrag werden ausgewählte Ergebnisse des durchgeführten Vorhabens präsentiert, überarbeitete Gleichungen zur Bestimmung von Abflussbildung und -konzentration vorgestellt und ihre Anwendungsgrenzen aufgezeigt. Die Beurteilung und Fortschreibung der Anwendungskonventionen (Herausforderung 2) erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt in einem separaten Beitrag.

## Ein neuer Ansatz zur Ermittlung des Extremhochwassers $HQ_{\text{Extrem}}$

Christoph Mudersbach<sup>1</sup>, Florian Oestermann<sup>1</sup>, Fabian Netzel<sup>1</sup>, Felix Simon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserbau und Hydromechanik,  
Am Hochschulcampus 1, 44801 Bochum

christoph.mudersbach@hs-bochum.de

Seit der Einführung der Europäischen Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken in 2007 werden Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten für drei Szenarien erstellt. Für das Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit ( $HQ_{\text{Extrem}}$ ) existieren keine einheitlichen Definitionen in Deutschland. Durch die extremen Abflussereignisse im Juli 2021 in weiten Teilen Deutschlands ist davon auszugehen, dass Abflussereignissen mit einer Jährlichkeit von größer als 100 Jahren zukünftig eine größere Aufmerksamkeit gewidmet wird. Neben den vorhandenen mathematisch-statistischen Schwierigkeiten bei der belastbaren Abschätzung von Extremereignissen mit Jährlichkeiten größer 100 Jahren, erschweren die bislang vorherrschenden unterschiedlichen Definitionen eines  $HQ_{\text{Extrem}}$  zum einen die Kommunikation und zum anderen die Ableitung entsprechender Maßnahmen. Es wird daher ein Ansatz vorgestellt, mit dem in Deutschland Extremabflüsse  $HQ_{\text{Extrem}}$  flächendeckend berechnet werden können. Das  $HQ_{\text{Extrem}}$  orientiert sich hierbei an einem  $HQ_{1000}$ -Ereignis.

Für die Analysen wurden Zeitreihen des täglichen mittleren Abflusses in Deutschland verwendet. Es wurde der Datensatz des Global Runoff Data Centre (GRDC) mit Stand von September 2021 zugrunde gelegt. Die Daten wurden hinsichtlich bestimmter Mindestanforderungen gefiltert. Diesen Filterkriterien entsprechen 232 Pegelzeitreihen. Für alle Pegelzeitreihen wurden die Maxima der hydrologischen Jahre (AMAX) ermittelt und um einen gegebenenfalls vorhandenen linearen Trend korrigiert. Anschließend wurden mittels der generalisierten Extremwertverteilung (GEV) die Quantilwerte  $HQ_{100}$  und  $HQ_{1000}$  berechnet und ein Verhältniswert  $f_{1000} = HQ_{1000}/HQ_{100}$  berechnet. Dieser Verhältniswert wurde mit charakteristischen Werten eines jeden Pegels korreliert, woraus ein multiples lineares Regressionsmodell abgeleitet wurde. Mittels dieses Regressionsmodells kann auf Basis eines  $HQ_{100}$  das  $HQ_{\text{Extrem}}$  berechnet werden. Es kann gezeigt werden, dass sich das  $HQ_{\text{Extrem}}$  regional unterschiedlich aus dem etwa 1,2- bis 1,8-fachen des  $HQ_{100}$  ableiten lässt. Es muss beachtet werden, dass im Einzelfall eine signifikante Abweichung zwischen dem aus der örtlichen Extremwertstatistik abgeleiteten  $HQ_{1000}$  und dem berechneten  $HQ_{\text{Extrem}}$  entstehen kann. Dennoch sind die Ergebnisse im Vergleich zu alternativen Ansätzen als gleichwertig bis leicht besser zu bewerten. Dabei bleibt wichtig zu erwähnen, dass es kein Berechnungsverfahren gibt, mit dem der „wahre“ Wert eines  $HQ_{1000}$  ermittelt werden könnte. Alle Verfahren haben Vor- und Nachteile, die bei der jeweiligen Anwendung angemessen berücksichtigt werden müssen. Mit dem hier vorgestellten Ansatz steht jedoch eine weitere praxistaugliche und übertragbare Methodik zur Verfügung, mit der Extremabflüsse belastbar abgeschätzt werden können.

## **Abschätzung von Hochwasserabflüssen als Grundlage für Planungen auf kommunaler Ebene – Anforderungen und Probleme in der Praxis**

Thomas Büche<sup>1</sup>

<sup>1</sup> WipflerPLAN, Pfaffenhofen a. d. Ilm

Nach den Sturzflutereignissen 2016 und 2021 ist der Schutz vor Hochwasser an Gewässer III. Ordnung und vor wild abfließendem Oberflächenwasser in den Fokus gerückt. Die Zuständigkeit für den Schutz vor solchen Ereignissen liegt bei den Kommunen. In Bayern wurde daher unter anderem das Sonderförderprogramm gegen Sturzfluten initiiert, welchem nun die staatliche Förderung von Integralen Konzepten zum kommunalen Sturzflut-Risikomanagement anschließt. Zusätzlich werden Kommunen nun auch vermehrt in Eigeninitiative oder durch den Anstoß von Bürgern tätig.

Für die Planung und Bemessung von Maßnahmen ist die Abschätzung von Abflusswerten für bestimmte Jährlichkeiten von zentraler Bedeutung. Für Betrachtungen zum potenziellen Hochwasserrückhalt sind neben den Werten der jeweiligen Scheitelabflüsse auch Abflussganglinien erforderlich. Diese Abschätzungen werden vor allem auf kommunaler Planungsebene sehr häufig für kleine Einzugsgebiete (Einzugsgebietsgrößen  $< 5 \text{ km}^2$ ) benötigt, für die in der Regel keine statistischen Werte vorliegen. Die Ermittlung der Bemessungsgrundlagen erfolgt demnach meist anhand einer Niederschlags-Abfluss-Modellierung. Die planenden Dienstleister sind dadurch vor eine Reihe an Herausforderungen gestellt, welche sich mitunter von denen bei einer wissenschaftlichen Studie/Untersuchung unterscheiden.

In diesem Beitrag sollen die Anforderungen, die Herangehensweise, und der Umgang mit den einhergehenden Problemen sowie die Limitationen der Ergebnisse bei der Ermittlung der erforderlichen Kennwerte aufgezeigt werden. Dies erfolgt anhand konkreter Beispiele aus der Praxis, wie z. B. der Schutz eines geplanten Baugebiets vor Hangwasser oder Planungen zum Hochwasserschutz auf Konzeptebene.



# Poster Session 2: „Nicht-stationäres Verhalten hydrologischer Prozesse“



## Liste der Poster in Session 2: „Nicht-stationäres Verhalten hydrologischer Prozesse“

Nummer	Titel	Autor
S2-01	Untersuchung der Temperaturdynamik in einem Mittelgebirgseinzugsgebiet mit faseroptischer Temperaturmessung, Sensoren und Infrarot	<b>K. Peters</b> , J. Kiesel, S. Grantz, K. Strehlow, J. Lewandowski, N. Fohrer
S2-02	Abflussverschiebungen zwischen trockeneren Böden: Hydrologische Projektionen für ein zentralasiatisches Einzugsgebiet	<b>T. Schaffhauser</b>
S2-03	Was können wir von Bodenfeuchte- und was von Matrixpotentialdaten im agrarökohydrologischen Kontext lernen?	<b>S. Hoffmeister</b> , S. K. Hassler, E. Zehe
S2-04	DFG-Netzwerk „Identifikation und Analyse von Prozesslimitierungen in hydrologischen Modellstrukturen“ (IMPRO): Ziele, Inhalte und Personen	<b>B. Guse</b> , M. Stölzle, S. Thober, D. Dühmann, U. Ehret, T. Houska, J. Kiesel, R. Loritz, L. Melsen, T. Pilz et al.
S2-05	Räumliche und zeitliche Variabilität oberflächennaher Fließwege in einem Einzugsgebiet in den Schweizer Voralpen	<b>A. Leuteritz</b> , V. Gauthier, I. van Meerveld
S2-06	Einfluss von Niederschlagsereignissen auf die Sediment- und Phosphordynamik im Einzugsgebiet der Kielstau	<b>H. T. Risch</b> , P. Wagner, N. Fohrer
S2-07	Dürre 2018-2020 - Analyse des Niederschlagsdefizits und der hydrologischen Auswirkungen auf kleine Einzugsgebiete und Lysimeterstationen	<b>B. Schmalz</b> , S. Dietrich, H. Meesenburg, F. Merensky-Pöhlein, K. Miegel, F. Reinstorf, H. Rupp, J. Suttmöller, M. Ziese
S2-08	Analyse der raumzeitlichen Variabilität in Prozessen und Modellparametern mit dem neu strukturierten SWAT+ Modell anhand von sieben deutschen Einzugsgebieten	<b>C. Schürz</b> , A. Bauwe, K. Bieger, S. Julich, J. Kiesel, B. Mehdi-Schulz, H. Rathjens, T. Schaffhauser, M. Strauch, P. D. Wagner, B. Guse
S2-09	CAMELS-DE: Initiative für einen konsistenten Datensatz für hydro-meteorologische Analysen in Einzugsgebieten	<b>R. Loritz</b> , M. Stölzle, B. Guse, I. Heidbüchel, L. Tarasova, M. Mälicke, S. Hassler, P. Eberling, J. Kiesel
S2-10	Effects of sampling strategy in rivers on load estimation for Nitrogen and Phosphorus in a lowland agricultural area	<b>X. Sun</b> , G. Hörmann, B. Schmalz, N. Fohrer
S2-11	Modellierung von Hydrologie und Wasserqualität eines drainagegeprägten Mikro-Einzugsgebiets mit SWAT+	<b>A.-K. Wendell</b> , B. Guse, P. Wagner, U. Ulrich, N. Fohrer
S2-12	Heterogene raum-zeitliche Abflussreaktion auf Klimaindizes des Luftdrucks in den Ostalpen	<b>T. Pérez Ciria</b> , D. Labat, G. Chiogna
S2-13	Trockenheit verstärkt Fluktuationen des Grundwasserspiegels durch den Betrieb von Wasserkraftwerken	<b>M. Basilio Hazas</b> , T. Singh, G. Marcolini, B. Wohlmuth, G. Chiogna
S2-14	Erweiterung der Konvektions-Diffusions-Gleichung für eine verbesserte Modellierung kombinierter Diffusions- und Dispersionsprozesse	<b>M. Gelleszun</b> , G. Meon
S2-15	Mehrskalige Modellierung von Zustandsänderungen in Vegetationsmustern	<b>K. Kästner</b> , D. Caviedes-Voullième, C. Hinz

S2-16	Integrierte Einzugsgebietsmodellierung zur Analyse sinkender Seewasserspiegel am Beispiel des Straussees in Brandenburg	<b>P. Keilholz</b> , M. Beyer, K. Eulitz
S2-17	Vergleich von SWAT und SWAT+ im Norddeutschen Tiefland	<b>P. D. Wagner</b> , K. Bieger, J. G. Arnold, N. Fohrer

## **Untersuchung der Temperaturdynamik in einem Mittelgebirgseinzugsgebiet mit faseroptischer Temperaturmessung, Sensoren und Infrarot**

Kristin Peters<sup>1</sup>, Jens Kiesel<sup>1</sup>, Sven Grantz<sup>1</sup>, Karen Strehlow<sup>2</sup>, Jörg Lewandowski<sup>3</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

<sup>2</sup> Geomar Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Wischhofstr. 1-3  
24148 Kiel

<sup>3</sup> Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Abteilung Ökohydrologie und Biogeochemie, Müggelseedamm 310, 12587 Berlin

kpeters@hydrology.uni-kiel.de, jkiesel@hydrology.uni-kiel.de, sven.grantz@stu.uni-kiel.de,  
kstrehlow@geomar.de, joerg.lewandowski@igb-berlin.de, nfohrer@hydrology.uni-kiel.de

Fließgewässerökosysteme werden durch zahlreiche Stressoren beeinflusst, die auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind. Die globale Erwärmung wirkt sich als sogenannter Masterstressor auf die Fließgewässertemperatur aus, die hauptsächlich von der Luft- und Grundwassertemperatur bestimmt wird. Erhöhte Temperatur in Gewässern ist ein Stressor, der mit anderen Umweltvariablen in Wechselwirkung steht und daher aquatische Organismen direkt oder in Kombination mit anderen Stressoren beeinflusst. Von grundwasserbeeinflussten Flüssen wird daher erwartet, dass sie den Habitaten Stabilität bieten und thermische Refugien für temperaturempfindliche Arten darstellen. Die Temperaturdynamik wird in unserer Studie an zwei Standorten im Mittelgebirgseinzugsgebiet der Kinzig mit verschiedenen Techniken untersucht, um Rückschlüsse auf die wichtigsten physikalischen Prozesse zu ziehen, die die Gewässertemperatur beeinflussen. Fiber-optic distributed temperature sensing (FO-DTS) wird zur Messung der Flussbetttemperatur eingesetzt, im Gegensatz zu thermal infrared (TIR) Messungen, mit denen die Wasseroberflächentemperatur bestimmt wird. Hierbei handelt es sich um Kampagnen, im Gegensatz zu den sonst üblichen Dauerbeobachtungen der Temperatur. Die Messergebnisse werden mit Temperatur- und Lichtsensordaten sowie mit Daten zur Zusammensetzung des Biofilms ergänzt. Der Vergleich zweier verschiedener Untersuchungsstandorte unter Sommer- und Winterbedingungen ermöglicht die Interpretation der Temperaturdynamik und verdeutlicht die Praktikabilität der verschiedenen Messverfahren. Die Ergebnisse zeigen, dass die Substratbeschaffenheit und die Strömungsgeschwindigkeit eine wichtige Rolle bei der Fähigkeit von FO-DTS spielen, Temperaturunterschiede zu erkennen.

## **Abflussverschiebungen zwischen trockeneren Böden: Hydrologische Projektionen für ein zentralasiatisches Einzugsgebiet**

Timo Schaffhauser<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität München, Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement,  
Arcisstraße 21, 80333 München

t.schaffhauser@tum.de

Der Klimawandel stellt eine große Bedrohung für Zentralasien dar und es werden signifikante Änderungen innerhalb des hydrologischen Kreislaufs in vielen Flusseinzugsgebieten erwartet. Das Naryn Einzugsgebiet, in Kirgistan gelegen, ist von essenzieller Bedeutung für die Wasserversorgung des Landes und ist überdies von großer Relevanz für den Agrarsektor Usbekistans, Kasachstans und Tadschikistans.

Im Zuge dessen wurden die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Wasserhaushaltsgrößen im Einzugsgebiet untersucht. Dabei wurden die (noch) gängigen CMIP5 Modellergebnisse verwendet, als auch die Klimadaten der neuen CMIP6 Phase verwendet, um die Entwicklung der Schätzungen aufzuzeigen und zu vergleichen. Die Auswirkungsuntersuchung erfolgt mittels des hydrologischen Modells SWAT (Soil Water Assessment Tool). Es wurden jeweils 3 Szenarien jeder CMIP Generation untersucht. Die Vergleichsstudie konzentriert sich jedoch auf die Szenarien RCP26 und RCP85 (Relative Concentration Pathway), welche das Niedrigemission- bzw. das Hochemissionsszenario darstellen. Aus der neusten Phase wurden die Nachfolgeszenarien SSP26 und SSP85 (Shared Socio-economic Pathway) untersucht. Für die Untersuchung wurden 4 globale Klimamodelle (GCM) unter CMIP5 ausgewählt und die jeweiligen Nachfolgermodelle von CMIP6 herangezogen. Die Modelle wurden im Zuge des ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project) Projekts herunterskaliert und bias-korrigiert, auf welcher Datengrundlage wir die Untersuchung durchgeführt haben. Um eine bestmögliche Vergleichbarkeit sowie robuste Abschätzungen zu ermöglichen wurde ein aufwändiges Kalibrierschema verwendet, das unter anderem mehrere Pegel, verschiedene Zielvariablen und Gütekriterien, als auch verschiedene klimatische Perioden der Vergangenheit berücksichtigt, angewendet. Es konnten signifikante Unterschiede bei den Temperatur- als auch Niederschlagsprojektionen festgestellt werden, die zu teils erheblichen Unterschieden in den Variablen wie Abfluss, Verdunstung, Schneeschmelze oder Bodenfeuchte führen. Da Studien der Auswirkungen des Klimawandels teils mit wesentlichen Unsicherheiten behaftet sind, wurde zudem versucht mit Hilfe einer Varianzanalyse die Unsicherheit in ihre Bestandteile zerlegt, um die Hauptbeitragenden zu bestimmen.

## **Was können wir von Bodenfeuchte- und was von Matrixpotentialdaten im agrarökohydrologischen Kontext lernen?**

Hoffmeister, Svenja<sup>1</sup>, Hassler, Sibylle K.<sup>1</sup>, Zehe, Erwin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe

svenja.hoffmeister@kit.edu

Bodenfeuchtemessungen werden in der Ökohydrologie vielfältig genutzt, um den hydrologischen Zustand des Bodens zu charakterisieren, und sind heute z.T. in Form langer Zeitreihen in Datenbanken verfügbar. Die Bodenfeuchte liefert jedoch keine Information über die Bindungsenergie des Bodenwassers in der Bodenmatrix. Das Matrixpotential muss entweder indirekt anhand einer Retentionsbeziehung aus der Bodenfeuchte ermittelt werden, oder kann direkt, z.B. mittels Tensiometern, gemessen werden. Matrixpotentiale werden deutlich seltener in ökohydrologischen Monitoringstudien erhoben, obwohl a) Bodenwasserflüsse durch Potentialgradienten getrieben sind und b) die Pflanzenwurzel bei der Wasseraufnahme Arbeit gegen das Matrixpotential leisten muss.

