



Hochschule Bochum
Lehrgebiet Wasserbau
und Hydromechanik (LWH)

Tagungsband

mit Kurzfassungen der Beiträge zum

**E4.
BE
EH
KE
2023**

4. Bochumer Hydrometrie-Kolloquium

22. & 23.02.2023 | Hochschule Bochum

messen · bewerten · planen

Inhaltsverzeichnis

Das Juli - Hochwasser 2021 in Luxemburg - Hydrometrische Erfassung und hydrologisch-hydraulische Aufbereitung	1
Klimaresilientes Pegelmessnetz in NRW	3
Umgang mit Unsicherheiten in der Hochwasservorhersage am Beispiel des Emschergebiets	4
Die Konzeption von Pegelnetzen - Anthropogenes Erfordernis versus Prozesskenntnis.....	7
Verdichtung des Pegelmessnetzes im Emscher-Einzugsgebiet.....	8
Qualitative Hochwasservorhersage in Lenzkirch auf Basis von Bodenfeuchte- und Pegeldaten	10
Auf dem Weg zur Echtzeitbewirtschaftung: Erfahrungen mit IoT-Sensoren als Ergänzung zu bestehenden Messnetzen	12
Autonomous Vehicles in der Hydrometrie – Ein Erfahrungsbericht.....	16
Bildbasierte Durchflussmessverfahren für das Monitoring von Hochwasserereignissen.....	17
Abflussmesstechnik im Hochwasserereignis.....	19
Vergleich und Bewertung von Durchflussmessungen nach dem Geschwindigkeits-Flächen-Verfahren in Bezug auf die begrenzte Anzahl von Messlotrechten	20
IoT Gewässergüte Monitoring mittels KI-basierter Hauptionenzerlegung aus Leitfähigkeitsdaten im Erfteinzugsgebiet.....	22
Kürzestfrist-Niederschlagsvorhersagemodell von Starkregen mithilfe von KI-Verfahren im Forschungsprojekt KIWaSuS	24
Auf dem Weg zu besseren Wasserstand-Durchfluss Beziehungen	26
Starkregenmonitoring mittels Sensorschwärmen in kleinen und mittleren Einzugsgebieten und KI-basierter Zugprognose als Ergänzung zu Niederschlagsradarsystemen	28
Starkregenvorsorge und Klimaanpassung – Entwicklung eines Vorhersage- und Warnsystems für Kommunen	30
Niederschlagsdaten von Persönlichen Wetterstationen: Wie unterscheiden sich diese Daten von Standardmessungen?	32
Messung der Infiltration bei kurzen Starkregenereignissen – Untersuchung verschiedener Versuchsdurchführungen mit dem Labor-Lysimeter.....	34
Viele Köche verderben den Brei? - Ergebnisse eines Ringversuchs zur Abflussmessung im Moving-Boat-Verfahren mit besonderer Berücksichtigung der Auswertesoftware	36
Trennung von nieder- und hochfrequenten Wellen mittels Frequenzfilterung im Küstenbereich	37
Neue Schwebstoffkonzentrationsmessung mit integrierter Größenklassenerkennung.....	38

Das Juli - Hochwasser 2021 in Luxemburg - Hydrometrische Erfassung und hydrologisch-hydraulische Aufbereitung

Patz, N.¹, Schortgen, C.¹, Göhlhausen, D.¹, Gilbertz, C.¹, Kurtenbach, A.², Paulus, T.³, Ott, M.³

¹Administration de la gestion de l'eau, Luxemburg

²Gesellschaft für Umwelt-, Gewässer- und Bodenschutz, Trier

³eepi Luxembourg S.A.R.L., Remerschen, Luxemburg

Abstract

Das extreme Hochwasser im Juli 2021 belegt an vielen der langjährig betriebenen Pegelstationen in Luxemburg den Platz 1 der Rangliste der höchsten beobachteten Hochwasser. Dieses Extremereignis wird daher in den nächsten Jahren große Auswirkungen auf eine Vielzahl von hydrologischen, wasserbaulichen und wasserwirtschaftlichen Fragestellungen haben. Beispielhaft genannt seien hier die zukünftige Berechnung von pegelbezogenen und landesweiten Hochwasser-wahrscheinlichkeiten, kommende Herausforderungen zur Gewährleistung der Ausfallsicherheit von gewässerkundlichen Pegeln für die Hochwasservorhersage oder auch die Aktualisierung und hydraulische Ermittlung von Überschwemmungsflächen im Rahmen der EU-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie.

Der wesentliche Unterschied zu früheren großen Flusshochwassern in Luxemburg ist, dass es sich erstmals seit Aufzeichnungsbeginn um ein Ereignis in dieser Größenordnung im hydrologischen Sommerhalbjahr handelte. Im Sommer unterscheiden sich jedoch beispielsweise die für hydraulische Modelle maßgeblichen Flussrauheiten - z.B. infolge von Verkräutung und Bewuchs - deutlich von den Rauheiten, die für große Flusshochwasser im Winterhalbjahr prägend sind. Die Folge davon ist, dass sich die Wasserspiegellagen zwischen Sommer- und Winterhalbjahr bei gleichem Abfluss erheblich unterscheiden können (DWA 2012, Kalm et al. 2014, LAWA 2021, 2020, Morgenschweis 2018, Oertel et al. 2009, Schüttrumpf & Kirschbauer 2022, Yörük 2015).

In diesem Kontext konnten am 15.07.2021 Durchflussmessungen unter anderem an den gewässerkundlichen Pegeln Diekirch/Sauer (2.149 km² Einzugsgebietsgröße) und Mersch/Alzette (707 km²) nahezu im Maximum der Hochwasserwelle durchgeführt werden. Auf dieser Basis werden Anpassungen von bestehenden Abflusskurven und 2-dimensionalen hydraulischen Modellen auf Sommerrandbedingungen im Beitrag vorgestellt und unterschiedliche Verfahren zur Wahl der Sommerrauheiten evaluiert. Zudem werden weitere Aspekte zur hydrometrischen Erfassung des Hochwassers und zum Vergleich von redundanten Messsystemen sowie zu aktuellen Analysen im Hinblick auf die Gewährleistung der Ausfallsicherheit der hydrometrischen Pegelstationen in Luxemburg thematisiert.

Literatur

- DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2012, Hrsg.): Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. - DWA-Regelwerk, Merkblatt DWA-M552, Hennef.
- Kalm, T. von, Sönnichsen, D., Wiebe, H. (2014): Stimmt die W/Q-Beziehung bei höchsten Abflüssen? - Wasserwirtschaft, 11, 10-15.

- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2021, Hrsg.): Bericht zur Evaluation der Handlungsempfehlungen zur weiteren Verbesserung von Grundlagen und Qualität der Hochwasservorhersage an den deutschen Binnengewässern. - Berlin.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2020, Hrsg.): Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft - Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder. - München.
- Morgenschweis, G. (2018): Hydrometrie - Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen. - 2. Aufl., Springer-VDI, Berlin, Heidelberg.
- Oertel, M., Schlenkhoff, A., Morgenschweis, G. (2009): Überprüfung von Abflusskurven für die Pegel Wetter und Hattingen an der Ruhr nach den Hochwasserereignissen im August 2007 mit Hilfe von numerischen 2-D-Modellen. - Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 53, 389-394.
- Schüttrumpf, H & Kirschbauer, L. (2022): Was haben wir aus dem Hochwasser 2021 gelernt? - Wasser und Abfall, 9, 16-19.
- Yörük, A. (2015): Überprüfung der Extremwerte von Pegelschlüsselkurven mit 2D-Simulation. - Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, 53, 141-150.

Klimaresilientes Pegelmessnetz in NRW

Tim Holst¹, Christian Klein¹, Martin Brinkmann¹

¹Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Fachbereich 51 Hydrologie

Abstract

Aufgrund der vermehrt auftretenden Wetterextreme ist es notwendig, am bislang vorhandenen Pegelmessnetz des Landes NRW Anpassungen vorzunehmen und für neue Pegel zusätzliche Gesichtspunkte in die Konzeption aufzunehmen.

Diese Anpassungen werden sich im baulichen Bereich widerspiegeln. So müssen z.B. Pegellatten verlegt oder verlängert werden oder es sind Schächte nicht mehr einsetzbar. Profile müssen sowohl für die Niedrigwassermessung als auch für die schadlose Hochwasserbetrachtung ausgelegt werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Klimaresilienz von Messnetzen ist die Stromversorgung und Datenfernübertragung. Auch hier muss überlegt werden, welche Maßnahmen sinnvoll sind und umgesetzt werden können, Stichwörter hier sind doppelte Stromversorgung und alternative Übertragungstechniken.

Die eingesetzte Messtechnik muss den kompletten Messbereich vom Niedrigwasser bis zum Hochwasser abdecken. Die Installation eines autarken Hochwassersensor, der auch bei einem extremen Hochwasser weiterhin Daten aufzeichnen und übertragen kann, ist eine sinnvolle Ergänzung.

Außerdem wird es im Hochwasserfall immer wichtiger, kontinuierliche Informationen über z.B. die Fließgeschwindigkeit zu erhalten. Hier bieten sich vor allem die berührungslosen kamerabasierten Systeme an.

All diese Punkte sollen in der Neukonzeptionierung der Pegel des LANUV NRW beachtet werden, so dass für alle Wasserstände des Flusses die möglichst besten Ergebnisse ermitteln zu können.

Umgang mit Unsicherheiten in der Hochwasservorhersage am Beispiel des Emschergebiets

Adrian Treis¹, Angela Pfister² und Burkhard Teichgräber³

¹Emschergenossenschaft und Lippeverband, Hochwasserinformationssystem und Hydrometeorologie, treis.adrian@eglv.de

²Emschergenossenschaft und Lippeverband, Abteilung Wasserwirtschaft, pfister.angela@eglv.de

³Emschergenossenschaft und Lippeverband, Geschäftsbereich Grundlagen und Entwicklung, teichgraeber.burkhard@eglv.de

Einleitung

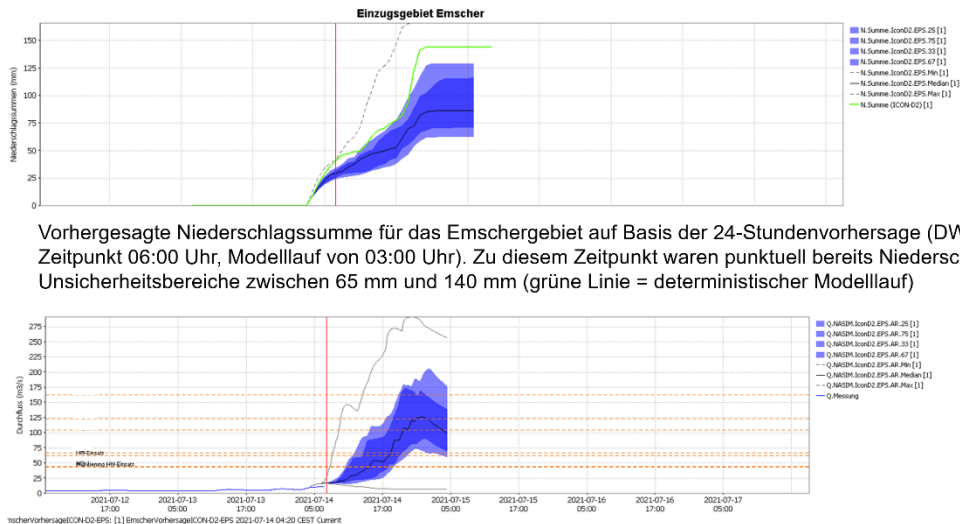
Das Emschergebiet zählt zu den am dichtest besiedelten Industrieregionen Europas. Insbesondere der hohe Versiegelungsgrad und bergbaubedingte Einflüsse wirken sich verschärfend auf die Gefährdung vor Hochwässern aus. Die Abflusskonzentrationszeit an der Emscher beträgt zwischen zwei und sechs Stunden, an den Nebenläufen laufen Hochwasserwellen in weniger als zwei Stunden ab. Bedingt durch die schnelle Konzentrationszeit und die hohe Bevölkerungsdichte kommt der Hochwasservorhersage für das Emschergebiet eine große Bedeutung zu. Neben winterlichen Dauerregenlagen können auch sommerliche Starkregen mit Unwetterpotenzial zur Bildung einer Hochwassersituation an Emscher und Nebenläufen führen. Gerade in diesen sommerlichen konvektiven Situationen steht die Hochwasservorhersage vor der Herausforderung mit den Unsicherheiten der meteorologischen Vorhersagemodelle umzugehen.

Umgang mit Unsicherheiten in der Hochwasservorhersage

Verschiedene Faktoren wirken sich auf die Unsicherheiten in der Hochwasservorhersage aus. Hierzu zählen Unsicherheiten in der Messung und der Datenassimilation der Wettermodelle. Hinzu kommen Modellunsicherheiten sowohl auf Seiten des hydrologischen Gebietsmodells, als auch auf Seiten der Wettervorhersage. Eine weitere Quelle von Unsicherheiten betrifft das Einzugsgebiet selbst. Baustellen an den Gewässern, Technikversagen oder Abweichungen vom Regelbetrieb können zu Entwicklungen führen, die in den hydrologischen Modellen nicht abgebildet sind. Als übergeordneter Einflussfaktor ist der Klimawandel zu nennen, der Entwicklungen von Wetterphänomenen begünstigt, die in den Modellen bisher nicht abgebildet sind.

Die Emschergenossenschaft (EG) verwendet als Modellinput die deterministischen Wettermodelle ICON, ICON-EU und ICON-D2 des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2022). Im Nowcasting- Bereich wurden verschiedene Produkte getestet. Wahrscheinlichkeitsbasierte Vorhersageprodukte, sog. Ensemble-Vorhersagesysteme, bieten eine Abschätzung der Größenordnung der Unsicherheiten, sind jedoch in der Interpretation und Kommunikation komplexer. In der Hochwasservorhersage werden die DWD-Modelle ICON-D2 (EPS) und ICON-EU (EPS) sowie das ECMWF Modell (COSMO-LEPS) verwendet (ECMWF 2022). In der Vergangenheit fußte die Lageeinschätzung ausschließlich auf den deterministischen Wettermodellldaten des Deutschen Wetterdienstes. Als Ergebnis lagen Wasserstands- und Abflussvorhersagen vor, die eindeutig zu interpretieren waren, gleichzeitig aber die hohe Dynamik des Wettergeschehens nicht abzubilden vermochten. Mit der Verfügbarkeit ensemblebasierter Wettervorhersagen besteht nun die Möglichkeit über die Spannweite eine Einschätzung der Unsicherheit und möglicher Entwicklungen zu erhalten. Gleichzeitig erhöht sich die Schwierigkeit der Ableitung konkreter Handlungen, da alle Mitglieder der Modellläufe gleich wahrscheinlich sind. Hier ist eine enge Absprache mit den Betriebsabteilungen bezüglich möglicher Konsequenzen unabdingbar.

