

Tagungsband

mit Kurzfassungen der Beiträge zum

5. Bochumer Hydrometrie-Kolloquium

19. & 20.02.2025 | Hochschule Bochum

messen · bewerten · planen

**E5.
BEE
EH
KE
2025**

Inhaltsverzeichnis

Das Blue Heart-Projekt – schützen, sichern, verstehen.....	1
Messnetzkonzept Hydrometeorologie NRW – vom Konzept zur Bewirtschaftungsgrundlage	3
Operationelle Abflussbilanzierung in den Bundeswasserstraßen.....	5
Datengetriebene Zuflussschätzung zu Hochwasserrückhaltebecken.....	10
Radarmessung und der Regen am Boden – was können uns IoT-Sensoren sagen?	11
Bewertung von Durchflussmessungen in Bezug auf die Messlotrechtenanzahl 2.0	14
Themen und Arbeiten der DIN Arbeitsgruppe Hydrometrie.....	15
Automatisierte Analyse und Qualifikation wasserwirtschaftlicher Messdaten in individualisierten Messnetzen – Das Python-Paket TSCC.....	17
Echtzeitschätzung des bodennahen Regengeschehens aus Radardaten.....	19
Automatische Regenschreiber-Kontrolle unter Verwendung von Radardaten.....	21
Möglichkeiten der einfachen und schnellen Bestimmung der Oberflächengeschwindigkeit bei der Ölabwehr	23
Vergleich verschiedener Methoden zur Messung der Fließgeschwindigkeit	25
Fließgeschwindigkeitskartierung – Tipps und Tricks für die Praxis	27
Kabellose Ultraschall-Laufzeit-Differenzmessung - Neue Chance für bewährte Messtechnik	29
Expanding the Role of ADCP Systems: From Discharge Measurement to Comprehensive Hydrodynamics and Sediment Transport Analysis	33
Bestimmung des Bodenwasserhaushalts in einer groß angelegten lysimetrischen Anlage mit 60 Jahren ununterbrochener Daten, bestehend aus einem Grünlandbecken, einem Eichen-/Buchen- und einem Kiefernbecken.....	34
Digitale Transformation der Hydrometeorologie des Landes NRW – Akzeptanz, Komplexität und Wirtschaftlichkeit	35
Die Hydrometrie im Wandel der Zeit – Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft	38
Ausstattung und Betrieb von Pegelmessnetzen für unterschiedliche Verwendungszwecke	39

Das Blue Heart-Projekt – schützen, sichern, verstehen.

Chris Hogan¹, Matthias Egeling²

¹KISTERS UK Ltd., Projektleiter KISTERS HydroMet, chris.hogan@kisters.co.uk

²KISTERS AG, Vertriebsleiter KISTERS HydroMet D.A.CH. & E.EU, matthias.egeling@kisters.de

Einführung

Das Blue Heart-Projekt zielt darauf ab, die Widerstandsfähigkeit der Region East Sussex an der Ärmelkanalküste des Vereinigten Königreichs, gegen die zunehmende Bedrohung durch extreme Wetterereignisse, wie Überschwemmungen und Wasserknappheit, zu stärken. Das Gemeinschaftsprojekt wird vom East Sussex County Council und der KISTERS UK Ltd. geleitet.

Um seine Ziele zu erreichen, verfolgt das Blue Heart-Projekt einen vielschichtigen Ansatz, der modernste Technologie mit gesellschaftlichem Engagement verbindet. Durch den Einsatz fortschrittlicher Überwachungssysteme sammelt das Projekt wertvolle Daten über Wasserstände, Niederschlagsmengen und andere relevante hydrologische Faktoren in der gesamten Region. Diese Daten werden laufend analysiert, um potenzielle Hochwasserrisiken zu ermitteln und um eine faktenbasierte Entscheidungsfindung zu ermöglichen. Außerdem werden Instrumente für die Verteilung von Echtzeitinformationen an die Anwohner bereitgestellt um das Handeln der Gemeinschaft zu unterstützen.

Das Blue Heart-Team und KISTERS haben mit 'datasphere' eine zentrale Umweltdatenplattform (Abbildung 1) geschaffen. Sie sorgt für den Austausch von Niederschlags-, Wasserstands- und anderen hydrologischen Daten zwischen verschiedenen Interessensgruppen, wie dem East Sussex County Council, der zuständigen Umweltbehörde und dem Wasserversorger Southern Water. KISTERS ermöglichte es East Sussex auch, ein eigenes Sensornetzwerk aufzubauen, um Sensordaten und Wetterdaten in Echtzeit zu sehen, womit Wissenslücken geschlossen werden konnten.

Das Blue Heart-Projekt ist ein bedeutender Schritt in Richtung eines nachhaltigeren und wassersichereren East Sussex. Zur Bewältigung der Herausforderungen, die sich aus dem Klimawandel und der Stadtentwicklung ergeben, zielt diese Initiative darauf ab, die natürliche Umwelt der Region zu schützen, ihre Gemeinden zu sichern und eine Zukunft für kommende Generationen zu gewährleisten.

Ziele

Das Ziel von Blue Heart ist es, innovative Wege zu erproben, um den Wasserfluss in East Sussex zu steuern.

Die Hauptziele des Blue-Heart-Projekts sind:

- Untersuchung, wie sich Niederschlag, Flüsse, Grundwasser und Abwasser durch East Sussex bewegen.
- Erforschung der Beziehung zwischen verschiedenen Wasserarten, der Umwelt und wie sich diese auf Überschwemmungen auswirken.
- Einsatz intelligenter Technologie zur Echtzeit-Überwachung von gemessenen Wasserständen und Überschwemmungswarnungen, um die Entwässerung automatisch zu kontrollieren.
- Zusammenarbeit mit Behörden und Organisationen, um Informationen auszutauschen und Planungen einzuleiten.

- Gespräche mit der lokalen Bevölkerung, die eine persönliche Verbindung zu den lokalen Grün- und Wasserflächen hat (Freizeit, Wohlbefinden, Anbau oder Interesse an Flora und Fauna), um um ihre Hoffnungen und Sorgen für die Zukunft zu erfahren und die Auswirkungen der sich ändernden Wasserstände auf diese Umgebungen verstehen zu lernen.

Die gewonnenen Erkenntnisse fließen auch in andere Projekte im Vereinigten Königreich und darüber hinaus ein.

Umfang

KISTERS hat für das Blue Heart-Team als Komplettlösung eine vollständige Suite von Überwachungswerkzeugen entwickelt, um die Vorwarnzeit von Extremwetterereignissen zu verlängern, das Risiko von Überflutungen zu überwachen, ein System zur Alarmierung an wichtigen Punkten zu installieren, sowie die Risikobewertung und Analyse von Überflutungsereignissen zu verbessern. KISTERS half auch beim Aufbau des Sensornetzwerks zur Überwachung von Gebieten, die für den Wasserhaushalt in Eastbourne und Süd-Wealden von besonderem Interesse sind. Das Projekt umfasst die folgenden Aktivitäten:

- Bereitstellung der datasphere-Plattform zur Anzeige von Wettervorhersagen zusammen mit lokalen Informationen über Einzugsgebiete, um wichtige Hotspots zu verstehen, die betroffen sein könnten.
- Bereitstellung eines Sensornetzwerks zur Überwachung mehrerer von Überschwemmungen betroffener Standorte mit hoher Priorität, um die an diesen Standorten gesammelten Niederschlags- und Wasserstandsdaten in nahezu Echtzeit anzuzeigen.
- Verbesserung des Datenaustauschs mit anderen Datenplattformen, Datenanbietern und Endnutzern.
- Anbieterunabhängige Plattform, die nicht an bestimmte Geräte und Instrumente gebunden ist.
- Plattform, zur Anzeige von aktuellen Daten, um die Reaktionszeiten bei Überschwemmungen zu beschleunigen.
- Erstellen von Alarmen, die E-Mail-, SMS- und Twitter-Benachrichtigungen auslösen.

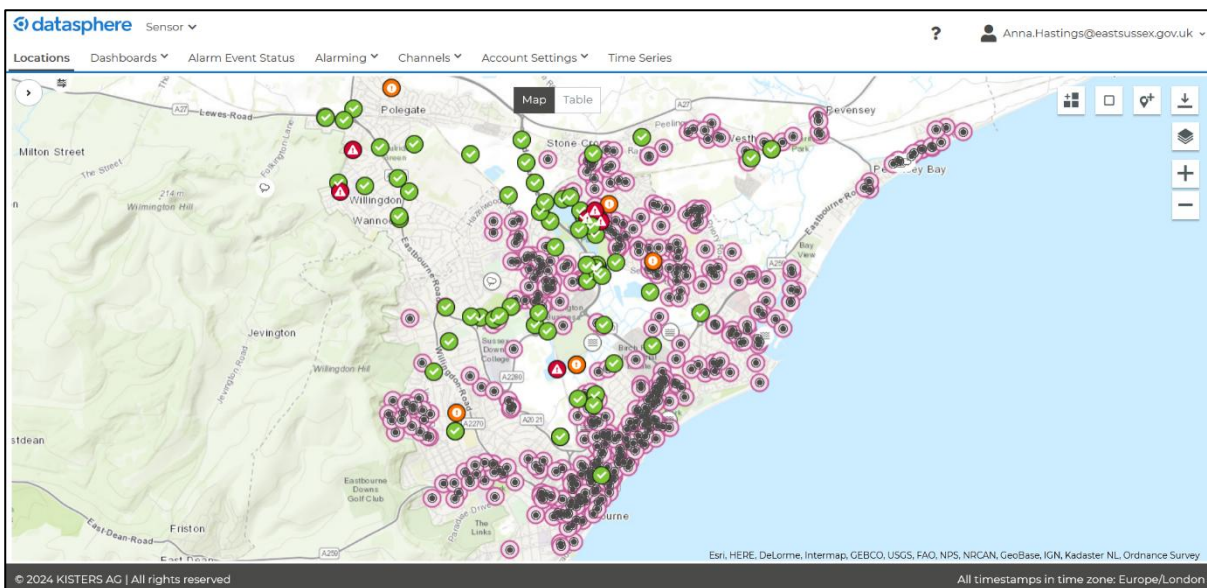


Abbildung 1 zeigt in KISTERS datasphere die Übersichtskarte der Sensoren in der Blue-Heart-Projektregion

Messnetzkonzept Hydrometeorologie NRW – vom Konzept zur Bewirtschaftungsgrundlage

Vera Schimetzek¹, Lothar Kirschbauer² und Günter Müller-Czygan³

¹Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, vera.schimetzek@lanuv.nrw.de

² Hochschule Koblenz, Fachbereich: bauen-kunst-werkstoffe/Bauingenieurwesen, Kirschbauer@hs-koblenz.de

³ Hochschule Hof, Institut für nachhaltige Wassersysteme (inwa), guenter.mueller-czygan@hof-university.de

Ausgangslage und Notwendigkeit

In NRW betreiben zahlreiche Institutionen unterschiedliche hydrometeorologische Messnetze je nach individuellen Anwendungsanforderungen. Der Niederschlag wird an Bodenstationen in Form von kontinuierlichen, hochaufgelösten Daten oder als Tagessummen, über Radarmessungen oder aus Signalen kommerzieller Richtfunkstrecken ermittelt. Hieraus resultiert für NRW ein heterogener Datensatz mit unterschiedlichster Datenqualität und –verfügbarkeit. Diese Heterogenität verringert die Repräsentativität und Belastbarkeit der Datengrundlage für landesweite Verwendung im operativen Einsatz wie der Hochwasservorhersage als auch in langfristigen Untersuchungen z. B. zur Klimaänderung. In Folge können nicht alle verfügbaren Daten gleichermaßen für unterschiedliche statistische Auswertungen verwendet werden. Dies wurde zuletzt durch Quirnbach et. al. in der ExUS 2020 Studie beschrieben (Quirnbach, Markus et al., 2021). Jensen (2006) wies im Rahmen eines Vortrags zur Gestaltung hydrologischer Messnetze auf eine fehlende übergeordnete Struktur und Koordination der vielen Messnetze hin. Folgen sind eine ungleichmäßige Verteilung der Messungen im Land und vermeidbare Investitionen in Regionen mit Parallelmessungen unterschiedlicher Betreiber. Die fehlende zentrale zeitnahe Datenverfügbarkeit erschwert aktuelle landesweite Auswertungen erheblich.

Methodik

Mit dem Messnetzkonzept Hydrometeorologie NRW wurde 2021 im Rahmen einer wissenschaftlichen Analyse ein strukturiertes Messnetzdesign zur systematisch repräsentativen Erfassung des Niederschlags und der Generierung eines landesweiten Datensatzes zum Hochwasserschutz für Gewässereinzugsgebiete von 200 km² bis größer 1000 km² aufgestellt ((Basis: DVWK, 1994), Schimetzek (2021/22)). Zur Ermittlung der erforderlichen Stationsdichte und -verteilung wurde das Untersuchungsgebiet im Hinblick auf Orografie, Wettergeschehen und weitere Faktoren wie z.B. Flächennutzungen und Flussgebiete charakterisiert. Es wurden Anforderungen an Messtechnik, deren Einfluss und weitere Ausgestaltungsfaktoren von Messnetzen (Sene, 2010) und Datenquellen wie z.B. Radarniederschlagsdaten einbezogen, um die erforderliche Stationsdichte zu ermitteln. Für eine möglichst homogene Verteilung wurde das KOSTRA-DWD-2010-Raster als Bezugsgröße festgelegt und Stationen aus dem vorhandenen Pool als Grundmessnetz kategorisiert.