Diese Studie präsentiert einen kombinierten Datensatz aus volumetrischem Wassergehalt und Matrixpotential in drei Tiefen an einem Agroforststandort gemessen. Zusätzlich wurden an ungestörten Bodenproben im Labor die Wasserretentionsbeziehung bestimmt. Mithilfe dieser Retentionsbeziehung wurden beide Größen ineinander umgerechnet und die Ergebnisse mit den Beobachtungen verglichen.

Das Matrixpotential reagiert auf Schwankungen im trockenen Bereich deutlich empfindlicher als die Bodenfeuchte, kann hierdurch allerdings stark verrauscht sein. Absolute Werte der Bodenfeuchte müssen, vor allem bei fehlender Kalibrierung, mit Vorsicht betrachtet werden. Allerdings kann mit ihrer Hilfe z.B. die Wurzelwasseraufnahme von Pflanzen abgeschätzt werden (z.B. [1]). Berücksichtigt werden müssen besonders die Messbereiche der beiden Sensoren und möglicherweise vorangegangene Kalibrierungsprozesse. Ist eine der beiden Messgrößen „wertvoller“?

### Literatur

- [1] C. Jackisch, S. Knoblauch, T. Blume, E. Zehe, and S. K. Hassler, “Estimates of tree root water uptake from soil moisture profile dynamics,” *Biogeosciences*, vol. 17, no. 22, pp. 5787–5808, Nov. 2020, doi: 10.5194/bg-17-5787-2020

## **DFG-Netzwerk „Identifikation und Analyse von Prozesslimitierungen in hydrologischen Modellstrukturen“ (IMPRO): Ziele, Inhalte und Personen**

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

<sup>1</sup> Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) Potsdam, Sektion Hydrologie, Potsdam, Deutschland

<sup>2</sup> Universität Freiburg, Umwelthydrosysteme, Freiburg, Deutschland

<sup>3</sup> UFZ – Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Hydrosystemmodellierung, Leipzig, Deutschland

<sup>4</sup> IGB Leibniz Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Abteilung Ökohydrologie und Biogeochemie, Berlin, Deutschland

<sup>5</sup> Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Wasser und Gewässerentwicklung – Bereich Hydrologie, Karlsruhe, Deutschland

<sup>6</sup> Justus-Liebig Universität Gießen, Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement, Gießen, Deutschland

<sup>7</sup> Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Hydrologie und Wasserwirtschaft, Kiel, Deutschland

<sup>8</sup> Wageningen University and Research, Hydrology and Quantitative Water Management, Wageningen, Niederlande

<sup>9</sup> Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Klimaresilienz - Hydroklimatische Risiken, Potsdam, Deutschland

<sup>10</sup> EAWAG, Wasserressourcen & Trinkwasser, Dübendorf, Schweiz

<sup>11</sup> Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Dresden, Deutschland

<sup>12</sup> Universität Zürich, Geographie – Hydrologie und Klima, Zürich, Schweiz

<sup>13</sup> UFZ – Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Catchment hydrology, Halle, Deutschland

<sup>14</sup> Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Department of Civil, Chemical, Environmental and Materials Engineering, Bologna, Italien

<sup>15</sup> Universität Potsdam, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, Potsdam, Deutschland

<sup>16</sup> Google Research, Wien, Österreich

<sup>17</sup> TU Delft, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department of Watermanagement, Delft, Niederlande

<sup>18</sup> Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Deutschland

bjoern.guse@gfz-potsdam.de, michael.stoelzle@hydro.uni-freiburg.de, stephan.thober@ufz.de, duethmann@igb-berlin.de, uwe.ehret@kit.edu, tobias.houska@umwelt.uni-giessen.de, jkiesel@hydrology.uni-kiel.de, ralf.loritz@kit.edu, lieke.melsen@wur.nl, topilz@pik-potsdam.de, sandra.pool@eawag.ch, diana.spieler@tu-dresden.de, maria.staudinger@geo.uzh.ch, larisa.tarasova@ufz.de, pwagner@hydrology.uni-kiel.de, anna.herzog@gfz-potsdam.de, serena.ceola@unibo.it, thorsten.wagener@uni-potsdam.de, jan.seibert@geo.uzh.ch, kratzert@google.com, m.hrachowitz@tudelft.nl, d.tetzlaff@igb-berlin.de, nfohrer@hydrology.uni-kiel.de

Mit diesem Poster stellen wir das neue von der DFG geförderte wissenschaftliche Netzwerk IMPRO (Laufzeit 11/2021-10/2024) zur Identifikation und Analyse von Prozesslimitierungen in hydrologischen Modellstrukturen vor.

## Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Ziel des Netzwerkes ist es durch einen Modellvergleich Defizite in der Prozessabbildung in hydrologischen Einzugsgebietsmodellen systematisch zu identifizieren und daraus Hypothesen für eine verbesserte Prozessabbildung zu entwickeln. Hieraus soll ein konsistentes Modellvergleichsprotokoll entwickelt werden. Hierzu werden neben themenfokussierten Diskussionen an sechs Workshops Modellsimulationen mit drei hydrologischen Modellen (HBV, mHM, SWAT) in zehn verschiedenen Einzugsgebieten in Deutschland durchgeführt. Das wissenschaftliche Netzwerk besteht aus 15 Nachwuchswissenschaftler\*innen aus 12 Institutionen in Deutschland, der Schweiz und den Niederlanden mit Expertise zu unterschiedlichen Modellen. Es werden halbjährliche Workshops zu aufeinander folgenden Themen durchgeführt, zu denen externe Expert\*innen eingeladen werden.

Mit diesem Beitrag präsentieren wir Ziele, Inhalte, Personen sowie den aktuellen Stand unseres DFG-Netzwerkprojekts. Dazu gehören der konsistente Vergleich von Modellstrukturen, methodische Ansätze und unsere Erwartungen hinsichtlich Prozessdefiziten.

## **Räumliche und zeitliche Variabilität oberflächennaher Fließwege in einem Einzugsgebiet in den Schweizer Voralpen**

Anna Leuteritz<sup>1</sup>, Victor Gauthier<sup>1</sup>, Ilja van Meerveld<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich

anna.leuteritz@geo.uzh.ch, victor.gauthier@geo.uzh.ch, ilja.vanmeerveld@geo.uzh.ch

In Einzugsgebieten mit gering durchlässigen Böden findet ein erheblicher Teil des lateralen Abflusses in Hanglagen direkt an oder nahe der Bodenoberfläche statt. Allerdings fehlt es noch immer an ausreichenden Kenntnissen über diese oberflächennahen Fließwege und die Faktoren, die deren zeitliche und räumliche Variabilität beeinflussen. Um die Entstehung von Abflüssen und den Transport von gelösten Stoffen auf Einzugsgebietskala besser zu verstehen, ist daher ein genaueres Verständnis des oberflächigen und oberflächennahen Abflusses erforderlich. Im Einzugsgebiet des Studibachs (0.2 km<sup>2</sup>) in den Schweizer Voralpen installierten wir 14 Messfelder auf bewachsenen Hängen mit schlecht durchlässigen Gleysolböden. Wir messen dort jeweils den Oberflächenabfluss und den oberflächennahen Zwischenabfluss in kleinen (3 m breiten) Gräben, sowie den Grundwasserspiegel. Zusätzlich nahmen wir über einen Zeitraum von zwei Monaten Wasserproben aus Niederschlag, Bodenwasser, Grundwasser und Bachwasser, sowie im Oberflächenabfluss und Zwischenabfluss. Für diese Wasserproben bestimmten wir die Isotopenwerte (<sup>2</sup>H und <sup>18</sup>O) und die geochemische Zusammensetzung. Auf Basis dieser Daten wurden Ganglinienseparations- und Mischungsanalysen durchgeführt und die Anteile von Niederschlags-, Boden- und Grundwasser im Oberflächen- und Zwischenabfluss bestimmt. Wir stellen die ersten Ergebnisse über die zeitliche und räumliche Variabilität des Vorkommens, der Abflussmenge und der chemischen Zusammensetzung des Oberflächen- und Zwischenabflusses vor und beschreiben, wie diese mit den Eigenschaften der Niederschlagsereignisse und der topografischen Lage zusammenhängen.

## **Einfluss von Niederschlagsereignissen auf die Sediment- und Phosphordynamik im Einzugsgebiet der Kielstau**

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

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstraße 75, 24118 Kiel

hrisch@hydrology.uni-kiel.de, pwagner@hydrology.uni-kiel.de, nfohrer@hydrology.uni-kiel.de

Obwohl bereits mehr als zwei Jahrzehnte seit der Einführung der EU-Wasserrahmenrichtlinie vergangen sind, konnte der angestrebte „gute Zustand“ trotz diverser implementierter Maßnahmen zur Reduzierung von Phosphoreinträgen und der damit verbundenen Umweltauswirkungen nicht in allen deutschen Oberflächengewässern erreicht werden. Diffuse Quellen aus der Landwirtschaft, insbesondere Einträge durch Erosion und über Dränagen, tragen deutlich zur Phosphorbelastung bei.

Um den bedeutenden Einfluss von Niederschlagsereignissen mit 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.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen den Einfluss von Niederschlagsereignissen auf die Abflusssdynamik im Einzugsgebiet der Kielstau und geben einen Einblick in die Auswirkungen von Niederschlagsereignissen auf die Phosphordynamik. Es zeigen sich deutliche Zusammenhänge zwischen Wasserstand, Fließgeschwindigkeit und den Phosphorkonzentrationen nach Niederschlagsereignissen. Außerdem lässt die Übereinstimmung des Konzentrationsanstiegs von suspendiertem Sediment und Phosphor auf Einträge durch Erosion schließen.

## **Dürre 2018-2020 - Analyse des Niederschlagsdefizits und der hydrologischen Auswirkungen auf kleine Einzugsgebiete und Lysimeterstationen**

Britta Schmalz<sup>1</sup>, Stephan Dietrich<sup>2</sup>, Henning Meesenburg<sup>3</sup>, Florian Merensky-Pöhlein<sup>4</sup>, Konrad Miegel<sup>5</sup>, Frido Reinstorf<sup>4</sup>, Holger Rupp<sup>6</sup>, Johannes Suttmöller<sup>3</sup>, Markus Ziese<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung, TU Darmstadt, Darmstadt

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

<sup>3</sup> Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Göttingen

<sup>4</sup> Professur für Hydrologie und Geographische Informationssysteme, Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg

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

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

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

schmalz@ihwb.tu-darmstadt.de

Die ausgeprägteste Abfolge von Dürreereignissen in Deutschland seit Beginn der regelmäßigen Wetteraufzeichnungen wurde im Zeitraum 2018-2020 beobachtet. Vor allem das Jahr 2018 mit seiner außergewöhnlich trocken-heißen Großwetterlage war durch unterdurchschnittliche Regenmengen und überdurchschnittliche Temperaturen gekennzeichnet. Die Analyse dieser drei aufeinanderfolgenden Trockenjahre 2018-2020 mit ihrer großräumigen Trockenheit und der regionalen hydrologischen Auswirkungen war das Ziel dieser Studie.

Die IHP/HWRP-Arbeitsgruppe „FRIEND-Water / ERB“ \*\* hat dazu die hydrologische Reaktion und die Folgen der Dürre in ausgewählten Lysimetern und kleinen hydrologischen Untersuchungsgebieten, basierend auf Messdaten hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung, ausgewertet. Die Observationsgebiete sind auf einem NO-SW Transekt durch Deutschland verteilt. Die räumliche Verteilung umfasst sowohl Mittelgebirgslandschaften wie auch das norddeutsche Tiefland und erlaubt somit einen großräumigen Überblick. Daraus lässt sich ein Defizit in den Speicher- und Bodenwasservorräten, ein Rückgang bis Ausbleiben der Grundwasserneubildung sowie eine deutliche Verringerung der Abflussmengen in den hydrologischen Sommerhalbjahren ableiten. Anhand dieser Standorte soll bewertet werden, durch welche Kennwerte oder Indizes sich die Dürre-Situation adäquat beschreiben lässt. Dies soll anhand geeigneter Parameter und Kennwerte von Niederschlag und Verdunstung, Bodenfeuchte, Grundwasserneubildung und Niedrigwasserabfluss erfolgen, die Ausdruck für die Prozesskette sind.

\*\* IHP / HWRP: *“Intergovernmental Hydrological Programme”* der UNESCO / *“Hydrology and Water Resources Programme”* der WMO

FRIEND-Water / ERB: *“Flow Regimes from International Experimental and Network Data”* / *“Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins”*

Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

## Analyse der raumzeitlichen Variabilität in Prozessen und Modellparametern mit dem neu strukturierten SWAT+ Modell anhand von sieben deutschen Einzugsgebieten

Christoph Schürz<sup>1,2</sup>, Andreas Bauwe<sup>3</sup>, Katrin Bieger<sup>4</sup>, Stefan Julich<sup>5</sup>, Jens Kiesel<sup>6</sup>, Bano Mehdi-Schulz<sup>2</sup>, Hendrik Rathjens<sup>7</sup>, Timo Schaffhauser<sup>8</sup>, Michael Strauch<sup>1</sup>, Paul D. Wagner<sup>6</sup>, Björn Guse<sup>9</sup>

<sup>1</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Department Landschaftsökologie, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig, Deutschland

<sup>2</sup> Universität für Bodenkultur, Wien (BOKU), Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Muthgasse 18, 1190 Wien, Österreich

<sup>3</sup> Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock, Deutschland

<sup>4</sup> Aarhus University, Department of Ecoscience, Vejløvej 25, 8600 Silkeborg, Denmark

<sup>5</sup> Technische Universität Dresden, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Piener Str. 19, 01737 Tharandt, Deutschland

<sup>6</sup> Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, 24118 Kiel, Deutschland

<sup>7</sup> Stone Environmental, 535 Stone Cutters Way, 05602 Montpelier (VT), USA

<sup>8</sup> Technische Universität München, Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement, Arcisstraße 21, 80333 München, Deutschland

<sup>9</sup> GFZ Potsdam, Sektion Hydrologie, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Deutschland

christoph.schuerz@ufz.de, andreas.bauwe@uni-rostock.de, katrin.bieger@ecos.au.dk, stefan.julich@tu-dresden.de, jkiesel@hydrology.uni-kiel.de, bano.mehdi@boku.ac.at, hrathjens@stone-env.com, t.schaffhauser@tum.de, michael.strauch@ufz.de, pwagner@hydrology.uni-kiel.de, bjoern.guse@gfz-potsdam.de

hat formatiert: Französisch (Kanada)

hat formatiert: Französisch (Kanada)

Das ökohydrologische Modell SWAT (Soil and Water Assessment Tool) wird seit über 20 Jahren stetig weiterentwickelt. Für die neueste Version des Modells, SWAT+, wurden die Modellstruktur sowie einige Parameter des Modells komplett überarbeitet. Hieraus ergibt sich ein Bedarf für eine detaillierte Analyse der Modellparameter und ihres Einflusses auf die simulierten hydrologischen Prozesse.

An diesem Punkt haben die Arbeiten der SWAT-DE-Gruppe angesetzt, einem wissenschaftlichen Zusammenschluss von SWAT-Nutzer\*innen im deutschsprachigen Raum. Im Rahmen der gemeinsamen Aktivitäten wurden in sieben deutschen Einzugsgebieten SWAT+ Modelle aufgesetzt, die unterschiedliche Regionen und hydrologische Charakteristika Deutschlands repräsentieren.

Eine tägliche FAST Sensitivitätsanalyse wurde angewendet, um den Einfluss von 22 hydrologisch relevanten Modellparametern auf tägliche Simulationen von Schneeprozessen, Verdunstung, schnellem und langsamem Abfluss, sowie Perkolations- und Grundwasserflüssen zu analysieren. Mittels dieser zeitlichen Parameter-Sensitivitätsanalyse wurde die Stärke und Art des Zusammenhangs zwischen Änderungen hydrologisch relevanter Modellparameter und der Simulation von verschiedenen Wasserbilanzkomponenten im neuen SWAT+ Modell analysiert. Ziel

Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

war es, konsistente Zusammenhänge zwischen simulierten hydrologischen Prozessen und deren funktionalen Parametergruppen zu erfassen, sowie Unterschiede zwischen verschiedenen hydrologischen Systemen aufzuzeigen.

Die präsentierte Studie gibt einen umfassenden Überblick über die Relevanz der wichtigsten Parameter und funktionaler Parametergruppen in SWAT+ für die Simulation einzelner hydrologischer Prozesse mit dem überarbeiteten SWAT+ Modell. Die Aussagen aus den Parametersensitivitäten sollen zur systematischen Kalibrierung von SWAT+ Modellen beitragen.