Das Beispiel des Juli-Hochwassers 2021 zeigt die gesamte Breite der Unsicherheit (Abb. 1). Am Ereignistag selbst zeigten die Vorhersagen um 06:00 Uhr ein extremes Ereignis an der Emscher mit der Möglichkeit der Überschreitung der Bemessungsabflüsse.



Vorhergesagte Niederschlagssumme für das Emschergebiet auf Basis der 24-Stundenvorhersage (DWD ICON-D2 (EPS)). Zeitpunkt 06:00 Uhr, Modelllauf von 03:00 Uhr). Zu diesem Zeitpunkt waren punktuell bereits Niederschläge bis 30 mm gefallen. Unsicherheitsbereiche zwischen 65 mm und 140 mm (grüne Linie = deterministischer Modelllauf)

Simulierte Abflüsse am Pegel Do. Mengede auf Basis der Ensemble-Vorhersage. Die gemessenen Niederschläge im Raum Dortmund lagen in einer Größenordnung von rd. 110 -120 mm und dienen als gute Referenz für die Vorhersage. Am Pegel wurde ein HQ 100 überschritten.

Abbildung 1: Vorhersagestatus am 14.07.2021 um 06:00 Uhr (MESZ)

Mit der im Folgenden einsetzenden Regenpause und den deutlich nach unten korrigierten Vorhersagen bewegten sich die prognostizierten Abflüssen in Größenordnung eines HQ-25 an der Emscher. Ab 18:00 Uhr fielen allerdings im östlichen Emschergebiet heftige Starkregen, die in den Vorhersagemodellen nicht erkennbar waren. Als Konsequenz flossen im Oberlauf der Emscher ein HQ-100 und im mittleren Emschergebiet ein HQ-200 ab. Somit wurden die Extremwerte aus der morgendlichen Vorhersage zumindest punktuell erreicht.

Nutzung von Nowcasting-Verfahren

Die Nutzung von Nowcasting Verfahren wurde bereits im Vorlauf zu dem Ereignis anhand ausgewählter Ereignisse betrachtet. Zur Anwendung kamen Verfahren unterschiedlicher Komplexität. Anhand zweier Beispiele einer konvektiven und stratiformen Wetterlage werden die Grenzen und Möglichkeiten der Verfahren vorgestellt.

Ausblick

Aus den Erfahrungen des Juli-Hochwassers entwickelte die EG die Roadmap Krisenhochwasser, die in verschiedenen Handlungsfeldern Maßnahmen definiert. Als erste Maßnahme wurde die Modelltaktung auf 15-Minuten erhöht, da die bisherige Aktualisierung von 30-Minuten nicht ausreicht, um die dynamische Entwicklung nachzuvollziehen. Weitere Handlungsfelder in Bezug auf die Hochwasservorhersage sind: Aufbau von Modellen für die Nebenläufe, Bau weiterer Pegelstationen, Automatisierung von Risikobetrachtungen für Pumpwerksausfälle sowie die Entwicklung einer Kommunikationsplattform für die interne und externe Informationsweitergabe. Das Thema Nowcasting wird als Zusatzinformation weiter Gegenstand der Betrachtungen bleiben.

Literatur

- Deutscher Wetterdienst (2022): DWD Database Reference for the Global and Regional ICON and ICON-EPS Forecasting System. https://www.dwd.de/SharedDocs/downloads/DE/modelldokumentationen/nwv/icon/icon_dbbeschr_aktuell.pdf;jsessionid=F167135DC50EE3B44FFFBD062D821D37.live31092?view=na&Publication&nn=13934. Letzter Zugriff: 21.11.2022
- ECMWF (2022): Limited Area Ensemble Prediction System (COSMO-LEPS). <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/limited-area-ensemble-prediction-system>. Letzter Zugriff: 21.11.2022

Die Konzeption von Pegelnetzen - Anthropogenes Erfordernis versus Prozesskenntnis

Uwe Büttner¹, Erhard Wolf¹, Svenja Fischer², Philipp Bühler³ und Andreas Schumann²

¹Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Referat Landeshochwasserzentrum/Gewässerkunde, Uwe.Buettner@smul.sachsen.de, Erhard.Wolf@smul.sachsen.de

²Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Ingenieurhydrologie und Wasserwirtschaft, Svenja.Fischer@hydrology.ruhr-uni-bochum.de, Andreas.Schumann@hydrology.ruhr-uni-bochum.de

³Okeanos Smart Data Solutions GmbH, philipp.buehler@okeanos.ai

Abstract

Der Betrieb von Pegeln zur Bestimmung von Wasserständen und Durchflüssen hat seinen Ursprung in der Daseinsvorsorge für den Menschen und dem Schutz seiner Tätigkeit. Diese Messeinrichtungen sind damit essentiell notwendiger Bestandteil in einer vom Menschen geprägten und genutzten Landschaft. Die anthropogen unbeeinflusste Natur bedarf aus sich heraus einer solchen Überwachung nicht, weil ihr Schäden fremd sind. Die Veränderungen, die auf menschliche Tätigkeit zurückgehen, erfolgen ungleich schneller als der natürlicherweise vonstatten gehende Wandel. Insofern weisen auch Pegelnetze eine historische Entwicklung entsprechend der an sie gestellten Anforderungen auf.

Unter dem Gesichtspunkt aktueller und zukünftiger Erfordernisse erfolgte in den letzten Jahren in Sachsen eine Überprüfung des gegebenen Pegelnetzes mit der Analyse seines Nutzungszwecks und seiner Funktionen. Ausgehend von Prämissen für die Pegelnetzgestaltung wurden sowohl

- Längsschnittbetrachtungen mit dem Fokus auf Zusammenflüssen als auch
- umfangreiche Gebietsbetrachtungen anhand einer Vielzahl von Gebietskennwerten

durchgeführt, die die Basis für die Ableitung der räumlichen Aussagekraft des einzelnen Pegels bildeten.

Für die räumliche Analyse wurde ein informationstheoretischer Ansatz auf Grundlage der Shannon-Entropie benutzt. Dabei kommt der Größenklassifizierung der Gebiete, ihrer Unabhängigkeit voneinander und der Unabhängigkeit ihrer Kennwerte besondere Bedeutung zu. Das Ziel bestand darin, Gebiete zu identifizieren, deren Verhalten sich von beobachteten Gebieten wesentlich unterscheidet und demzufolge ein Erfordernis für die Einrichtung eines neuen Pegels besteht. Bei dieser Betrachtung wird unterstellt, dass die hydrologische Gebietsreaktion in strenger Abhängigkeit zur Gebietsausstattung steht.

Verdichtung des Pegelmessnetzes im Emscher-Einzugsgebiet

Alexander Hartung¹, Jörg Libuda², Karsten Zabel³

¹Emschergenossenschaft/Lippeverband, hartung.alexander@eglv.de,

²Emschergenossenschaft/Lippeverband, libuda.joerg@eglv.de,

³Emschergenossenschaft/Lippeverband, zabel.karsten@eglv.de

Im Zuge der Aufarbeitung der Hochwasserereignisse vom 14. Juli 2021 wurde bei Emschergenossenschaft und Lippeverband das Aktionsprogramm „Roadmap Krisenhochwasser“ aufgelegt. Hierbei handelt es sich um technische, organisatorische und regulatorische Maßnahmen. *„Die der Roadmap zugrunde liegende flusseinzugsgebietsbezogene Planung des Hochwasserschutzes - über kommunale Grenzen hinweg - ist eine der Lehren aus dem Starkregen- und Hochwasserereignis vom 14. Juli 2021.“* Die Roadmap Krisenhochwasser gliedert sich in mehrere Aktionsfelder, ein Aspekt des dritten Aktionsfeldes „Hochwasserwarnung“ ist die Erweiterung des Pegelmessnetzes für kritische Stellen in den Einzugsgebieten der Nebenläufe von Emscher und Lippe.

Die Verdichtung des Pegelmessnetzes war die erste Ad Hoc Maßnahme, die zur Durchführung beschlossen wurde, dementsprechend war der gegebene Zeitrahmen zwischen November 2021 und Ende März 2022 für rund 15 zu bauende Pegelstationen bei normaler Vorgehensweise nicht durchführbar. Im optimalen Fall wird für den Bau einer Pegelstation eine Dauer von 9 Monaten bis zu 1,5 Jahren veranschlagt. Sind die Voraussetzungen nicht so günstig können daraus auch schnell bis zu 5 Jahre werden.

Der erste Schritt besteht meist in der Festlegung der Standorte und damit auch der Anzahl an zu bauenden Stationen. Aufgrund des Emscherumbaus und der anschließenden ökologischen Verbesserung sowohl der Emscher als auch ihrer Nebenläufe liegen für alle diese Gewässer vollständig kalibrierte hydrologische Gebietsmodelle vor. Nicht nur die Modellierer sondern auch die für die Unterhaltung und den Hochwasserschutz der Gewässer zuständigen Mitarbeiter verfügen über langjährige und detaillierte Gebietskenntnisse. Daher konnten im Laufe von sechs Wochen durch mehrere Optimierungsschleifen die Vorschläge der Modellierer und der Gewässerverantwortlichen übereinandergelegt und abgestimmt werden, im Ergebnis wurden bisher rund 25 Standorte festgelegt, wobei 15 auf Priorität 1 (Umsetzung bis Ende März 2022) und der Rest auf Priorität 2 gesetzt wurde. Im Laufe der Abstimmungen wurden alle in Frage kommenden Standorte inklusive möglicher Alternativstandorte abgefahren, alle Standorte wurden bewertet und vollständig dokumentiert, damit die getroffenen Entscheidungen auch nachvollziehbar bleiben.

Einer der nächsten Schritte umfasst die Festlegung der Gerätetechnik, hier lag der Fokus darauf, dass die aufgebauten Standorte nach der Installation sofort in die hydrologischen Datenbanken übernommen werden und für die Hochwasservorhersage zur Verfügung stehen. Die Wasserstandmessungen wurden alle an Brückenstandorten, meist mit vorhandener Treppe zum Gewässer, eingerichtet, überall wurden mit Fundament gegründete einflügelige Verteilerschränke aufgebaut. An sieben Standorten wurden Radarsonden per spezieller Klemmhalterung an den Brückengeländern angebracht, an weiteren sieben Standorten wurden Drucksonden verwendet. In der Summe wurden 14 Standorte bis Ende März 2022 aufgebaut. An diesen Standorten sind bisher keine Pegellatten vorhanden, die notwendigen Kontrollen im Rahmen der Wartungsintervalle werden über Abstichmessungen durchgeführt.

In der Summe konnten so im Laufe von 5 Monaten 14 neue Stationen aufgebaut werden, mit denen Wasserstände erfasst werden und deren Daten sofort für die Online-Hochwasservorhersage der Nebenläufe zur Verfügung stehen. Dieser extrem kurze Bauzeitraum war nur realisierbar, weil viele günstige Umstände und Randbedingungen vorlagen und der eigentliche Aufbau der Stationen mit eigenem Personal und eigenen Geräten ohne weitere Fremdvergabe möglich war. Die nachträgliche Ausrüstung der Standorte mit Pegellatten, zum Teil auch Treppen, Stromanschlüssen und einigen weiteren Details (z. B. Festpunkte) machen aus den Wasserstandmessungen erst „richtige“ Pegelstationen. Dieser Prozess wird ab jetzt noch mindestens zwei Jahre in Anspruch nehmen.

Qualitative Hochwasservorhersage in Lenzkirch auf Basis von Bodenfeuchte- und Pegeldaten

Benjamin Mewes¹, Henning Ooppel¹, Philipp Bühler¹, Florian Falger²

¹Okeanos Smart Data Solutions GmbH

²Endress+Hauser SE+Co. KG

Abstract

Seit einigen Jahren wird eine Hochwasserprognose flächendeckend mit hoher Genauigkeit in Deutschland an Landespegeln angeboten, sodass zeitnah Gegenmaßnahmen im Katastrophen- und Zivilschutz angestoßen werden können. Bei kleineren Gewässern, besonders im ländlichen Raum fehlen jedoch sowohl Hochwasserkartierungen und -gefahrenkarten als auch Pegelanlagen zum dauerhaften Monitoring des aktuellen Abflussgeschehens. Das Hochwasser vom Juli 2021 zeigte zudem eindrücklich, dass kleinere Fließgewässer das Abflussgeschehen in den Hauptgerinnen sprunghaft verändern können, sodass es zu dramatischen Situationen kommt, ohne dass Entscheidungsträger sich in kurzer Zeit ein vollumfängliches Bild der hydrologischen Situation machen können.

Kurze Fließzeiten sind für klassische Hochwasserwarnsysteme jedoch besonders an diesen Gewässern problematisch, erreichen die Hochwasserwellen nach der Erfassung über einen Pegel binnen kurzer Zeit bereits die zu schützenden Bereiche. Die rein hydraulische Betrachtung der Hochwasserwassergefahr ist somit nicht ausreichend. Der Einbezug weiterer Zustandsgrößen, wie z.B. der Bodenfeuchte ergibt Sinn, um z.B. den Hochwasserscheitel genauer vorherzusagen (Komma et al. 2008) oder die Hochwassergefahr besonders in großen unbeobachteten Flächen frühzeitig zu detektieren (Alvarez-Garreton et al. 2015). Durch die Verfügbarkeit von Satelliten-basierten Bodenfeuchte Datenprodukten sind diese Ansätze für meso- bis großskalige im Einsatz und verhelfen hydrologischen Modellen zu verbesserten Hochwasserprognosen (Kim et al. 2019). Um diese Satelliten-gestützte Bodenfeuchteinformation in hydrologische Informationen, beispielsweise in einer Bodenwasserhaushaltsroutine nutzbar zu machen, werden weitere Modellansätze benötigt (Mewes und Schumann 2019), sodass es für kleinskalige Einzugsgebiete, besonders in topografisch schwierigen Regionen eines anderen Konzepts bedarf. Somit muss neben einer Sensor-basierten Pegelstandsüberwachung der Fließgewässer auch die hydrologische Gebietsreaktion erfasst werden, um zeitlich das Hochwasser vor der Entstehung zu antizipieren und eine frühzeitige Vorwarnung für die Entscheider und Hilfskräfte vor Ort zu erzeugen. Die hydrologische Gebietsreaktion wird bisher nicht in kleinen Einzugsgebieten erfasst und umfasst neben dem Füllstand im Gewässer das erwartete Niederschlagsgeschehen in einer Region sowie die Bodenfeuchte, als Indikator für die zu erwartende Geschwindigkeit der Abflussbildung. Damit die Anzahl der auszubringenden Bodenfeuchtesensoren gering bleibt, muss sowohl auf eine robuste Messmethode als auch auf eine intelligente Standortwahl (Fischer et al. 2020) geachtet werden.