Ergebnis und Benefits

Nach Stationsauswahl und Kategorisierung ergibt sich eine Messnetzstruktur mit einer Stationsdichte von 0,7-2 Stationen / 100 km². Die ermittelte Stationsdichte wurde mit Studien zu ähnlichen Messnetzen verglichen (EA UK (Hg.), Tilford 2003), Girons (2015), Vieux (2005), Wadoux (2020)). Es wurden ein Gesamtstationsbedarf von 486 Messstellen und unterrepräsentierte Bereiche identifiziert.

Seit 2021 wurde das Defizit von 14% (Stand 2020) durch Neubau von 70 Stationen ausgeglichen. Die vollständige Abdeckung des Landes mit Niederschlagsinformationen funktioniert nur über Einbezug Daten aus den Stationen der Partnermessnetze (s. Abb. 1). Für die landesweite Harmonisierung der Datenqualität und -bereitstellung sind allerdings noch weitere Maßnahmen wie ein standardisierter Messbetrieb, einheitliche Standards für die Datenaufbereitung und ein gemeinsames Datenmanagement durchzuführen.

Die durchgeführte systematische Messnetzstrukturierung und Stationskategorisierung liefert eine solide Bewirtschaftungsgrundlage für weitere Maßnahmen wie Digitalisierungsplan, Investitionsbedarf, Aufgabenkritik, Personalbedarf und -entwicklung. Konzept und standardisierte Ausstattung ermöglichen die Aufweitung der Messungen für weitere Anwendungen und erhöht den ökonomischen Nutzen des Messnetzes.

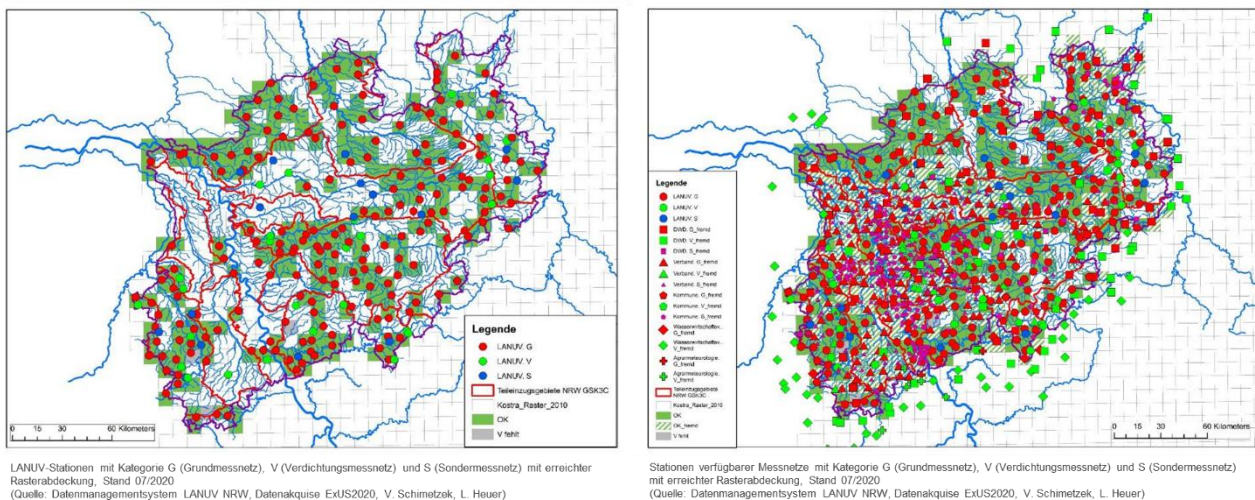


Abbildung 1: Abdeckung mit Niederschlagsinformationen in NRW (links: LANUV, rechts: LANUV und Partnermessnetze)

Literatur

- DVWK (Hg.). (1994): DVWK 230 Niederschlag – Empfehlungen für Betreiber von Niederschlagsstationen (BETREN). Bonn: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH
- EA UK (Hg.), Tilford, K.A., Sene, K., Collier, C.G. (2003): Flood Forecasting - Rainfall Measurement and Forecasting R&D Technical Report W5C-013/4/TR. Bristol: Environment Agency UK
- Girons Lopez, M. W.-Å. (2015): Location and density of rain gauges for the estimation of spatial varying precipitation. Zürich: Zurich Open Repository and Archive
- Jensen, J. (2006): Gestaltung von hydrologischen Messnetzen/Messstrategie - Vortrag im Rahmen des Workshops „Qualitätsicherung in der Gewässerkunde“. Koblenz: Universität Siegen, Forschungsinstitut Wasser und Umwelt
- Quirnbach, Markus et al., LANUV NRW (Hg.). (2021): ExUS 2020 – Ganzheitliche Analyse der Niederschlagsentwicklung in Nordrhein-Westfalen - Fortschreibung und Erweiterung der Studie ExUS 2010. Recklinghausen: LANUV NRW
- Schimetzek, V., LANUV NRW (Hg.) (2021/2022): Messnetzkonzept Hydrologie NRW – Hydrometeorologie mit Schwerpunkt Niederschlagsmessung: Konzeption und Potentiale zur Standardisierung des hydrometeorologischen Messbetriebs und der Datenbereitstellung in NRW (Diplomarbeit Mathematik / Naturwissenschaften und Fortschreibung). Koblenz: Universität Koblenz-Landau, Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
- Sene, K. (2010): Hydrometeorology - Forecasting and Applications. Dordrecht Heidelberg London New York: Springer Science+Business Media B.V.
- Vieux, B. V. (2005): Rainfall Accuracy Considerations Using Radar and Rain Gauge Networks for Rainfall-Runoff Monitoring. Journal of Water Management Modeling R223-17Wadou, A. e. (2020): Optimization of rain gauge sampling density for river discharge prediction using Bayesian calibration. PeerJ 8:e9558

Operationelle Abflussbilanzierung in den Bundeswasserstraßen

Dirk Schwanenberg¹ und Silke Rademacher²

¹KISTERS HydroMet, dirk.schwanenberg@kisters.de

²Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat M1 Hydrologische Grundsatzangelegenheiten, Hydrometrie, Gewässerphysik, rademacher@bafg.de

Einleitung

Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) betreibt Binnenwasserstraßen mit einer Gesamtlänge von ca. 7.300 km sowie Seewasserstraßen mit einer Fläche von rund 23.000 km². Dies beinhaltet den Betrieb von mehr als 2.400 Pegeln, die von 17 Wasserstraßen- und Schifffahrtsämtern betreut werden. Im Rahmen der Weiterentwicklung und Modernisierung der Gewässerkunde der WSV wurden in den vergangenen Jahren die bis dahin separat betriebene hydrologische Datenbanken der ehemaligen Wasser- und Schifffahrtsdirektionen sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) zusammengeführt und vereinheitlicht. Auf dieser Basis finden seit 2023 weitere Bestrebungen statt, um die Gewässerkunde des Bundes durch eine zunehmende Digitalisierung weiter zu verbessern.

Eine wesentliche Rolle spielt dabei die automatisierte Validierung der hydrologischen Daten, um Echtzeitdaten möglichst zeitnah und mit nur optionalen manuellen Eingriffen zu prüfen und zu qualifizieren. Ziel ist es dabei, die sich vergrößernde Anzahl von Echtzeitanwendungen beispielsweise in der Abfluss- und Wasserstandsvorhersage besser zu unterstützen und den Datennutzern eine möglichst gute und komplette Datenbasis zu liefern. Das bisher implementierte Instrumentarium unterstützt dazu regelbasierte Validierungsansätze in der Kombination mit graphischen Benutzerinterfaces. Darüber hinaus wird an dieser Stelle vorgestellt, wie eine Abflussbilanzierung in der Kombination mit einer Datenassimilation und KI-basierten Fehlerkorrekturverfahren verwendet werden kann, um die Konsistenz der Pegel untereinander zu evaluieren.

Methodik und Implementierung

Die bei der Abflussbilanzierung verwendeten Modellansätze greifen auf bekannte eindimensionale hydraulische und hydrologische Routing-Verfahren oder bei zeitlich stärker aggregierten Betrachtungen auf eine einfache Bilanzierung ohne Berücksichtigung des Wellenablaufs zurück. Diese werden in eine variationsbasierte Datenassimilation integriert. Das Verfahren kann vereinfacht als Methode der kleinsten Quadrate interpretiert werden, um das Bilanzmodell und die Beobachtungsdaten in eine möglichst gute Übereinstimmung zu bringen. Dazu werden Anpassungen der Zuflüsse in das Modell, Bilanzkorrekturen zwischen den Pegeln und Abweichungen im Pegelabfluss als gewichtetes Mittel minimiert. Die Wichtung ermöglicht es dabei, das Vertrauen in die Qualität der Wasserstands- Abflussdaten eines Pegels auszudrücken und beispielsweise einen Pegel mit potentieller Verkräutung im Sommer niedriger zu gewichten als einen benachbarten Pegel.

Aufgrund der typischerweise groben räumlichen Modellierung in der Bilanzierung und Modellfehlern ist davon auszugehen, dass das Ergebnis der Datenassimilation noch systematische Fehler enthält. Deshalb werden in einem letzten Schritt KI-basierte Regressionsverfahren verwendet, um systematische Effekte von (nicht-systematischen) Anomalien zu trennen. Dazu werden Verfahren mit steigender Komplexität verwendet:

ein einfaches lineare Regressionsmodell (LR), ein Gradient-Boosting-Regressionsmodell (GBR) sowie ein Feedforward-Neuronales-Netzwerk (FFNN) Modell.

Ergebnisse und Diskussion

Die hier vorgestellten Ergebnisse resultieren aus der prototypischen Anwendung des neuen Ansatzes auf einen freifließenden Abschnitt des Rheins zwischen den Pegeln Andernach und Emmerich. Die Anomaliedetektion ist in der Anwendung auf den Rhein in Abbildung 1 dargestellt. In der zeitlichen Darstellung der Anomalie fallen insbesondere die beiden Zeitpunkte in den Jahren 1997 und 2001 auf, in denen die Abflusskurve geändert wurde und an denen die Anomaliezeitreihe einen Sprung aufweist. Weiterhin wird die Motivation für die Anpassung der Abflusskurve dadurch sichtbar, dass über die Zeit sukzessive ansteigende, von Null abweichende Differenzen der Anomaliezeitreihe.

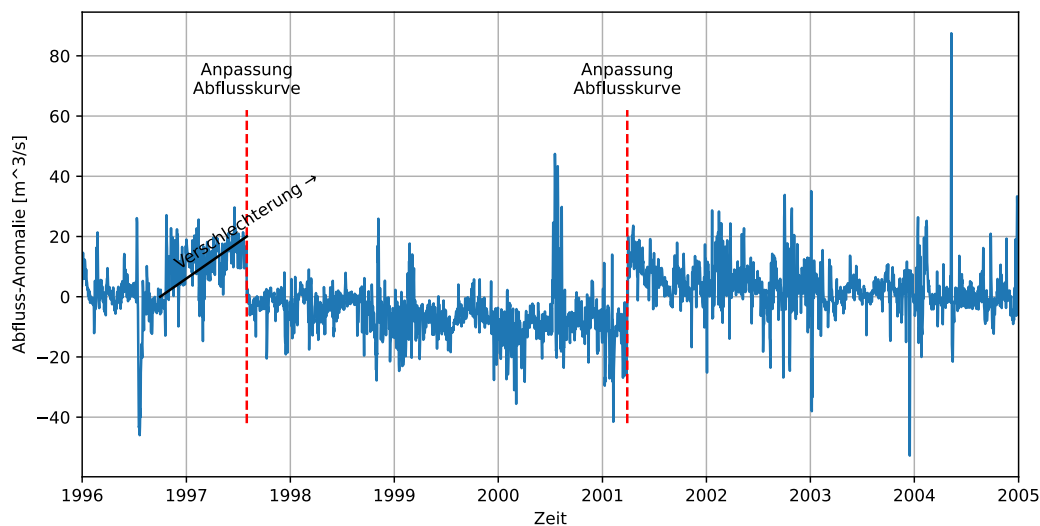


Abbildung 1: Abfluss-Anomalien am Rheinpegel Rees

Auf der Basis der Ergebnisse lässt sich schließen, dass das Verfahren in der Lage ist, die fortschreitende „Degeneration“ einer Abflusskurve über die Zeit zu erkennen und zu quantifizieren. Auf der Basis von definierten Grenzwerten kann damit ein objektives Kriterium gefunden werden, um den Bedarf für die Anpassung einer Abflusskurve in der Echtzeitanalyse zu ermitteln. Besonders relevant wird dies dort, wo die Beziehung zwischen Wasserstand und Abfluss dynamischer ausfällt als im Rhein. Dies betrifft beispielsweise Bundeswasserstraßen und deren Zuflüsse, in denen über den Sommer Verkrautung und damit verbunden eine zeitabhängige Beeinträchtigung der Wasserstand-Abflussverhältnisse am Pegel auftritt.