## **CAMELS-DE: Initiative für einen konsistenten Datensatz für hydro-meteorologische Analysen in Einzugsgebieten**

Ralf Loritz<sup>1</sup>, Michael Stölzle<sup>2</sup>, Björn Guse<sup>3</sup>, Ingo Heidbüchel<sup>4,5</sup>, Larisa Tarasova<sup>6</sup>, Mirko Mälicke<sup>1</sup>,  
Sibylle Hassler<sup>1</sup>, Pia Eberling<sup>5</sup>, Jens Kiesel<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), Institut für Wasser und Gewässerentwicklung,  
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe, Deutschland

<sup>2</sup> Universität Freiburg, Umwelthydrosysteme, Friedrichstr. 39, 79098 Freiburg, Deutschland

<sup>3</sup> GFZ Potsdam, Sektion Hydrologie, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Deutschland

<sup>4</sup> Universität Bayreuth, Hydrologische Modellierung, 95447 Bayreuth, Deutschland

<sup>5</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Hydrogeologie, 04318 Leipzig, Deutschland

<sup>6</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Catchment Hydrology, 06120 Halle, Deutschland

<sup>7</sup> Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Hydrologie und Wasserwirtschaft, 24118 Kiel, Deutschland

ralf.loritz@kit.edu

Konsistente, umfassende Datensätze für hydro-meteorologische Analysen in Einzugsgebieten haben sowohl die Forschung als auch die Lehre in der Hydrologie in den letzten Jahren geprägt und maßgeblich vorangebracht. Besonders der CAMELS-US Datensatz (Catchment attributes and meteorology for large-sample studies; 671 Einzugsgebiete verteilt über die USA), eine Weiterentwicklung des MOPEX Datensatzes (Model Parameter Estimation Project), hat dabei eine entscheidende Rolle gespielt. Seit Erscheinen dieses Datensatzes in den USA gibt es inzwischen eine Vielzahl von Ablegern wie etwa in Großbritannien, Chile, oder dem Donaeinzugsgebiet (CAMELS-UK, CAMELS-CL, LamaH-CE), die ähnlich aufgebaut sind und teilweise umfangreicher sind.

Diese Datensätze haben gemein, dass sie Landschaftsattribute (z.B. Landnutzung, Geologie), hydrologische Größen (z.B. Wasserstand, Abfluss) sowie meteorologische Parameter (z.B. Niederschlag, Temperatur) in hunderten von Einzugsgebieten, konsistent miteinander verbinden und Unsicherheiten einzelner Variablen möglichst klar benennen. Ein solcher Datensatz bietet somit die Möglichkeit, Modelle und Datenanalysen in einer Vielzahl von unterschiedlichen Landschaftsräumen unkompliziert miteinander zu vergleichen und hydrometeorologische Variabilität in Zeit und Raum zu bewerten. Trotz des sehr umfangreichen hydro-meteorologischen Messnetzwerks liegt ein solcher Datensatz für Deutschland bisher noch nicht vor.

Motiviert durch die oben genannten Datensätze und Studien ist das Ziel der „CAMELS-DE“- Initiative deshalb einen solchen konsistenten und umfassenden Datensatz auch für Deutschland aufzubereiten und der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Durch die föderalen Strukturen der Bundesländer stellt dieses Vorhaben eine große Herausforderung dar, die aber durch gute Zusammenarbeit innerhalb der deutschen hydrologischen Community realisiert werden kann.

Ziel dieses Poster-Beitrags ist es deshalb, Aufmerksamkeit für die CAMELS-DE Initiative zu generieren, Unterstützer aus Praxis und Forschung zu finden und die Teilnehmer des Tags der Hydrologie zu motivieren, uns mitzuteilen, was sie von einem zukünftigen CAMELS-DE Datensatz erwarten.

Literatur

Newman, A. J., Clark, M. P., Sampson, K., Wood, A., Hay, L. E., Bock, A., ... & Duan, Q: Development of a large-sample watershed-scale hydrometeorological data set for the contiguous USA: data set characteristics and assessment of regional variability in hydrologic model performance. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1), 209-223, 2015.

Coxon, G., Addor, N., Bloomfield, J. P., Freer, J., Fry, M., Hannaford, J., Howden, N. J. K., Lane, R., Lewis, M., Robinson, E. L., Wagener, T., and Woods, R.: CAMELS-GB: hydrometeorological time series and landscape attributes for 671 catchments in Great Britain, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 2459–2483, <https://doi.org/10.5194/essd-12-2459-2020>, 2020.

## **Effects of sampling strategy in rivers on load estimation for Nitrogen and Phosphorus in a lowland agricultural area**

Xiuming Sun<sup>1</sup>, Georg Hörmann<sup>1</sup>, Britta Schmalz<sup>2</sup>, Nicola Fohrer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 75, 24118 Kiel

<sup>2</sup>Technische Universität Darmstadt, Franziska-Braun-Straße 7, 64287 Darmstadt

xsun@hydrology.uni-kiel.de, ghoermann@hydrology.uni-kiel.de, b.schmalz@ihwb.tu-darmstadt.de, nfohrer@hydrology.uni-kiel.de

With increasing awareness of water-related issues, water quality monitoring and assessment is one of the most important activities. The transport of nutrients into water bodies is one of the main causes of water eutrophication. It is therefore important to estimate the loads of nutrients. Discharge and nutrient concentrations are the fundamental elements to estimate the loads of nutrients, the latter can be affected by sampling strategies. As conducting sampling campaign and laboratory analysis are both expensive, it is necessary to find the best effective sampling strategy.

The aim of this research is to show how autocorrelation and standard statistical methods can be used to assess the effects of different sampling strategies on the nutrient load estimation and to find the optimal sampling strategy. The data set in this study is from the 50 km<sup>2</sup> Kielstau catchment, a UNESCO demo site for ecohydrology in Northern Germany and consists of daily values of climate, hydrology, and water quality from 2006 to 2019. We calculated the autocorrelation (AC) of discharge (Q), precipitation, nitrate-nitrogen (NO<sub>3</sub>-N) and total phosphorus (P<sub>tot</sub>). Then we analyzed the effects of sampling intervals from 7 to 56 days (1-8 weeks) on the nutrient loads.

Our results showed a high AC of Q and NO<sub>3</sub>-N for a long period, which is a clear indication of being controlled by a low storage component with low temporal variability. The AC of P and precipitation decreased very fast and indicated that at least a major part of the P<sub>tot</sub> load was from surface runoff. We found a clear dependence of concentrations and loads on the sampling intervals. An increase of the sampling interval (less frequent) increased the over-estimation of the concentrations and loads.

Consequently, we recommend that 1) the optimal sampling strategy for nutrient load estimation should be monitoring discharge continuously combined with manually grabbed samples; 2) the sampling frequency could be decided respectively for different elements based on the AC of different variables. The information will help those tasked with watershed water quality monitoring to design appropriate sampling regimes to ensure adequate data for estimating the loads of nutrients, and further, to provide information to guide management and policies to protect and restore water bodies.

## **Modellierung von Hydrologie und Wasserqualität eines drainagegeprägten Mikro-Einzugsgebiets mit SWAT+**

Anne-Kathrin Wendell<sup>1</sup>, Björn Guse<sup>2</sup>, Paul Wagner<sup>1</sup>, Uta Ulrich<sup>1</sup>, Nicola Fohrer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 75, 24118 Kiel

<sup>2</sup> Helmholtz-Zentrum Potsdam, Telegrafenberg, 14473 Potsdam

awendell@hydrology.uni-kiel.de, bjoern.guse@gfz-potsdam.de, pwagner@hydrology.uni-kiel.de,  
uulrich@hydrology.uni-kiel.de, nfohrer@hydrology.uni-kiel.de

Der Eintrag von Agrochemikalien aus der intensiven Landwirtschaft in Oberflächengewässer wurde als eine der Hauptursachen für den Rückgang der aquatischen Biodiversität identifiziert. Daher wird es immer wichtiger, diffuse Stoffeinträge aus der Landwirtschaft auf ein umweltverträgliches Maß zu reduzieren. Dabei gilt die Anpassung des lokalen Flächenmanagements als eine der wirksamsten Strategien, um die Austräge der Agrochemikalien nachhaltig zu reduzieren.

Wasserqualitätsmodelle sind ein bewährtes Instrument, um geeignete Maßnahmenkombinationen für die Reduktion von Pflanzenschutzmitteln in Gewässern zu identifizieren und die Folgen agrarpolitischer Programme zum Schutz der Gewässer abzuschätzen. Allerdings unterscheidet sich die Effizienz von Maßnahmen zwischen der Einzugsgebiets- und der Feldskala. Daher steigen die Anforderungen an multiskalare Ansätze der Modellierung zur Umsetzung agrarpolitischer Maßnahmen. Das ökohydrologische Modell SWAT kann eine Vielzahl landwirtschaftlicher Managementmaßnahmen sowie Wasser- und Stoffflüsse abbilden und auf verschiedenen Skalen angewendet werden. In der neuen Modellversion SWAT+ wurden Wasser- und Stoffflüsse zwischen Landschaftseinheiten ermöglicht. Dies erweitert den Anwendungsbereich von SWAT+ für komplexe Fragestellungen auf einen kleinräumigen Maßstab. In dieser Studie wurde SWAT+ in einem ersten Schritt zur Modellierung des Wasserhaushaltes auf einem ca. 100 Hektar großen Ackerbaubetrieb mit hoher Drainagedichte im Norddeutschen Tiefland angewendet.

SWAT+ zeigt vielversprechende Ergebnisse in der Abbildung des Wasserkreislaufs von 2016 bis 2019 in täglicher Auflösung. Bereits das unkalibrierte Modell zeigt für den Abfluss am Auslass des Ackerbaubetriebs eine Nash-Sutcliffe-Modelleffizienz von 0,82. Eine akkurate Repräsentation der Wasserflüsse bildet die Voraussetzung für den zweiten Schritt, in dem die komplexen Transportwege und der Rückhalt von Pflanzenschutzmittel durch verschiedene Maßnahmen abgebildet werden soll. Dies stellt die Basis für die Entwicklung effizienter Managementkombinationen zum Schutz der Gewässer dar.

## **Heterogene raum-zeitliche Abflussreaktion auf Klimaindizes des Luftdrucks in den Ostalpen**

Teresa Pérez Ciria<sup>1,2</sup>, David Labat<sup>3</sup>, Gabriele Chiogna<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement, Technische Universität München, Deutschland

<sup>2</sup> Department für Geographie, Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), Deutschland

<sup>3</sup> Géosciences Environnement Toulouse (GET), Université de Toulouse, France

<sup>4</sup> Institut für Geographie, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich

tepercz.ciria@tum.de, david.labat@get.omp.eu, gabriele.chiogna@tum.de

Die Analyse der zeitlichen und räumlichen Variabilität von Flussabflüssen und der Auswirkungen großräumiger Klimaschwankungen auf hydrologische Systeme ist in alpinen Einzugsgebieten von besonderem Interesse [1]. Es hat sich gezeigt, dass die Alpen besonders empfindlich auf klimatische Einflüsse reagieren [2,3]. Die Auswirkungen von Klimaschwankungsindizes können eine verzögerte Reaktion zeigen. Daher ist es schwierig, die Korrelation zwischen den klimatischen Faktoren und dem Abfluss richtig zu bestimmen. Zu diesem Zweck gilt die Wavelet Transform (WT) als ein geeignetes Instrument, um die entscheidenden Skalen der Variabilität zu identifizieren. In dieser Arbeit haben wir die Abflusssignale in verschiedene Skalen zerlegt (von jährliche bis mehrjährige) und die Wavelet Coherence von fünfzig Pegeln im Einzugsgebiet des Inn mit verschiedenen Klimaindizes berechnet: Der Nordatlantische Oszillationsindex (NAO), der arktische Oszillationsindex (AO), der mediterrane Oszillationsindex (MO) und der Greenland Blocking Index (GB). Diese Analysen, die für tägliche Zeitreihen durchgeführt wurden, verdeutlichen die heterogene und nicht-stationäre Reaktion des Abflusses auf Veränderungen der klimatischen Indizes. Diese Forschung trägt zu unserem Verständnis der Abflussvariabilität über den Ostalpen und der Rolle von Telekonnektionsmustern auf diese Variabilität bei.

Die vorgestellten Ergebnisse bestätigen im Einklang mit anderen in den Alpen durchgeführten Studien [4,5], dass ein Teil der beobachteten Verschiebungen auf Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation zurückzuführen ist. Nichtsdestotrotz haben wir mit einem multizentrischen Ansatz ein besseres Verständnis der Auswirkungen und des Zusammenspiels verschiedener Klimaschwankungsindizes auf die Ostalpen und der daraus resultierenden Heterogenität der Abflussvariabilität erreicht. Wir konzentrierten uns auf die Auswirkungen auf die Flussabflüsse und erstellten eine Cluster-Klassifizierung dieser Auswirkungen, die sehr nützlich ist, um festgestellte Anomalien im Abflussverhalten zu verstehen. Diese Zusammenhänge können auch zur Verbesserung der hydrologischen Vorhersage und der Bewirtschaftung der Wasserressourcen in der Alpenregion genutzt werden.

Literatur

[1] Wanders N, Wada Y. Decadal predictability of river discharge with climate oscillations over the 20th and early 21st century. *American Geophysical Union Publications* 2015: 1-7.

[2] Beniston M, Farinotti D, Stoffel M, Andreassen LM, Coppola E, Eckert N, et al. The European mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges. *The Cryosphere* 2018; 12: 759-794.

[3] Beniston M. Mountain Weather and Climate: A General Overview and a Focus on Climatic Change in the Alps. *Hydrobiologia* 2006; 562: 3-16.

[4] Bocchiola D. Long term (1921–2011) hydrological regime of Alpine catchments in Northern Italy. *Advances in Water Resources* 2014; 70: 51–64.

[5] Quadrelli R, Lazzeri M, Cacciamani C, Tibaldi S. Observed winter Alpine precipitation variability and links with large-scale circulation patterns. *Climate Research* 2001; 17: 275-284.

## **Trockenheit verstärkt Fluktuationen des Grundwasserspiegels durch den Betrieb von Wasserkraftwerken**

Mónica Basilio Hazas<sup>1</sup>, Tanu Singh<sup>1</sup>, Giorgia Marcolini<sup>1</sup>, Barbara Wohlmuth<sup>1</sup>, Gabriele Chiogna<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität München, Arcistraße 21, 80333 München

monica.basilio@tum.de, tanu.singh@tum.de, giorgia.marcolini@tum.de, wohlmuth@tum.de, gabriele.chiogna@tum.de

Das Management von Wasserkraftwerken beeinflusst die Abflussvariationen der betroffenen Fließgewässer. Diese Variabilität kann wiederum die Interaktion zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser beeinflussen (siehe z.B. [2] und [3]). In unserer Arbeit erforschen wir den Einfluss von Sperrbetrieb auf das Grundwasser in alpinen Gebieten und wie sich der Grundwasserstand dabei in trockenen und feuchten Jahre verändert. Insbesondere fokussieren wir uns auf die nicht stationären wöchentlichen Fluktuationen, da sie besonders weite Teile des Aquifers beeinflussen können im Vergleich zu untertägigen Fluktuationen. Als Fallbeispiel analysieren wir ein alpines Gebiet in Trentino in Norditalien, wo vier verschiedene Flussabschnitte, die unterschiedlich vom Sperrbetrieb beeinflusst sind, zu beobachten sind: Noce, Adige vor der Mündung mit dem Noce, Adige nach der Mündung mit dem Noce, Avisio. Ihr Einfluss auf den Aquifer wurde mit einem transienten Model in Modflow für die hydrologische Jahre 2009/10 und 2016/17 simuliert, wobei 2016/17 mit besonders niedrigen Niederschlägen charakterisiert wurde [1]. Die Ergebnisse wurden mithilfe der kontinuierlichen Wavelet-Analyse und der Wavelet Coherence-Analyse erzielt. Wir beobachten, dass die 7-tägige Fluktuationen im Grundwasser sehr von den vom Sperrbetrieb beeinflussten Flussabschnitten geprägt sind. Der Vergleich des Verhaltens der Grundwasserhöhen in 2009/10 und in 2016/17 zeigt, dass die wöchentlichen Variationen in trockenen Jahren stärker sind als in feuchten Jahren. Dennoch bleibt der Anteil des Aquifers, der eine starke wöchentliche Variabilität zeigt, ähnlich. Das Wasserbudget entlang der vier Flussabschnitte ändert sich in den zwei betrachteten hydrologischen Jahren nicht wesentlich. Unsere Wavelet-Analyse zeigt aber, dass in 2016/17 eine starke wöchentliche Variabilität zu beobachten ist während in 2009/10 dies nicht der Fall ist.

### Literatur

- [1] Chiogna, G., Skrobanek, P., Narany, T. S., Ludwig, R., & Stumpp, C. (2018). Effects of the 2017 drought on isotopic and geochemical gradients in the Adige catchment, Italy. *Science of the Total Environment*, 645, 924-936.
- [2] Ferencz, S. B., Cardenas, M. B., & Neilson, B. T. (2019). Analysis of the effects of dam release properties and ambient groundwater flow on surface water - groundwater exchange over a 100 - km - long reach. *Water Resources Research*, 55(11), 8526-8546.
- [3] Hucks Sawyer, A., Bayani Cardenas, M., Bomar, A., & Mackey, M. (2009). Impact of dam operations on hyporheic exchange in the riparian zone of a regulated river. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(15), 2129-2137.

## **Erweiterung der Konvektions-Diffusions-Gleichung für eine verbesserte Modellierung kombinierter Diffusions- und Dispersionsprozesse**

Marlene Gelleszun<sup>1</sup>, Günter Meon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TU Braunschweig, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz, Beethovenstr. 51a, 38106 Braunschweig

m.gelleszun@tu-bs.de, g.meon@tu-bs.de

Für die Beschreibung des instationären Transports von Schadstoffen in Gewässern als integraler Bestandteil hydrologisch-hydrodynamischer Anwendungen findet die Konvektions-Dispersionsgleichung (CDE) vielfach Verwendung. Bei Transportmodellierungen im Fließgewässer werden meist advektiver, das heißt mit einer vorherrschenden Strömung einhergehender Transport, und passiver Transport infolge molekularer Teilchenbewegungen berücksichtigt.