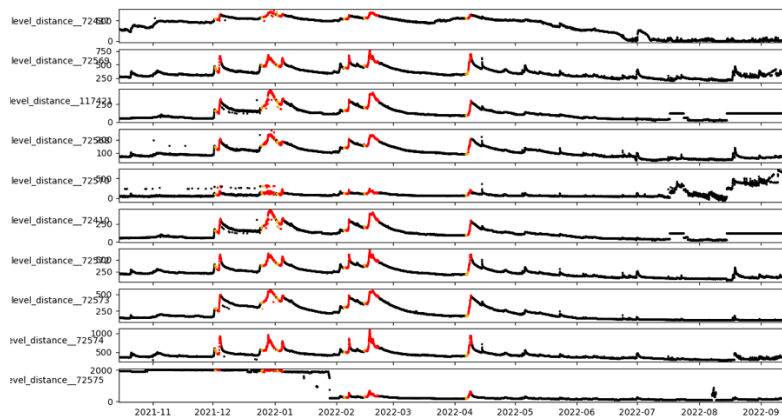


Abbildung 1: Hochwasserfrühwarnungen auf Basis von Bodenfeuchte und Pegeldaten in Lenzkirch

Die Studie zeigt die Ergebnisse des qualitativen Hochwassermonitorings der Gemeinde Lenzkirch, das seit 2020 in Betrieb ist (siehe Abb. 1). Es zeigt sich, dass die von uns erstellte Gebietsbeobachtung in der Lage ist, eine hydrologische Gebietsreaktion automatisiert zu erlernen und vor Hochwässern, wie im Januar und im Februar 2022, sowohl eine Vorwarnung als auch eine Hauptwarnung auszugeben. Durch die ausgegebene Vorwarnung konnte die Feuerwehr sowohl zeitnah Sandsäcke ausbringen als auch vulnerable Haushalte vorwarnen, dass mit einer Überflutung zu rechnen sei.

Literaturverzeichnis

- Komma, J., Blöschl, G., & Reszler, C. (2008). Soil moisture updating by Ensemble Kalman Filtering in real-time flood forecasting. *Journal of Hydrology*, 357(3-4), 228-242.
- Alvarez-Garreton, C., Ryu, D., Western, A. W., Su, C. H., Crow, W. T., Robertson, D. E., & Leahy, C. (2015). Improving operational flood ensemble prediction by the assimilation of satellite soil moisture: Comparison between lumped and semi-distributed schemes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(4), 1659-1676.
- Kim, S., Zhang, R., Pham, H., & Sharma, A. (2019). A review of satellite-derived soil moisture and its usage for flood estimation. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 2(4), 225-246.
- Mewes, B., & Schumann, A. H. (2019). An agent-based extension for object-based image analysis for the delineation of irrigated agriculture from remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 40(12), 4623-4641.
- Fischer, S., Bühler, P., Büttner, U., & Schumann, A. (2020). The use of maximum entropy to increase the informational content of hydrological networks by additional gauges. *Hydrological Sciences Journal*, 65(13), 2274-2285.

Auf dem Weg zur Echtzeitbewirtschaftung: Erfahrungen mit IoT-Sensoren als Ergänzung zu bestehenden Messnetzen

Jan Erik Kunze¹, Benjamin Freudenberg², André Niemann³, Thorsten Mietzel⁴

¹Universität Duisburg-Essen, Institut für Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft, jan.erik.kunze@uni-due.de

²Universität Duisburg-Essen, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, benjamin.freudenberg@uni-due.de

³Universität Duisburg-Essen, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, andre.niemann@uni-due.de

⁴Universität Duisburg-Essen, Institut für Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft, thorsten.mietzel@uni-due.de

Erfahrungen mit räumlich hochaufgelöster Sensorik in der Wasserwirtschaft

Die fortschreitende Digitalisierung des wasserwirtschaftlichen Messwesens legt den Grundstein für innovative Werkzeuge und Techniken in der Bewirtschaftung wasserwirtschaftlicher Systeme. Auch die Planung und der Betrieb verändern sich. Building Information Modelling (BIM), Digitale Zwillinge und weitgehend vernetzte Systeme, die sich in das Paradigma des Internet of Things (IoT) einreihen, sollen Betreibern und Stakeholdern einen effizienteren Umgang mit wasserwirtschaftlichen Informationen bieten können.

Die Hochwasserkatastrophe im Juli 2021 führte in der Aufarbeitung zu einem breiten Interesse an zusätzlichen, räumlich hochaufgelösten Systeminformationen, insbesondere für kleine Einzugsgebiete. Mit diesen Systemen sollen Hochwasserereignisse früher erkannt und mit entsprechenden (Früh-)Warnsystemen wertvolle Zeit gewonnen werden (z.B. Endrech+Hauser AG, Okeanos Smart Data Solutions GmbH 2022; East Side Fab 2022). Damit rückte eine ganze Reihe neuartiger Datenquellen, z.T. unter Einbezug unscharfer Signale in den Fokus der wasserwirtschaftlichen Anwendung. Einen Bestandteil dieser neuen Datenlandschaft bilden sogenannte Low Power Sensoren (LPS), die aufgrund ihres oftmals geringen Beschaffungspreises und günstigen Betriebs häufig auch als Low Cost Sensoren verstanden werden. Gleichwohl arbeiten auch diese Sensoren ausschließlich mit etablierten Messverfahren. Diese batteriebetriebenen Systeme lassen sich mit energieeffizienten Langdistanz-Funksystemen (LPWAN) koppeln, welche die Sensorinformation in Echtzeit bereitstellen können, ohne dabei auf einen Leiterverbund zurückgreifen zu müssen. Autarkie, Reichweite und die breite Verfügbarkeit der Übertragungstechniken schaffen auf diese Weise das Potenzial, eine Gefahr am Ort und zum Zeitpunkt ihres Entstehens zu erfassen – auch an dezentralen Standorten. Entsprechend vielseitig und attraktiv gestaltet sich der Einsatz von LPWANs für verschiedene Anwendungen in der Wasserwirtschaft. Neben der Unterstützung im operativen Hochwasserschutz finden die kompakten Sensorlösungen bereits jetzt ihren Einsatz bei einzelnen Trinkwasserversorgern (EUWID 2021), im Kanal (Riechel et al. 2021; Mödinger, Beutler 2022) sowie bei der Verdichtung von Radarinformationen zur Detektion von (Stark-)Regenereignissen (Quirnbach 2021). Letzteres zeigt, dass Flexibilität und Dichte der Messstandorte das Verschneiden von Systeminformationen und digitalen Werkzeugen im Sinne des IoT begünstigt.

Der Prozess der Instrumentalisierung dieser Werkzeuge läuft in vielen Vorhaben an (LANUV 2022). Allerdings muss der Zugriff auf zusätzliche digitale Ressourcen aus Sicht des Betreibers/Nutzers aktuell noch zugänglich(er) umgesetzt werden. Vor diesem Hintergrund beschreibt dieser Beitrag die „Lessons Learned“ beim Implementieren, Messen und im Umgang mit räumlich hochaufgelösten Low Power (IoT-)Sensoren, welche in Langdistanz-Funknetzwerke eingebunden sind. Es wurden Erfahrungen zu Befestigung und Sicherung der Sensorik, ihrer Ausfallsicherheit (über alle Jahreszeiten), Batterielaufzeit, der Datenqualität

sowie der Performance der Funkssysteme LoRaWAN und NB-IoT im direkten Vergleich gemacht. Mit diesen Erfahrungen wird auch thematisiert, für welche use-cases räumlich hochaufgelöste LPWAN-Systeme geeignet sind.

Konkret werden die Erfahrungen aus dem Einsatz von acht Low Power Ultraschallsensoren zur Wasserstandsmessung im Emscheroblauf sowie des Hörder Baches im Bereich des Dortmunder PHOENIX-Sees, und weiteren zwei am Grundablass des Hochwasserrückhaltebeckens Bergmühle (Borbecker Mühlenbach) vorgestellt und diskutiert. Zur Datenvalidierung konnten an mehreren Standorten Referenzpegel der Emschergenossenschaft herangezogen werden. Dabei besitzen die Low Power Signale bereits ohne ein aufwändiges Postprocessing lediglich geringe Abweichungen ($MAE < 2$ cm) gegenüber den hydrometrischen Messsystemen und erlauben eine zuverlässige Ereignisdetektion in Echtzeit und mit Unterstützung von Push-Benachrichtigungen bei definierten Ereignissen (niedriger Batteriestand, Senderausfall, Übersteigung definierter Wasserstände).

Die vielversprechenden Erfahrungen und Ergebnisse aus dem mehr als einjährigen Betrieb waren Anlass den Messbetrieb auf den operativen Gewässerschutz auszuweiten. Ziel des Betriebs güteorientierter IoT-fähiger LPS-Messverfahren ist die Detektion von physiko-chemischen Auffälligkeiten und Stress, Niedrigwassersituationen und Trockenfallen der Gewässer. Hierzu wurden in Kooperation mit der Emschergenossenschaft LPS Sensoren für pH-Wert, gelösten Sauerstoff, elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotenzial und Wassertemperatur getestet. Die seit März 2022 aufgezeichneten Messungen wurden jüngst im Emscher Mittellauf zur Überwachung von gelöstem Sauerstoff, elektrischer Leitfähigkeit und Wassertemperatur im exponierten System erweitert.

Umgang mit Big Data, heterogenen Daten und variierender Datenqualität

Eine verdichtete Sensorlandschaft mit großen Volumina heterogener Daten erfordert die begleitende Entwicklung innovativer Konzepte, mit denen die Informationen automatisiert zusammengeführt und ausgewertet werden. Vor diesem Hintergrund stellt unser Beitrag eine Toolbox zur automatisierten Plausibilisierung von Daten vor. Die Anwendung beinhaltet KI-gestützte Verfahren zur automatisierten Datenqualitätssicherung. Die Toolbox wird u.a. im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojekts KIWaSuS (KI-basiertes Warnsystem vor Starkregen und urbanen Sturzfluten, <https://kiwasus.de/>) entwickelt.

Ein zentraler Schritt zur Bestimmung der Plausibilität stellt die Anomaliedetektion und die Identifikation von Ausreißern dar. Ausreißer können als Datenpunkte beschrieben werden, die sich signifikant von den übrigen Datenpunkten abgrenzen (Grubbs 1969). Alle Datenpunkte einer Zeitreihe erhalten einen Anomalie-Index, der angibt mit welcher Wahrscheinlichkeit es sich um einen anormalen Wert handelt. Es kann eine Kombination von Indizes, bspw. durch Mittelung oder Auswahl des maximalen Index, mehrerer Verfahren genutzt werden, um einen umfangreicheren Anomalie-Index einer Zeitreihe zu erstellen. Mit festzulegenden Grenzwerten für den Anomalie-Index wird definiert, welche Punkte als potenziell fehlerhaft klassifiziert werden (Aggarwal et al. 2017). Für derart klassifizierte Punkte einer Zeitreihe können mittels klassischer sowie KI-gestützter Korrekturverfahren Ersatzwerte gebildet werden. Da nicht alle Ausreißer auch fehlerhafte Werte beschreiben (Aggarwal 2017), gibt es neben der vollständigen Automatisierung die Möglichkeit, detektierte Anomalien und Ausreißer visuell auszugeben und nur eine Auswahl davon zu korrigieren. Eine manuelle Qualitätskontrolle soll jedoch lediglich in Ausnahmefällen notwendig werden.

Für Messparameter, deren Stationen im Umfeld miteinander in Beziehung gesetzt werden können, wie bspw. Niederschlag oder Lufttemperatur, werden geostatistische Verfahren zur Validierung mit herangezogen (Montero et al. 2015). Um zu entscheiden, welche Zeitreihen für eine derartige Berechnung genutzt werden sollen, kann die Zuverlässigkeit eines Sensors verwendet werden. Diese Güte kann bspw. durch den prozentualen Anteil der fehlenden bzw. nicht empfangenen Messungen oder durch den Anteil der zuvor detektierten Ausreißer beschrieben werden. Besonders für Sensoren, die zur Berechnung für Warnungen

genutzt werden (z.B. vor Hochwasser oder Starkregen), ist die Auswahl der Stationen mittels Güteparametern von Bedeutung. Die Toolbox greift auf öffentlich zugängliche Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD), des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) sowie weiteren Datenquellen (z.B. openSenseMap) zu. Sie wird in der Programmiersprache Python entwickelt und wird allgemeinverfügbar sein.

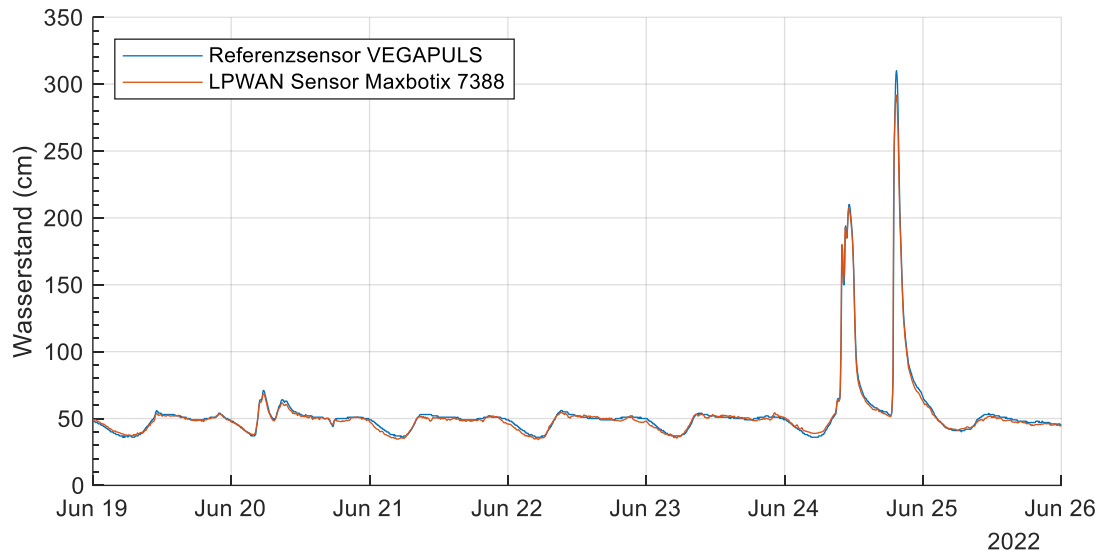


Abbildung 2: Vergleich der Wasserstände zwischen Ultraschall-Low Power Sensor Maxbotix 7388 (Orange) und Referenzgerät VegaPuls (Radarwasserstand) des Herstellers Vega für drei Regenerenisse im Zeitraum vom 19.06.2022 bis 26.06.2022 am Beckenpegel des HRB Bergmühle ($R^2 = 0,9882$). Neben den Peaks infolge der abflusswirksamen Regenerenisse, sind die Tagesganglinien des abwasserführenden Systems Borbecker Mühlenbach sichtbar.