Literatur

Lichtenstern, M., Mott, B., Messing, S., Rademacher, S., Meißner, D., Brum, M. und Köhn, C., Schwanenberg, D., (eingereicht): Neue Konzepte zur Abflussbilanzierung der Bundeswasserstraßen, Zeitschrift Wasserwirtschaft

KI-basierte Erkennung von Änderungen in Fließquerschnitten mit Hilfe von kamerabasierter Messmethode der Oberflächenfließgeschwindigkeit

Issa Hansen¹, Salvador Peña-Haro², Beat Lüthi², Divas Karimanzira³, Linda Ritzau³, Maximilian Zenner⁴
und Tobias Hellmund⁴

¹SEBA Hydrometrie GmbH, hansen@seba.de

²Photrack AG, pena@photrack.ch

²Photrack AG, luethi@photrack.ch

³Fraunhofer IOSB-AST, Unterwasserfahrzeuge, divas.karimanzira@iosb-ast.fraunhofer.de

³Fraunhofer IOSB-AST, Unterwasserfahrzeuge, linda.ritzau@iosb-ast.fraunhofer.de

⁴Fraunhofer IOSB, Geodatenanalyse und -management, tobias.hellmund@iosb.fraunhofer.de

⁴Fraunhofer IOSB, Geodatenanalyse und -management, maximilian.zenner@iosb.fraunhofer.de

Abstract

Eine präzise Erfassung der mittleren Fließgeschwindigkeit und der benetzten Fläche eines Flusses ist für die zuverlässige Durchflussmessung entscheidend. Das Profil eines Flusses ist jedoch nicht konstant: natürliche Erosion verändert langfristig das Flussprofil, gleichzeitig können Hochwasserereignisse das Flussprofil kurzfristig verändern. Somit entstehen fehlerhafte Durchflussmessungen. Darüber hinaus stoßen herkömmliche in situ Durchflussmesssysteme bei extremen Fließverhältnissen an ihre Grenzen und können vollständig ausfallen. In dem vorliegenden Beitrag wird ein innovativer KI-basierter Lösungsansatz im Rahmen des BMBF-Förderprojekts TETRA vorgestellt. Dieser Ansatz ermöglicht es, Veränderungen in der Flussgeometrie in Echtzeit zu überwachen und Korrekturalarme auszulösen, wenn signifikante Abweichungen von den erwarteten Wassertiefenprofilen festgestellt werden. Durch die Kombination von maschinellem Lernen und modernen Bildverarbeitungstechnologien, die berührungslos präzise Oberflächengeschwindigkeitsprofile liefern, werden die Effizienz und Robustheit des Erkennungsprozesses erheblich gesteigert, wodurch eine schnellere und kostengünstigere Analyse der Wassertiefenprofile möglich ist. Die Ergebnisse dieses Beitrags zeigen, dass die Implementierung dieser Technologien nicht nur die Genauigkeit der Wassertiefenprofilenerfassung verbessert, sondern auch die Reaktionsfähigkeit auf dynamische Änderungen im Flussumfeld optimiert. Dies stellt einen bedeutenden Fortschritt in der Überwachung und Verwaltung von Flussressourcen dar und trägt zur Erhöhung der Sicherheit und Effizienz maritimer Aktivitäten bei. Zusätzlich wird im Rahmen von TETRA eine Wissensplattform entwickelt, die den beschriebenen Algorithmus, sowie Komponenten zur Auswertung und Visualisierung integriert. Die Plattform basiert auf WebGenesis und FROST und ermöglicht die Auswertung der Daten über eine webbasierte Benutzeroberfläche.

Einleitung

Die präzise Erfassung von Änderungen in der Flussquerschnittsgeometrie von Flüssen ist entscheidend für eine Vielzahl maritimer Aktivitäten, darunter Schifffahrt, Navigation und Hochwasserrisikobewertung (Huthoff et al., 2007). Die Wassertiefenprofile eines Flusses unterliegen natürlichen Veränderungen, insbesondere durch Sedimentation und Erosion (Miller und Hohmann, 2007). Traditionelle Methoden zur direkten Messung der Wassertiefenprofile sind oft zeitaufwendig und kostenintensiv, weshalb sie nur bei dringendem Bedarf eingesetzt werden sollten. Außerdem können sich die Gewässerprofile bei extremen Hochwasserereignissen schnell und unbemerkt ändern.

Um diese Herausforderungen zu umgehen, wurden numerische Ansätze entwickelt, die versuchen, die Wassertiefenprofile eines Flusses basierend auf leichter messbaren Daten, wie den Oberflächenströmungsgeschwindigkeiten, abzuleiten (Gharamti und Al-Khaldi, 2013).

In diesem Beitrag wird ein innovativer, KI-gestützter Ansatz zur Erkennung von Änderungen in Wassertiefenprofilen vorgestellt, der auf kamerabasierten Messmethoden der Oberflächenfließgeschwindigkeit basiert. Die implementierten Bilderverarbeitungstechnologien von photrack und SEBA Hydrometrie liefern lückenlos umfangreiche Messdaten der Wasseroberflächenprofile unter unterschiedlichen Fließverhältnissen und Wasserständen. Zur Bestimmung der Oberflächenfließgeschwindigkeit des Flusses wurde ein Messverfahren namens Surface Structure Image Velocimetry (SSIV) eingesetzt (Peña-Haro et al., 2021). Basierend auf diesen Werkzeugen entwickelt das Fraunhofer IOSB einen KI-basierten Algorithmus, der signifikante Veränderungen des Flussprofils erkennen und melden soll.

Messmethoden und Ergebnisse

Die KI-basierte Erkennung von Änderungen in Fließquerschnitten erfolgt in zwei Stufen. Im ersten Schritt wird der Flussquerschnitt vorhergesagt. Im zweiten Schritt wird der vorhergesagte Querschnitt auf Anomalien untersucht.

Das Gradient Boosted Trees Modell XGBQuantile liefert mit Profilen von Oberflächenfließgeschwindigkeiten als Eingangsdaten probabilistische Flussquerschnittsvorhersagen mit Unsicherheiten. Das Modell wurde mit historischen Daten von Flussquerschnitten und entsprechenden Profilen von Oberflächenfließgeschwindigkeiten trainiert. Weiterhin erkennt der Algorithmus mithilfe von statistischen Kenngrößen Anomalien in den Flussquerschnitten. Ein vorhergesagter Flussquerschnitt als repräsentatives Ergebnis der Regression des KI-Modells ist im Vergleich mit dem gemessenen Flussquerschnitt in Abbildung 1 dargestellt. Die Güte Maße des mittleren absoluten Fehlers (MAE) mit 0,0757 und des mittleren quadratischen Fehlers (MSE) mit 0,0083 dieser Flussquerschnitt Vorhersage veranschaulichen statistisch die Genauigkeit der Vorhersagen des XGBQuantile Modells. Die Flussprofil-Daten werden in der Wissensplattform im SensorThings API (STA) Format gespeichert. Der STA-Standard stammt vom OpenGeospatialConsortium und ist als gute Praxis für europäische Geodaten anerkannt (Moßgraber, 2023). Als Implementierung wird der FROST-Server genutzt, ein Open Source Tool des Fraunhofer IOSB (IOSB, 2024). Die Visualisierung der Daten erfolgt mit WebGenesis, welches gut mit der SensorThings API integrierbar ist (Hertweck et al., 2021).

Die Integration maschinellen Lernens und moderner Bildverarbeitungstechnologien ermöglicht eine zeitnahe Erkennung von Abweichungen, was die Reaktionsfähigkeit bei dynamischen Veränderungen im Flussumfeld verbessert. Dieser Ansatz bietet nicht nur eine kosteneffiziente Alternative zu traditionellen Messmethoden, sondern erhöht auch die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Daten, die für Entscheidungen in der

Wasserwirtschaft und im Umweltschutz unerlässlich sind. Insgesamt stellt diese Forschung einen wertvollen Beitrag zur Weiterentwicklung der Technologien zur Flussüberwachung dar und trägt dazu bei, die Sicherheit und Effizienz maritimer Aktivitäten zu erhöhen.

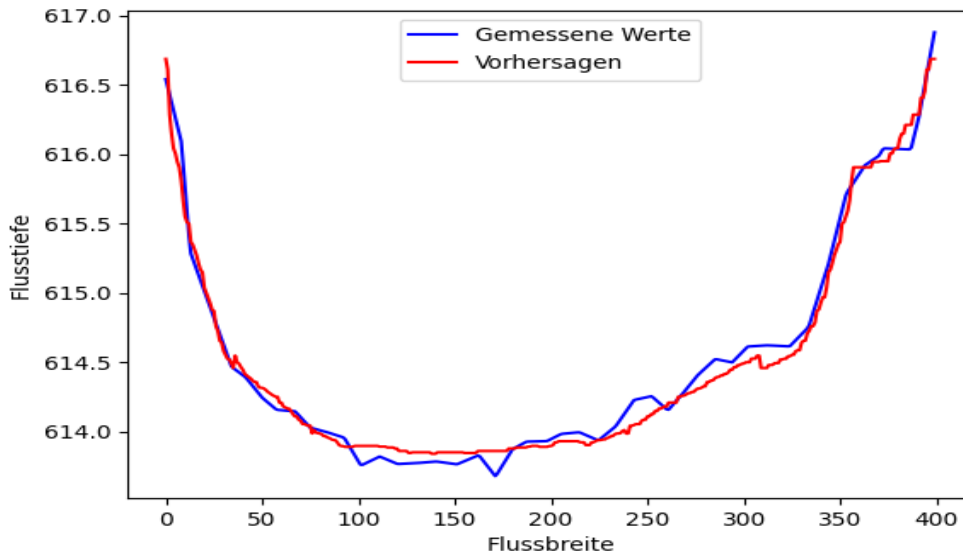


Abbildung 1: Vorhersage eines Flussquerschnitts mit KI-Modell im Vergleich zum gemessenen Flussquerschnitt

Literatur

- Gharamti, M. E. und Al-Khaldi, M. (2013): Inverse Problems in Hydrology: A Review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(5), 1907-1919. DOI: 10.5194/hess-17-1907-2013.
- Huthoff, F., van der Meer, F. D., und van Velzen, E. (2007): Bathymetric Surveys and River Flow Measurements: Techniques and Applications. *Water Resources Research*, 43(8). DOI: 10.1029/2006WR005839.
- Peña-Haro, S., Carrel, M., Lüthi, B., Hansen, I., Lukes, R. (2021): Robust Image-Based Streamflow Measurements for Real-Time Continuous Monitoring. *Frontiers in Water* 3: 175. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.766918>
- Moßgraber, J.: OGC SensorThings API und OGC API – Features: Gute Praxis für europäische Geodaten - Open Geospatial Consortium. [Online]. Verfügbar: <https://www.ogc.org/de/blog-article/ogc-sensorthings-api-and-ogc-api-features-good-practice-for-european-spatial-information/>.
- Fraunhofer IOSB: FROST®-Server - Open-Source-Implementierung der OGC SensorThings API. [Online]. Verfügbar: <https://www.iosb.fraunhofer.de/de/projekte-produkte/frostserver.html>.
- Hertweck, P., Hellmund, T., Moßgraber, J. (2021): OPAL—The Toolbox for the Integration and Analysis of IoT in a Semantically Annotated Way. *Sensors* 21, 4002. DOI: 10.3390/s21124002.

Datengetriebene Zuflussschätzung zu Hochwasserrückhaltebecken

Benjamin Freudenberg¹, Felix Schmid¹, Dr. Benjamin Mewes¹, Dr. Tilo Keller², Dr. Daniel Bittner²

¹Okeanos Smart Data Solutions GmbH, benjamin.freudenberg@okeanos.ai, felix.schmid@okeanos.ai, benjamin.mewes@okeanos.ai

²Erfverband, tilo.keller@erftverband.de, daniel.bittner@erftverband.de

Dynamisierung von Standortanalyse auf Basis hydrometrischer Messdaten

Als eine Folge des Klimawandels kann eine Intensivierung von Niederschlagsextremen wahrgenommen werden und immer häufiger kommt es auch an Kleinstgewässern zu extremen Überflutungen mit hohen Schäden. Die Hochwasserkatastrophe 2021 hat besonderes Augenmerk auf einen entsprechend höheren Schutzbedarf veranlasst. Ein Beispiel hierfür ist die Hochwasserschutzkooperation Erft (hwsErft) in deren Rahmen in 16 Mitgliedskommunen eine Vielzahl von Hochwasserschutzmaßnahmen, auch in Form von Kleinrückhalten in kleinen Einzugsgebieten, erarbeitet werden.