Trotz der großen Skalenunterschiede zwischen molekularer Diffusion und hydrodynamischer Dispersion wird die Gültigkeit der Fickschen Gesetze für die hydrodynamische Dispersion und die Legitimierung für deren Anwendung innerhalb der CDE beispielsweise in Chapra [2] bestätigt. Diffusions- und Dispersionskoeffizienten haben die gleiche Einheit, folgen den gleichen mathematischen Gesetzen und können folglich addiert werden. Dass jedoch eine Addition beider Koeffizienten bei der Beschreibung kombinierter Diffusions- und Dispersionsprozesse nicht in jedem Fall sinnvoll und mitunter unzulässig sein kann, zeigte unsere stochastische Betrachtung der Diffusionsprozesse im Rahmen eines DFG-Projektes.

Hierzu wurde der von Einstein [3] beschriebene molekulare Diffusionsprozess (Einstein-Smoluchowski-Gleichung) durch eine Varianzfortpflanzung in eine zeitabhängige Netto-Streuung der gerichteten 1-D-Fließgeschwindigkeiten überführt. Aus der umformulierten Gleichung geht hervor, dass die Geschwindigkeitsstreuungen bei einem reinen Diffusionsprozess bereits einer intrinsischen Instationarität unterliegen. Aus stochastischer Perspektive bildet der Diffusions- oder Dispersionskoeffizient nur gemeinsam mit der Zeit die Varianz ab. Aus diesem Grund wird bei kombinierten Diffusions- und Dispersionsprozessen vorgeschlagen, die Zeit als integrativen Bestandteil der Varianz bei der Addition der beiden Koeffizienten zu berücksichtigen, wenn die beiden Prozesse unterschiedlichen zeitlichen Ursprungs sind. Auf diese Weise ist eine mathematische Abgrenzung zwischen der molekularen Diffusion und der hydrodynamischen Dispersion innerhalb der CDE grundsätzlich möglich.

Der neue Ansatz wurde anhand verfügbarer Tracerdaten aus der veröffentlichten Atkinson-Studie [1] getestet. Nach der Parameteranpassung stimmten die berechneten und gemessenen longitudinalen Stofftransport-Charakteristika in einem Fließgewässer sehr gut und somit deutlich besser überein als bei Verwendung der klassischen Parametrisierung der Konvektions-Diffusionsgleichung. Darüber hinaus bieten die entwickelten Gleichungen ein vielversprechendes Anwendungspotential für Transportmodellierungen in der ungesättigten oder gesättigten Bodenzone.

Literatur

[1] Atkinson, T. C.; Davis, P. M. (2000): Longitudinal dispersion in natural channels: I. Experimental results from the River Severn, U.K. In: Hydrol. Earth Syst. Sci. 4 (3), S. 345–353. DOI: 10.5194/hess-4-345-2000

[2] Chapra, S. C. (2008): Surface water-quality modeling. Reissued. Long Grove, Ill.: Waveland Press

[3] Einstein, A. (1905): Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. In: Annalen der Physik (17), S. 549

## **Mehrskalige Modellierung von Zustandsänderungen in Vegetationsmustern**

Karl Kästner<sup>1</sup>, Daniel Caviedes-Voullième<sup>2,3</sup>, Christoph Hinz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hydrology, BTU Cottbus-Senftenberg, 03046 Cottbus, Germany

<sup>2</sup> Institute of Bio- and Geosciences: Agrosphere (IGB-3), Forschungszentrum Jülich,  
52428 Jülich, Germany

<sup>3</sup> Simulation and Data Lab Terrestrial Systems, Jülich Supercomputing Centre (JSC),  
52425 Jülich, Germany

karl.kaestner@b-tu.de

Vegetationsmuster sind ein faszinierendes Merkmal in semiariden Landschaften. In diesen Mustern wechseln sich bewachsenen Stellen mit kahlen Stellen miteinander ab. Sie bilden sich, wenn Niederschläge für eine flächendeckende Vegetationsdecke unzureichend sind. Solche Muster wurden mit relativ einfachen mathematischen Modellen erfolgreich reproduziert (Klausmeier 1995, Rietkerk 2002). Diese Modelle arbeiten auf der zeitlichen Skala der Vegetation, welche bis zu mehreren Jahrzehnten beträgt. Ein Defizit dieses Ansatzes ist die vereinfachte Wiedergabe Oberflächenabflusses, welche die Instationarität und Nichtlinearität des Abflusses vernachlässigt. Dadurch kann der Abfluss von Wasser aus dem System während Starkregenereignissen nicht reproduziert werden, welcher maßgeblich für die im System infiltrierende Wassermenge und damit für den Fortbestand der Vegetation ist. Für eine wahrheitsgetreue Vorhersage des Vegetationswuchses ist daher die genaue zeitliche Auflösung einzelner Niederschlagsereignisse über lange Zeiträume notwendig. Dies ist unter anderem relevant, um die Robustheit der Muster im Kontext des Klimawandels zu verstehen, welcher sowohl die Niederschlagsmenge als auch die Intensität einzelner Ereignisse ändert. Um diese Lücke zu schließen, koppeln wir ein Vegetationsmodell mit einem state-of-the-art numerischen Zero-Inertia Abfluss-Modell, welches den instationären Abfluss realistisch darstellt. Unser Model löst einzelne Niederschlagsereignisse zeitlich über einen Zeitraum von Jahrzehnten hinweg auf. Wir zeigen damit, wie die zeitliche Variation der Niederschläge zusammen mit der räumlichen Variation der Landschaftstopografie die Musterbildung beeinflusst.

### **Modelling vegetation patterns with high-temporal resolution**

Vegetation patterns are a fascinating landscape feature in semiarid environments. These patterns consist of vegetated patches separated by bare ground and form in conditions when there is not sufficient precipitation to sustain a continuous vegetation cover. Such patterns have been successfully reproduced with relatively simple numerical models (Klausmeier 1995, Rietkerk 2002). A shortcoming of these models is their oversimplistic representation of water flow, which neglects non-stationarity and non-linearity of the flow. Reasons for the simplicity of existing models is the complexity of code and computational effort required to solve the shallow water equations. To fill

Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

this gap, we couple the vegetation model with which a zero-inertia flow model, which realistically reproduces non-stationary flow. Our model explicitly resolves the time-scale of individual rainfall events to evolve the vegetation patterns on a time scale of decades. We then show how intermittent precipitation in together with landscape topography influence the pattern formation.

## **Integrierte Einzugsgebietsmodellierung zur Analyse sinkender Seewasserspiegel am Beispiel des Straussees in Brandenburg**

Patrick Keilholz<sup>1</sup>, Matthias Beyer<sup>2</sup>, Katja Eulitz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BGD ECOSAX GmbH, München

<sup>2</sup> BGD ECOSAX GmbH, Dresden

p.keilholz@bgd-scosax.de, m.beyer@bgd-ecosax.de, k.eulitz@bgd-ecosax.de

In den letzten Jahren wurden verstärkt sinkende Grundwasser- und Seespiegel bzw. ausgetrocknete Seen und Bäche beobachtet und zunehmend in Politik und Öffentlichkeit thematisiert [2,3]. Zumeist führt die Überlagerung mehrerer Einflussfaktoren zu diesen drastischen Entwicklungen. Die Abnahme der Niederschläge sowie die Veränderung der Niederschlagsverteilung, so dass weniger Grundwasser-neubildung stattfindet, und die Zunahme der Sommertemperaturen, die zur erhöhten Verdunstung führen, sind wesentliche Gründe. Grundwasserentnahmen und Landnutzung verstärken diese Effekte.

Vorgelegt wird ein Modellsystem zur Modellierung und Bilanzierung aller Einflussgrößen des unter- und oberirdischen Einzugsgebietes des Straussees östlich von Berlin. Mit Hilfe eines räumlich-zeitlich hoch aufgelösten Wasser-haushaltsmodells (MIKE SHE) wurden nahezu alle Kompartimente des Wasserkreislaufs integrativ berechnet. Zu diesem Zweck werden die Teilsysteme See, Grundwasserleiter und Gewässerzu- und ablauf gekoppelt, wobei der Grundwasserleiter durch ein komplexes 3-dimensionales hydrogeologisches Strukturmodell abgebildet wird. Dies macht es möglich, die Grundwasserdynamik als auch die ober- und unterirdischen Zu- und Abflusskomponenten des Sees simultan zu betrachten und dadurch letztere zu bilanzieren (Abbildung 1).

Die Kalibrierung des Modells erfolgte stationär und instationär. Zudem wurde mit Hilfe von Isotopenanalysen das Verhältnis des Grundwasserzustroms gegenüber den oberirdischen Zuflüssen aus dem Einzugsgebiet quantifiziert.

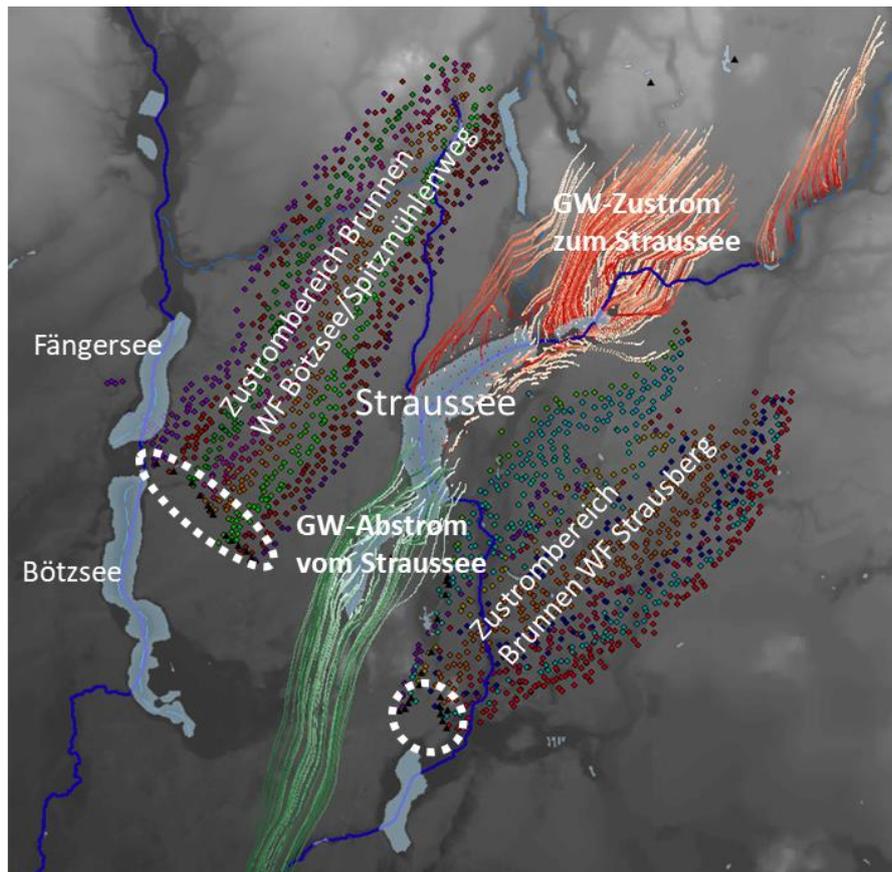


Abbildung 1: Zustrombereiche zu den zwei Wasserfassungen Strausberg und Bötzsee/ Spitzmühlenweg (Rückwärtspartikel 30 Jahre) und mit dem Straussee interagierenden Fließpfade für den Zufluss (rot) und den Abfluss (grün)

Auswirkungen der klimatischen Entwicklungen, von Grundwassernutzungen, Landnutzungsänderungen, Abflussänderungen etc. auf den Grund- und Seewasserhaushalt konnten dadurch quantifiziert werden und Maßnahmen, die zur Verbesserung der derzeitigen und zukünftigen Wasserhaushaltsituation des Sees beitragen, vorgeschlagen und auf ihre Auswirkung hin untersucht werden [1].

#### Literatur

- [1] Beyer et al. (2020): Abschlussbericht - Stabilisierung des Landschaftswasserhaushaltes im Einzugsgebiet des Straussees
- [2] LfU (2016): Wasserspiegelabsenkung des Straussees, Zusammenhang mit dem WW Bötzsee, Kurzgutachten 08.07.2016
- [3] ZALF (2009): Vorstudie - Machbarkeitsstudie „Stabilisierung des Wasserhaushaltes des Straussees“

## Vergleich von SWAT und SWAT+ im Norddeutschen Tiefland

Paul D. Wagner<sup>1</sup>, Katrin Bieger<sup>2</sup>, Jeffrey G. Arnold<sup>3</sup>, Nicola Fohrer<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Department of Bioscience - Catchment Science and Environmental Management, Aarhus University, Denmark

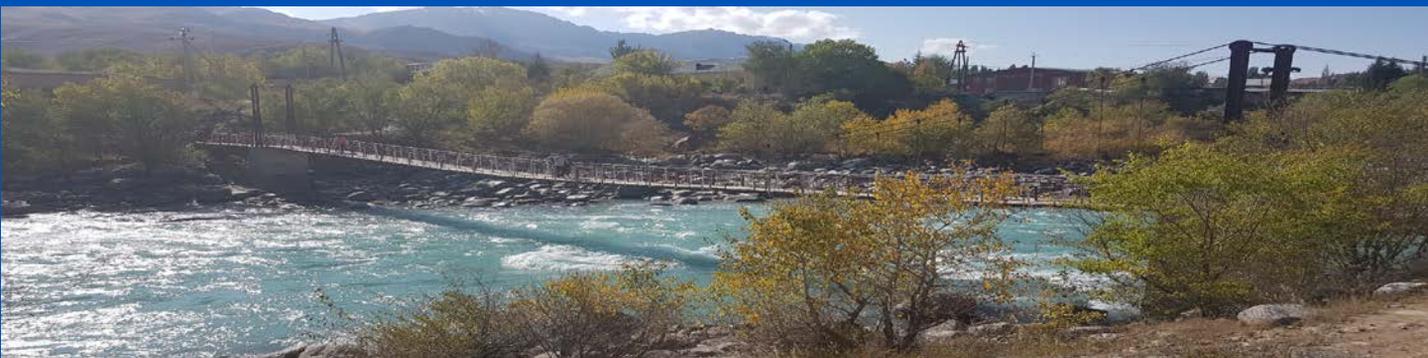
<sup>3</sup>Grassland, Soil and Water Research Laboratory, USDA-ARS, Temple, Texas, USA

[pwagner@hydrology.uni-kiel.de](mailto:pwagner@hydrology.uni-kiel.de), [katrin.bieger@ecos.au.dk](mailto:katrin.bieger@ecos.au.dk), [jeff.arnold@usda.gov](mailto:jeff.arnold@usda.gov),  
[nfohrer@hydrology.uni-kiel.de](mailto:nfohrer@hydrology.uni-kiel.de)

Die Hydrologie ländlicher Einzugsgebiete im Norddeutschen Tiefland ist durch oberflächennahe Grundwasserspiegel und Drainagen geprägt. Diesbezüglich weist die neueste Version des Soil and Water Assessment Tool (SWAT+) im Vergleich zu früheren Versionen des Modells mehrere Verbesserungen auf, z. B. die Definition von Landschaftseinheiten, die eine bessere Darstellung der räumlich-zeitlichen Dynamik ermöglicht. Um die neuen Modellfunktionen für Tieflandeinzugsgebiete zu bewerten, wird SWAT+ mit einer früheren Modellversion im etwa 50 km<sup>2</sup> großen Einzugsgebiet der Kielstau im Norden Schleswig-Holsteins verglichen. Für den Modellvergleich werden zwei SWAT+ Modelle aufgesetzt. Die erste Konfiguration ist vergleichbar mit früheren SWAT Modellen, während die zweite Konfiguration die neuen Landschaftseinheiten in SWAT+ nutzt. Die Modelle werden anhand des gemessenen Abflusses am Auslass des Einzugsgebiets bewertet. Zudem werden Komponenten der Wasserbilanz zeitlich und räumlich aggregiert sowie räumlich verteilt verglichen. Die Modellgüte ist bei allen drei Modellen sehr gut. Durch Verwendung der Landschaftseinheiten hat sich die Modellgüte dennoch leicht verbessert. Dabei unterscheiden sich die SWAT+ Modelle gegenüber dem SWAT Modell in der Repräsentation von Oberflächen-, Grundwasser- und Drainageabfluss. Insbesondere bilden die SWAT+ Modelle im Vergleich mit dem SWAT Modell die räumliche Heterogenität besser ab. Durch den Modellvergleich soll einerseits zu einem besseren Verständnis und einer besseren Modellrepräsentation der Hydrologie von Tieflandeinzugsgebieten sowie andererseits zur Weiterentwicklung des Modells SWAT+ beigetragen werden.