Literatur

- East Side Fab (04.05.2022): datenFLUT IoT Demonstrator. Saarbrücken.
- Endress+Hauser AG; Okeanos Smart Data Solutions GmbH (14.06.2022): Hochwasserschutz aus der Cloud: wie Landkreise und Kommunen sich mit künstlicher Intelligenz besser vor Katastrophen schützen können. Online verfügbar unter <https://www.presseportal.de/pm/163705/5247861>.
- EUWID Wasser und Abwasser (2021): Gelsenwasser will Smart Metering in der Wasserversorgung mit Partnern voranbringen. In: EUWID Wasser und Abwasser (3).
- LANUV (2022): Verbesserung von Hochwasserinformation und vorhersage. 2 Punkte des 10 Punkte Arbeitsplans Hochwasserschutz in Zeiten des Klimawandels. Pegelschmiede 4.0. LANUV. Kompetenzzentrum Digitale Wasserwirtschaft gGmbH, 21.07.2022.
- Möginger, Cara; Beutler, Philipp (2022): 11. Thematischer Stammtisch: Niedrigenergiefunk im Kanalisationsbetrieb. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 15 (6), S. 341.
- Riechel, Mathias; Gutierrez, Oriol; Busquets, Silvia; Amela, Neus; Dimova, Valentina; Gunkel, Michel et al. (2021): A network of low-cost temperature sensors for real-time monitoring of combined sewer overflow. DOI: 10.5194/egusphere-egu21-16386.
- Quirnbach, Markus (2021): KIWaSuS - KI-basiertes Warnsystem vor Starkregen und urbanen Sturzfluten. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 14 (6), S. 349.
- Grubbs, F. E. (1969). Procedures for detecting outlying observations in samples. *Technometrics*, 11(1), S. 1–21.
- Aggarwal, C. C., & Sathe, S. (2017). *Outlier ensembles: An introduction*. Springer, Cham. S. 20–23.
- Aggarwal, C. C. (2017). *Outlier analysis*. Springer, Cham. S. 3.

Montero, J. M., Fernández-Avilés, G., & Mateu, J. (2015): Spatial and spatio-temporal geostatistical modeling and kriging (Vol. 998). John Wiley & Sons. S. 10–19.

Autonomous Vehicles in der Hydrometrie – Ein Erfahrungsbericht

Ivo Baselt¹

¹Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen, Hydromechanik und Wasserbau, ivo.baselt@unibw.de

Hydrometrische Messungen sind fester Bestandteil im Rahmen wasserwirtschaftlicher und wasserbaulicher Aufgaben. Die Durchführung der Messungen erfolgt sowohl bei stationären Anlagen in festen zeitlichen Intervallen als auch ereignisbezogen unter Zuhilfenahme von mobilen Messsystemen. Typische Messaufgaben umfassen physikalische Größen wie den Wasserstand, den Abfluss und die Fließgeschwindigkeit. Darüber hinaus können auch weitere Parameter relevant werden. Dazu gehören u.a. Güteparameter zur Beurteilung der Wasserqualität, als auch die morphologischen Veränderungen der Gewässersohle.

In den letzten Jahren ist ein deutlicher Leistungssprung bei den mobilen hydrometrischen Messgeräten zu verzeichnen. Neben der erhöhten Aufzeichnungsrate und gesteigerten Genauigkeit, ist besonders die verbesserte Bedienbarkeit als auch der relativ geringe Aufwand zu nennen, um die Messergebnisse zu erhalten. Autonomous Vehicles, im Sinne von selbstständig operierenden Messgeräteträgern, bieten den Vorteil, dass diese nach vorheriger Programmierung das Messgebiet selbstständig schwimmend oder getaucht abfahren und verschiedene Messparameter dabei simultan erfassen. Dazu tragen die Messgeräteträger meist mehrere Sensoren gleichzeitig.

In diesem Beitrag soll von den aktuellen Erfahrungen des Autors beim Einsatz von Autonomous Vehicles in der Hydrometrie berichtet werden. Im Fokus steht dabei ein autonomes unterwasser vehicle (AUV) und ein autonomes surface vehicle (ASV). Mit diesen Geräteträgern wurden sowohl stehende Gewässer als auch Flusssysteme vermessen und dabei neben der Bathymetrie auch Strömungsdaten und Gewässergütedaten erfasst. Der potenzielle Nutzen für wasserwirtschaftliche und wasserbauliche Fragestellungen in Hinblick auf Monitoring-Aufgaben oder der Erfolgskontrolle von baulichen Maßnahmen wird durch die Vielzahl an Messanfragen aus Behörden, Ingenieurbüros und Betreibern wasserbaulicher Anlagen unterstrichen. Der Autor hat dabei jedoch bemerkt, dass die verfügbare Technologie und das Leistungsspektrum noch nicht ausreichend genug im deutschsprachigen Raum bekannt sind. Dieser Beitrag soll daher die Möglichkeiten und Chancen von Autonomous Vehicles aufzeigen aber dabei ebenso die Voraussetzungen und Limitierungen offenlegen.

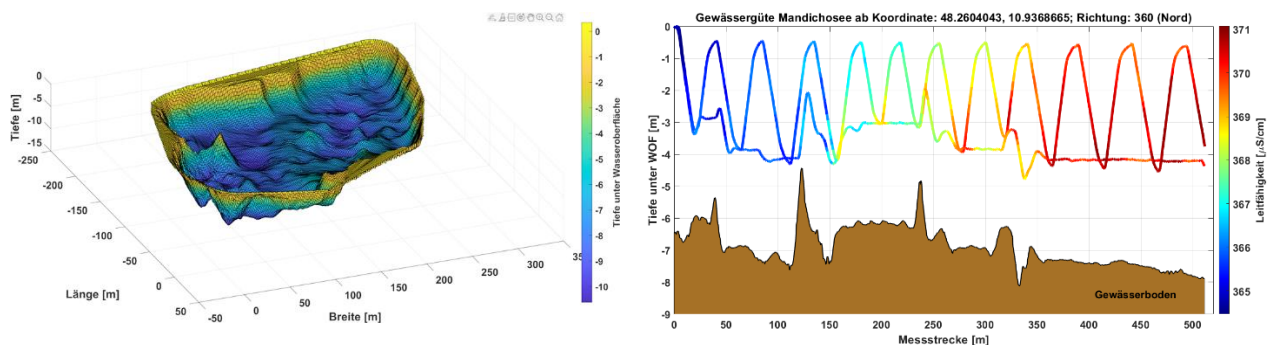


Abbildung 1: Beispiele von Messergebnissen mit einem AUV: Bathymetrie eines Baggersees (links) und Leitfähigkeit in der Wassersäule über eine Strecke von 511m in einem Stausee des Lechs (rechts)

Bildbasierte Durchflussmessverfahren für das Monitoring von Hochwasserereignissen

Issa Hansen¹, Thomas Engstle², Jakob Menzinger³ Salvador Peña-Haro⁴ und Beat Lüthi⁵

¹SEBA Hydrometrie GmbH, hansen@seba.de

²SEBA Hydrometrie GmbH, engstle@seba.de

³SEBA Hydrometrie GmbH, menzinger@seba.de

⁴Photrack AG, pena@photrack.ch

⁵Photrack AG, luethi@photrack.ch

Besonders bei Extremereignissen ist die genaue Kenntnis der Durchflussmengen in Fließgewässern von hohem und entscheidendem Interesse. Konventionelle Messmethoden stoßen jedoch genau dann an ihre Grenzen, da sie oft auf einen Sensor angewiesen der nicht berührungslos ist. Bildbasierte Durchflusssysteme, wie z.B. der DischargeKeeper, bieten hierfür eine flexible berührungslose Alternative. Anders als bei konventionellen Messmethoden ist das Verhältnis von Messsignal zu Messrauschen bei extremen Ereignissen optimal. In diesem Beitrag werden zwei extrem Ereignisse präsentiert, welche sich unter komplett unterschiedlichen Bedingungen zugetragen haben.

Ein DischargeKeeper System ist fix installiert in Nord Spanien am nördlichen Hang der Pyrenäen. Im November 2021 wurde dort ein Ereignis aufgezeichnet mit einer 500-Jahr Wiederkehrperiode. Die meisten fest-installierten Maßsysteme bei dieser Station wurden während dem Ereignis zerstört – die Kamera des DischargeKeepers jedoch blieb unversehrt, weil sie weit genug weg vom Gewässer an einer Hauswand montiert werden konnte. In Abbildung 1 werden drei verschiedene Pegelstände gezeigt. Ganz links ein relativ normaler Abfluss mit $Q < 10 \text{ m}^3/\text{s}$, in der Mitte ein Zwischenmaximum, $Q \sim 200 \text{ m}^3/\text{s}$ und rechts schließlich der maximal Zustand mit $Q \sim 900 \text{ m}^3/\text{s}$.

Der zweite Fall handelt von einem Ereignis in einem Wadi der Vereinigten Arabischen Emirate (UAE). Wadis sind während der meisten Zeit komplett trocken. Bei den sehr seltenen, aber genauso heftigen Niederschlägen muss dann jedoch mit Flash Floods gerechnet werden. Im April 2021 wurde ein DischargeKeeper System im Wadi Naqab in nördlich UAE installiert. Das Wadi ist ca. 100m breit und war während zwei Jahren komplett trocken. Im Januar 2022 konnte ein erstes solches Ereignis aufgezeichnet werden. Innerhalb von 15 Minuten stieg der Durchfluss von $0 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $78 \text{ m}^3/\text{s}$ mit Fließgeschwindigkeiten von 3 m/s , siehe Abbildung 2.

In unserem Beitrag gehen wir ein auf die besonderen Anforderungen bei solchen Extremsituationen. Insbesondere das Wadi stellt eine Herausforderung dar, weil das eigentliche Messobjekt, das fließende Wasser, während der Installation und während der ersten Kalibrierung abwesend ist. Weiter, werden wir die Chancen erläutern, welche ein kamerabasiertes Messsystem bietet für ein Postprocessing der Peakereignisse.

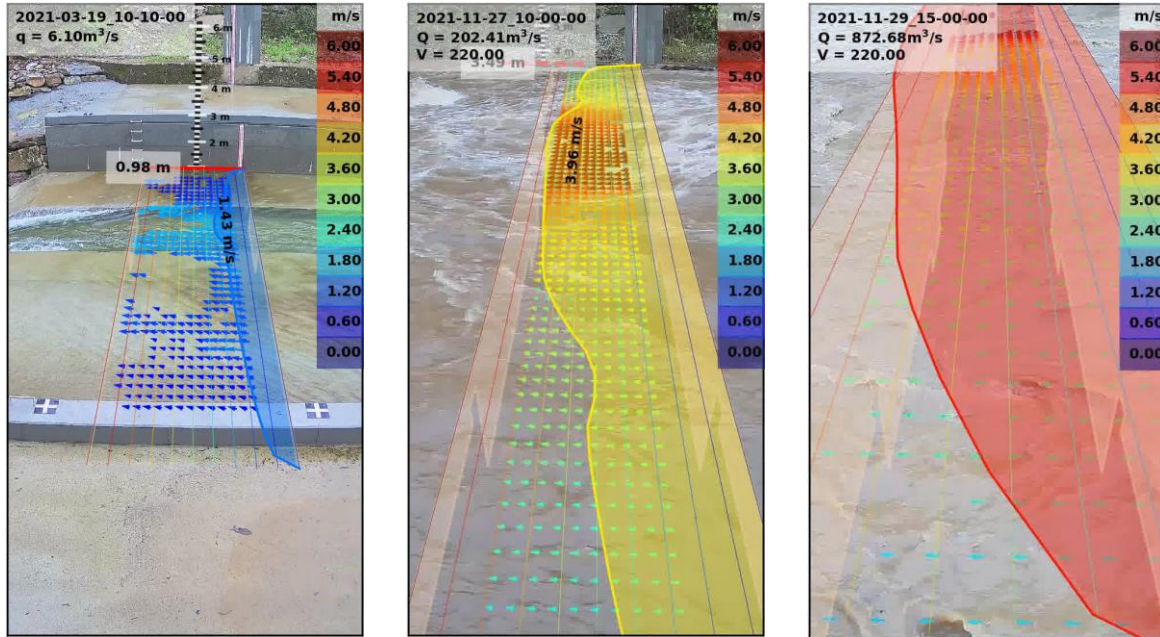


Abbildung 1: Messungen bei unterschiedlichen Abflussregimes

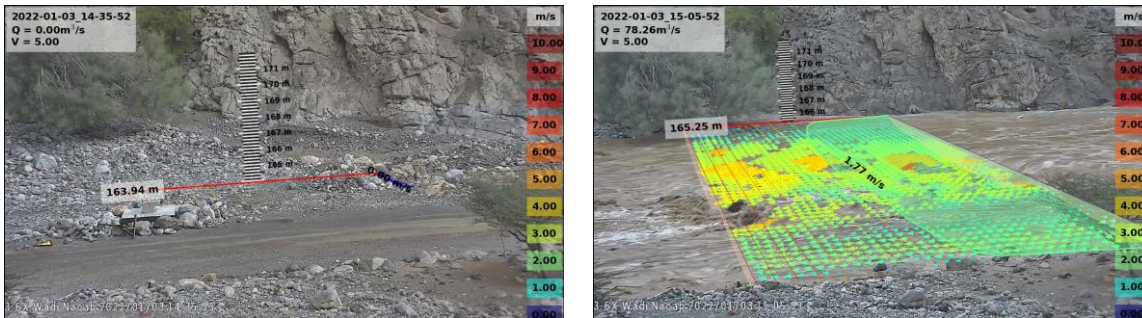


Abbildung 2: DischargeKeeper Messungen in einem Wadi bei Flash Flood

Abflussmesstechnik im Hochwasserereignis

Tim Holst¹, Christian Klein¹, Martin Brinkmann¹

¹Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Fachbereich 51 Hydrologie

Abstract

Pegelschlüsselkurven oder auch Abflusskurven stellen das Verhältnis des Wasserstands zu einem zugehörigen Abfluss an einem definierten Querschnitt dar. Die aus den Abflusskurven resultierenden Informationen werden vielfach genutzt z.B. Hochwasservorhersagesysteme, hydronumerische Modellierung sowie Versicherungsbelange. Das Aufstellen von Schlüsselkurven, insbesondere im nicht durch Abflussmessungen belegten Hochwasserbereich, ist z. T. mit hohen Unsicherheiten behaftet.