Grundlegend für die Planung solcher wasserbaulichen Maßnahmen ist die Kenntnis der Wasserstands- und Abflussbeziehung (sog. WQ-Beziehung oder auch Schlüsselkurve) des Gewässers. Diese Bedingung stellt die Akteure an unbeobachteten Kleinstgewässern vor große Herausforderungen, denn um Planungen in derartigen Untersuchungsräumen anzustoßen, muss die notwendige Datengrundlage zunächst in kostenintensiven Messkampagnen ermittelt, anhand von Referenzpegelinformationen validiert und auf den Bemessungs-Lastfall extrapoliert werden. Die auf diese Weise abgeleiteten WQ-Beziehungen sind regionalisiert und gelten nur für den untersuchten Gewässerabschnitt, wodurch ein derartiges Monitoring ist für sämtliche Untersuchungsräume notwendig ist.

Mit diesem Beitrag wird ein Verfahren vorgestellt, welches in der Lage ist, die WQ-Beziehungen für einen beliebigen Gewässerabschnitt innerhalb kürzester Zeit und mit einer Minimal-Messinstrumentation abzuleiten, wodurch der wasserbaulichen Planungsprozess in bislang unbeobachteten Einzugsgebieten erheblich beschleunigt werden kann. Dafür bildet ein übertragbares daten-getriebenes hydrologisches Modell die Korrelation zwischen einem beliebigen Pegel im Einzugsgebiet, Radarniederschlägen und einer IoT-basierten Wasserstandsmessung im Untersuchungsgebiet ab, um eine WQ-Beziehung über die Wasser-Volumenbilanz theoretisch abzuleiten. Diese Methode reduziert somit den messtechnischen Aufwand, da die Fließgeschwindigkeitsbestimmung zur Ermittlung des Abflusses aus den Wasserstandsdaten weitgehend obsolet wird. Dargestellt werden sowohl die Möglichkeiten des Verfahrens zur Beschleunigung des Planungsprozesses durch den reduzierten Messaufwand als auch die notwendigen Voraussetzungen und Unsicherheiten.

Radarmessung und der Regen am Boden – was können uns IoT-Sensoren sagen?

Thomas Einfalt¹, Bruno Castro² und Annika Jahnke-Bornemann³

¹ hydro & meteo GmbH, einfalt@hydrometeo.de

² hydro & meteo GmbH, b.castro@hydrometeo.de

³ hydro & meteo GmbH, a.jahnkebornemann@hydrometeo.de

IoT-Sensoren für die Niederschlagsmessung

In Lübeck wurden 50 optische Sensoren der Firma NIVUS im Stadtgebiet installiert. Für die Standorte wurden dabei Qualitätsmaßstäbe zu Grunde gelegt, die die schwierigen städtischen Umgebungsbedingungen berücksichtigen, aber auch die möglichst ungestörte Messung im Fokus haben (Einfalt et al., 2024).

Eine Laboruntersuchung wurde durchgeführt, in der drei Sensoren mit definierten Wassermengen betropft und verschiedene Neigungswinkel und Auftreffpunkte auf dem Sensor geprüft wurden. Sie zeigte, dass die sieben möglichen Niederschlagsklassen nicht eindeutig sind: gleiche Wassermengen führten zu unterschiedlichen Messergebnissen. Eine Trennung zwischen Trockenheit und Niederschlag war jedoch hinreichend gut.

Niederschlagsmessung per Radar

Die Niederschlagsmessung mit Radar ist in Nordrhein-Westfalen seit zehn Jahren Standard (Treis et al., 2016; HKC, 2021). Bei Starkregen werden teilweise hohe räumliche Gradienten in der Messung mit dem Radar beobachtet, die durch sehr kleinräumige Niederschlagszellen verursacht werden. Da das Radar in einer Höhe von wenigen 100 m bis zu einigen km in der Atmosphäre misst, stellen sich folgende Fragen:

- Wann treffen die in der Höhe gemessenen Niederschläge am Boden ein? Regentropfen benötigen, je nach Höhe und Tropfengröße - damit verknüpft der Fallgeschwindigkeit -, bis zu 10 Minuten, bis sie den Boden erreichen (WMO, 2024).
- Wo erreichen die in der Höhe gemessenen Niederschläge den Erdboden? Je nach Windverhältnissen zwischen dem Messort und dem Boden kann der Niederschlag bis zu einer Distanz verdriftet werden, die seiner Messhöhe entspricht (Lack & Fox, 2007).

Der Vergleich mit einem Bodenmessnetz wie den IoT-Sensoren kann helfen, diese Fragen zu beantworten.

Erkenntnisse

Die Untersuchung in Lübeck beruhte auf geprüften, korrigierten und angeeichten Radardaten des Schleswig-Holstein-Komposits, die für das Landesamt für Umwelt aus den Daten der Radare in Römö (Dänemark) und Boostedt (Deutschland) bereitgestellt werden. Das Radar Boostedt des Deutschen Wetterdienstes misst in einer Höhe von 900 m über Lübeck in einer Entfernung von 45 km vom Radarstandort.

Für den Vergleich zwischen den Messdaten des Sensornetzes und den Radarmessungen wurden zunächst fünf Starkregenereignisse aus dem Sommer 2024 festgelegt. An jedem Sensor wurde für jedes untersuchte Ereignis die Spearman-Korrelation zwischen den Zeitreihen der Klassen und der Radarniederschlagsmengen am gleichen Ort berechnet. Anschließend wurden die Radardaten verschoben: in der Zeit um -5, 0, 5 Minuten und im Raum um einen Rasterpunkt in die acht Himmelsrichtungen. Die Ergebnisse wurden dargestellt (Abbildung

1) und ausgewertet. Es wurde deutlich, dass es für die verschiedenen Ereignisse unterschiedliche Verschiebungen gibt, die optimale Übereinstimmungen zeigen. Zugrichtung und Zuggeschwindigkeit der Niederschlagszellen werden derzeit noch ausgewertet und auf der Veranstaltung präsentiert.

Schlussfolgerungen

Radarmessungen treffen nicht zu dem Zeitpunkt und an dem Ort auf, die die Messung suggeriert. Allerdings sind die Abweichungen nur bei kleinräumigen Niederschlagszellen bzw. räumlich heterogenem Niederschlag erkennbar. Das bedeutet aber auch, dass bei Starkregenauswertungen besonders sorgfältig beobachtet werden sollte, inwieweit Schäden und Abflüsse auch in direkter Nachbarschaft zu den höchsten Regenmengen der Radarmessung beobachtet wurden.

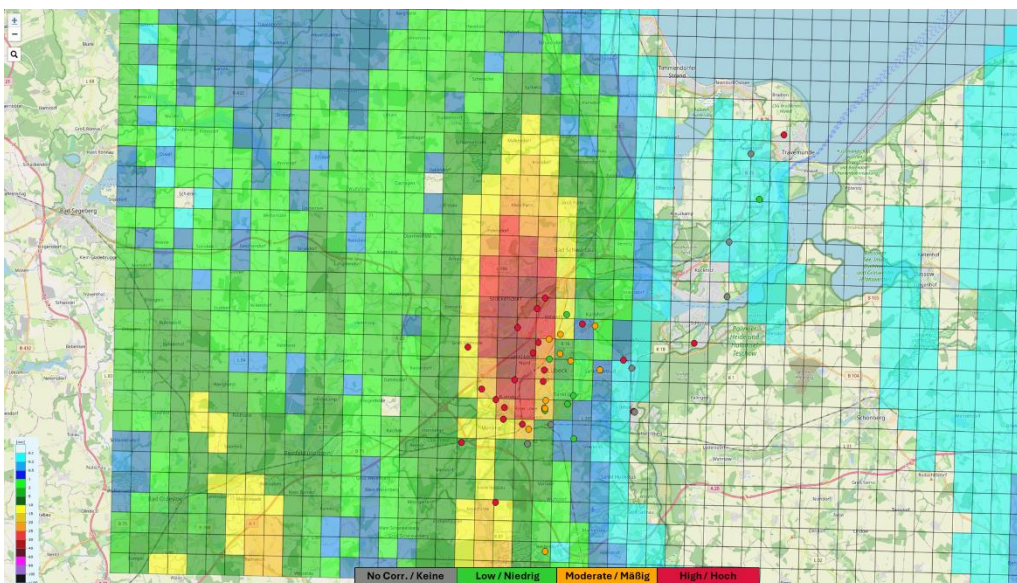


Abbildung 1: Korrelationen für das Ereignis am 26. Mai 2024 bei einer zeitlichen Verschiebung von 5 Minuten ohne räumliche Verschiebung. Die farbigen Punkte zeigen die Güte der Korrelation in den Farben rot (> 0.7), orange (> 0.5), grün (> 0.3) und grau (-0.3 bis 0.3) – die farbigen Rasterpunkte entsprechen der Niederschlagsmenge in mm bei diesem Ereignis.

Danksagungen

Diese Untersuchung wurde im Rahmen des Projektes heavyRAIN vom mFUND gefördert. Weiter danken die Autoren den Teilnehmern am EU-Projekt STARR-ING für die nützlichen Diskussionen im Rahmen des Workshops an der EAWAG in Dübendorf vom 3.-5.9.2024.

Literatur

- Einfalt, T., Jahnke-Bornemann, A., Jasper-Tönnies, A., Kupzig, J., Neumann, J., Opper, H. (2024) Weather radar and IoT sensor networks: which information from which source? Book of Abstracts, International Conference on Urban Drainage ICUD 2024, Delft. https://www.hydrometeo.de/wp-content/uploads/202406_ICUD_IoT_sensors_Poster.pdf (besucht am 28.11.2024)
- HKC (2021) Umgang mit hydrologischen Belastungsgrößen in Zeiten des Klimawandels – Hochwasser und Starkregen. HKC Werkstattbericht 2021, 78 S. <https://www.hkc-online.de/Projekte/HydroBelastung/ePaper%20WSB%202021/index.html#0>
- Lack, S. A., & Fox, N. I. (2007). An examination of the effect of wind-drift on radar-derived surface rainfall estimations. Atmospheric Research, 85(2), 217–229.
- Treis, A.; Einfalt, T.; Weigl, E.; Keller, T.; Gattke, C.; Kaiser, M.; Schitthelm, D.; Pfister, A. (2016): Kombination hochaufgelöster Radarniederschlagsinformationen und terrestrischer Ombrometer-daten, Ergebnisse des DX-Offline Projektes der

Wasserverbände NRW mit dem Deutschen Wetterdienst. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, Jg.9, Nr. 4, 2016, S.233-242.

WMO (2024): WMO Guide to Operational Weather Radar Best Practices, WMO-No. 1257. <https://community.wmo.int/en/activity-areas/weather-radar-observations/best-practices-guidance> (besucht am 28.11.2024)

Bewertung von Durchflussmessungen in Bezug auf die Messlotrechtenanzahl 2.0

Felix Simon¹, Marcel Gaj^{2,3}, Jonas Schwarting⁴ und Christoph Mudersbach⁵

¹Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserbau und Hydromechanik, felix.simon@hs-bochum.de

²Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, marcel.gaj@lanuv.nrw.de

³Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft, marcel.gaj@lanuv.nrw.de

⁴Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserbau und Hydromechanik, jonas.schwarting@stud.hs-bochum.de

⁵Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserbau und Hydromechanik, christoph.mudersbach@hs-bochum.de

Die Anforderungen an eine Durchflussmessung umfassen die möglichst genaue und detaillierte Darstellung der Fließverhältnisse im Gewässer. Die Evaluierung und der Vergleich von Durchflussmessungen stellen ebenfalls wesentliche Aspekte in der Hydrometrie dar. Die präzise Erfassung von Strömungsverhältnissen und Querprofilen ist von entscheidender Bedeutung, um Durchflussmengen zu ermitteln. Demgegenüber stehen jedoch Zeit- und Kostenfaktoren sowie die Komplexität der Durchführung von Durchflussmessungen. Der zeitliche Aufwand von stangengeführten Durchflussmessungen nach dem Geschwindigkeitsflächenverfahren ist in erheblichem Maße von der Anzahl der Messlotrechten abhängig.

Die DIN EN ISO 748 (2022) definiert die anzuwendenden Messverfahren, die Berechnung des Durchflusses sowie die Anforderungen an die Messungen selbst. Diesbezüglich wird eine Mindestanzahl an Lotrechten in Abhängigkeit der Gewässerbreite vorgegeben. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Anzahl der verwendeten Messlotrechten einen signifikanten Einfluss auf die berechnete Gesamtunsicherheit ausübt, wobei Faktoren wie die Gewässerform in der Berechnung unberücksichtigt bleiben. In vorangegangenen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass auch mit einer geringeren Anzahl an Messlotrechten exakte Ergebnisse erzielt werden können (Simon et al., 2023).

Im Rahmen weiterer Durchflussmessungen sollen die vorliegenden Ergebnisse validiert und durch eine vertiefende Analyse erweitert werden. Zu diesem Zweck wurden durch das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW an 23 Pegeln Durchflussmessungen mit einer hohen Anzahl von Messpunkten durchgeführt, wobei bei der Auswahl unterschiedlichste Gewässerformen und -größen berücksichtigt wurden. Des Weiteren soll untersucht werden, wie viele Geschwindigkeitspunkte an einer Lotrechten berücksichtigt werden sollten. Zudem sollen Muster in Bezug auf Querschnittsform und -breite ermittelt werden.