# Poster Session 3: „Auenreaktivierung – Synergien von Hochwasser- und Naturschutz“



**Liste der Poster in Session 3: „Auenreaktivierung – Synergien von Hochwasser- und Naturschutz“**

<b>Nummer</b>	<b>Titel</b>	<b>Autor</b>
S3-01	Identification of effective locations for dike relocation projects considering flood risk reduction and nature conservation	<b>H. Kazemi</b> , S. Natho, A. Thieken
S3-02	Identifizierung historischer Auen entlang der deutschen Donau	<b>F. Perosa</b> , H. Melkisetian, M. Disse
S3-03	Assessing the potential of semi-empirical estimates of evapotranspiration from peatlands in Bavaria by means of remote sensing	<b>V. Kuch</b> , P. Marzahn, J. Klatt, T. Ramsauer, V. Huber García, R. Ludwig, M. Drösler
S3-04	Hybride Untersuchung von Stickstoffeinträgen mittels Laboranalytik und Modellierung	<b>P. Dost</b> , P. Keilholz
S3-05	Bedeutung der Flusseintiefungen für Auenreaktivierungen – eine nährstoffbasierte Perspektive	<b>S. Natho</b> , M. Tschikof, T. Hein
S3-06	Klimaschutz- und Anpassungspotenziale in Mooren Bayerns - das Verbundvorhaben KliMoBay	<b>M. Drösler</b> , M. Disse, A. Freibauer, R. Ludwig, J. Klatt, M. Schlaipfer, H. Meyer, G. Chiogna, A. Gerner, S. Friedrich

## **Identification of effective locations for dike relocation projects considering flood risk reduction and nature conservation**

Hossein Kazemi, Stephanie Natho, Annegret Thieken

University of Potsdam, Institute of Environmental Science and Geography

Hossein.kazemi@uni-potsdam.de

Recent floods throughout the world have emphasized the necessity of flood retention. This can be achieved through the natural capacity of floodplains, which have also been categorized as valuable habitats with high biodiversity. Recent floods demonstrate that Germany is no exception. However, two thirds of historical floodplains in Germany have been cut by dikes and the goal of the German National Strategy on Biodiversity in increasing of the retention areas along rivers by at least 10% by 2020 was not achieved. To prioritize dike relocation (DR) projects proposed by the individual federal states, an integrated and systematic approach considering hydraulic, ecologic, and economic aspects is needed on the federal level. To support this, a GIS-based method was developed in this project using widely available datasets. Flood channel width was considered as a proxy for flowing capacity and the narrowest contractions in flood channel were identified as bottlenecks. To test the hypothesis, the results were compared with the identified bottlenecks by the German Federal Institute of Hydrology (BfG) in the lower Middle Elbe that are based on 2D-modelling. Land uses on both right and left side dikes at the identified bottlenecks were analysed to check the possibility of DR. Behind the dikes was searched for Natura 2000 Special Areas of Conservation (SAC) with typical habitats in German floodplains in conservation level C (need to be improved) which can be reconnected to river hydrological regime by DR. To check flood risk reduction of each DR project, asset values which are exposed to 100-yr flood were calculated up to 10 km upstream of the bottlenecks using the Basic European Asset Map (BEAM). The method identified 29 bottlenecks from which 23 are in common with BfG 33 detected bottlenecks. Because of urban land use behind dikes at 2 bottlenecks, no DR is possible. SACs were identified in areas behind the dikes at 18 bottlenecks pointing to a potential to be reconnected to river. Considering different aspects in the developed method can ease decision making processes and increase synergy in DR projects. As BfG used velocity and water level slope along with width as indicators of bottlenecks, simple 1D hydraulic modelling can improve the method in identifying bottlenecks.

## Identifizierung historischer Auen entlang der deutschen Donau

Francesca Perosa<sup>1</sup>, Hovan Melkisetian<sup>1</sup>, Markus Disse<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement, Technische Universität München, DE

francesca.perosa@tum.de

Auen sind einen Treffpunkt von hydrologischer Wissenschaft, Praxis, Politik und Gesellschaft. Auen sind nämlich für die Menschheit von Nutzen, z. B. durch die Bindung von Treibhausgasen, die Bereitstellung von Gütern, die Grundwasseranreicherung oder die Rückhaltung von Nährstoffen. Darüber hinaus können Maßnahmen zur Reaktivierung von Auen dazu beitragen, Hochwasserscheiteln, Hochwasserschäden und folglich das Hochwasserrisiko zu mindern.

In den letzten Jahren haben Klimawandel und extreme hydrologische Bedingungen dazu geführt, dass Studien zur Renaturierung von Auen als möglicher Weg zu resilienten Lösungen immer mehr an Bedeutung gewonnen haben. Daher ist die Identifizierung historischer Überschwemmungsgebiete entlang der Donau, um vergangene Prozesse zu verstehen und nach Reaktivierungsgebieten zu suchen, ein wichtiger Schritt bei der Auenreaktivierung.

Eine bestehende Methode, die von Guerrero et al. (2018) [1], wurde angewandt und erweitert, um ehemalige Auen für den bayerischen Abschnitt der Donau mithilfe eines Python-Skripts für QGIS abzugrenzen. Hydrologische, topographische, pedologische und geologische Daten wurden verwendet und verschiedene Parametersätze wurden getestet. So wurden 12 verschiedene Szenarien historischer Auen erhalten. Für jedes Szenario wurden verschiedene Nachbearbeitungsschritte durchgeführt (Lücken wurden gefüllt, Kanten wurden geglättet und Nebenflüsse wurden ausgelassen).

Um die Parameter der Variablen zu kalibrieren und validieren und das beste Szenario auszuwählen, wurden zwei Arten von historischen Militärkarten verwendet. Die Erste, die Schmitt'sche Karte [2; 3], ist eine alte Militärkarte, die die Flüsse in ihrem natürlichen Verlauf vor dem anthropogenen Einfluss des 18. Jahrhunderts darstellt. Die Zweite ist die historische Karte von Bayern, die von Skublics und Rutschmann (2018) [4] aus der historischen Karte von Adrian von Riedl [5] gezeichnet wurde.

Nach der Kalibrierung ergab sich der beste Parametersatz aus der Verwendung der pedologischen Karte, eines Schwellenwerts der Neigung von 3% und einem Pufferabstand zum Flussnetz von 4 km. Die Validierung mit den Schmitt'schen und Skublics'schen Auen ergab eine Überlappung von fast 70%, basierend auf dem Quality of Overlap-Index, der als goodness-of-fit Kriterium verwendet wurde.

Anschließend wurden die historischen Auen mit aktiven und potenziellen Auen verglichen, die im Rahmen des Interreg Projekts Danube Floodplain [6] für Deutschland identifiziert wurden, und im Hinblick auf andere Merkmale weiter analysiert.

Diese Methode kann verwendet werden, um historische Auen in Gebieten zu lokalisieren, für die keine historischen Karten verfügbar sind. Zukünftige Schritte beinhalten die Abschätzung von

Ökosystemleistungen in den identifizierten Gebieten, um den Beitrag von Auen in der Vergangenheit und ihren potenziellen Beitrag im Falle einer Reaktivierung zu entdecken.

### Literatur

[1] Guerrero, P.; Haase, D.; Albert, C. Locating Spatial Opportunities for Nature-Based Solutions: A River Landscape Application. *Water* 2018, 10, 1869, doi:10.3390/w10121869.

[2] Schmitt, H. von. Schmitt'sche Karte von Südwestdeutschland. Available online: <https://maps.arcanum.com/de/map/schmittsche-karte/?layers=35&bbox=1265432.5565827836%2C6128492.842224472%2C1301797.4727894564%2C6141> (accessed on 14 January 2022).

[3] Molnár, G.; Timár, G.; Előd Biszak. Can the First Military Survey maps of the Habsburg Empire (1763-1790) be georeferenced by an accuracy of 200 meters?, 2014.

[4] Skublics, D.; Rutschmann, P. Hochwasserrückhalt durch natürliche Hochwasserretention entlang der bayerischen Donau. *Wasserwirtschaft* 2014, 104, 20–27, doi:10.1365/s35147-014-0986-5.

[5] Adrian von Riedl. Strom-Atlas von Baiern. Available online: [http://digital.bib-bvb.de/view/bvbmets/viewer.0.6.4.jsp?folder\\_id=0&dvs=1614671729182~87&pid=233676&locale=de&usePid1=true&usePid2=true](http://digital.bib-bvb.de/view/bvbmets/viewer.0.6.4.jsp?folder_id=0&dvs=1614671729182~87&pid=233676&locale=de&usePid1=true&usePid2=true) (accessed on 2 March 2021).

[6] Danube Transnational Programme. Interreg Danube Floodplain: Reducing the flood risk through floodplain restoration along the Danube River and tributaries. Available online: <http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/danube-floodplain/outputs?page=1> (accessed on 2020).

## **Assessing the potential of semi-empirical estimates of evapotranspiration from peatlands in Bavaria by means of remote sensing**

Verena Kuch<sup>1</sup>, Philip Marzahn<sup>2</sup>, Janina Klatt<sup>3</sup>, Thomas Ramsauer<sup>1</sup>, Verena Huber García<sup>1</sup>,  
Ralf Ludwig<sup>1</sup>, Matthias Drösler<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Geography, Ludwig-Maximilians-Universität München, Munich, Germany

<sup>2</sup> Department of Geodesy and Geoinformatics, University of Rostock, Germany

<sup>3</sup> Institut of Ecology and Landscape, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising, Germany

v.kuch@lmu.de, philip.marzahn@uni-rostock.de, janina.klatt@hswt.de, t.ramsauer@iggf.geo.uni-muenchen.de, v.hubergarcia@iggf.geo.uni-muenchen.de, r.ludwig@lmu.de,  
matthias.droesler@hswt.de

Undisturbed peatlands perform as natural flood prevention. The potential of water retention depends on the water balance of peatlands, for a better understanding a more profound knowledge of spatiotemporal patterns of evapotranspiration (ET) is necessary. Resulting fluctuations in water table can further have a substantial impact on carbon storages or emissions.

In the framework of the KliMoBay project ([www.klimobay.de](http://www.klimobay.de)), spatially-distributed ET was modeled over the representative peatland “Schechenfilz” (latitude: 47.806/ longitude: 11.327) in the South of Bavaria from 2015 to 2020, as an initial testbed. The project requires spatially explicit ET information, as key input variable for modelling water table dynamics, for all peatland areas in Bavaria and uses remote sensing techniques to obtain full spatial coverage.

The following two models were tested and compared: i) Triangle Method by Jiang und Islam (1999) and ii) DATTUTDUT (Deriving Atmosphere Turbulent Transport Useful To Dummies Using Temperature) model by Timmermans et al. (2015). Both are based on the land surface energy balance as well as land surface temperatures (LST) to calculate ET. The DATTUTDUT model, which scales between LST values representing hydrologic limits of potential ET and non-evaporative fraction, only needs LST information for the calculation, but can be supported with auxiliary observed net radiation data. The Triangle Method typically depends on measured ground data (here: net radiation and air temperature) and uses an extension of Priestley-Taylor equation and a relationship between LST and NDVI.

Comparison with in situ measurements of Eddy-Covariance-Towers indicate that the retrieval from the DATTUTDUT model improves from a RMSD of 0.18 mm/h to 0.11 mm/h when additionally measured net radiation is utilized. The Triangle Method, initially designed for applications in arid and semi-arid regions, gives the best results (RMSD of ET = 0.26 mm/h), when the relationship of LST and NDVI fits a triangle between extreme wet and dry conditions of the existing data points. Tests show that an adjustment of the triangle shape taking very wet conditions into account, further improves the results. Both models show promising results and bare potential for modeling ET over Bavarian peatlands.

KliMoBay is funded by the Bavarian State Ministry of Environment and Consumer Protection through the European Regional Development Fund.

Literatur

[1] Jiang, Le; Islam, Shafiqul (1999): A methodology for estimation of surface evapotranspiration over large areas using remote sensing observations. In: *Geophysical Research Letters* (17), S. 2773– 2776.

[2] Timmermans, Wim J.; Kustas, William P.; Andreu, Ana (2015): Utility of an Automated Thermal-Based Approach for Monitoring Evapotranspiration. In: *Acta Geophys.* 63 (6), S. 1571–1608. DOI: 10.1515/acgeo-2015-0016

## **Hybride Untersuchung von Stickstoffeinträgen mittels Laboranalytik und Modellierung**

Philipp Dost<sup>1</sup>, Patrick Keilholz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BGD ECOSAX GmbH, Dresden

<sup>2</sup> BGD ECOSAX GmbH, München

p.dost@bgd-ecosax.de, p.keilholz@bgd-ecosax.de

Die Düngung landwirtschaftlicher Flächen führt zu Stickstoffbelastungen, die in einigen Regionen Deutschlands bereits kritische Grenzwerte überschritten haben. Der Prozess des Stickstofftransports ist komplex, da dieser über den gesamten Wasserhaushalt wirkt. Der auf der Oberfläche aufgebrauchte Dünger kann beispielsweise bei starken Niederschlägen an der Oberfläche verlagert werden und mit unterschiedlichen Konzentrationen in die Bodenkörper oder direkt ins Gewässersystem übergehen. Bei der vertikalen Bodenpassage kommt es zur Mineralisation und Nitrifikation. Einige Teile werden von den Wurzeln der Vegetation wieder aufgenommen, andere gehen in den Grundwasserkörper über. Das Grundwasser sorgt für eine räumliche Verlagerung und einen Austausch mit den Oberflächengewässersystem. Um diese Prozesse in Ihrer Ganzheit zu erfassen, helfen Wasserhaushaltsmodelle, die den Stofftransport mit abbilden können. Die Parametrisierung solcher Modelle ist oftmals nicht einfach, weshalb Laborversuche notwendig sind, um die entsprechenden Parameter zu ermitteln.

In dem hier vorgestellten Ansatz wird eine hybride Nutzung von Modellen und Laboranalytik verwendet, um das Prozessgeschehen möglichst realitätsnah abbilden zu können. Dadurch wird es ermöglicht, die im Boden stattfindenden Umbauprozesse mit den räumlichen Transportprozessen gesamtheitlich zu betrachten.

## **Bedeutung der Flusseintiefungen für Auenreaktivierungen – eine nährstoffbasierte Perspektive**

Natho, Stephanie<sup>1</sup>, Tschikof, Martin<sup>2</sup>, Hein Thomas<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Universität Potsdam, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, Potsdam

<sup>2</sup> Christian Doppler Laboratory for Meta Ecosystem Dynamics in Riverine Landscapes, Universität für Bodenkultur Wien, Wien; Department Water-Atmosphäre-Environment, Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement

<sup>3</sup>Wassercluster Lunz, Lunz am See

natho@uni-potsdam.de

Die Jahrhunderte lange Praxis des Flussausbaus durch Begradigungen, Buhnen, Eindeichungen und Stauhaltungen hat an vielen Flüssen neben Auenverlust und Verschlechterung des Auenzustands zu einer deutlichen Flusseintiefung durch Sohlerosion geführt. Diese wird in der Literatur mit 1 bis zu 4m an Flüsse wie Elbe, Rhein und Donau seit Beginn der Regulierungsarbeiten beziffert – mit katastrophalen Folgen für die Fluss-Auen-Konnektivität. Welche Bedeutung eine Auenreaktivierung unter sohlerodierenden Gesichtspunkten für den stofflichen Austausch für Stickstoff und Phosphor haben kann, beleuchtet diese Studie mit einem Beispiel an einem frei fließenden Abschnitt der österreichischen Donau unterhalb von Wien, in dem Gewässervernetzungen auf unterschiedliche Wasserspiegellagen von Niedrigwasser bis erhöhtes Mittelwasser für verschiedene Seitenarme durchgeführt wurden.

Mittels jeweils eines statistischen und eines semi-empirischen Modells wird untersucht, welchen Beitrag die Nährstoffretention in wieder angebundene Flussauen unter verschiedenen hydrologischen Szenarien (trocken, mittel, nass) hat. Weiters werden eine weitere Sohleintiefung von ca. 1,4 cm pro Jahr bis 2050 sowie der Stand an Renaturierungen an den sieben Nebenarmsystemen bis zum Jahr 2015 angenommen.

Die andauernde Tiefenerosion führt zu einer Reduktion von Überflutungstagen für alle Nebenarmsysteme. Die Modellergebnisse zeigen, dass zukünftig deutlich weniger Nährstoffe in den Auen zurückgehalten würden. Der Grund hierfür ist, dass bspw. biogeochemische Prozesse des Nährstoffrückhaltes wie die Denitrifikation bei durch Überflutung induzierten Sauerstoffmangel und Nährstoffnachschub in überfluteten Auen stattfindet und diese seltener würden. Hierzu tragen nicht nur gut an den Fluss angebundene Nebengewässer an sich bei, sondern auch flächige Bereiche wie insbesondere Feuchtegebiete. Neben Maßnahmen zur Reduktion der Tiefenerosion wie Substratzugabe im Fluss wie an Rhein, Isar und Donau bereits geschehen, können durch einen Anbindungsstart der Nebenarme bereits bei (unterschiedlichen) geringen Abflüssen eine bessere Überflutungssituation, eine höhere Prozessdiversität und somit eine höhere Nährstoffretention in diesen Nebenarmsystemen geschaffen werden.

## **Klimaschutz- und Anpassungspotenziale in Mooren Bayerns - das Verbundvorhaben KliMoBay**

Matthias Drösler<sup>1</sup>, Markus Disse<sup>2</sup>, Annette Freibauer<sup>3</sup>, Ralf Ludwig<sup>4,5</sup>, Janina Klatt<sup>1</sup>, Martina Schlaipfer<sup>1</sup>, Heta Meyer<sup>1</sup>, Gabriele Chiogna<sup>2</sup>, Alexander Gerner<sup>2</sup>, Sebastian Friedrich<sup>2</sup>, Michael Tarantik<sup>2</sup>, Anna Kühnel<sup>3</sup>, Thomas Machl<sup>3</sup>, Nadine Conze<sup>3</sup>, Julian Welte<sup>3</sup>, Philip Marzahn<sup>4</sup>, Verena Huber-Garcia<sup>4</sup>, Raul Wood<sup>4</sup>, Thomas Ramsauer<sup>4</sup>, Verena Kuch<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT)

<sup>2</sup> Technische Universität München (TUM)

<sup>3</sup> Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

<sup>4</sup> Ludwigs-Maximilian-Universität München (LMU)

<sup>5</sup> Universität Rostock

Moore stehen für die Gesamtheit der organischen Böden. Sie machen in Bayern mit ca. 220.000 ha nur einen Anteil von 3% der Landesfläche aus. Durch den hohen Kohlenstoffgehalt der Moorböden sind sie besonders klimarelevant. Während natürliche, nasse Moore wichtige Kohlenstoffspeicher sind und sich regulierend auf den Wasserhaushalt der Landschaft auswirken, emittieren entwässerte und landwirtschaftlich genutzte Moore große Mengen CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O. Wie in ganz Deutschland sind auch in Bayern die meisten Moore entwässert, und emittieren ca. 5% der gesamten anthropogenen Treibhausgase (UBA 2016, Drösler & Kraut, 2020). Dem kann durch gezielte Wiedervernässung entgegengewirkt werden. Daher rücken Moore zunehmend als Klimaschützer in den politischen Fokus.