Während der Flutkatastrophe im Juli 2021 sind bisherige Methoden der Abflussmessung z.B. mittels ADCP an ihre Grenzen gekommen. Durch den Einsatz mobiler, berührungsloser, optischer Durchflussmessung als zusätzliche oder alleinige Abflussmessmethode konnten dennoch wichtige Informationen zur Bestimmung des Abflusses gewonnen werden. Hierbei wird die Gewässeroberfläche mittels Kamera gefilmt und im Postprocessing Fließgeschwindigkeiten und der Abfluss ermittelt. Die Auswertung sowie Validierung der Ergebnisse zur Plausibilisierung der Abflusskurve wird exemplarisch an Pegeln in Nordrhein-Westfalen aufgezeigt. Darüber hinaus soll aufgezeigt werden, welche Möglichkeiten zur Informationsgewinnung vorhanden sind und wie sie zukünftig genutzt werden können.

Vergleich und Bewertung von Durchflussmessungen nach dem Geschwindigkeits-Flächen-Verfahren in Bezug auf die begrenzte Anzahl von Messlotrechten

Felix Simon¹, Lucas Eckel², Alexander Hartung³ und Christoph Mudersbach⁴

¹Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserwesen, felix.simon@hs-bochum.de

²Emschergenossenschaft/Lippeverband; jetzt: Uni Münster, leckel@uni-muenster.de

³Emschergenossenschaft/Lippeverband, hartung.alexander@eglv.de

⁴Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserwesen, christoph.mudersbach@hs-bochum.de

Abstract

Die Größen Wassertand (W) und Durchfluss (Q) sind ein grundlegender Bestandteil der wasserwirtschaftlichen Praxis und werden für viele wasserwirtschaftliche Aufgaben und Fragestellungen benötigt. So finden diese Größen unter anderem Verwendung in Vorhersagemodellen, werden zur Kalibrierung von hydrodynamisch-numerischen Modellen genutzt und sind grundlegend zur Erstellung und Validierung von Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen (W - Q -Beziehungen). Zur Bestimmung des Durchflusses ist es notwendig Durchflussmessungen durchzuführen, wofür verschiedene Methoden zur Verfügung stehen (Morgenschweis 2018).

Die DIN EN ISO 748 (2022) regelt für stangengeführte Durchflussmessungen die Messverfahren, die Berechnung des Durchflusses mittels der Geschwindigkeits-Flächen-Methode sowie die Bestimmung der Unsicherheiten von Durchflussmessungen. Es hat sich gezeigt, dass bei der Berechnung der Messunsicherheit die Anzahl der verwendeten Messlotrechten einen sehr großen Anteil an der Gesamtunsicherheit einer Durchflussmessung besitzt (Morgenschweis 2018; Despax et al. 2016). Hierbei wird weder die Gewässerform noch ein mögliches Verhältnis zwischen Anzahl der Messlotrechten zur Gewässerbreite berücksichtigt. Die Unsicherheit einer Durchflussmessung ist ein wichtiger Indikator und sollte in wasserwirtschaftlichen Fragestellungen, wie beispielsweise der Bestimmung von Hoch- und Niedrigwasserkennwerten berücksichtigt werden (Simon et al. 2021).

Um den Einfluss der Anzahl der Messlotrechten auf den gemessenen Durchfluss zu ermitteln, wurden an vier Pegeln Durchflussmessungen durchgeführt und systematisch ausgewertet. An jedem Pegel wurde zunächst eine Messung mit einer hohen Messlotrechtenanzahl durchgeführt. Anschließend wurden mit der Software Q die Messlotrechten bis auf ein Minimum reduziert und jeweils die Abweichung zur Ursprungsmessung als auch die Messunsicherheit bestimmt.

Es zeigt sich, dass die Messabweichung und die berechnete Messunsicherheit mit Abnahme der Lotrechtenanzahl einen deutlich unterschiedlichen Verlauf haben. Die Messabweichung nimmt deutlich weniger stark zu als die Messunsicherheit. Es lassen sich weitere Rückschlüsse über Gewässer- bzw. Querschnittsform und der Messabweichung ziehen. Die Ergebnisse der Untersuchung an diesen vier Pegeln deuten darauf hin, dass die Messunsicherheit anhand der begrenzten Anzahl an Messlotrechten zu hoch eingeschätzt wird und dementsprechend korrigiert werden müsste.

Literatur

- Despax, Aurélien; Perret, Christian; Garçon, Rémy; Hauet, Alexandre; Belleville, Arnaud; Le Coz, Jérôme; Favre, Anne-Catherine (2016): Considering sampling strategy and cross-section complexity for estimating the uncertainty of discharge measurements using the velocity-area method. In: *Journal of Hydrology* 533, S. 128–140. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.11.048.
- DIN EN ISO 748:2022 (2022): Hydrometrie. Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Fließgeschwindigkeitsmessgeräten (ISO 748:2021).
- Morgenschweis, Gerd (2018): Hydrometrie. Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen. 2. Auflage. Berlin: Springer Vieweg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/subgoettingen/detail.action?docID=5255553>.
- Simon, Felix; Oestermann, Florian; Netzel, Fabian; Mudersbach, Christoph (2021): Unsicherheitsbetrachtung von Durchflussmessungen und deren Auswirkungen auf Hoch- und Niedrigwasserkennwerte. In: *Wasserwirtschaft* 111 (7-8), S. 30–33. DOI: 10.1007/s35147-021-0866-8.

IoT Gewässergüte Monitoring mittels KI-basierter Hauptionenzerlegung aus Leitfähigkeitsdaten im Erft Einzugsgebiet

Marcel Delker, Benjamin Mewes, Daniel Bittner

¹TerraTransfer GmbH

²Okeanos Smart Data Solutions GmbH

³Erftverband

Die Anforderungen an das Monitoring von Wassermengen und Wassergüte werden immer größer, was häufig mit steigenden Kosten für Laboranalysen und umfangreicher Sensorik einhergeht. Umgekehrt wird aber selten der volle Informationsgehalt bereits erhobener Parameter zur Gänze analysiert (Nationale Wasserstrategie des Bundes). Die *elektrische Leitfähigkeit* (englisch: electrical conductivity, EC) ist ein solcher Parameter, welcher die Summe der im Wasser gelösten Ionen widerspiegelt und gleichzeitig ein integriertes Signal des Abflussgeschehens darstellt. Studien haben gezeigt, dass es unter fallspezifischen Randbedingungen möglich ist, EC sowohl als Proxy für den Abfluss (Cano-Paoli et al. 2019), als auch zur Ermittlung kontinuierlicher Zeitreihen der im Wasser gelösten Hauptionen (wie z.B. Calcium, Magnesium, Nitrat, Sulfat und Chlorid) zu nutzen (Benettin und van Breukelen 2017). Ein Proxy ist eine Art Hilfsmessung, die einfacher durchzuführen ist als die eigentliche Messung und somit schneller und kostengünstiger umzusetzen ist. Diese Messwertumformung kann automatisch innerhalb der Datenaufnahme ohne Zuarbeit durch den Anwender durchgeführt werden und liefert dem Nutzer direkt den gewünschten Zielwert in ein Dashboard oder eine Datenbank.

Um aus der elektrischen Leitfähigkeit eine hydrochemische Signatur zu bestimmen, wird eine Modell-basierte Messwertumformung auf Basis eines hybriden Modells, bestehend aus physikalisch-chemischem Modell und künstlicher Intelligenz, benötigt. Dabei wird ein neuronales Netz zwischen Sensor und Nutzer generiert, um von den gemessenen Rohwerten auf den Zielwert zu schließen.

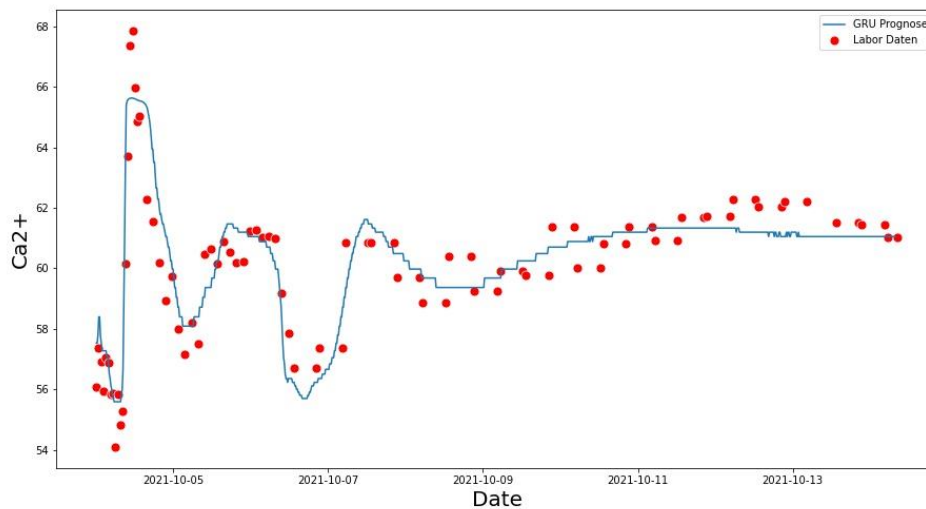


Abbildung 3: KI-basierte Hauptionenzerlegung aus täglichen EC-Messwerten.

In dieser Studie zeigen wir die Entwicklung eines KI-gesteuertes Systems, welches die gemessenen Wasserstands- und EC-Daten online in kontinuierliche Abfluss- und hydrochemische Signaturen umwandelt. Am Beispiel des Einzugsgebiets der oberen Erft zeigen wir, dass das System eine flächendeckende und kostengünstige Ergänzung zur kontinuierlichen Betrachtung des ökologischen Zustands eines Gewässers darstellt (siehe Abb. 1). Das resultierende IoT-Sondenprodukt ist in der Lage, auch ohne bauliche Veränderungen am Gewässer oder an der Sensorik unterschiedliche hydrochemische Parameter zu erfassen, zu überwachen und somit den Ansprüchen eines modernen Gewässergütemonitorings gewahr zu werden.

Literatur

Nationale Wasserstrategie des Bundes: <https://www.bmu.de/download/nationale-wasserstrategie/>

Cano-Paoli, Chiogna & Bellin (2019): <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.166>

Benettin & van Breukelen (2017): <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00472>

Kürzestfrist-Niederschlagsvorhersagemodell von Starkregen mithilfe von KI-Verfahren im Forschungsprojekt KIWaSuS

Juliana Koltermann da Silva¹, Benjamin Burrichter² und Markus Quirnbach³

¹Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau, Juliana.KoltermannDaSilva@hs-ruhrwest.de

²Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau, Benjamin.Burrichter@hs-ruhrwest.de

³Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau, Markus.Quirnbach@hs-ruhrwest.de

Einführung

Eine verheerende Folge des Klimawandels ist die Erhöhung der Wiederkehrhäufigkeit und der Niederschlagsintensitäten von extremen Ereignissen, wie eine Attributionsstudie zum Ereignis im Juli 2021 darauf hinweist (Kreienkamp et al. 2021). Starkregenereignisse zeichnen sich durch eine hohe Dynamik aus, und besonders in urbanen Gebieten können diese Ereignisse innerhalb von wenigen Stunden zu kanalinduzierten Überflutungen führen. Dieser Hintergrund fordert realitätsnähere Kurzestfrist-Niederschlagsvorhersagen (Nowcasting), die die Vorwarnzeit und Genauigkeit von Starkregenereignissen und demzufolge urbanen Sturzfluten erhöhen können.

Um dieser Problematik zu entgegnen, wird im Rahmen des Forschungsprojekts KIWaSuS (KI-basiertes Warnsystem vor Starkregen und urbanen Sturzfluten) ein Kurzestfrist-Niederschlagsvorhersagemodell mit Einsatz von Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) entwickelt. Ziel ist es, die Vorhersagegenauigkeit gegenüber herkömmlichen Niederschlagsvorhersagemodellen zum Nowcasting zu verbessern.

Methodik

Radardaten vom DX-Produkt des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2016) für den Radarstandort Essen werden als Eingabe in das KI-Modell gegeben, um die künftigen zwölf Radarbilder (Vorhersagehorizont von einer Stunde) vorherzusagen. Die Roh-Radardaten werden um Boden- und Festzielechos sowie um Dämpfungseffekte korrigiert und in ein Rasterformat umgewandelt, bevor sie als Eingabe in das KI-Modell einfließen. Das KI-Modell muss für die Aufgabe trainiert werden, Muster in der Entwicklung der Starkregenzellen zu erlernen. Dazu werden ausführlich aufbereitete Radardaten als Zielgröße für das Modelltraining verwendet. Diese Daten liegen für das Land Nordrhein-Westfalen vor und sind das Ergebnis des DX-Offline-Projekts (Treis et al. 2016).

Als erste Modellarchitektur wurde ein reines Convolutional-Modell aufgebaut. Das KI-Modell basiert auf dem All Convolutional Model von Ayzel et al. (2019a). Allerdings wurde die Anzahl von Filtern pro Schicht erhöht und Faltungsstrukturen für 3D-Daten statt für 2D-Daten angewandt, um an das Datenformat anzupassen. Außerdem werden für jeden Prognosestartpunkt Prognosen für die kommende Stunde generiert und nicht nur für den nächsten 5-Minuten-Zeitschritt.

Ergebnisse und Ausblick

Das KI-Modell wurde für 50 Epochen trainiert und für ein Starkregenereignis im Juli 2014 mit den Ergebnissen aus einem herkömmlichen Kurzestfrist-Niederschlagsmodell (Baseline Modell) verglichen. Als Baseline

Modell wurde das DenseRotation-Modell des Pakets rainymotion (Ayzel et al. 2019b) ausgewählt, welches eine reine Translation der Regenzellen für die Niederschlagsvorhersage durchführt.

Das erste im Forschungsprojekt KIWaSuS entwickelte KI-Niederschlagsvorhersagemodell kann bessere Ergebnisse als das Translation-Modell ab einem Vorhersagehorizont von 20 Minuten nach dem MAE (Mean Absolute Error) liefern, wie in Abbildung 1 (links) gezeigt wird. Mit dem Critical Success Index (CSI) wird die Vorhersagegenauigkeit der Prognosen je nach Schwellenwert analysiert. Hier werden unterschiedliche Werte zur Niederschlagsintensität (R) gewählt, die einen Vergleich der Ergebnisse von beiden Modellen nach diesem Parameter und dem Vorhersagehorizont ermöglichen. Das KI-Modell kann seine Vorhersage-Leistung bis zu einem Vorhersagehorizont von 35 Minuten beibehalten, gegenüber den Ergebnissen des Translation-Modells, die konstant absteigende Kurven für den CSI zeigen (Abbildung 1, rechts).