Im Rahmen der vorliegenden Analysen wird eine interaktive R-Shiny-Applikation entwickelt, welche im Nachgang frei zur Verfügung gestellt werden soll. Die Anwendung hat zum Ziel, Abweichungen nach den hier vorgestellten Verfahren automatisch zu bestimmen und in einer visuell darstellbaren Form zu präsentieren. Infolgedessen ist es den Anwenderinnen und Anwendern möglich, eigene Messungen zu analysieren.

Literatur

DIN EN ISO 748:2022 (2022): Hydrometrie. Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Fließgeschwindigkeitsmessgeräten (ISO 748:2021).

Simon F., Mudersbach C., Eckel L., Hartung A. (2023). Vergleich und Bewertung von Durchflussmessungen nach dem Geschwindigkeits-Flächen-Verfahren in Bezug auf die begrenzte Anzahl von Messlotrechten. *Wasserwirtschaft* 113 (7–8): 52–55. doi:10.1007/s35147-023-1872-9

Themen und Arbeiten der DIN Arbeitsgruppe Hydrometrie

Ole Rössler¹, Alexander Hartung²

¹Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Referat M1 - Gewässerkundliche Grundsatzfragen, Hydrometrie und Gewässerphysik, roessler@bafg.de

²Emschergenossenschaft, Gruppenleiter Pegelwesen und Abfluss, hartung.alexander@eglv.de

DIN – Arbeit als wichtiger Baustein in der zergliederten hydrometrischen Landschaft

Die Zuständigkeiten und die Organisation der Hydrologie in Deutschland ist gerade im internationalen Vergleich sehr zergliedert. So teilen sich u.a. der Bund, die Länder, die Wasserwirtschaftsverbände, lokale Wasserversorger sowie private und öffentliche Stromwirtschaft die Aufgabe der hydrologischen Bewertung und Beobachtung. Wenngleich diese Struktur im Sinne der regionalspezifischen, fachlichen Herausforderungen und des föderalen Gedankens steht, ergeben sich Herausforderungen bei der Vergleichbarkeit von Beobachtungen. Gemeinsame Standards bei den Erfassungsmethoden sind daher als gemeinsame Basis besonders relevant. Diese Relevanz spiegelt sich in mehreren, teils überregionalen Standards wieder, zu nennen ist z. B. das LAWA-Pegelhandbuch. Allerdings sind aus den jeweiligen Behörden, Instituten oder Firmen auch weitere Spezifizierungen oder Abwandlungen der allgemeinen Vorgaben bekannt, so dass es auch in gewissem Maße zu einer Standardvielfalt kommt. Diese Vielfalt an Standards ist auch im internationalen Kontext u. a. an diversen ISO/CEN – Standards und WMO Guidelines zu erkennen.

Gleichzeitig zu dieser Vielfalt sind im internationalen Kontext nicht alle nationalen Standards vertreten. So fehlt beispielsweise die national übliche Berechnung des Durchflusses über Geschwindigkeitsflächen in den internationalen Standards. Umgekehrt spielen internationale Standards in der Hydrometrie eine untergeordnete Rolle. Diese Zusammenfassung verdeutlicht die Notwendigkeit des DIN als der überregionalen Normierungsinstitution und als Schnittstelle zwischen nationalen und internationalen Standards.

Mitglieder und Zusammensetzung der Arbeitsgruppe

Der DIN Arbeitsausschuss Hydrometrie NA 119-01-05 AA existiert seit mehr als 49 Jahren, er ist ein wichtiger Bestandteil für die Entwicklung, Begutachtung und Betreuung der Normen im deutschsprachigen Raum. Der Arbeitsausschuss besteht zurzeit aus 12 Mitgliedern von öffentlichen Institutionen, Universitäten und Hochschulen sowie Geräteherstellern aus dem deutschsprachigen Raum (Österreich, Schweiz und Deutschland). Als ein Beispiel für die Arbeit des DIN (DIN, 2024) möchten wir die ISO Arbeitsgruppe WG 9 unter der Leitung von Alexander Hartung vorstellen:

ISO Arbeitsgruppe WG 9 „Messung der Oberflächengeschwindigkeit in Fließgewässern“

Die ISO/TC Arbeitsgruppe WG 9 aus dem Bereich ISO/TC 113/SC 1/WG 9 mit dem vollständigen Titel „Use of non-contact methods for measuring water surface velocity and determining discharge“ hat die Messung der Oberflächengeschwindigkeit in Fließgewässern zum Inhalt. Für Messungen dieser Art werden hauptsächlich Laser, Radar und sämtliche bild- / videobasierten Verfahren verwendet. Sie können temporär oder permanent ausgeführt werden, der Schwerpunkt im Hinblick auf Anwendung, Durchführung sowie Analyse der

Messungen liegt zunächst auf den fest installierten und permanent messenden Anlagen, wobei diese Grundlagen genauso für die temporären Einsatzzwecke gelten und berücksichtigt werden sollten.

Die Zusammensetzung dieser internationalen Arbeitsgruppe besteht aus Mitgliedern der nationalen Komitees von Schweden, Großbritannien, Niederlande, Deutschland, Frankreich, Schweiz und Korea. Aktuell befindet sich das Arbeitspapier noch in dem Status „WD“ (working draft), in Kürze wird es in einen sogenannten „CD“ (committee draft) überführt, hiermit einhergehend wird das Arbeitspapier international begutachtet und kommentiert. Laut dem bisherigen Zeitplan ist der Abschluss für das Jahr 2026 vorgesehen, ob das Dokument schließlich ein „IS“ (international standard), ein „TS“ (technical standard) oder ein „TR“ (technical report) wird, ist dabei noch offen.

Ausblick

Die im ersten Abschnitt aufgeführten Beispiele für die unterschiedliche Verwendung nationaler und internationaler Normen sowie die Inhalte der Arbeitsgruppe WG 9 aus Abschnitt zwei verdeutlichen, dass hinsichtlich der Entwicklung, Begutachtung und Betreuung der hydrometrischen Normen im deutschsprachigen Raum und dem Abgleich mit internationalen Richtlinien noch einige Aufgaben zu erfüllen sind, zu deren Mitarbeit wir herzlich einladen.

Literatur

DIN – kurz erklärt (2024): <https://www.din.de/de/ueber-normen-und-standards/basiswissen>; DIN e. V., Berlin

Automatisierte Analyse und Qualifikation wasserwirtschaftlicher Messdaten in individualisierten Messnetzen – Das Python-Paket TSCC

Karen Schulz¹, Andre Niemann¹ und Thorsten Mietzel²

¹ Universität Duisburg-Essen, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, karen.schulz@uni-due.de, andre.niemann@uni-due.de

² Universität Duisburg-Essen, Institut für Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft, thorsten.mietzel@uni-due.de

Einleitung

Die schnell voranschreitende Entwicklung von digitalen Zwillingen mit der einhergehenden Vernetzung von Umweltdaten bietet in Kombination mit Vorhersageinformationen neue Möglichkeiten zur Umweltüberwachung und zum Betrieb wasserwirtschaftlicher Systeme. Die dabei genutzten Datenquellen sind vielfältig aber auch in Art und Umfang qualitativ unterschiedlich. Eine händische Prüfung, Plausibilisierung oder gar Korrektur ist in derartigen Systemen nicht mehr möglich. Gesucht werden also robuste Verfahren zur (teil-)automatisierten Datenprüfung.

Die Qualität von Sensordaten spielt eine fundamentale Rolle bei der Beurteilung und beim Einsatz dieser datengetriebenen Entscheidungssysteme (Ehrlinger und Wöß 2022). Die Datenqualität kann durch verschiedene Faktoren wie Fehlfunktionen, Messfehler oder Umwelteinflüsse beeinträchtigt sein. Eine Standardisierung von Arbeitsabläufen zur Qualitätssicherung von Sensordaten im Umweltbereich ist somit aktuell angezeigt und unumgänglich (Schmidt et al. 2022).

Das frei zugängliche Python-Paket TSCC¹ (Time-Series Check and Correct) wurde entwickelt, um hier einen Beitrag zu leisten. Ziel ist es, eine Lösung zu bieten, die es ermöglicht, fehlerhafte Zeitreihendaten zu erkennen, zu analysieren und -falls möglich- zu korrigieren. Das Paket TSCC ist für den Einsatz in der Wasserwirtschaft konzipiert und wird kontinuierlich weiterentwickelt. Aktuell ist es insbesondere für den Fall konzipiert, dass Sensordaten mit einer schiefen statistischen Verteilung in Echtzeit erfasst werden sollen. Speziell sind die Parameter Niederschlag, Wasserstand und Abfluss adressiert.

Material und Methoden

Die TSCC-Dokumentation bietet detaillierte Erläuterungen zu den verschiedenen Funktionen des Pakets. Die Zielgruppe der Entwicklung sind Betreiber, Behörden, Wissenschaftler und Einrichtungen, die mit Sensordaten arbeiten, insbesondere im Bereich der Wasserwirtschaft und Umweltüberwachung.

TSCC soll Anomalien und Fehler in Zeitreihendaten erkennen, diese analysieren und ggfs. korrigieren. Die einzelnen Module des Pakets können Abbildung 1 entnommen werden. Die Erkennung von Datenfehlern, wie z. B. Ausreißern und plötzliche Veränderungen in den Messwerten, sowie die Korrektur und Ersatzwertbildung fehlender Daten kann dabei sowohl mit klassischen statistischen als auch mit Machine-Learning Verfahren durchgeführt werden. Zudem werden Vorverarbeitungs-, Explorations-, und Evaluationstools bereitgestellt.

¹ <https://pypi.org/project/TSCC/>

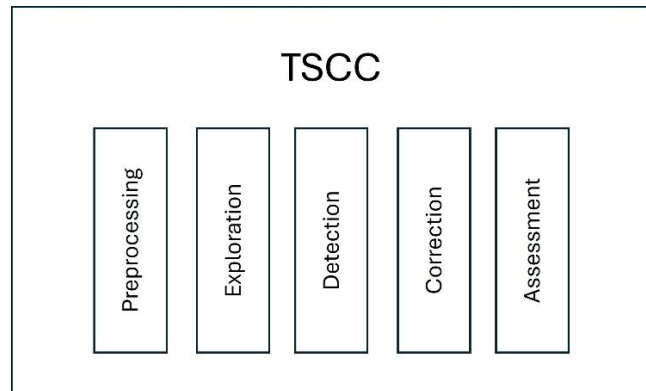


Abbildung 1: Übersicht der Funktionalitäten von TSCC

Schlussfolgerung

TSCC bietet einen Lösungsbeitrag für die Qualitätssicherung von Zeitreihendaten. Die Toolbox ist auf Anwendungen im Bereich der Wasserwirtschaft und Umweltüberwachung zugeschnitten. Mit seinen Funktionen zur Fehlererkennung und -korrektur trägt Sie dazu bei, die Verlässlichkeit von Sensordaten zu verbessern und die Grundlage für präzisere und aussagekräftigere Analysen zu schaffen.

Die modulare Architektur sowie die Möglichkeit zur Integration in bestehende Workflows machen TSCC zu einem Werkzeug, das sowohl in der Praxis als auch in der Forschung angewendet werden kann. Durch den Einsatz von TSCC können Anwender sicherstellen, dass ihre Zeitreihendaten eine hohe Qualität aufweisen und fundierte Entscheidungen auf dieser Grundlage getroffen werden können.

Danksagung

Die Arbeit wird im Rahmen von „HÜProS“ (Hochwasser- und Überflutungsprognosesystem für kleine Mittelgebirgseinzugsgebiete) durch das MUNV NRW, gefördert. Wesentliche Vorarbeiten wurden zudem im Rahmen des Projektes KIWaSuS (<https://kiwasus.de/>) geleistet. Das Vorhaben wurde vom BMBF unter der Förderkennziffer 13N15559 gefördert.

Literatur

- Ehrlinger, Lisa; Wöß, Wolfram (2022): A Survey of Data Quality Measurement and Monitoring Tools. In: Front. Big Data 5, S. 850611.
- Schmidt, Lennart; Schaefer, David; Geller, Juliane; Lünenschloss, Peter; Palm, Bert; Rinke, Karsten; Bumberger, Jan (2022): System for Automated Quality Control (Saqc) to Enable Traceable and Reproducible Data Streams in Environmental Science. In: SSRN Journal.

Echtzeitschätzung des bodennahen Regengeschehens aus Radardaten

Daniel Fitzner-Pukade¹, Alina Domass², Dimitri Falk³, Adrian Treis⁴ und Stefan Krämer⁵

¹Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH, d.fitzner@itwh.de

²Emschergenossenschaft / Lippeverband, domass.alina@eglv.de

³Emschergenossenschaft / Lippeverband, falk.dimitri@eglv.de

⁴Emschergenossenschaft / Lippeverband, treis.adrian@eglv.de

⁵Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH, s.kraemer@itwh.de

Einführung

Radarregendaten liefern raumzeitlich hochaufgelöste Niederschlagsinformationen. Deren Vorteile gegenüber punktuellen Regenschreiberbeobachtungen zeigen sich besonders bei konvektiven Niederschlagsprozessen. In urbanen Siedlungsgebieten sind die konvektiven Ereignisse aufgrund der hohen Versiegelungsgrade und den dynamischen Abflussprozessen maßgebend für die Dimensionierung der Entwässerungssysteme. Darüber hinaus gefährden Starkregenereignisse und die resultierenden Überflutungen Menschen und verursachen hohe volkswirtschaftliche Schäden. Die Anwendung der räumlichen Radarniederschlagsinformation sowohl für die optimale Planung und den operationellen Betrieb siedlungswasserwirtschaftlicher Systeme als auch für die Identifikation und Vorhersage kritischer Belastungszustände und Überflutungen in Echtzeit ist daher von strategischer Bedeutung (Krämer et al. 2024).