Bayern hat sich auferlegt, bis 2040 klimaneutral zu werden, und hier hierfür sollen die Moore einen wesentlichen Beitrag leisten. Im KliMoBay-Projekt werden erstmals für Gesamtbayern Handlungsspielräume aufgezeigt, Flächen priorisiert und szenarienbasiert Hemmnisse identifiziert. Wesentliches Ergebnis des Projekts ist die Entwicklung von gesamtflächenhaften Klimaschutzpotenzialkarten und Anpassungspotenzialkarten inkl. eines jeweils zugehörigen räumlich, inhaltlich und zeitlich differenzierten Maßnahmenkatalogs mit einer Perspektive bis 2050.

Im KliMoBay-Verbund arbeiten Moorökologen, Hydrologen, Bodenwissenschaftler, Fernerkundler und Klimamodellierer im engen Austausch zusammen und stellen so eine erfolgreiche interdisziplinäre Umsetzung des Projekts sicher. Die vier Projektpartner verfolgen im Einzelnen folgende Schwerpunkte:

Die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT; LS Prof. Drösler) hat die Gesamtprojektleitung inne und arbeitet an der Synthese vorhandener Daten zu Treibhausgasemissionen und deren Einflussfaktoren in bayerischen Mooren mit dem Ziel, regionale Emissionsfaktoren zu berechnen und die Emissionen in die Fläche zu modellieren. Zusätzlich werden bisher nicht repräsentierte Landnutzungsformen untersucht und das Klimaschutzpotenzial in verschiedenen Szenarien zusammengefasst.

Die TU München (TUM; Lehrstuhl Prof. Disse) entwickelt erstmals eine dynamische Wasserstandskarte für die bayerischen Moore als wichtige Randbedingung für die Treibhausgasemissionen

Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

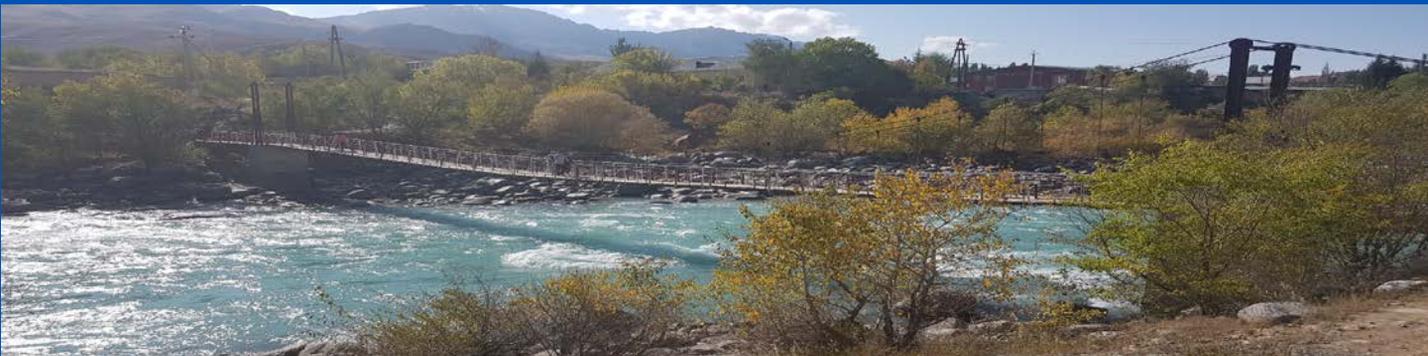
einschließlich einer Prognose bis 2050. Die Grenzen der Wiedervernässbarkeit degradierter Moore sind ein weiterer Aspekt, der an der TUM bearbeitet wird.

Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising (LfL; Dr. Annette Feibauer) wird neben der Digitalisierung des Moorarchives Anpassungspotenzialkaten erstellen, welche die Synergien und Restriktionen der Umsetzbarkeit zusammenfassen.

Die Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU; LS Prof. Ludwig) hat Klimaszenarien bis 2050 als Grundlage für die Wasserstand-prognosen einfließen lassen und bestimmt über Fernerkundung großflächig Sackungsraten für die Moore. Außerdem trägt die LMU zur Modellierung des C-Austauschs dieser Flächen bei, indem Moore unter Grünlandnutzung nach ihrer Schnitthäufigkeit klassifiziert werden.



# Poster Session 4: „Water-Food-Energy- Nexus“



## Liste der Poster in Session 4: „Water-Food-Energy-Nexus“

<b>Nummer</b>	<b>Titel</b>	<b>Autor</b>
S4-01	How does Urban Green and Blue Infrastructures links to Water-Food-Energy Nexus in Nepal?: Balancing Synergies and Trade-offs	<b>R. Shrestha</b> , R. Jüpner
S4-02	Die Auswirkungen des Klimawandels auf Nitratverluste in österreichischen Fließgewässern: Eine Analyse der räumlichen Skalen	<b>B. Mehdi-Schulz</b> , M. Zessner, E. Strenge, O. Zoboli, J. Parajka, E. Schmid, M. Schönhart, E. Jost, C. Schürz
S4-03	Risiken von Spurenelementen im Sembakkam-See, Indien	<b>D. Rosado</b> , F. Castillo, I. Nambi, N. Fohrer
S4-04	Stream biofilms in agricultural streams	<b>L. Wijewardene</b> , N. Wu, P. Giménez-Grau, C. Holmboe, N. Fohrer, A. Baattrup-Pedersen, T. Riis
S4-05	Die simultane Bewirtschaftung von Wasserbereitstellung und -bedarf einer Talsperre unter Bedingungen extremer Wasserknappheit	<b>A. Dietz</b> , J. Grundmann und N. Schütze
S4-06	Untersuchungen zur hydrologischen Konnektivität und Pflanzenschutzmittelbelastung von stehenden Kleingewässern	<b>L. P. Loose</b> , U. Ulrich, N. Fohrer
S4-07	Managing water resources under new climatic extremes in the Main river basin, Germany	<b>R. Ludwig</b> , G. Braun, R. Wood, F. Willkofer, T. Perez Ciria
S4-08	Prozessbasierte Modellierung von Landnutzungsänderungen und deren Konsequenzen für Wasserbedarf und Wasserverfügbarkeit in Bayern	<b>A. Böhnisch</b> , R. Ludwig
S4-09	Climate and Water under Change (CliWaC): Emerging challenges and strategies for coordinated action in the model region Berlin-Brandenburg – a new research initiative	<b>D. Tetzlaff</b> , B. Tietjen, J. Niewöhner
S4-10	Ökosystemleistungen als Weg zu naturbasierten Lösungen für die Verbesserung des Hochwasserschutzes und der Wasserqualität im Donaauraum	<b>B. Cyffka</b> , T. Borgs, B. Stammel
S4-11	Lässt sich die Nährstoffauswaschung aus Ackerböden durch Management-Maßnahmen reduzieren? Auswertung eines landesweiten Monitorings mittels Verfahren der künstlichen Intelligenz	<b>G. Lischeid</b> , J. Steidl, C. Engelke, F. Koch
S4-12	Vergleich der Bildung von Oberflächenabfluss, sowie des Stoff- und Materialaustrags landwirtschaftlicher Flächen – Einrichtung eines innovativen, langfristigen, hochauflösenden Messfelds an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Niederbayern	<b>J. Mitterer</b> , F. Ebertseder, M. Disse

## **How does Urban Green and Blue Infrastructures links to Water-Food-Energy Nexus in Nepal? Balancing Synergies and Trade-offs**

Rupesh Shrestha<sup>1,2</sup>, Robert Jüpner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Kaiserslautern Germany, Institute of Water Management and Hydraulic Engineering, Germany, Paul-Ehrlich-Straße 14, 67663 Kaiserslautern

<sup>2</sup> Stipendiat der Alexander von Humboldt (AvH)- Stiftung

shrestha@rhrk.uni-kl.de, rupeshshrestha2005@gmail.com, robert.juepner@bauing.uni-kl.de

Urban areas provide a range of benefits to sustain human livelihood and contribute to human wellbeing through urban ecosystem services. Almost sixty percent of the global population will live in urban areas by 2030. Another study suggests that 60 percent of cities that will exist in 2050 have not yet been built. Corresponding to this growth there is an unprecedented increase in demand for water, food and energy in cities. Strategies to build stronger, safer, inclusive and sustainable cities are important than ever. Nature-based solutions in urban areas where combination of Green and Blue infrastructure are implemented presents a promising solution for sustainable communities. These strategies would add economic, health, ecology and leisure benefits by enhancing the quality of private as well as public space for human well-being. However, there is lack of study showing direct and indirect effects of different Green Blue Infrastructures on Water-Food-Energy systems in cities. On one hand, it remains challenge for urban decision-makers to incorporate the benefits of natural infrastructures into urban design and planning. And on the other hand there are possibilities of unintended consequences when Green and Blue Infrastructure are implemented in urban areas. Taking cases from ongoing Green-Blue infrastructure projects which are executed after 2015 Gorkha earthquake in Nepal, this conceptual poster presents framework to show possible synergies and trade-offs associated to the variety of pathways in the Green Blue Infrastructures with Water-Food-Energy links. This can be useful for framing urban policies, strategies and interventions.

### Literatur

[1] Bellezoni, Rodrigo A., Fanxin Meng, Pan He, and Karen C. Seto. "Understanding and Conceptualizing How Urban Green and Blue Infrastructure Affects the Food, Water, and Energy Nexus: A Synthesis of the Literature." *Journal of Cleaner Production* 289 (March 2021): 125825. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125825>

[2] Shah, Aamir Mehmood, Gengyuan Liu, Fanxin Meng, Qing Yang, Jingyan Xue, Stefano Dumontet, Renato Passaro, and Marco Casazza. "A Review of Urban Green and Blue Infrastructure from the Perspective of Food-Energy-Water Nexus." *Energies* 14, no. 15 (July 29, 2021): 4583. <https://doi.org/10.3390/en14154583>

[3] Žuvela-Aloise, M., R. Koch, S. Buchholz, and B. Früh. "Modelling the Potential of Green and Blue Infrastructure to Reduce Urban Heat Load in the City of Vienna." *Climatic Change* 135, no. 3–4 (April 2016): 425–38. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1596-2>

[4] Qi, Yunfei, Faith Ka Shun Chan, Colin Thorne, Emily O'Donnell, Carlotta Quagliolo, Elena Comino, Alessandro Pezzoli, et al. "Addressing Challenges of Urban Water Management in Chinese Sponge Cities via Nature-Based Solutions." *Water* 12, no. 10 (October 8, 2020): 2788. <https://doi.org/10.3390/w12102788>

## **Die Auswirkungen des Klimawandels auf Nitratverluste in österreichischen Fließgewässern: Eine Analyse der räumlichen Skalen**

Bano Mehdi-Schulz<sup>1</sup>, Matthias Zessner<sup>2</sup>, Eva Streng<sup>2</sup>, Ottavia Zoboli<sup>2</sup>, Juraj Parajka<sup>3</sup>, Erwin Schmid<sup>4</sup>,  
Martin Schönhart<sup>4</sup>, Elisabeth Jost<sup>4</sup>, Christoph Schürz<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Universität für Bodenkultur, Wien (BOKU), Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft,  
Muthgasse 18, 1190 Wien, Österreich

<sup>2</sup> TU-Wien, Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement, Karlsplatz 13/226, 1040 Wien,  
Österreich

<sup>3</sup> TU-Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Karlsplatz 13/222, 1040 Wien,  
Österreich

<sup>4</sup> Universität für Bodenkultur, Wien (BOKU), Institut für Nachhaltige Wirtschaftsentwicklung,  
Feistmantelstraße 4, 1180 Wien, Österreich

<sup>5</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Department Landschaftsökologie,  
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig, Deutschland

bano.mehdi@boku.ac.at, mzessner@iwag.tuwien.ac.at, estreng@iwag.tuwien.ac.at,  
ozoboli@iwag.tuwien.ac.at, parajka@hydro.tuwien.ac.at, erwin.schmid@boku.ac.at,  
martin.schoenhart@boku.ac.at, elisabeth.jost@boku.ac.at, christoph.schuerz@ufz.de

Seit den 1990er Jahren haben stetige Verbesserungen im landwirtschaftlichen Stickstoff (N)-Management durch politische Maßnahmen (z.B. WRRL, Nitratrichtlinie) dazu geführt, dass österreichische Oberflächen- und Grundwasserkörper in geringerem Ausmaß mit mineralischem N belastet sind. Die Mehrheit der österreichischen Flüsse (76% der Messstellen im Messzeitraum von 2007 bis 2014) zeigten stabile mittlere Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )-Konzentrationen mit einem Mittelwert von  $6,3 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ , und an vielen Stationen wurden abnehmende Trends gemessen [1]. Die gemeldeten aggregierten N-Werte an einigen Messstationen verdecken jedoch die Tatsache, dass N-Emissions-Hotspots in einigen wenigen intensiv bewirtschafteten Regionen (die Traun-Enns-Platte, der nordöstliche Teil Niederösterreichs, die Parndorfer Platte in Burgenland, und die Südsteiermark) verbleiben, die auch heute gezielte Managementstrategien zur Verbesserung der lokalen Wasserqualität erfordern.

Die aktuelle umweltpolitische Herausforderung besteht darin, den allgemeinen Abwärtstrend der gemessenen N-Konzentrationen auch in Zukunft aufrechtzuerhalten und sicherzustellen, dass lokale Hotspots nicht weiterhin hohe Nitratkonzentrationen aufweisen. Dies muss unter sich verändernden klimatischen Rahmenbedingungen erfolgen. In einem ersten Schritt zu effektiven Managementinstrumenten muss der überschüssige reaktive Stickstoff (Nr) unter den Bedingungen des Klimawandels quantifiziert werden.

Die Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Nährstoffemissionen erfordert geeignete mathematische Modelle, die in der Lage sind, die räumliche und/oder zeitliche Dynamik von Stickstoffsenken und -quellen in landwirtschaftlichen Systemen darzustellen. Für die Simulation des Nährstoffeintrags in Oberflächengewässer können verschiedene Modelle verwendet werden. Wir vergleichen ein Nährstoffemissionsmodell (MoRE/MONERIS [2]), das auf ganz Österreich angewandt wurde, mit einem prozessbasierten hydrologischen Modell (SWAT [3]), das für drei ausgewählte landwirtschaftliche Einzugsgebiete aufgesetzt wurde.

Die Studie befasst sich mit zwei räumliche Skalen, für die jeweils eines der beiden Modelle prädestiniert ist. In beiden Fällen werden die relativen Veränderungen der N-Emissionen im Referenzszenario mit dem jeweiligen Zukunftsszenario verglichen. Insbesondere werden die Veränderungen der N-Frachten, die von landwirtschaftlichen Flächen in Oberflächengewässer gelangen, quantifiziert. Diese Berechnungen beruhen auf den N-Einträgen der Kulturarten, die auf der Grundlage von N-Überschussberechnungen ermittelt wurden. Zusätzlich werden Veränderungen der Ernteerträge als auch die entsprechenden NUE-Berechnungen quantifiziert. Die Veränderungen in der Hydrologie (ausgewählte Wasserhaushaltskomponenten) werden ebenfalls ermittelt.

Dieser Vergleich kann Modellunsicherheiten quantifizieren und die Grenzen der einzelnen Modelle aufzeigen. Wir untersuchen, ob die kombinierte Anwendung mehrerer Modelle einige dieser Herausforderungen lösen kann.

#### Literatur

[1] BMLFUW (2016): EU Nitratrichtlinie 91/676/EWG: Österreichischer Bericht 2016. Wien, 66 Seiten.

[2] Fuchs, S., Kaiser, M., Kiemle, L., Kittlaus, S., Rothvoß, S., et al. (2017): Modeling of Regionalized Emissions (MoRE) into Water Bodies. An Open-Source River Basin Management System. *Water* 9,

[3] Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R. (1998): Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 34, 73–89. doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x

## Risiken von Spurenelementen im Sembakkam-See, Indien

Daniel Rosado<sup>1,2,3</sup>, Franco Castillo<sup>1</sup>, Indumathi Nambi<sup>2</sup>, Nicola Fohrer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Hydrology and Water Resources Management, Institute for Natural Resource Conservation, Kiel University, 24118 Kiel, Germany

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Madras, 600036 Chennai, India

<sup>3</sup>Indo-German Centre for Sustainability, Indian Institute of Technology Madras, 600036 Chennai, India

drosado@hydrology.uni-kiel.de; nfohrer@hydrology.uni-kiel.de

Chennai, Indiens viertgrößtes urbanes Ballungsgebiet, ist mehreren wasserbezogenen Risiken ausgesetzt [1]. In Chennai wurden früher viele Tanks (künstliche Seen) gebaut, um während der Monsunzeit Regenwasser zu speichern, das während der Trockenzeit zur Bewässerung verwendet wurde. Viele von ihnen erhalten ungeklärte Abwässer, die ihre Gewässer verschmutzen. Dies ist auch beim Sembakkam-Sees der Fall, dessen Wasser die Pallikaranai-Feuchtgebiete, ein geplantes Ramsar-Gebiet, erreicht. 2019 erlebte die Stadt die schlimmste Wasserkrise seit 30 Jahren und viele Tanks waren extrem trocken, was Schwermetallspitzen begünstigte. Daher konzentriert sich diese Studie auf die Analyse der Schwermetallbelastung und die Bewertung ihrer möglichen Auswirkungen auf Biota.