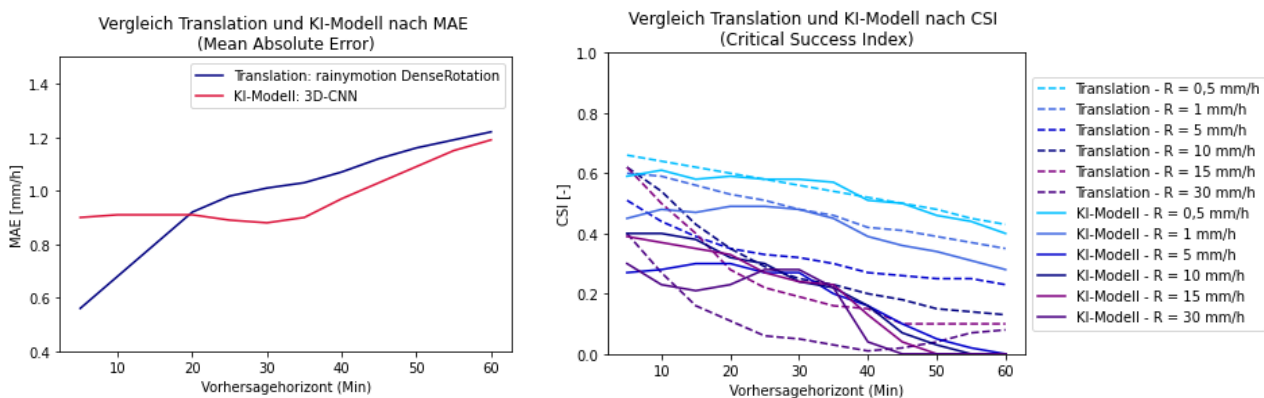


Abbildung 1: Vergleich der Ergebnisse vom KI-Modell gegenüber einem herkömmlichen Modell zum Nowcasting

Das KI-Modell soll weiter optimiert werden, um die Vorhersagegenauigkeit über den gesamten Vorhersagehorizont von einer Stunde zu erhöhen. Zudem werden andere Modellarchitekturen getestet, um so eine hinreichend genaue Vorhersage von hohen Niederschlagsintensitäten für die kommenden zwei Stunden zu erreichen.

Literatur

- Ayzel, G., Heistermann, M., Sorokin, A., Nitikin, O., Lukyanova, O. (2019a): All convolutional neural networks for radar-based precipitation nowcasting. In: *Procedia Computer Science* 150, S: 186–192.
- Ayzel, G., Heistermann, M., Winterrath, T. (2019b): Optical flow models as an open benchmark for radar-based precipitation nowcasting (rainymotion v0.1). In: *Geosci. Model Dev.* 12, S. 1387–1402, DOI: <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1387-2019>.
- Deutscher Wetterdienst (2016): Standortprodukt DX – Informationen zum Standortprodukt DX. Online verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/radarprodukte/standortprodukt_dx.html, zuletzt geprüft am 01.03.2022.
- Kreienkamp, F., Philip, S.Y., Tradowsky, J.S., Kew, S.F., Lorenz, P., Arrighi, J., et al. (2021): Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021. In: *World Weather Attribution*. Online verfügbar unter: <https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/Scientific-report-Western-Europe-floods-2021-attribution.pdf>.
- Treis, A., Einfalt, T., Weigl, E., Keller, T., Gattke, C., Kaiser, M., et al. (2016): Kombination hochaufgelöster Radarniederschlagsinformationen und terrestrischer Ombrometerdaten – Ergebnisse des DX-Offline Projektes der Wasserverbände NRW mit dem Deutschen Wetterdienst. In: *KW - Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 9 (4), S. 233–242.

Auf dem Weg zu besseren Wasserstand-Durchfluss Beziehungen

Henning Ooppel¹, Alexander Hartung², Juliane Neumann³ und Benjamin Mewes⁴

¹Okeanos Smart Data Solutions GmbH, henning.oppel@okeanos.ai

²EmscherGenossenschaft/Lippeverband, hartung.alexander@eglv.de

³Okeanos Smart Data Solutions GmbH, juliane.neumann@okeanos.ai

⁴Okeanos Smart Data Solutions GmbH, benjamin.mewes@okeanos.ai

Die qualitätsgesicherte Erfassung von Wasserstand-Durchfluss (W-Q) Beziehungen hat in der Hydrometrie eine sehr weitreichende Bedeutung und ist die Grundlage vieler nachfolgender Analysen und Modellierungen inklusive der Hochwasservorhersage. Im operativen Alltag eines Messnetzbetreibers wird nicht unerheblich Personalkapazität (gleichbedeutend mit Zeit und Geld) für die kontinuierliche Überprüfung und Aktualisierung der W-Q Beziehungen aufgebracht. Aus Sicht der Datenqualität ist dies unerlässlich, in der Praxis wird man diesen Ansprüchen nicht immer gerecht.

Um den Einsatz für Durchflussmessungen so effizient wie möglich zu gestalten, wurde bei EmscherGenossenschaft und Lippeverband schon vor über 10 Jahren ein Programm zur Prognose von notwendigen Durchflussmessungen entworfen. Im Bereich von NQ bis HQ wird die Belegung der W-Q Beziehung mit Durchflussmessungen überprüft und anhand der vorhergesagten Wasserstandganglinie für die kommenden 7 Tage werden Vorschläge für sinnvolle Durchflussmessungen gegeben. Dieses DDP (discharge decision program) war mehrere Jahre im Einsatz, konnte aber aufgrund der begrenzten Hochwasservorhersage nur für die Hauptläufe Emscher und Lippe eingesetzt werden. Mit der Erweiterung der Hochwasservorhersage für die Nebenläufe ist eine Überarbeitung dieses Programms vorgesehen.

Weiterhin wurde bereits 2021 auf dem Bochumer Hydrometrie-Kolloquium eine Methode zur kontinuierlichen Anpassung von W-Q Beziehungen vorgestellt. Ausgehend von den Voruntersuchungen wurde in 2021 mit dem Aufbau einer Plattform für die kontinuierliche Überwachung von W-Q-Beziehungen aller Pegel an Emscher und Lippe begonnen. Für jeden angelegten Pegel wird auf der Plattform kontinuierlich eine hydrologische Simulation mitgeführt und in einem Kontrollobjekt werden dann Simulations- und Messergebnisse miteinander verglichen. Durch diese regelmäßige Kontrolle sollen langsame Veränderungen der W-Q Beziehung, bspw. durch Versandung, Verkräutung oder Erosion detektiert werden. Über die Plattform werden dann die entstehenden Veränderungen gemeldet, damit gezielte Maßnahmen an den betroffenen Standorten eingeleitet werden.

Neben den möglichen Veränderungen im Querschnitt einer Pegelstation wurden weitere potentielle Fehlerquellen von W-Q Beziehungen betrachtet. Zum einen wurde untersucht, ob Machine Learning Algorithmen den instationären Charakter gemessener W-Q Datenpaare aufgrund von Hysterese-Effekten abbilden. Hierbei hat sich die Anwendung eines Random-Forest (RF) Algorithmus als geeignet herausgestellt, der als Prädiktoren den aktuellen Wasserstand sowie den Wasserstandverlauf im Vorfeld des aktuellen Zeitpunktes berücksichtigt. Die Auswertung zeigt, dass eine RF-W-Q Beziehung im Vergleich zu einer klassischen Polynom-W-Q Beziehung einen geringeren Fehler vor allem im Mittelwasser- und im Hochwasserbereich aufweist.

Zum anderen sollten saisonale Fehler wie die Verkräutung des Messquerschnittes ausgeglichen werden. Auch hier wurden verschiedene Methoden getestet, um den durch das Pflanzenwachstum verursachten Anstieg der

Wasserstände zu schätzen und somit die Durchflussberechnung zu korrigieren. Als beste Methode erwies sich ein LSTM (long short term memory), ein neuronales Netz mit Erinnerungsfunktion, das vorrangig zur Simulation von Zeitreihen eingesetzt wird. Zwar konnte das LSTM sehr gut den Einfluss der Wasserpflanzen auf den Wasserstand reproduzieren, doch gerade die Bereitstellung geeigneter Trainingsdaten, dies sind in diesem Fall Wasserstanddaten ohne Einfluss von Bewuchs, erwies sich als besondere Herausforderung. Dazu bedarf es einer eigenständigen Methodik, die noch zu entwickeln bleibt.

In beiden Entwicklungsfeldern wurden trotz der erzielten guten Ergebnisse weitere Herausforderungen sichtbar. Dazu zählt die Frage nach der Übertragbarkeit von RF-W-Q Beziehungen und wie diese an Standorten ohne vorliegende instationäre Messdaten trainiert werden können, oder mit welcher Methodik eine einheitliche Grundlage für die Berechnung des Wasserstandanstieges durch Verkräutung geschaffen werden kann.

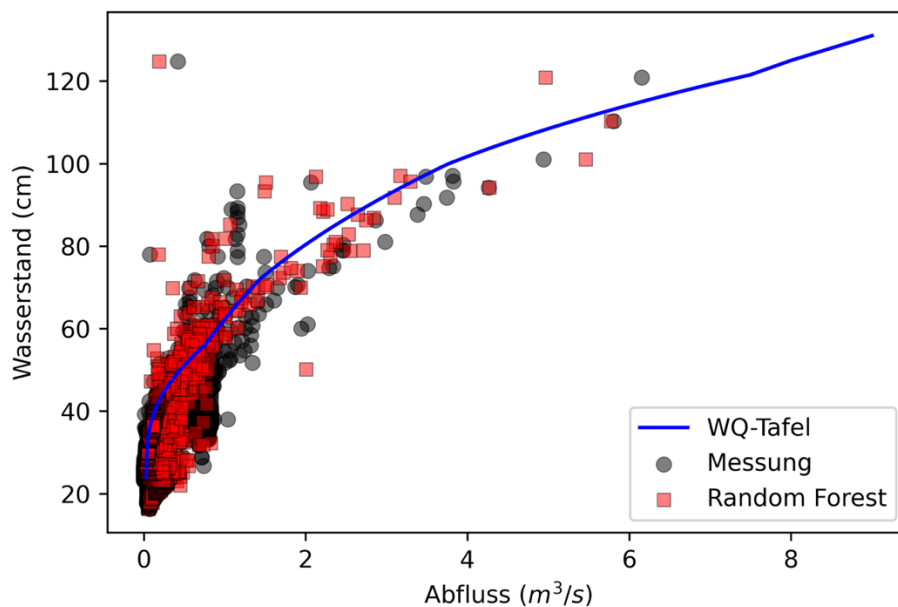


Abbildung 1: Wasserstand und Abfluss am Pegel Dortmund-Dorstfeld (Kreise), Emscher, sowie eine per Polynom (blaue Linie) und eine per Random Forest (Kästchen) erstellte Wasserstand-Abfluss-Beziehung

Starkregenmonitoring mittels Sensorschwärmen in kleinen und mittleren Einzugsgebieten und KI-basierter Zugprognose als Ergänzung zu Niederschlagsradarsystemen

Andreas Bosel¹, Benjamin Mewes², Alexander Buddrick¹, Henning Ooppel²

¹NIVUS GmbH

²Okeanos Smart Data Solutions GmbH

Abstract

Starkregenereignisse sind extreme Unwetterereignisse mit großen Niederschlagsmengen, die in der Regel sowohl räumlich als auch zeitlich diskontinuierlich verteilt sind und häufig eng mit zerstörerischen Wirkungen (z.B. Überschwemmungen von Fluss- und Siedlungsgebieten) vorkommen. Aufgrund der schnelllebigen Eigenschaften und der starken Raum-Zeit-Variabilität, ist weder die Lokalisierung noch die Prognose der Verlagerung von außergewöhnlichen Starkniederschlägen mit den klassischen Wetter- und Klimavorhersagemodellen ausreichend präzise genug. Numerische Wettervorhersagemodelle können aufgrund des hohen Rechenaufwands, der für eine Simulation von kurzlebigen und kleinräumigen Prozessen notwendig ist, keine zuverlässigen Prognosen für kurze Prognosezeiträume liefern. Um die Zugrichtung einer Starkregenzelle prognostizieren zu können, ist daher ein quantitatives Niederschlags-Nowcasting notwendig.

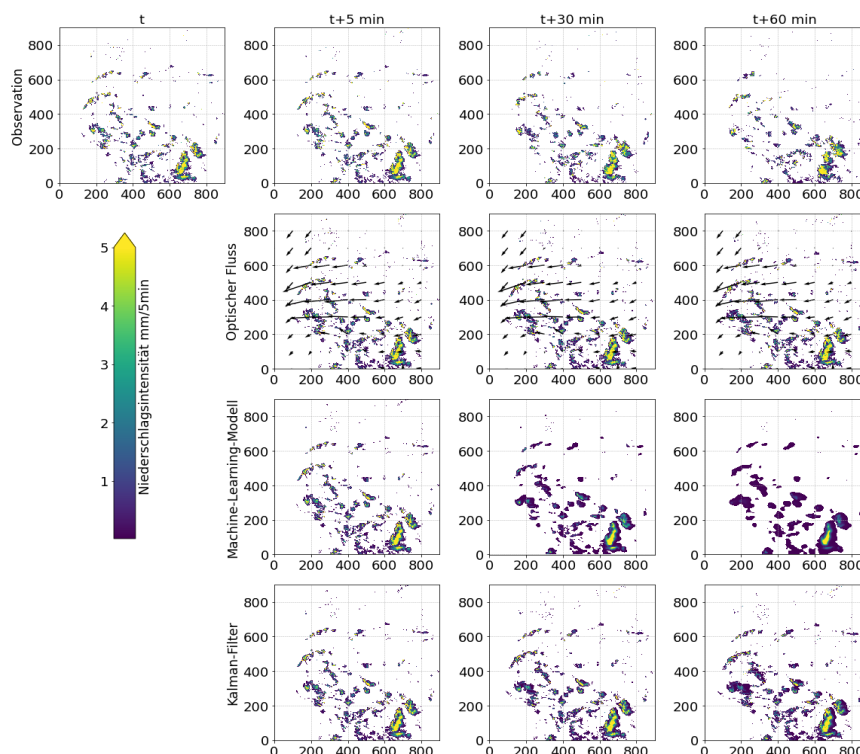


Abbildung 4: Prognostizierte Niederschlagsbewegung von kleinzelligen Starkregenzellen.

In dieser Studie zeigen wir den Aufbau von IoT-Sensorschwärmen in Kombination mit einer KI-basierte Niederschlagsprognose für klein bis mittelskalige Einzugsgebiete. Anhand zweier Praxisbeispiele von Pilotkommunen vermitteln wir einen Eindruck wie ein solches Sensornetz ausgelegt und vor Ort installiert wird. Besonderes Augenmerk wird auf die Besonderheiten im Strom- und Datenmanagement gelegt, um die auflaufenden Niederschlagsdaten zu verarbeiten. Es wird gezeigt, wie großskalig zeitlich diskontinuierliche Punkt-Niederschlagsmessdaten in Echtzeit normalisiert, plausibilisiert und KI-gestützt verarbeitet werden. Die entstehenden räumlichen Niederschlagsinformationen werden zur weiteren Interpretation und Verarbeitung auf einer interoperablen Datenplattform zur Nutzung in verschiedenen Use Cases wie dem Starkregenmonitoring und industriellen Schnittstellen bereitgestellt.