Zentrale Voraussetzungen für die sachgerechte und belastbare Anwendung von Radarregendaten sind:

1. Hohe quantitative Genauigkeit in der flächendeckenden Abbildung der Regenintensität
2. Hohe Richtigkeit in der raumzeitlichen Abbildung der Regenstrukturen
3. Echtzeit-Bereitstellung innerhalb der Aktualisierungsrate der Radardaten ($dt \leq 5 \text{ min}$)
4. Hohe Verlässlichkeit der Regeninformation für die Entscheidungsfindung im Ereignisfall

Für die anforderungsgemäße Aufbereitung von Radardaten wurde die Software NVIS-Server entwickelt. Im Gegensatz zu gewöhnlichen Radar-Regenschreiberanpassungsverfahren (Schleiss et al. 2020) erfolgt hier eine zeitschrittweise Korrektur physikalischer Einflüsse auf die Radarmessung; dazu gehört u.a. die Korrektur der Radarsignaldämpfung, die für konvektive Niederschlagsprozesse mit Jährlichkeiten $> T = 1 \text{ a}$ kritisch ist. Die Korrektur ist innerhalb eines ensemblebasierten Ansatzes zur Anpassung der korrigierten Radardaten an Bodenbeobachtungen eingebettet. Dabei wird ein mittlerer Korrekturfaktor über alle verfügbaren Bodenbeobachtungen zeitschrittweise ermittelt und auf die Radardaten aufgeprägt; die in der Atmosphäre gemessenen Radarregensstrukturen bleiben erhalten.

Aufgrund des individuellen Ereignischarakters, den Windverhältnissen sowie der Entfernung des Untersuchungsgebiets vom Radarstandort weisen die korrigierten Radardaten jedoch noch immer räumliche, zeitliche sowie lokale Unterschiede in der Regenhöhe zwischen Radar- und Regenmessung am Boden auf (Collier 1999). Daher wurde ein weiteres Modul zur Analyse und Korrektur dieser Einflüsse entwickelt.

Methodik

Das ergänzende Modul besteht aus folgenden Arbeitsschritten:

- Bestimmung von Raum-Zeit-Versätzen zwischen Radar- und Regenschreibermessungen mittels Kreuzkorrelation
- Analyse der Raum-Zeit-Versätze auf räumliche Zusammenhänge und Interpolation auf die Fläche
- Rekonstruktion der räumlichen Regenstrukturen aus der Radarmatrix auf Basis der Versätze
- Bestimmung der Abweichungen der Regenhöhen zwischen Radar- und Regenschreiber und Korrektur der Niederschlagsmatrix

Hieraus resultiert ein wasserwirtschaftliches, 5-minütlich aufgelöstes Regenradarprodukt, welches eine bestmögliche Schätzung der räumlichen Verteilung des Regengeschehens auf der Oberfläche bereitstellt. Die Methodik wurde für 20 Ereignisse in den Einzugsgebieten von Emscher und Lippe angewendet. Die Ergebnisse werden vorgestellt.

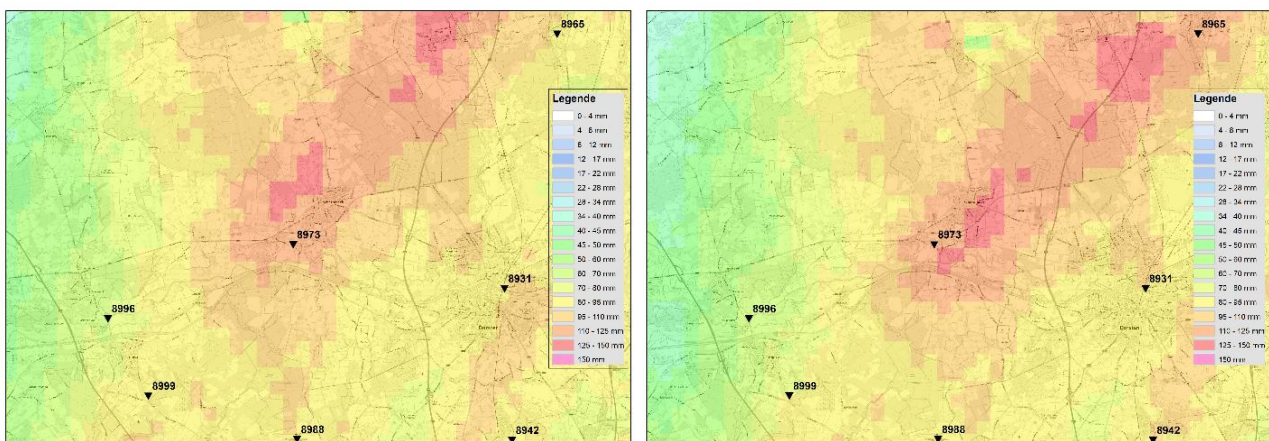


Abbildung 1: Kumulierte Regenhöhen, links: atmosphärisch, rechts: bodennah

Literatur

- Collier, C. (1999). The impact of wind drift on the utility of very high spatial resolution radar data over urban areas. *Physics Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans Atmosphere*, 24(8), 889–893
- Krämer S. et al. (2024): Die Bedeutung der räumlichen Niederschlagsbelastung für die Bewertung der hydraulischen Leistungsfähigkeit von Entwässerungssystemen, *Korrespondenz Abwasser, Abfall*, 71 (9), 694-707
- Schleiss, M. et al. (2020): The accuracy of weather radar in heavy rain: a comparative study for Denmark, the Netherlands, Finland and Sweden, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2020, 24, 3157–3188

Automatische Regenschreiber-Kontrolle unter Verwendung von Radardaten

Claudia Fennig¹, Thomas Einfalt² und Markus Jessen³

¹hydro & meteo GmbH, c.fennig@hydrometeo.de

²hydro & meteo GmbH, einfalt@hydrometeo.de

³hydro & meteo GmbH, m.jessen@hydrometeo.de

Einführung

Mit steigenden Datenmengen durch höhere Auflösungen (räumlich und zeitlich) steigen auch die Anforderungen an die Kontrolle von hydrometrischen Daten. Ob Wetterstationen, Wetterradar (Michelson et al., 2024), opportunistischen Sensordaten (Seidel et al., 2024) oder IoT-Sensoren – es wird immer wichtiger zu wissen, welchen Daten man vertrauen kann. Daher ist es unerlässlich, die nötige Qualität der Daten im Blick zu behalten.

Erfahrungen aus jahrzehntelangen Regenschreiber-Daten und aus zwei Jahrzehnten Radardaten zeigen: Die Qualität der Regenschreiberdaten ist sowohl für Online-Anwendungen als auch für Klimatrendanalysen von entscheidender Bedeutung. Manuelle Verfahren müssen für Online-Anwendungen und große Datenmengen mit automatisierten, radargestützten Methoden ergänzt und ersetzt werden.

Automatische Methoden der Regenschreiber-Kontrolle

Die Vergangenheit hat gezeigt, dass das räumlich-zeitliche Verhalten von Niederschlag (z.B. bei konvektiven Regenzellen) zu Problemen bei automatischen Kontrollen führt. Daher wurden bereits existierende Regenschreiber-Kontrollmethoden mit neuen Prüfmethode kombiniert:

1. Extremwernererkennung als Kombination von Regenschreibern und Radardaten mit festgelegten Schwellenwerten für verschiedene Zeitintervalle (5, 60, 1440 Min.)
2. Unplausibel hohe oder niedrige Einzelwerte (z.B. 0-Werte) im Vergleich zu Nachbarstationen & Radar
3. Räumlicher Vergleich von 4 benachbarten Stationen in unterschiedlichen Richtungen mit Hilfe vom Konfidenzintervall mit mediangewichteten Mittelwerten und Standardabweichungen zu Radardaten
4. Berechnung von Korrelationskoeffizienten für Regenschreiber und Radar für ein vorgegebenes Zeitintervall an einem Standort zur Formanalyse von Summenlinien

Evaluation der neuen Methoden

Für die Evaluation der neuen Methoden wurden in NRW zwei Testgebiete über einen Zeitraum von einem Jahr betrachtet und ausgewertet. Das kleine Gebiet umfasste nur 69 Regenschreiber, ist aber orographisch schwierig. Das große Gebiet beinhaltet ganz NRW mit insgesamt 873 Regenschreibern. Als Radardaten ging ein korrigiertes Komposit von vier Radars ein. Die Ergebnisse der neuen Methoden wurden mit einer manuellen, gut dokumentierten Kontrolle für einen Aneichungszeitraum von einem Tag und drei Stunden verglichen.

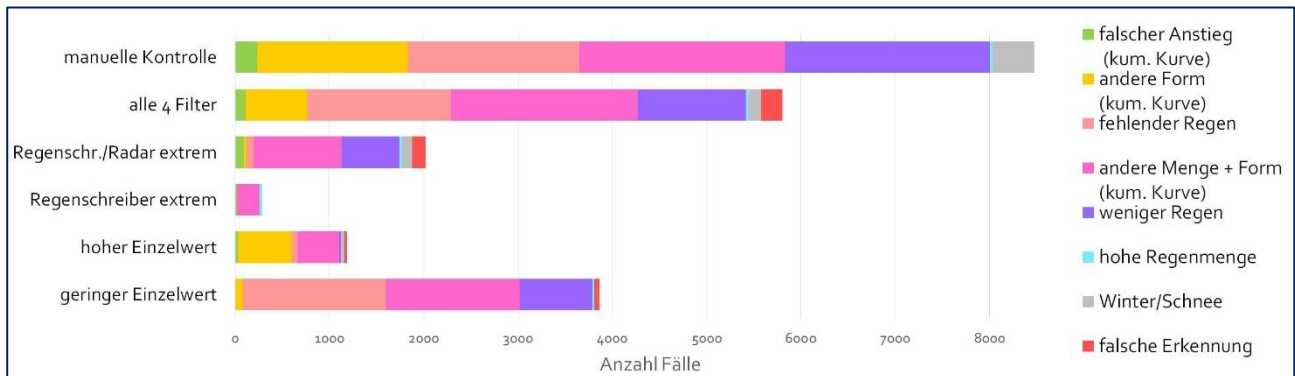


Abbildung 1: Vergleich von automatischer und manueller Kontrolle

Für die Auswertung der automatischen Regenmesserprüfungen wurden die Ergebnisse in zwei Schritten analysiert:

1. Fallzahlen in Fehlerkategorien vergleichen (s. Abb.1)
2. Zeitreihen bei neuen Auffälligkeiten manuell kontrollieren

Ergebnisse und Ausblick

Durch die Einbeziehung von Radardaten zeigten die ersten Ergebnisse der automatischen Überprüfungen eine deutliche Verbesserung im Vergleich zur vorherigen automatischen Methodik allein auf Basis von Stationsdaten. Viele (ca. 70 %) der manuell gefundenen Fehler konnten mit intelligenten Methodenkombinationen und festgelegten Schwellenwerten erkannt werden. Dies ist eine gute Grundlage zur Verbesserung der Regenschreiberdaten für die Online-Nutzung und für Aneicherung mit Radardaten.

Die Korrelationsprüfung und der räumliche Vergleich mit Regenschreiber und Radar ergaben für das kleine Testgebiet eine hohe Anzahl an Fehlerkennungen, so dass die Ergebnisse für das große Testgebiet nicht kontrolliert wurden. Bei dem räumlichen Vergleich sind diese Fälle auf eine geringe Regenschreiberdichte und orographische Problematiken zurückzuführen. Neue falsche Fälle der Korrelationsprüfung ergaben sich z.B. bei Tagesübergängen, falls Radar und Regenschreiber leicht zeitlich zueinander verschoben waren. Dieser Effekt war verstärkt zu beobachten, wenn das Zeitintervall von einem Tag auf 3 Stunden reduziert wurde.

Literatur

- Michelson, D. et al. (2024): WMO JET OWR Best Practice Guide for Weather Radar, URL: <https://community.wmo.int/en/activity-areas/weather-radar-observations/best-practices-guidance> (accessed 27th November 2024)
- Seidel, J., Einfalt, T., Jessen, M., Bárdossy, A., El Hachem, A., Treis, A. (2024): Using personal weather station data for improving precipitation estimates and gauge adjustment of radar data. EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024, EGU24-5437, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-5437>, 2024.