Während vier Kampagnen wurden in-situ-Messungen durchgeführt und Wasser-, Sediment- und Wasserhyazinthenproben entnommen. In allen Proben wurden Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn gemessen. Die Aufschlüsse für feste Proben wurden mit Salpetersäure und in Sedimenten auch mit Essigsäure durchgeführt.

Der durchschnittliche pH-Wert (7,89-8,46) war neutral bis alkalisch und die elektrischen Leitfähigkeiten (1559-2864  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) waren hoch. Mit der Einstufung in die Klasse IV gemäß der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa [2] stellt Pb das höchste Toxizitätsrisiko

in Wasser dar, gefolgt von Cu und Cr mit einer Einstufung in die Klasse II. Im Sediment erreichten Cu und Cr eine starke Anreicherung, gefolgt von Ni und Zn mit einer mäßig starken Anreicherung. Ni verursacht das höchste Toxizitätsrisiko oberhalb des effects range-median, gefolgt von Cr und Cu, die zwischen dem effects range-low und dem effects range-median liegen [3]. Die höchsten Bioakkumulationsfaktoren der Wasserhyazinthe lagen in den Wurzeln. Translokationsfaktoren zeigten ähnliche Konzentrationen in Stängeln und Blättern.

Der Grund für diese Werte könnte ungereinigtes Abwasser sein. Daher ist ein angemessenes Management erforderlich, um die potenziellen schädlichen Auswirkungen von Metallen auf Wasserlebewesen und damit auf die menschliche Gesundheit zu verringern.

Literatur

[1] U. Kelkar, P. Balachandra, and A. Gurtoo, "Assessing Indian Cities for Vulnerability to Climate Change," 2nd Int. Conf. Environ. Sci. Dev., vol. 4, pp. 246–250, 2011

[2] UNECE United Nations Economic Commission for Europe, 1994. Standard Statistical Classification of Surface Freshwater Quality for the Maintenance of Aquatic Life, in: Readings in International Environment Statistics. United Nations Economic Commission for Europe, United Nations, New York and Geneva

[3] Long, E.R., Macdonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environ. Manage. 19, 81–97

## Stream biofilms in agricultural streams

Lishani Wijewardene<sup>1,2,3</sup>, Naicheng Wu<sup>1,4</sup>, Pau Giménez-Grau<sup>2</sup>, Cecilie Holmboe<sup>2</sup>, Nicola Fohrer<sup>1</sup>,  
Annette Baattrup-Pedersen<sup>5</sup>, Tenna Riis<sup>2,6</sup>

<sup>1</sup> Department of Hydrology and Water Resources Management, Institute for Natural Resource Conservation, Kiel University, 24118 Kiel, Germany

<sup>2</sup> Department of Biology, Aarhus University, Ole Worms Allé 1, 8000 Aarhus C, Denmark

<sup>3</sup> Department of Limnology and Water Technology, Faculty of Fisheries and Marine Sciences & Technology, University of Ruhuna, 81000 Matara, Sri Lanka

<sup>4</sup> Department of Geography and Spatial Information Techniques, Ningbo University, Ningbo 315211, China

<sup>5</sup> Department of Bioscience, Aarhus University, Vejlshøjvej 25, 8800 Silkeborg, Denmark

<sup>6</sup> WATEC, Aarhus University Centre for Water Technology, Department of Biology, 8000 Aarhus C, Denmark

lishani@hydrology.uni-kiel.de, nwu@hydrology.uni-kiel.de, paugg@bio.au.dk,  
cecilie.holmboe@bio.au.dk, nfohrer@hydrology.uni-kiel.de, abp@ecos.au.dk, tenna.riis@bio.au.dk

Stream biofilms play a vital role on structure and function of agricultural streams. In many lowland streams, macrophyte vegetation is abundant and functions as an important substrate for biofilm (epiphyton) in addition to the gravel and stone substrate for epilithon on the stream bed. We expect that reach-scale habitat conditions in streams (e.g., nutrient availability, hydraulic conditions) affect the epiphyton and epilithon biomass and composition, and that this effect will be substrate-specific (macrophytes and stones). The objectives of our study were (i) to describe concurrent changes in epiphyton and epilithon biomass and composition over a year in agricultural streams, and (ii) to determine the substrate specific reach-scale habitat drivers for the epiphyton and epilithon structure. We monitored epiphyton and epilithon biofilm biomass and composition at three-week intervals and reach-scale environmental conditions daily during a year for two agricultural streams. The results showed that epiphyton and epilithon communities differed in biomass, having high substrate specific biomass in epilithon compared to epiphyton. Epiphyton was mainly composed of diatom and green algae, while cyanobacteria were more important in epilithon, and the diatom

species composition varied between the two biofilm types. Epiphyton structural properties were less influenced by reach-scale hydrology and nutrient availability compared to epilithon. Our study shows that control of biofilm structure is substrate specific, indicating that the distribution of substrate in streams will be important to biofilm structural and functional properties on the reach-scale. Knowledge of biofilm control in agricultural streams is important in order to improve management strategies, and future studies should improve the understanding of micro-scale habitat conditions, interactive relationships within biofilms and between the biofilm and the substrates.

## **Die simultane Bewirtschaftung von Wasserbereitstellung und -bedarf einer Talsperre unter Bedingungen extremer Wasserknappheit**

Alexandra Dietz, Jens Grundmann und Niels Schütze

alexandra.dietz@tu-dresden.de

Wasserwirtschaftliche Speichersysteme gleichen zeitliche Differenzen von Wassernachfrage verschiedener Nutzer und dem natürlichen Wasserdargebot aus. Die Versorgungssicherheit für eine landwirtschaftliche Nutzung wie die Bewässerung ist im Regelfall am geringsten, sodass in Situationen größerer Wasserknappheit zuerst die Wasserversorgung für die Landwirte eingeschränkt oder eingestellt wird; meist ohne Rücksicht auf resultierende Ertragseinbußen am Ende der Wachstumsperiode.

In dieser Arbeit wurde zur Untersuchung der Möglichkeiten eines dynamischen Bedarfsmanagements durch Defizitbewässerung das Talsperren-Bewässerungs-landwirtschafts-Modell RODIT (Reservoir Operation and Deficit Irrigation Toolbox) entwickelt, welches der Bewässerungslandwirtschaft ein Reagieren auf Einschränkungen der bereitgestellten Wassermengen durch eine optimale Anpassung der Bewässerungspläne im Laufe einer Anbauperiode ermöglicht.

RODIT umfasst ein Speichermodell, das Ertragsmodell AquaCrop, und ist mit einer starren und drei adaptiven Bewässerungsstrategien ausgestattet. Für das adaptive Bewässerungsmanagement wurden zwei Optimierer der Deficit Irrigation Toolbox (DIT) verwendet: a) Global Evolutionary Technique for Optimal Irrigation Scheduling (GET-OPTIS), basierend auf einem evolutionären Algorithmus und b) Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy (CMA-ES) auf Grundlage einer optimierten Entscheidungstabelle.

RODIT wurde im Rahmen von realitätsnahen, numerischen Experimenten getestet und angewendet. Dabei wurden Szenarien mit einem steigenden Grad von Wasserknappheit und ein Referenzfall (kein Defizit) untersucht und verglichen und mit drei verschiedenen Fällen des Informationsstandes bezüglich der Wetterentwicklung (keine Information, 21-tägige Vorhersage, perfekte Information) kombiniert.

Bei Defizit-Szenarien erzielte ein adaptives Bewässerungsmanagement den größten Nutzen hinsichtlich des erzielten Ertrages, der verwendeten Wassermenge und der Wasserproduktivität. Perfekte Information und 21-tägige Vorhersage der Wetterentwicklung verringerten Ertragseinbußen zusätzlich. Damit konnte der Nutzen des adaptiven Bewässerungsmanagements im Falle der Einschränkung der Wasserversorgung nachgewiesen werden.

Ergänzend zum adaptiven Bedarfsmanagement soll in kommenden Arbeiten die Möglichkeit des dynamischen Versorgungsmanagements untersucht werden. Dynamisches Wasserversorgungsmanagement ermöglicht den Wasserversorgern, die je nach Wachstumsstadium unterschiedlichen Trockenstressresistenzen und Wasserbedarfe angebaute Nutzpflanzen zu berücksichtigen, sich im Laufe einer Anbauperiode ändernde Bedarfe einzubeziehen und somit durch optimal eingesetzte Wasserabgaben entstehenden wirtschaftlichen Schaden für das Wasserversorger-Landwirtschaft-System zu reduzieren.

## **Untersuchungen zur hydrologischen Konnektivität und Pflanzenschutzmittelbelastung von stehenden Kleingewässern**

Lukas Paul Loose<sup>1</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, Olshausenstraße 75, 24118 Kiel

lloose@hydrology.uni-kiel.de

Stehende Kleingewässer 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. Eine Gefährdung der stehenden Kleingewässer geht besonders von Pflanzenschutzmitteln (PSM) und ihren Transformationsprodukten (TP) aus. Bislang ist die Datengrundlage der PSM-Belastung für diesen Gewässertyp jedoch gering und inhomogen. Überdies ist die hydrologische Konnektivität zur Identifizierung von Eintragspfaden der PSM / TP unzureichend untersucht. Seit Herbst 2020 werden in einem hochaufgelösten Messprogramm zwei stehende Kleingewässer (sog. Sölle) hinsichtlich ihrer PSM-Belastung und hydrologischen Interaktionen erforscht. Beide Gewässer sind von konventionell genutzten Ackerflächen umgeben und befinden sich in dem Kielstau Einzugsgebiet im Norden Schleswig-Holsteins. Zur Erfassung der Belastungssituation und hydrologischen Konnektivität werden Oberflächenabfluss, lateraler Abfluss, Grundwasser, Drainagewasser und die Wasserphase der Sölle untersucht. Die Wasserproben werden auf 27 PSM und TP analysiert. Besonders für den Soll A, in den eine Drainage entwässert, lässt sich eine zeitliche Dynamik anhand der applizierten Herbizide Flufenacet, dessen TP Flufenacet-ESA und Flufenacet-OA, und Diflufenican erkennen. Kurz nach der Applikation wurde das mobile Flufenacet über Grundwasser und lateralen Abfluss in den Soll transportiert, während das sorptivere Diflufenican zwei Monate später zum Großteil über das Drainagewasser eingetragen wurde. Das Drainagesystem stellt auch für die TPs den primären Eintragspfad dar, die aufgrund der Transformation mit einem zweimonatigen Versatz detektiert wurden. Soll B wird nicht durch eine Drainage gespeist und war bis Januar 2021 ausgetrocknet.

Dennoch wird eine ähnliche zeitliche Dynamik der genannten PSM / TP in Grundwasser und lateralem Abfluss beobachtet. Diese konnten zudem als dominante Eintragspfade der applizierten PSM / TPs in den Soll B identifiziert werden. Spitzenkonzentrationen erreichen  $0.51 \mu\text{g Flufenacet L}^{-1}$ ,  $8.4 \mu\text{g Flufenacet-ESA L}^{-1}$ ,  $0.20 \mu\text{g Flufenacet-OA L}^{-1}$  und  $5.23 \mu\text{g Diflufenican L}^{-1}$ . In Soll A liegt der Jahresdurchschnittswert des Diflufenicans deutlich über der Umweltqualitätsnorm (JD-UQN). Auch die Effektkonzentration  $EC_{50}$  (growth) von  $0.25 \mu\text{g/L}$  wird wiederholt überschritten. Die Konzentrationen des Flufenacets im Soll A befinden sich unterhalb der Umweltqualitätsnormen (JD-UQN u. ZHK-UQN) und des  $EC_{50}$  (growth).

## **Managing water resources under new climatic extremes in the Main river basin, Germany**

Ralf Ludwig<sup>1</sup>, Gunnar Braun<sup>2</sup>, Raul Wood<sup>1</sup>, Florian Willkofer<sup>1</sup>, Teresa Perez Ciria<sup>1</sup>

1) Ludwig-Maximilians-Universität of Munich, Department of Geography, Munich, Germany,

2) Verband kommunaler Unternehmen e.V., Landesgruppe Bayern, Munich, Germany

[r.ludwig@lmu.de](mailto:r.ludwig@lmu.de)

The 6th Assessment Report of the IPCC (2021) emphasizes that human-induced climate change is already affecting many weather and climate extremes in every region across the globe. It is projected that many changes in the climate system become larger with increasing global warming, including e.g. regional increases in the frequency and intensity of hot extremes, heavy precipitation, agricultural and ecological droughts. Recent observations of high-impact extreme events indicate that this problematic development seems to be particularly relevant also in Central Europe, a region usually perceived as an area of comparatively low vulnerability to climate change due to its high adaptive capacity. However, latest research findings indicate that this conviction is to be more and more questioned.

The presented study focuses on the Main river basin, a tributary to the Rhine river in Germany: the watershed, covering an area of 21.519 km<sup>2</sup> (at gauge Kleinheubach), is home to over four million inhabitants, several supraregional urban centers (e.g. Nuremberg, Wuerzburg) and characterized by intense gradients of topography and climate and a diversified land use, including highly specialized (irrigation) agriculture. In terms of water resources, the region already suffers from water scarcity, especially during summer months, which is partly compensated with the Danube-Main water transfer system, augmenting water shortages in river runoff to support regionally important economic sectors, such as navigation or hydropower generation.

The study is presented in two parts: first, results from a single hydrological model initial condition large ensemble (i.e. the spatially explicit process-based hydrological model WaSiM (Willkofer et al., 2020) being driven by 50 members of the Canadian Regional Climate Model Vers.5 (CRCM5) over Europe (Leduc et al., 2019) for the time interval 1950-2099, project a remarkable decline of mean annual runoff for all 23 gauges analyzed in the Main river basin, largely due to increased evapotranspiration in a rapidly warming climate. At the same time, it is shown that both frequency and intensity of extreme floods (floods with return period over  $\geq 50$  years) show strong increasing trends. These apparently contradicting hydrological development pathways challenge the present approaches to an efficient water resources management, as they strongly amplify the already disadvantageous seasonal course of water availability.

## Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

Accordingly, the second part of the study presents a concept of co-designing science-driven technical and cross-sectoral innovations to build new climate-resilient development pathways for water resources management, here represented by an alliance of climate and water scientists with a wide network of municipality utilities and enterprises. It builds on the conviction that the region is at risk for being pushed beyond its resilience threshold and needs a new level of responsiveness to cope with new challenges. There is still a limited awareness among policy makers and resource managers on the severity of (even unavoidable) climate change impacts. Thus, the science-society-policy interface currently operates below capacity and climate change related innovations and methodologies propagate too slow into practice. A new multi-sectoral dialogue is needed to sharpen the responsibilities and develop harmonized structures between private and public bodies to build an advanced adaptive capacity to climate change, particularly by developing innovative tools to serve improved river basin management (plans), which can serve as role model for other river basins across Europe.

The presented study is supported by results from the project ClimEx ([www.climex-project.org](http://www.climex-project.org)), funded by the Bavarian State Ministry for the Environment and Consumer Protection, and the project ARSINOE (GA: 101037424), funded under EU's Horizon 2020 research and innovation programme.

## **Prozessbasierte Modellierung von Landnutzungsänderungen und deren Konsequenzen für Wasserbedarf und Wasserverfügbarkeit in Bayern**

Andrea Böhnisch, Ralf Ludwig

Trockenheit und Dürren führen auch in generell wasserreichen Gebieten wie Bayern im Zuge des Klimawandels immer häufiger und intensiver zu Beeinträchtigungen von Wirtschaft und (Gewässer-)Ökologie (z.B. 2015, 2018, 2019). Regional (z.B. Nordbayern) ist die Wasserknappheit besonders ausgeprägt und eine weitere Verschärfung der Lage ist zu erwarten. Für die Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zur Bekämpfung dieser Wasserknappheit ist es unabdingbar, Ursachen, Folgen und Handlungsspielräume genauer zu untersuchen. Wie wirken sich Klimawandel und (anthropogene) Änderungen von Landnutzung/Landmanagement auf das Abflussgeschehen in Bayern aus? Lässt sich eine klimatisch verursachte Wasserknappheit durch geeignete nachhaltige Managementpraktiken kompensieren?

Diese Schlüsselfragen charakterisieren einen Forschungsschwerpunkt des ClimEx-II-Projekts (Klimawandel und Landnutzungsänderungen: Wechselwirkungen und Folgen für Niedrigwasserabflüsse, Trockenheit und Dürre), der hier vorgestellt werden soll.

Das ClimEx-II Projekt greift dabei auf den Klimadatensatz eines *initial-condition large ensemble* (50 unabhängige Simulationen desselben Modellexperiments von 1950-2099, berechnet mit dem regionalen Klimamodell CRCM5) zurück, mit dem ein ebenso großes Ensemble prozessbasierter, hydrologischen Simulationen mit variabler Landnutzung angetrieben wird. Dies ermöglicht eine direkte Attributierung und die vergleichende Bewertung der hydrologischen Effekte von angepasster Landnutzung/Landmanagement, Klimawandel und natürlicher Klimavariabilität.

Eine Verbesserung des Wasserrückhalts in der Landschaft durch strukturelle Maßnahmen und naturbasierte Lösungen kann die Auswirkungen von Dürren auf den Wasserhaushalt abfedern. Dazu werden in enger Abstimmung mit Partnern aus StMUV und LfU plausible Szenarien der Wassernutzung in Bayern entwickelt. Die Szenarien sollen vor dem Hintergrund des Klimawandels

einen Handlungsraum zwischen optimistischen und pessimistischen Nutzungsoptionen aufspannen. Durch die Verwendung mehrerer Maßnahmenbündel pro Szenario können Unsicherheiten beschrieben und quantifiziert werden.