Starkregenvorsorge und Klimaanpassung – Entwicklung eines Vorhersage- und Warnsystems für Kommunen

Prof. Dr. -Ing. Alpaslan Yörük¹, Hendrik Burkamp², Volker Mißler³, Dr.-Ing. Oliver Buchholz⁴

¹ Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Wasserbau und Wasserwirtschaft, alpaslan.yoeruek@htwsaar.de

²Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, hendrik.burkamp@hydrotec.de

³Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Wasserbau und Wasserwirtschaft, volker.missler@htwsaar.de

⁴Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, oliver.buchholz@hydrotec.de

Erhöhung der Klimaresilienz in Städten und Kommunen

Viele Städte und Kommunen nehmen die Starkregenvorsorge, initiiert durch die verheerenden Hochwasser im Juli 2021, aktiv in Angriff, indem sie Starkregen-Gefahrenkarten und -Handlungskonzepte erarbeiten lassen. Als ein wesentlicher nächster Schritt wird oft ein kommunales Vorhersage- und Frühwarnsystem für Starkregen und Überschwemmungen gewünscht, um kurzfristig und gezielt durch Warnung, Evakuierung, Aufbau mobiler Schutzelemente, etc. reagieren zu können.

Starkregenvorhersage basierend auf Messsystem mit LoRaWAN-Übertragung

Die htw saar und Hydrotec entwickeln ein Starkregenwarnsystem für Kommunen, das Mess- und Vorhersagedaten mit hydronumerischer Modellierung kombiniert.

Es sieht zwei Betriebsstufen vor.

In der Stufe 1 sollen Warnungen allein auf Grundlage von DWD-Daten sowie bestehender Messsysteme im Einzugsgebiet erfolgen. Sensoren erfassen bspw. kontinuierlich Niederschlagsdaten bzw. Wasserstände an charakteristischen Punkten im Einzugsgebiet und senden diese Informationen per LoRaWAN an das Vorhersagesystem auf Basis von Delft-FEWS. Werden definierte Grenzwerte überschritten, erfolgt eine Alarmierung mit der entsprechenden Warnstufe.

Ergänzend soll die Stufe 2 in Betrieb gehen, indem ein rechenzeit-optimiertes 2D-hydronumerisches Modell des Vorhersagegebiets in das Frühwarnsystem implementiert wird. Das 2D-Modell wird dazu mit relevanten Randbedingungen (Vorfeuchte, Landnutzung, Bodentyp, etc.) vorgehalten und mit Niederschlägen (Vorhersage oder aktuelle Messwerte) belastet.

2D-Modell berechnet Starkregenszenarien

Das 2D-Simulationsmodell wird in das Delft-FEWS integriert. Es berechnet laufend aus den eingehenden Wetterdaten und Messwerten sowie aus den DWD-Vorhersagedaten mögliche Starkregenszenarien und die daraus folgenden Überschwemmungen.



Abbildung 1: Komponenten und Datenflüsse des Starkregenvorhersagesystems für Kommunen

Informationen per App und Internet verfügbar machen

Die generierte Warnmeldung lässt sich u. a. per Warn-App an die Bürgerinnen und Bürger verteilen, was eine einfache und breite Streuung der Information ermöglicht. Zusätzlich versetzt es die Kommune in die Lage, schnell Mitarbeitende und Einsatzkräfte zu informieren und ggf. analoge Warnsysteme wie Sirenen auszulösen.

Auf einer internen Internetseite kann die Kommune die aktuellen Ergebnisse der Simulationsszenarien dynamisch abrufen wie in einem Dashboard. Die zeitliche Entwicklung des Hochwassers lässt sich darin mit einem integrierten Zeitregler abbilden. Zusätzlich stellt es die aktuellen und vorhergesagten Messwerte grafisch dar.

Zusätzlich sollen die Verantwortlichen über die Internetseite ad hoc Maßnahmen interaktiv definieren und deren Auswirkung mithilfe einer Neuberechnung analysieren können.

Auf Grundlage der daraus gewonnenen Erfahrungen lassen sich die Kriterien für die Warnstufen sowie der Warnmeldetexte kontinuierlich anpassen, um schließlich ein optimal für die Kommune angepasstes Vorhersagesystem in Betrieb zu halten.

Niederschlagsdaten von Persönlichen Wetterstationen: Wie unterscheiden sich diese Daten von Standardmessungen?

Thomas Einfalt¹, Jochen Seidel², Abbas El-Hachem², András Bárdossy², Micha Eisele², Markus Jessen¹ und Adrian Treis³

¹hydro & meteo GmbH, einfalt@hydrometeo.de

²Universität Stuttgart, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung, jochen.seidel@iws.uni-stuttgart.de

³Emschergenossenschaft und Lippeverband, Hochwasserinformationssystem und Hydrometeorologie; Treis.Adrian@eglv.de

Persönliche Wetterstationen (PWS), die unter andern auch Niederschläge aufzeichnen, sind in Deutschland und anderen Ländern weit verbreitet. Diese Daten werden aber von der Wasserwirtschaft zur Zeit wenig beachtet. Wir sind folgenden Fragen nachgegangen:

- wie können die Daten verwendbar gemacht werden?
- wie sind die Unterschiede zu Daten aus herkömmlichen Messungen der nächstgelegenen Station(en)?
- wie sind die Unterschiede zur Radarmessung?
- können die Daten einen Beitrag zur Messnetzverdichtung oder Radaraneichung leisten?

Im Gebiet der Emschergenossenschaft (865 km²) und des Lippeverbandes (3280 km²) gibt es 85 Stationen der beiden Wasserverbände und etwa 1300 PWS der Firma Netatmo. Diese deutlich höhere Datendichte birgt deshalb ein Potential zu einer verbesserten Niederschlagsinformation, falls die Daten eine genügend gute Qualität aufweisen. Eine detaillierte Beschreibung der Funktionsweise und Datenübertragung der Netatmo PWS findet sich in de Vos et al. (2019). Die PWS Daten liegen in einer zeitlichen Auflösung von ca. 5 Minuten vor. Das hier verwendete Filterverfahren ist jedoch für eine zeitliche Auflösung von 1 Stunde konzipiert, da bei höheren zeitlichen Auflösungen u.a. die Advektion mitberücksichtigt werden müsste. Daher wurden für diese Untersuchung sowohl die DWD und ELGV Niederschlagswerte, als auch die PWS Daten zu 1-stündigen Summen aggregiert.

PWS werden von Privatpersonen installiert, so dass nicht gewährleistet ist, dass die Aufstellungsbedingungen den nationalen Standards für die Niederschlagsmessung entsprechen (siehe DWA A-530, 2011; VDI, 2010). Auch entsprechen das Messprinzip und die erzielbare zeitliche Auflösung nicht notwendigerweise den genannten Standards. Aus diesen Gründen ist nicht zu erwarten, dass die PWS Daten eine ähnlich gute und gleichbleibende Qualität aufweisen. Allerdings ist es sinnvoll, die in den qualitativ weniger verlässlichen Daten enthaltene, räumlich dichtere Information zu nutzen.

Die hier vorgestellte Untersuchung vergleicht Netatmo-Daten (<https://weathermap.netatmo.com/>) über den Zeitraum 2017 - 2020 mit Stationsdaten der EGLV und angeeichten Radardaten des NRW-Komposits (DX-Offline-Produkt des Landes und der Wasserverbände; Treis et al., 2016). Die Eingangsprüfung der Netatmo-Daten ergab über eine Indikator-Korrelation (Bárdossy et al. 2021), dass etwa 65% der PWS verlässlich genug für eine weitere Auswertung sind. Die weitere Vorbereitung der Stationen erfordert eine Bias-Korrektur über Quantil-Mapping und einem Event Filter, um Stationen zu identifizieren, die zwar eine gute Indikator-Korrelation aufweisen, aber für einzelne Ereignisse fehlerhafte Daten zeigen (Bárdossy et al. 2021).

Die so vorgeprüften und korrigierten Daten wurden dann mit den jeweiligen Nachbarstationen verglichen auf die Parameter Jahresniederschlagsmenge, Jahresniederschlagsdauer, Abweichungen in der Tagessumme sowie die Extremwerte für die Dauerstufen 60 Minuten und 24 Stunden.

Darüber hinaus werden für mehrere Dutzend Gebiete gebietsbezogene Niederschläge erstellt und mit den entsprechenden Niederschlägen aus Stationen bzw. angeeichten Radardaten (DX-Offline-Produkt) verglichen. Auch hier sind wesentliche Prüfparameter die Jahresniederschlagsmenge, die Abweichungen in der Tagessumme und die maximalen Tages- und Stundenwerte.

Es werden Aussagen erwartet für die erforderliche Netzdichte bei verschiedenen, auch kleinräumigen Ereignissen, für die Nutzbarkeit der Daten für die Radaraneichung und, beispielhaft, für die Möglichkeit der Unterstützung bei der Lückenfüllung von Stationen. Darüber hinaus wird ermittelt, welche Messnetzdichte für die Aneichung von Radardaten optimal ist – hierfür bieten die Netatmo-Stationen ebenfalls ein gutes Testfeld.

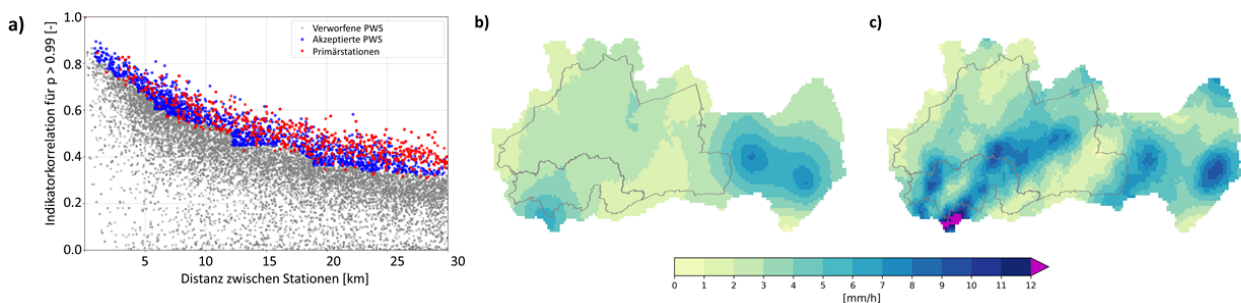


Abbildung 1: a) Indikatorkorrelationen der DWD und EGLV Stationen (rot) sowie die akzeptierten (blau) und verworfenen PWS (grau), b) Interpolation eines 1h Niederschlags mit DWD Stationen, c) Interpolation desselben Niederschlags zusätzlich mit gefilterten PWS.

Literatur

- de Vos, L., Leijnse, H., Overeem, A., & Uijlenhoet, R. (2019). Quality control for crowdsourced personal weather stations to enable operational rainfall monitoring. *Geophysical Research Letters*, 46, 8820–8829
- 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.
- Bárdossy, A., Seidel, J., & El Hachem, A. (2021). The use of personal weather station observations to improve precipitation estimation and interpolation. *HESS*, 25, 583–601. <https://doi.org/10.5194/hess-25-583-2021>
- DWA (2011) Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: Arbeitsblatt DWA-A 530. Beobachteranleitung für nebenamtliche Niederschlagsstationen Nst (A) und Nst (k) (BAN). Hennef (DWA-Regelwerk, A 530).
- VDI (2010) VDI Umweltmeteorologie – Meteorologische Messungen: Niederschlag. VDI 3786 Blatt 7, 44 Seiten.

Messung der Infiltration bei kurzen Starkregenereignissen – Untersuchung verschiedener Versuchsdurchführungen mit dem Labor-Lysimeter

Jannis Valldorf¹ und Andreas Schlenkhoff²

¹Bergische Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Wasserwirtschaft und Wasserbau valldorf@uni-wuppertal.de

²Bergische Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Wasserwirtschaft und Wasserbau schlenkh@uni-wuppertal.de

Abstract

Die Abbildung der Infiltration in 2D-Oberflächenabfluss-Simulationen ist ein wichtiger Bestandteil, um möglichst realitätsnahe Wassertiefen zu generieren. Insbesondere im Kontext von kurzen Starkregenereignissen sind gängige Ansätze aus der Literatur mit einer signifikanten Unsicherheit behaftet. Um diese Unsicherheiten auszugleichen, können gezielte Feldversuche sinnvoll sein. Dabei verfolgen verschiedenste herkömmliche Feldversuche entweder andere Ziele oder sind in Aufbau und Durchführung aufwendig, sodass die Möglichkeit für systematische Untersuchungen oder eine Durchführung im Rahmen einer Modelloptimierung begrenzt sind.

Der verbreitete, leicht durchzuführende, Doppelring-Infiltrationsversuch (nach DIN 19682-7), hat beispielsweise hinsichtlich von Starkregenereignissen systematische Schwächen. In diesem Versuch wirkt stets eine Wassersäule auf den Boden und die während des Befüllens wirkende Anfangsinfiltration wird nicht gemessen.

Um zu untersuchen, welchen Einfluss der Versuchsaufbau des Doppelring-Infiltrationsversuchs auf die Infiltrationsergebnisse hinsichtlich von kurzen Starkregenereignissen hat, wird ein Labor-Lysimeter entwickelt. In einen drainierten Kasten wird eine gestörte Bodenprobe eingebaut. Es ist möglich einen Oberflächenabfluss zuzulassen, sowie den Boden mit einer Wassersäule, analog zum Doppelring-Infiltrationsversuch, zu belasten. Der gesamte Versuchsaufbau wird kontinuierlich gravimetrisch gemessen. Es wird sowohl das Wasser gemessen, mit welchem der Versuchsaufbau beaufschlagt wird, als auch das Wasser, welches den Versuchsaufbau oberflächlich oder über die Drainage verlässt. Der Versuch kann über eine gravimetrisch arbeitende Steuerung auch mit definierten Regenereignissen beliebiger, variabler Intensitäten beaufschlagt werden. Mit dem Labor-Lysimeter werden drei verschiedene Versuchsdurchführungen gefahren.

Die erste Versuchsdurchführung wird an den Versuch des Doppelring-Infiltrationsversuchs angelehnt. Ein oberflächlicher Abfluss wird verhindert. Der Boden wird somit, analog zum Doppelring-Infiltrationsversuch, stets mit einer fünf bis zehn Zentimeter hohen Wassersäule belastet und die Infiltrationsparameter abgeleitet.