Möglichkeiten der einfachen und schnellen Bestimmung der Oberflächengeschwindigkeit bei der Ölabwehr

Torsten Lambeck¹

¹Stadt Hagen, Untere Wasserbehörde, torsten.lambeck@stadt-hagen.de

Problemstellung

Zum Rückhalt von Mineralölfilmen auf Gewässern kommen schwimmende Ölsperren zum Einsatz, die üblicherweise aus vorgefertigten Elementen zusammengesetzt werden und für die nach Möglichkeit schon im Vorfeld feste Ankerpunkte festzulegen sind. Für die Dimensionierung und Ausbringung dieser schwimmenden Sperren sowie auch zur Abschätzung der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Ölfilms ist in Fließgewässern die Kenntnis der Strömungsgeschwindigkeit unerlässlich. Oberhalb einer kritischen Anströmgeschwindigkeit $v_{A \text{ krit}} = 0,35 \text{ m/s}$ senkrecht zur Sperre kommt es zum laminaren Abriss und in der Folge zum Austrag des Ölfilms unter der Sperrschürze hindurch. Ein Rückhalt von Öl ist unter diesen Umständen ganz allgemein nicht mehr möglich, es besteht dann nurmehr die Option, den Film mittels im spitzen Winkel zur Normalströmungsrichtung positionierten Leitsperren in ruhigere Strömungsbereiche abzulenken. Zur Bestimmung des zulässigen Anstellwinkels und der daraus resultierenden minimal erforderlichen Länge der Leitsperre muss die maximal auftretende Oberflächengeschwindigkeit, bekannt sein. Den kommunalen Umweltbehörden und Feuerwehren, die regelmäßig mit der Ölbekämpfung befasst sind, stehen in der Regel aber weder detaillierte Informationen über die Geschwindigkeitsverteilung in den örtlichen Gewässern zur Verfügung noch Messgeräte und entsprechend geschultes Personal, um diese zu ermitteln. Ausgehend von dieser Problemstellung wurden an vorgesehenen Ölsperrenpunkten der Stadt Hagen zwei möglichst einfache, leicht zu vermittelnde und kostengünstige Verfahren erprobt, die eine schnelle und belastbare Aussage über die maximale Oberflächengeschwindigkeit beziehungsweise bei entsprechender Vorbereitung auch deren indirekte Ableitung aus der Wasserstandsaufzeichnung benachbarter Pegel ermöglichen könnten.

Messreihen mit Oberflächenschwimmern an 3 Ölsperrenpunkten und Vergleich mit Kameraverfahren

An drei Gewässerquerschnitten im Mündungsbereich der Volme und der Lenne sowie am Brückenbauwerk der Autobahn 45 über die Lenne wurden in den Jahren 2023 und 2024 Messungen der Fließgeschwindigkeit mit Oberflächenschwimmern bei wechselnden Wasserständen vorgenommen. Messungen der Laufzeit von Schwimmern sind eine der ältesten und anschaulichsten Methoden zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit. Sie stellen nach wie vor ein allgemein anerkanntes Verfahren nach dem Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder dar und werden darin gerade auch dort zur Bestimmung der maximalen Oberflächengeschwindigkeit empfohlen, wo andere Verfahren im Hochwasserfall nicht mehr anwendbar sind. Der materielle und zeitliche Vorbereitungsaufwand ist ausgesprochen gering und beschränkt sich auf die Auswahl und Vermaßung der Messstrecke und die Beschaffung einer ausreichenden Anzahl geeigneter Schwimmkörper. Die Messung selbst nimmt auch bei der geforderten Anzahl von mindestens drei Einzelmessungen nur wenige Minuten in Anspruch. Die hier gewählten Messstrecken bewegten sich zwischen 14,8 und 22,2 m, als Schwimmkörper wurden Orangen verwendet. Die Messergebnisse wurden in Beziehung gesetzt zu zeitgleich an den oberstrom gelegenen Pegeln Hagen_Eckesey beziehungsweise Hohenlimburg verzeichneten Wasserstandswerten. Im Vergleich mit den im selben Zeitraum durch den Ruhrverband am Pegel Hohenlimburg vorgenommenen Abflussmessungen zeigt sich, dass die Messunsicherheit dabei unter günstigen Bedingungen, – stationär-gleichförmiger Abfluss, kompakter, regelmäßiger Querschnitt, homogene Geschwindigkeitsverteilung – wie sie an der Messstelle am Brückenbauwerk der A45 vorgefunden wurden,

nicht hinter Messungen mit modernen hochaufgelösten Verfahren zurückbleiben muss (Abbildung 1). An den beiden anderen Standorten, die jeweils im Rückstau und im Einzelfall auch unterstrom der Ausleitung von Wasserkraftanlagen liegen, traten erheblich größere Schwankungen der Messergebnisse auf. Der Versuch, die Ergebnisse mit der kamerabasierten Discharge App der schweizer Photrack AG auf dem Smartphone zu reproduzieren, war nur eingeschränkt erfolgreich. Die dabei ermittelten Fließgeschwindigkeiten schwankten sehr stark und lieferten häufiger unrealistisch hohe oder niedrige Ausreißer, die Suche nach den Ursachen dauert noch an. Anhand der vorgenommenen Schwimmermessungen konnten aber bereits wertvolle Erkenntnisse für die Organisation der Ölabwehr im Bereich der Stadt Hagen gewonnen werden.

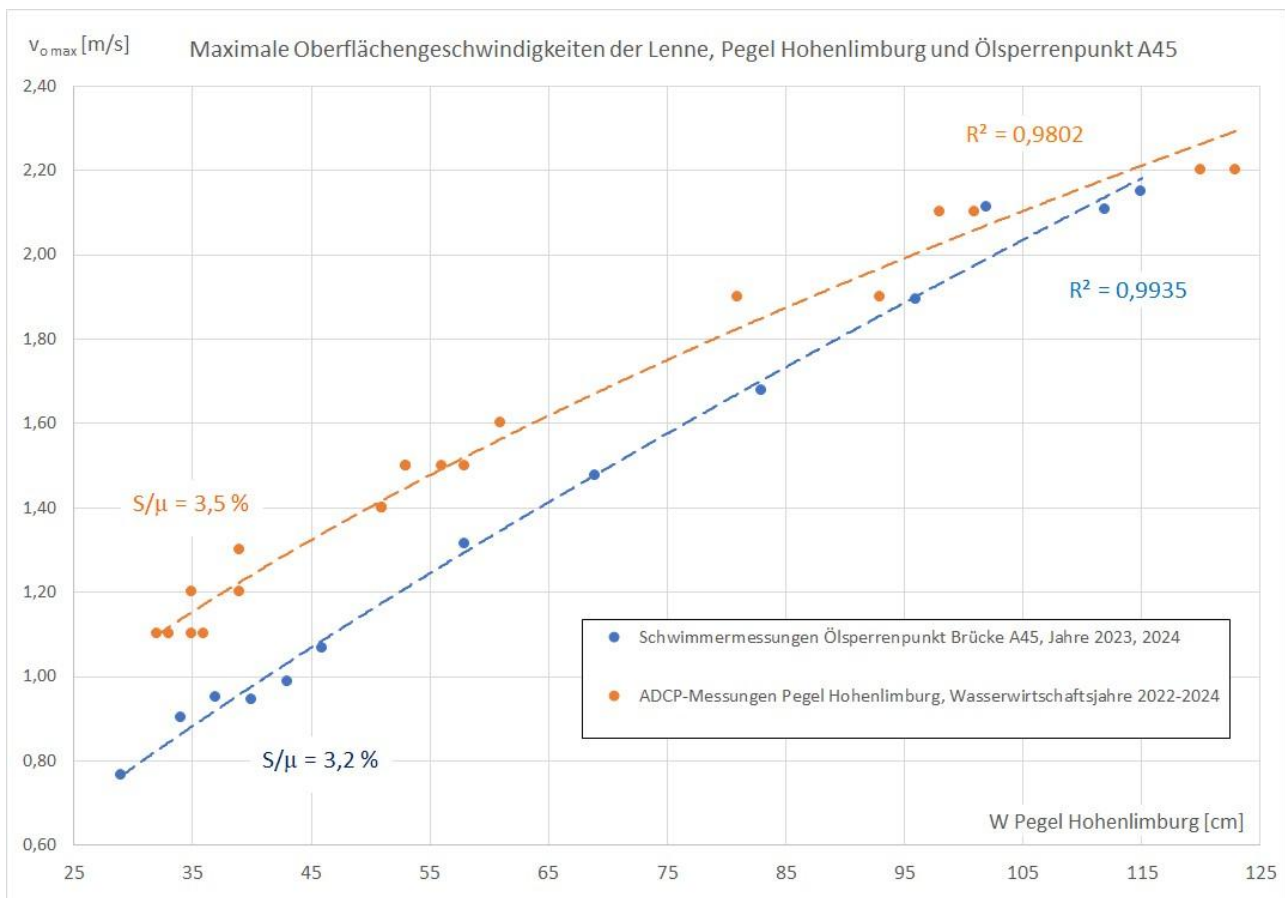


Abbildung 1: Schwimmermessungen an der Brücke der A45 im Vergleich mit ADCP-Messungen des Ruhrverbands am Pegel Hohenlimburg

Literatur

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1999): Anforderungen an vorgefertigte Ölsperren für Binnengewässer. Bek. D. BMU v. 8.3.1999- WA I 3 - 23074/22
- Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2018): Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder – Pegelhandbuch. Berlin: Kulturbuch Verlag GmbH.
- Carrel, M., Detert, M., Peña-Haro, S., Luethi, B. (2019): Evaluation of the DischargeApp: A smartphone application for discharge measurements. In: Radice, A.: Proceedings of the 2nd International Symposium and Exhibition on Hydro-Environment Sensors and Software, Madrid: IAHR, S. 41-49.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2019): Merkblatt DWA-M 720-1 Ölschadenbekämpfung auf Gewässern – Teil 1: Ölsperren. Hennef: DWA.
- Perrault, P. (1678): De l'origine des fontaines. Paris: De la Caille.

Vergleich verschiedener Methoden zur Messung der Fließgeschwindigkeit

Victoria Scheuerer¹, Alexander Hartung²

¹Emschergenossenschaft, Kronprinzenstr. 24, 45128 Essen, scheuerer.victoria-sophia@eglv.de

²Emschergenossenschaft, Kronprinzenstr. 24, 45128 Essen, hartung.alexander@eglv.de

Motivation

Im Juni 2023 ereignete sich im Bereich der Emschermündung ein Hochwasser, das in Dinslaken zwischen den Brücken Heerstraße (oberstrom) und Hagelstraße (unterstrom) die linksseitige Böschung auf mehreren hundert Metern beschädigte. Im Anschluss fanden umfangreiche Sicherungs- und Wiederaufbaumaßnahmen statt, in deren Zusammenhang erstmalig Messungen des Wasserstandes und der Fließgeschwindigkeit an beiden Brücken durchgeführt wurden. An den etwa 650 m voneinander entfernten Brücken wurde jeweils eine Radarsonde für die Registrierung des Wasserstandes sowie eine radarbasierte Messung der Oberflächenfließgeschwindigkeit angebracht; an der Hagelstraße zusätzlich ein kamerabasiertes System zur Erfassung der Oberflächenfließgeschwindigkeit. Seit Beginn des Wasserwirtschaftsjahres 2010 befindet sich zudem an der Brücke Konrad-Adenauer-Straße, 1 km oberhalb der Heerstraße, eine Ultraschallanlage zur Messung der Fließgeschwindigkeit im Querschnitt sowie eine weitere Radarsonde für den Wasserstand. Zur Kalibrierung wurden seit Juli 2023 zahlreiche ADCP-Messungen an allen drei Brücken durchgeführt, um notwendige Referenzwerte bereitzustellen. Eine besondere Herausforderung sind dabei die nach wie vor stattfindenden Profilveränderungen durch die Baumaßnahmen in dem gesamten Bereich, die einen Abgleich der Systeme deutlich erschweren.

Stand der Arbeiten

Für den Vergleich wurden die Daten der drei Standorte Konrad-Adenauer-Straße (Referenzstandort), Heerstraße und Hagelstraße verwendet. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass insgesamt alle Messsysteme konsistente Daten liefern, dennoch treten Abweichungen zwischen den Standorten auf. Dies beruht wahrscheinlich auf unterschiedlichen Ursachen, den größten Einfluss haben sicherlich an der Hagelstraße die intensiven Baumaßnahmen, hier ändern sich die Profilstrukturen im Monatsrhythmus. Bezogen auf den Durchfluss im Mittelwasserbereich bewegen sich dennoch die gegenseitigen Abweichungen aller Systeme unterhalb eines 10 % Rahmen, für den unteren Hochwasserbereich müssen noch weitere Kalibriermessungen mit dem ADCP durchgeführt werden.

Die Fließgeschwindigkeiten weisen aufgrund des verschiedenen Sohlgefälles Unterschiede auf, wobei an den beiden sehr ähnlichen Standorten Konrad-Adenauer-Straße und Heerstraße die Fließgeschwindigkeiten weitestgehend übereinstimmen. Die beiden Systeme an der Hagelstraße haben im Mittelwasserbereich vergleichbare Geschwindigkeiten, diese befinden sich nur ein bis zwei Dezimeter unter denen der anderen beiden Standorte. Im Hochwasserbereich gehen die Geschwindigkeiten der beiden Systeme an der Hagelstraße deutlich auseinander.