Auf Basis dieser Szenarien erfolgt eine räumlich explizite Modellierung der Landnutzung bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts im statistischen Landnutzungsmodell iCLUE sowie die Ableitung von Landmanagementpraktiken und hydrologischen Anpassungsstrategien. Anschließend werden diese Maßnahmen in Simulationen des prozessbasierten hydrologischen Modells WaSiM-ETH integriert. Iterativ wird geprüft, ob die Entwicklungspfade der Szenarien unter Klimawandelbedingungen zu einer Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts führen.

Erwartete Produkte beinhalten einerseits die Szenarien und Modell-Setups, andererseits Wassernutzungskarten für jedes Szenario und Entscheidungshilfen dazu, welche der Maßnahmen für eine nachhaltige Wassernutzung geeignet sind. Diese Produkte können genutzt werden, um Ursachen der Wasserknappheit dem Klimawandel oder anderen anthropogenen Eingriffen zuzuweisen, z.B. durch die Betrachtung von isolierten oder kombinierten Landnutzungs- und Klimaänderungen.

## **Climate and Water under Change (CliWaC): Emerging challenges and strategies for coordinated action in the model region Berlin-Brandenburg – a new research initiative**

Dörthe Tetzlaff<sup>1,2</sup>, Britta Tietjen<sup>3</sup>, Jörg Niewöhner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Humboldt-Universität zu Berlin, <sup>2</sup> IGB Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries,

<sup>3</sup> Freie Universität Berlin

Fresh water is a key resource for human life, natural and agricultural ecosystems, and many aspects of societal and economic systems. Climate change will affect the availability and the quality of fresh water particularly, through altering the characteristics and frequency of extremes such as droughts and flooding. This in turn puts the functioning of water-related sectors and ecosystem services at risk.

Here, we present the ideas of the new Einstein Research Unit *Climate and Water under Change (CliWaC)*, which is a research initiative of the Berlin University Alliance addressing water-related risks under climate change in the Berlin-Brandenburg region. CliWaC brings together social and natural science as well as practical expertise from stakeholders in an interdisciplinary and transdisciplinary project to support the governance of mitigation and adaptation measures in response to climate change.

With 25 PIs from different disciplines, we address four overarching research questions:

1. How will climate change affect different human-environment systems with respect to water-related hazards and the availability of good quality water?
2. What potential solutions do exist for managing water resources and making human-environment systems resilient to water-related hazards?
3. Which forms of governance are available for coping with emerging challenges and implementing solutions and how can these be coordinated between stakeholders across administrative borders?
4. Which barriers resulting from legal issues, administrative constraints, public perception and related adaptive practices can be identified and how can they be overcome?

These questions focus on three major topics, namely (i) ecosystems, biodiversity and ecosystem services, (ii) flood and wastewater management and (iii) water resource management. The research on these topics is aligned along on three case studies: a lake system and its surrounding area; the Spree catchment; and urban infrastructure that is heavily impacted by extreme rainfall events. As a transdisciplinary research project, CliWaC will target solutions by supporting agents and actors in developing and implementing effective and coordinated action. Moreover, CliWaC is planned as holistic approach that is transferrable to other natural, cultural and economic settings, and that can be extended in a flexible way to integrate further sectors.

## **Ökosystemleistungen als Weg zu naturbasierten Lösungen für die Verbesserung des Hochwasserschutzes und der Wasserqualität im Donaauraum**

Bernd Cyffka, Tim Borgs, Barbara Stammel

KU Eichstätt-Ingolstadt, Aueninstitut Neuburg, KU Eichstätt-Ingolstadt, Schloss Grünau,  
86633 Neuburg/Donau

Flussauen bieten zahlreiche Leistungen, die der Mensch direkt oder indirekt nutzt. Diese sogenannten Ökosystemleistungen, wie z.B. Hochwasser- und Niedrigwasserregulation, Nährstoffrückhalt, Klimaregulation, Bereitstellung von Habitaten, Nahrungsmitteln oder Baustoffen, stellen insbesondere naturnahe Flussauen in großem Maße – und kostenfrei – zur Verfügung. Doch die Bewirtschaftung von Gewässern und Auen berücksichtigt diese Fülle an Leistungen kaum und erfolgt derzeit meist sektoral (entweder Hochwasserschutz oder Naturschutz oder Wasserqualität). Mögliche Synergien bleiben so oft unerkannt und ungenutzt.

Der hier vorgestellte Ansatz, alle relevanten Ökosystemleistungen in Flussauen gleichermaßen zu bewerten und in die Entscheidung des Gewässermanagements, auch im Sinne einer Auenreaktivierung, einzubinden, will das ändern. Der indikatorbasierte River Ecosystem Service Index RESI ([www.resi-project.info](http://www.resi-project.info)), der für Deutschland entwickelt wurde, wird nun im Projekt IDES auf die im europäischen Donaauraum verfügbaren Daten angepasst. Das IDES-Tool ermöglicht so eine objektive Bewertung von Maßnahmen, die alle Ökosystemleistungen und damit auch Interessen gleichermaßen berücksichtigt. Ziel ist es, insbesondere auch die Wasserqualität zu verbessern. Wir berechnen hier für die gesamte Donau 16 verschiedene Ökosystemleistungen in 10 km-Abschnitten und können so Bereiche mit besonderem Handlungsbedarf oder auch großem Potenzial identifizieren und die Synergien, aber auch trade-offs zwischen verschiedenen Leistungen aufzeigen. Der Mehrwert von intakten Auen oder auch Auenreaktivierungen nicht nur für den Hochwasserschutz, sondern auch für zahlreiche andere Ökosystemleistungen wie die

Nährstoffretention, die Habitatbereitstellung oder auch die Erholungsnutzung wird in der Bewertung offensichtlich. Zusätzlich wird in fünf Pilotgebieten (Österreich, Slowenien, Ungarn, Serbien, Rumänien) das IDES-Tool mit höheraufgelösten Daten und auf 1km-Segmenten getestet und die Veränderungen unter verschiedenen Szenarien dargestellt. Dabei gehen Einschätzungen von lokalen Stakeholdern in die Bewertung der Szenarien mit ein. Die neue Bewertungsmethode und das IDES-Tool zeigen so einen neuen Weg für das Auenmanagement und einer stärkeren Einbeziehung der Bedürfnisse der Stakeholder vor Ort auf.

## **Lässt sich die Nährstoffauswaschung aus Ackerböden durch Management-Maßnahmen reduzieren? Auswertung eines landesweiten Monitorings mittels Verfahren der künstlichen Intelligenz**

Gunnar Lischeid<sup>1,2</sup>, Jörg Steidl<sup>1</sup>, Clemens Engelke<sup>3</sup>, Franka Koch<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Eberswalder Straße 84, 15374  
Müncheberg

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

<sup>3</sup> Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg- Vorpommern (LUNG M-V)

lischeid@zalf.de

Als Folge der langjährigen intensiven ackerbaulichen Nutzung führen Nährstoffausträge inzwischen fast flächendeckend zu einer starken Belastung von Grund- und Oberflächengewässern. Es stellt sich die Frage, inwieweit sich diese Belastungen ohne Ertragseinbußen durch eine Optimierung des landwirtschaftlichen Managements reduzieren lassen. Dazu wurde vom Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern ein langjähriges Monitoring in den Dränausläufen von 19 Ackerflächen, verteilt über das ganze Bundesland, durchgeführt. Der Datensatz umfasste 19 physikalisch-chemische Parameter in 1037 Wasserproben. Die Daten wurden zunächst einer Hauptkomponentenanalyse unterzogen. Die ersten sieben Hauptkomponenten wurden jeweils bestimmten Effekten zugeordnet. Die Werte der Hauptkomponenten wurden als quantitative Maße der Stärke der Ausprägung dieser Effekte in den einzelnen Wasserproben interpretiert. Diese wurden anschließend in Relation zu umfangreichen meteorologischen, hydrologischen, Boden- und Bewirtschaftungsdaten gesetzt. Klassische Korrelationsanalysen ergaben eine verwirrende Vielzahl signifikanter Effekte. Die Modellierung mittels Random Forest-Modellen konnte jedoch einen großen Teil der beobachteten räumlichen und zeitlichen Varianz jeweils mit wenigen erklärenden Variablen abbilden. Dazu gehörten die Bodeneigenschaften, die Fruchtart, die Stickstoff- und Phosphorbilanz, sowie die Abflusshöhe und meteorologische Messgrößen. Die Art der Zusammenhänge zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen wurde visualisiert. Bis auf wenige Ausnahmen waren diese Zusammenhänge gut zu interpretieren und plausibel.

### Literatur

[1] Steidl, J., Lischeid, G., Merz, C., Koch, F. (2021): The curse of the past – what can tile drain effluent tell us about arable field management? *Agricultural Water Management* 326, 107787, doi: 10.1016/j.agee.2021.107787

[2] Steidl, J., Lischeid, G., Engelke, C., Koch, F. (2021): Analyse der Daten aus dem Sondermessprogramm "Landwirtschaftliche Dränung in Mecklenburg-Vorpommern 2012 bis 2019". *Hydrologie und Wasserwirtschaft* 65: 272-277

## **Vergleich der Bildung von Oberflächenabfluss, sowie des Stoff- und Materialaustrags landwirtschaftlicher Flächen – Einrichtung eines innovativen, langfristigen, hochauflösenden Messfelds an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Niederbayern**

Johannes Mitterer<sup>1,2</sup>, Florian Ebertseder<sup>1</sup>, Markus Disse<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Kleeberg 14, 94099 Ruhstorf

<sup>2</sup> Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München

johannes.mitterer@lfl.bayern.de, florian.ebertseder@lfl.bayern.de, markus.disse@tum.de

Erosion tritt in vielen fruchtbaren und landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen weltweit auf, wobei gleichzeitig durch den Klimawandel ein Anstieg der Erosivität von Starkregenereignissen, wie auch vermehrte und intensivierete Dürrephasen erwartet werden [1, 12, 13, 15, 20]. In Kombination mit zunehmend strengeren Anforderungen bezüglich Dünger und Pflanzenschutzmitteln ist ein Interessensausgleich zwischen Lebensmittelproduktion, Energiegewinnung und Umwelt- bzw. Ressourcenschutz (z. B. Boden oder Wasser) herausfordernd.

Oberflächenabfluss beziehungsweise Abschwemmung und Erosion können auf geeigneten landwirtschaftlich genutzten Flächen stark vermindert werden. Während die Wirkungsweise einzelner Maßnahmen und Anbaumethoden bereits hinreichend untersucht ist [u. a. 2, 4, 10, 14, 19], ist über deren Kombinationswirkung sowie den Einfluss von Oberflächenabfluss wenig bekannt [16]. Weiterhin stellen veränderte klimatische Rahmenbedingungen sowie die Reduktion des Einsatzes von Herbiziden klassische Erosionsschutzmaßnahmen vor neue Herausforderungen [2, 21].

An der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) entsteht derzeit ein weltweit einzigartiges vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) finanziertes Versuchsgelände, um die physikalischen, sozialen und wirtschaftlichen Faktoren zu untersuchen, welche die Erosion antreiben. Dort werden in langjährigen Versuchen (>10 Jahre) Maßnahmen zum

Erosionsschutz und Wasserrückhalt im Hügelland in Kombination mit neuen Anbauverfahren (Fruchtfolge, Sortenwahl, Pflanzenschutz- und Düngungsregime, Bodenbearbeitung, Robotik, Precision Farming) und unterschiedlichen Fruchtwechselfolgen untersucht. Aufbauend auf den Erfahrungen anderer langjähriger Versuchsanlagen in England [5, 7-9], der Schweiz [17, 18] und Österreich, sowie weiteren Publikationen [3, 6, 10, 11] werden auf einem Feldstück mit ca. 4 ha in der Praxis bewährte und ökologisch vielversprechende Anbauverfahren unter kontrollierten Bedingungen auf ihre Resilienz gegenüber Witterungsextremen und ihre Risiken auf unerwünschte abflussgebundene Stoffausträge geprüft. Jedes langjährige Versuchsfeld wird mit einem zweiten, vergleichbaren Versuchsfeld mit künstlicher Beregnung ergänzt, um wetterunabhängig auch kausal orientierte Erkenntnisse zu gewinnen. Das Monitoring der Versuchsflächen umfasst räumlich wie zeitlich (4D) eine sehr hohe Datendichte, autonome, digital vernetzte Sensorfelder (IoT), exakte Daten zur Meteorologie, dem Bodenzustand, agronomische Parameter, Bodenbedeckungsgrad und Topographie. Die Daten werden z. B. in Kombination mit künstlicher Intelligenz und deep learning aber auch modellbasiert ausgewertet, um die Ergebnisse auf größere Einzugsgebiete zu übertragen.

Mit diesem Beitrag wollen wir die wissenschaftliche Gemeinschaft schon während der Einrichtungsphase über die laufenden und geplanten Aktivitäten informieren, um ein wissenschaftliches Netzwerk aufzubauen, die Ansätze zu diskutieren, das vorhandene Wissen effizient zu nutzen und zukünftige Forschungsk Kooperationen zu initiieren.

### Literatur

- [1] Auerswald, K., Fischer, F. K., Winterrath, T., Elhaus D., Maier H., Brandhuber R. (2019): Klimabedingte Veränderung der Regenerosivität seit 1960 und Konsequenzen für Bodenabtragsschätzungen. In: Bachmann G., König W., Utermann J. (Hrsg.) Bodenschutz, Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser (Loseblattsammlung), Berlin, Erich Schmidt Verlag
- [2] Auerswald K, Fischer FK, Kistler M, Treisch M, Maier H, Brandhuber R (2018): Behavior of farmers in regard to erosion by water as reflected by their farming practices. *Science of the Total Environment* 613–614: 1–9
- [3] Auerswald, K., Fiener, P., and Dikau, R. (2009) Rates of sheet and rill erosion in Germany – A meta-analysis, *Geomorphology*, 111, 182–193, 2009
- [4] Brandhuber R, Treisch M, Fischer F, Kister M, Maier H, Auerswald K (2017) Starkregen, Bodenerosion, Sturzfluten - Beobachtungen und Analysen im Mai/Juni 2016. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL-Schriftenreihe 2/2017
- [5] Boardman, J. (2003) Soil erosion and flooding on the eastern South Downs, southern England, 1976–2001. *Transactions Institute of British Geographers New Series*, 28, 176–196
- [6] Evans R. (2013) Assessment and monitoring of accelerated water erosion of cultivated land – when will reality be acknowledged?. *Soil Use and Management*, March 2013, 29, 105–118
- [7] Evans, R. (2010) Land use and accelerated soil erosion by water in a small catchment on the South Downs, West Sussex, England – past and present. In: *Landscapes through the Lens* (eds D.C. Cowley, R.A. Standring & M.J. Abicht), pp. 129–142, Occasional Publication of the Aerial Archaeology Research Group No. 2, Oxbow Books, Oxford
- [8] Evans, R. (2006) Runoff, Soil Erosion and Sediment Sources in Central Norfolk, England. Final Report, AMEWAM Project, Hohenheim University, Stuttgart
- [9] Evans, R. & Boardman, J. (2003) Curtailment of muddy floods in the Sompting catchment, West Sussex, southern England. *Soil Use and Management*, 19, 223–231
- [10] Fiener P., Wilken F., Auerswald K (2019) Filling the gap between plot and landscape scale – eight years of soil erosion monitoring in 14 adjacent watersheds under soil conservation at Scheyern, Southern Germany. *Advances in Geosciences.*, 48, 31–48, 2019
- [11] Fiener, P., Seibert, S. P., and Auerswald, K. (2011) A compilation and meta-analysis of rainfall simulation data on arable soils, *J. Hydrol.*, 409, 395–406, 2011
- [12] Fischer F. K., Auerswald K, Maier H, Brandhuber R (2019) Erosionsschutz Bayern Radargestützte Erosionsprognose Teil I –Methodenentwicklung und Validierung der ABAG-. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL-Schriftenreihe 3/2019

Abstract für den „Tag der Hydrologie 2022“ in München

- [13] IPCC-Report Chapter 4 (2019): Olsson, L., H. Barbosa, S. Bhadwal, A. Cowie, K. Delusca, D. Flores-Renteria, K. Hermans, E. Jobbagy, W. Kurz, D. Li, D.J. Sonwa, L. Stringer, 2019: Land Degradation. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems
- [14] Kistler, M, Brandhuber, R, Maier, H, (2013): Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen – Ergebnisse einer Feldstudie, LfL-Schriftenreihe 8/2013
- [15] Munich Re (2017): Naturkatastrophen 2016 Analysen, Bewertungen, Positionen. TOPICS GEO
- [16] Prasuhn V, Doppler T, Spycher S, Stamm Ch (2018) Pflanzenschutzmitteleinträge durch Erosion und Abschwemmung reduzieren. Agrarforschung Schweiz 9 (2): 44–51, 2018
- [17] Prasuhn, V. (2012) On-farm effects of tillage and crops on soil erosion measured over 10 years in Switzerland. Soil and Tillage Research, 120, 137–146
- [18] Prasuhn, V. (2011) Soil erosion in the Swiss midlands: results of a 10 year field survey. Geomorphology, 126, 32–41
- [19] Schwertmann U., Vogl W., Kainz M. (1990) Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen, 2. Auflage. Ulmer: Stuttgart
- [20] Seibert S und Auerswald K (2019) Hochwasserminderung im ländlichen Raum - Förderung des Wasserrückhalts und Bremsen des Abflusses in der Flur mit quantitativen Planungsbeispielen. Vortrag am 25.11.2019 am „Erosionsgespräch 2019“ in Langquaid
- [21] TOPPS-Prowadis (2014). Gute fachliche Praxis zur Verringerung der Gewässerbelastung mit Pflanzenschutzmitteln durch Run-off und Erosion. Handbuch, 81 S., Zugang: <http://www.topps-life.org/key-documents.html> [22.01.2020]