Im zweiten Versuch wird der Oberflächenabfluss verhindert. Anstatt den Boden mit einer Wassersäule zu beaufschlagen, wird der Boden mit den variablen Niederschlagsintensitäten beaufschlagt. In diesem Fall wurde das Wuppertaler Starkregenereignis von 2018 verwendet. Es wird die entstehende Wassersäule, sowie das infiltrierende Wasser gemessen. Aus den Messergebnissen werden abermals Infiltrationsparameter abgeleitet.

Zuletzt wird ein Oberflächenabfluss zugelassen und der Bodenkörper abermals mit dem Starkregenereignis von 2018 beaufschlagt. Es wird das infiltrierende, sowie oberflächlich abfließende Wasser gemessen und die Infiltrationsparameter abgeleitet.

Erste Versuchsreihen zeigen, dass die abgeleiteten Infiltrationsparameter je nach Versuchsdurchführung stark voneinander abweichen. Insbesondere die aus dem, an das Doppelring-Infiltrometer angelehnten Versuch, abgeleiteten Infiltrationsparameter ergeben eine höhere Infiltrationskapazität des Bodens als bei Beaufschlagung mit einem Starkregen. Dies unterstreicht die Fragestellung, ob die herkömmlichen, mit geringem Aufwand durchzuführenden, Feldversuche für die Bestimmung realitätsnaher Infiltrationsparameter bei kurzen Starkregenereignissen geeignet sind.

Durch die transportable und mittels Akkumulator betreibbare Beregnungssteuerung des Labor-Lysimeters sind auch im Feld Infiltrationsversuche mit variablen Niederschlagsintensitäten und geringem Aufwand durchzuführen. So bestände zum einen die Möglichkeit realitätsnähere Infiltrationseigenschaften von kurzen Starkregenereignissen zu ermitteln und systematische Feldversuche durchzuführen. Zum anderen wäre die Durchführung von Versuchen im Rahmen der Modelloptimierung von 2D-Oberflächenabfluss-Simulationen möglich. Hierrüber könnten wichtige Aussagen zur Infiltration während Starkregenereignissen geliefert werden, insbesondere auch durch eine identische Niederschlagsbelastung in 2D-Oberflächenabfluss-Simulationen und den Feldversuchen.

Viele Köche verderben den Brei? - Ergebnisse eines Ringversuchs zur Abflussmessung im Moving-Boat-Verfahren mit besonderer Berücksichtigung der Auswertesoftware

Rana Bengül¹, Uwe Nicodemus¹ und Ole Rößler¹

¹Bundesanstalt für Gewässerkunde, Hydrologische Grundsatzangelegenheiten, Hydrometrie und Gewässerphysik, benguel@bafg.de

Die Qualitätssicherung von Messdaten im Allgemeinen und im vorliegenden Fall von Abflussdaten ist unersetzlich, um eine belastbare Datengrundlage zu schaffen, auf die sich Beurteilungen wie zum hydrologischen Zustand, zur Schiffbarkeit und zur Dimensionierung von Bauwerken stützen können. Teil der Qualitätssicherung ist die Verifizierung der Vergleichbarkeit von Messdaten, die aus unterschiedlichen Quellen und/oder von unterschiedlichen Messgeräten stammen. Im Fall von Abflussdaten, die operationell in Deutschland von Bundes- und Landesbehörden erfasst werden, stammen die Daten z.B. von unterschiedlichen Messteams, die mit verschiedenen Geräten und differierenden Messperipherien unter verschiedenen Rahmenbedingungen operieren. Es kommt hinzu, dass die Bestimmung des Abflusses zudem von der verwendeten Software, d.h. den hinterlegten Algorithmen und Auswertemethoden beeinflusst wird und ein zwingend zu verwendender Auswerteweg fehlt. Eine Möglichkeit die Vergleichbarkeit der Daten – zumindest unter gleichen Rahmenbedingungen - zu testen und bestenfalls zu verifizieren, stellen Ringversuche dar, die mit den unterschiedlichen Softwarelösungen/Algorithmen ausgewertet werden.

Im Rahmen eines ADCP-Anwendertreffens fand im August 2022 auf dem Rhein bei Koblenz ein Ringversuch statt. Der Rhein führte zum Zeitpunkt des Messversuchs etwa 830 m³/s Wasser. Parameter, die in den Vergleich einbezogen wurden, waren neben dem Abfluss (Q) unter anderem die mittlere Fließgeschwindigkeit (vm), die Fließrichtung (vdir), die durchflossene Fläche (A), sowie der distance-made-good (Messbreite) im Verhältnis zur gefahrenen Wegstrecke. Alle Messfahrten wurden auf zwei Arten ausgewertet: a) anhand der Rohdaten und b) nach einem Qualitätsscheck.

Die Ergebnisse der Rohdaten zeigen hinsichtlich des Abflusswertes eine Streuung gemessen im Variationskoeffizienten (CV) von unter 3,5%, so dass eine hohe Vergleichbarkeit gegeben ist. Während der Messung sank zudem der Wasserstand und die Wassermenge, so dass die gerätespezifischen Unterschiede noch geringer ausfallen. Auch der Einfluss des Auswertealgorithmus liegt innerhalb dieser Streuung. Trotzdem zeigen sich absolut betrachtet prägnante Abweichungen (~60 m³/s), deren genaue Analyse Hinweise auf gerätebedingte Fehlerquellen warf. Hervorzuheben war zudem, dass manche Messfehler von den Softwareprodukten automatisch ausgeglichen werden konnten und so technische Defizite in der Gesamtschau nicht auffällig waren. Zudem fiel auf, dass die Softwareprodukte unterschiedlich stark und in unterschiedlicher Weise auf solche Messfehler reagieren und dabei die Streuung der Rohdaten verstärken können. Dieser Beitrag stellt die Auswertemethodik der Ergebnisse des Ringversuchs vor und diskutiert, welche Fehlerquellen in einem Ringversuch detektiert und durch die Qualitätskontrolle bereinigt werden können. Besonderes Augenmerk wird dabei auf den Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsmethoden von Q geworfen.

Trennung von nieder- und hochfrequenten Wellen mittels Frequenzfilterung im Küstenbereich

Tim Scheufen¹, Peer Helmke¹, Harmut Hein¹

¹Referat M1 - Hydrometrie und Gewässerkundliche Begutachtung, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz

Abstract

Zur Bestimmung von Tideparametern in Küstengewässern ist es notwendig, die gemessenen Wasserstände durch geeignete Verfahren zu glätten und so die Tidekurve von hochfrequenten Wellen zu trennen. Dabei kann es vorkommen, dass durch kurzfristige (z. B. Schiffswellen) oder langfristige Ereignisse (Verformung der Tidekurve durch bauliche Maßnahmen) die Tidekurve durch automatische Verfahren nicht immer fehlerfrei berechnet werden kann. Im Sommer 2020 wurden am Emssperrwerk Versuche durchgeführt, die es zum Ziel hatten, den Flutstrom durch temporäre Schließung des Sperrwerks zu unterbrechen und den Schlickeintrag in die Unterems zu verringern. Im Zusammenhang mit diesen Versuchen wurde ein Radarsensor installiert, um eine, durch die Schließung ausgelöste Schwallwelle zu beobachten und exemplarisch hochfrequente Wellen (Schiffs- und Windwellen) von der stark verformten Tidekurve zu trennen. Ein kritischer Punkt des Preprocessing war es, die durch die Schwallwelle verformte Tidekurve korrekt zu glätten und so die nieder- und hochfrequenten Wellen voneinander zu trennen. Zu diesem Zweck wurden, anstelle einer Glättung mittels gleitender Mittelwerte, unterschiedliche Frequenzfilter getestet. Die Auswertung zeigt, dass Frequenzfilter gut geeignet sind, die nieder- und hochfrequenten Wellen voneinander zu trennen, um selbst aus stark verformten Ganglinien Tidekurven zu berechnen. Um eine ausreichend gute Filterung zu erreichen, sollten die zu trennenden Frequenzbereiche jedoch nicht zu dicht beieinanderliegen.

Neue Schwebstoffkonzentrationsmessung mit integrierter Größenklassenerkennung

Sebastian Scheffler¹, Dr. Asmorom Kibrom²

¹Nivus GmbH, sebastian.scheffler@nivus.com

²Nivus GmbH, asmorom.kibrom@nivus.com

Die diesjährige massive Gletscherschmelze hat uns deutlich aufgezeigt, welchen großen Veränderungen hochalpine vergletscherte Gebiete unterliegen. Durch den Rückgang der Gletscher werden immer größere alpine Flächen freigelegt, von denen bei Niederschlag Sedimente in die Bäche gelangen. Diese mineralischen Schwebstoffe, welche z. B. im Triebwasser der Wasserkraftanlagen suspendiert sind, verursachen massiven hydro-abrasiven Verschleiß an Turbinenbauteilen. Um in der Lage zu sein, diese Schäden zu minimieren, ist ein Schwebstoffmonitoring notwendig, welches nicht nur aus der Messung der Schwebstoffkonzentration besteht, sondern auch Aussagen über die Größenverteilung der Schwebstoffe macht (Abgottsson et al. 2016). Bei der Kraftwerke Mattmark AG (Wallis/ Schweiz) wurde im Frühjahr 2022 als Pilotprojekt ein neues Messsystem zur Erfassung der Schwebstoffkonzentration und deren Größenverteilung installiert. Ziel ist es, in der Lage zu sein, bei sehr hohen Schwebstoffkonzentrationen das zufließende Wasser direkt bei den Wasserfassungen auszuleiten, gleichzeitig bei Rückgang der Schwebstoffkonzentrationen das Wasser wieder sofort einleiten und turbinieren zu können.

Messmethodik

Das dem Multifrequenz-Echo-Verfahren zugrundeliegende Messprinzip basiert auf der Rückstreuung und Dämpfung von Ultraschallwellen an in fließenden Medien mitgeführten Partikeln. Dazu wird im Puls-Echo-Verfahren ein akustischer Puls in das Medium gesendet und die Intensität des rückgestreuten Signals gemessen.

Installation

Der Sensor kann direkt im Gewässer installiert werden und benötigt keine aufwendige Montage mittels Bypass und/oder Pumpensteuerung. Darüber hinaus ist der Betrieb des Sensors weitgehend wartungsfrei.

In Saas-Fee wurde der Sensor bei Niedrigwasser im Februar 2022 direkt vor dem Einlaufrechen der Wasserfassung im Gerinne des Gebirgsbaches Saaser Vispa installiert.

Messergebnisse und Diskussion

Bei einer ersten Auswertung der Daten fallen die periodischen Schwankungen aller Messwerte im Tagesverlauf auf. Der Sommer 2022 war, bedingt durch sehr hohe Temperaturen und nur sehr wenig Niederschlag, gekennzeichnet durch eine massive Gletscherschmelze. So sind deutlich die Zu- und Abnahmen des Durchflusses im Tagesverlauf zu erkennen, welche erwartungsgemäß einhergehen mit einer Zu- und Abnahme der Schwebstoffkonzentration. Der Transport von größeren Partikeln (Feinsand, und Mittelsand) nimmt dabei mit zunehmender Fließgeschwindigkeit zu. Bei Abnahme der Gletscherschmelze nimmt der Durchfluss ab und es wird kaum noch Fein- und Mittelsand transportiert, es dominiert Silt.

Am 25. August wurden über einen Zeitraum von ca. 41 Minuten Sedimentkonzentrationen deutlich über 6000 mg/l gemessen. Eine nähere Betrachtung der Partikelgrößenverteilung für dieses Ereignis zeigt die zeitliche Abfolge der einzelnen Größenklassen, beginnend mit Silt, gefolgt von Feinsand bis 100 µm, geringe

Konzentrationen von Fein und Mittelsand bis 400 μm und ein in Relation großer Anteil von Sand bis 1000 μm . Diese Aufeinanderfolge der einzelnen Größenklassen und auch die Unterrepräsentation der Größenklassen bis 200 μm und 400 μm ist in allen Ereignissen wiederzufinden.

Fazit

Mit dem neuen Messsystem ist es möglich, mit relativ wenig (Wartungs)-Aufwand die Partikelkonzentration in Gewässern sowie deren Größenklassenverteilung zu erfassen. Anwendungen gibt es nicht nur in der Wasserkraft, sondern auch bei der Überwachung von Stauraumpülungen und beim Schwebstoffmonitoring in Fließgewässern.

Messdaten eines aktuell laufenden Messprojektes bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Rhein sollen bei der Präsentation ebenfalls vorgestellt werden.

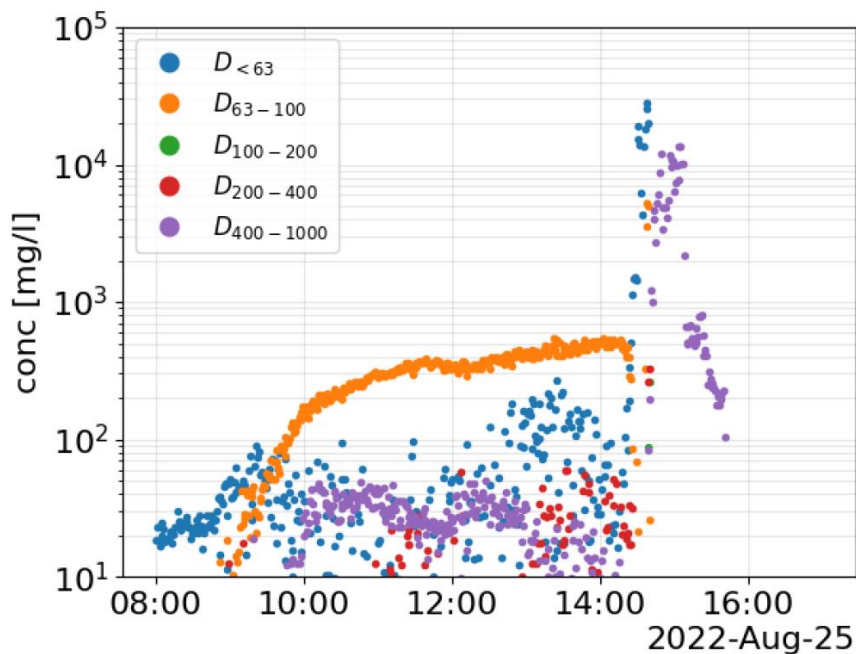


Abbildung 1: Größenklassenauflösung des Konzentrationsereignis 25.August

Literatur

Abgotzpon, A., Felix, D., Boes, R., Staubli, T. (2016): Schwebstoffe, hydro-abrasiver Verschleiß und Wirkungsgradänderungen an Pelton-turbinen - Ein Forschungsprojekt am KW Fieschertal. Wasser Energie Luft, 108. Jahrgang, Heft 1: 9–24.