Ausblick

Die kontinuierliche Kalibrierung der radar- und kamerabasierten Systeme durch aktuelle ADCP-Messungen in den unterschiedlichen Bereichen ausgehend vom Niedrig- bis zum Hochwasser liefert wichtige Erkenntnisse

zur Verbesserung der Genauigkeit bei der Erfassung von Fließgeschwindigkeiten (Morgenschweis, 2017), zusammengefasst ist dies der wichtigste Bestandteil auf dem Weg zu verlässlichen und genauen Durchflussdaten. Gleichzeitig stellt die ständige Veränderung der Profilstruktur an der Station Hagelstraße eine erhebliche Herausforderung dar, die die Erfassung konsistenter und präziser Daten erschwert.

Mit fortlaufender Betriebsdauer können die kamera- und radarbasierenden Messsysteme auch systematisch hinsichtlich ihrer Messgenauigkeit und Robustheit unter verschiedenen Umweltbedingungen verglichen werden. Dabei werden dann auch weitere potentielle Einflussfaktoren wie Sonneneinstrahlung und Witterungseffekte durch die Einbeziehung zusätzlicher Daten verbandseigener Klimastationen bewertbar. Letztlich sollen die Daten kamera- und radarbasierender Messsysteme als weiterer Baustein zur Verbesserung der Hochwasservorhersage bei EGLV etabliert werden.

Literatur

Morgenschweis, G. (2017). *Hydrometrie: Theorie und Praxis der Durchflussmessung im offenen Gerinne* (2. Auflage). Springer Verlag, S. 508–528.

Fließgeschwindigkeitskartierung – Tipps und Tricks für die Praxis

Rana Bengül¹, Tim Scheufen², Uwe Nicodemus³, Ole Rößler⁴

¹Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat M1, Benguel@bafg.de

²Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat M1, Scheufen@bafg.de

³Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat M1, Nicodemus@bafg.de

⁴Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat M1, Roessler@bafg.de

Abstract

Die Fließgeschwindigkeitskartierung (engl. *velocity mapping*) ist in Deutschland zwar ein relativ wenig verbreitetes, jedoch kein neues Themenfeld. In der Vergangenheit wurden vereinzelt Projekte durchgeführt (z.B. Nasner 2004). Angesichts wachsender Anforderungen an die Erfassung des Ist-Zustands von Gewässern sowie im Bereich des Monitorings könnte die Fließgeschwindigkeitskartierung künftig an Bedeutung gewinnen. In diesem Beitrag wird anhand von aktuellen Beispielen aus der Messtechnik erläutert, wie entsprechende Messungen vorbereitet, durchgeführt und nachbereitet werden. Ziel ist es, künftige Projekte zu unterstützen und den fachlichen Austausch zu diesem Thema zu fördern.

Zunächst werden die potenziellen Anwendungsgebiete der Fließgeschwindigkeitskartierung anhand von Fallbeispielen illustriert, darunter Kartierungen im Hafen von Brunsbüttel, an geschlitzten Bühnen im Bereich Schlüsselburg (Weser) und in Teichen des Weserberglandes. Die Auswahl und Verfügbarkeit geeigneter Messtechnik ist bei dieser Art von Untersuchungen von zentraler Bedeutung. Hierbei wird zwischen verschiedenen Geräteträgern unterschieden: Bemannten Booten, die sich für größere Gewässer wie den Vorhafen von Brunsbüttel eignen, ferngesteuerten Booten, die für schwer zugängliche Gebiete wie Teiche mit dichter Ufervegetation oder flachere Gewässerabschnitte (z.B. Bühnenfelder) von Vorteil sind, sowie einfachen Geräteträgern mit Seilführung, die in kleinen Bühnenfeldern oder Fließgewässern eingesetzt werden können.

Die sorgfältige Planung von Messkampagnen ist auch bei der Fließgeschwindigkeitskartierung essentiell. Dabei sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen, wie etwa die Erstellung eines Messplans (z.B. die benötigte Zeit für die Messung, relevante Wasserstände, die Notwendigkeit von Wasserspiegelfixierungen oder ob ein GNSS-System benötigten Höhenreferenzen liefert). Auch die Bestimmung der Messpunktdichte und die Anzahl der Transekte ist entscheidend und wird u.a. von der räumlichen und zeitlichen Heterogenität der Strömung beeinflusst. Darüber hinaus muss geklärt werden, ob der Geräteträger sich langsam genug bewegen lässt, um eine ausreichende Datenmenge an Messpunkten zu erfassen, insbesondere in Gewässern mit sehr langsamer oder gar ruhender Strömung.

Auch die Zugänglichkeit des Gewässers ist entscheidend: Gibt es vor Ort eine Rampe oder einen offenen Zugang? Muss eventuell Ufervegetation entfernt werden, um den Zugang zu ermöglichen? Ebenso wichtig ist die Vegetation im ufernahen Wasser – gibt es genügend Freiraum, um den Geräteträger sicher aus der Vegetation zu manövrieren?

Ergänzend können Hilfsmittel wie Schlauchboote oder Beiboote nützlich sein, um die Sichtverbindung (line-of-sight) sicherzustellen und Problemen wie dem Verlust des ferngesteuerten Geräteträgers oder Datenübertragungsabbrüchen während der Messung vorzubeugen.

Der Beitrag befasst sich auch mit möglichen Problemen während der Messungen, z.B. bei der Aufrechterhaltung der line-of-sight-Kommunikation, Geräteausfällen aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen (z.B. Feuchtigkeit, Regen) sowie den physikalischen Grenzen des verwendeten Messequipments (z.B. bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten oder großen Distanzen). Es werden zudem Empfehlungen gegeben, welche Ausrüstung zur Realisation langer Messtage mitgeführt werden könnte.

Erfahrungen mit der open-source post-processing-Software VMT (Velocity Mapping Toolbox) des USGS werden zusammen mit weiteren Auswertemöglichkeiten, wie beispielsweise der Nutzung von ArcGIS, dargestellt.

Insgesamt bietet der Beitrag einen praxisorientierten Leitfaden, der aufzeigt, welche Aspekte bei der Planung und Durchführung von Fließgeschwindigkeitskartierungen berücksichtigt werden sollten.

Literatur

Nasner, H. (2004): Hydrodynamische und morphologische Vorgänge in brackwasserbeeinflussten Vorhäfen – In situ Messungen - Die Küste, 68, 1-65.

Kabellose Ultraschall-Laufzeit-Differenzmessung - Neue Chance für bewährte Messtechnik

Sebastian Scheffler¹

¹Nivus GmbH, sebastian.scheffler@nivus.com

Vor allem in rückstaubeinflussten Gewässern und bei Gewässern mit sehr geringen Fließgeschwindigkeiten haben sich Ultraschall-Laufzeitdifferenz- Durchflussmessanlagen in der Vergangenheit bewährt. Nur durch die Messung in mehreren Ebenen im Medium erhält man Informationen über das Fließgeschwindigkeitsprofil und damit eine genaue Messung der mittleren Fließgeschwindigkeit.

Aktueller Stand der Technik

Die erforderlichen Kabelverbindungen zwischen Wandler und Messwertumformer können vor allem bei Mehrpfadanlagen durch die Querung des Gewässers zu erheblichen Kosten führen, welche die Kosten der eigentlichen Messanlage schnell überschreiten. Das kann zur Folge haben, dass an Messstellen, an denen bedingt durch äußere Begebenheiten nur mittels einer Ultraschall-Laufzeitanlage der Durchfluss gemessen werden kann, auf die Installation der Messung verzichtet wird. (vgl. Franke et al. 2008).

Kabelloses Laufzeitdifferenz-Messsystem

Die Firma Nivus GmbH hat ein kabelloses Laufzeitdifferenz-Messsystem (Wireless Transit Time – WTT) entwickelt, mit dem das Verlegen von Sensorkabeln von einem Ufer zum anderen entfällt. Kabel sind nur noch von den einzelnen Wandlern zu den Elektronikeinheiten an den jeweiligen Ufern notwendig.

Die Übertragung der Signale erfolgt mittels WLAN von einem Ufer zum anderen. Zur genauen Zuordnung der Signale erfolgt die Zeitsynchronisation mittels GPS.

Die Spannungsversorgung auf der Slave-Seite (Uferseite ohne Messwertumformer) kann mittels Photovoltaik, Batterie oder Brennstoffzelle erfolgen. Durch die Möglichkeit der Taktung der Messung ist es auch möglich, das komplette Messsystem mit den zuvor genannten Möglichkeiten zu betreiben.

Auch in dem WTT-System ist die Nivus-eigene Korrelationsauswertung der Ultraschallsignale enthalten. Mit diesem Verfahren können auch sehr geringe Fließgeschwindigkeiten sehr genau erfasst und gemessen werden. Bisher mussten bei Verwendung dieser Technologie die Kabellängen eines Sensorpaares gleich sein. Das führte dazu, dass vor allem bei breiteren Flüssen relativ viel Kabel an der Messstelle verstaut werden musste. Mit der WTT-Technologie entfällt dieser Nachteil.

Fazit

Mit dem Nivus WTT-System ist es jetzt möglich, stationäre Durchflusssysteme auch dort zu installieren und zu betreiben, wo es bisher nicht möglich oder aber die Installation des Messsystems zu kostenintensiv war.

Literatur

Franke, P., Frey, W. (2008): Durchflussmessung Wireless- Entwicklung einer Kabellosen Laufzeitmessmethode-.Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hg.) (2008): Ultraschall in der Hydrometrie: neue Technik – neuer Nutzen!?. Seminar am 3./4. Juni 2008 in Koblenz. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG-Veranstaltungen, 2/2008): 22-28

Raspberry Pi Reflektor (RPR): Ein kostengünstiger GNSS-IR-Sensor zur Überwachung von Wasserständen

Makan Karegar¹, Jürgen Kusche¹

¹Institut für Geodäsie und Geoinformation, Universität Bonn, karegar@uni-bonn.de

Raspberry Pi Reflektor:

An der Universität Bonn haben wir den Raspberry Pi Reflektor (RPR) entwickelt, einen kostengünstigen Sensor zur Überwachung des Wasserstands mithilfe der Global Navigation Satellite System Interferometric Reflectometry (GNSS-IR). Der RPR erreicht eine Genauigkeit von 1–2 cm, arbeitet zuverlässig unter extremen Wetterbedingungen und verursacht nur minimale Betriebskosten, da lediglich eine einmalige Installation erforderlich ist. Er kann entweder über einen Netzanschluss oder ein Photovoltaiksystem betrieben werden. In früheren Studien (Karegar et al., 2022, 2024) hat sich der RPR bewährt und ermöglicht den Zugang zu nahezu Echtzeit-Wasserstandsdaten. RPR ist Open-Source-Hardware und -Software, und das Handbuch sowie die Installationsanleitung sind unter GitHub verfügbar: <https://github.com/MakanAKaregar/RPR>.

Was ist GNSS-IR?

Eine GNSS-Antenne empfängt zwei Signalarten: starke, direkte Signale von Satelliten und schwächere, reflektierte Signale von Oberflächen wie Wasser oder Boden. Während geodätische GNSS-Anwendungen in der Geodäsie und Vermessung sich auf die direkten Signale konzentrieren, um die Position der Antenne mit millimetergenauer Genauigkeit zu bestimmen, verfolgt GNSS-IR einen anderen Ansatz (Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 2023). GNSS-IR analysiert die Muster von konstruktiver und destruktiver Interferenz zwischen den direkten und reflektierten Signalen. Durch Spektralanalyse dieser Muster kann GNSS-IR die Höhe der Antenne relativ zur reflektierenden Oberfläche (z. B. Wasser oder Boden) bestimmen. Geodätische GNSS-Empfänger und -Antennen sind jedoch teuer, was ihre Anwendung als Umweltsensoren einschränkt. Der RPR überwindet diese Einschränkung und bietet eine kostengünstige Alternative zur Überwachung von Wasserständen.

Aktuelle RPR-Sensorinstallationen:

Wesel, Deutschland

Der erste RPR-Prototyp ist seit März 2020 in Wesel nahe des Rheins in Betrieb. Er misst sub-tägliche und tägliche Wasserstände und überträgt die Daten in eine Cloud. Kürzlich wurde die RPR-Antenne im Fenster des Pegelhauses installiert, was zeigt, dass der Sensor Wasserstände auch aus Gebäuden heraus messen kann. Diese Indoor-Installation schützt den Sensor vor Hochwasser und gewährleistet einen zuverlässigen Zugang zur Stromversorgung.

Mittel- und Oberrheintal, Deutschland

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (SFB 1502), gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), wurde im Frühjahr und Sommer 2023 ein Netzwerk von acht RPR-Sensoren entlang des Rheins von Petersau bis Sankt Goar installiert. Mehrere dieser Installationen befinden sich unter den Sentinel-3-Satellitenspuren, um sowohl Sentinel-3 wie auch SWOT-Daten (Surface Water and Ocean Topography) zu validieren. Das Mittelrheintal, das durch steiles und enges Gelände geprägt ist, stellt eine Herausforderung für

den GNSS-IR-Ansatz dar. Trotzdem haben RPR-Installationen, wie die bei der Loreley (siehe Abbildung unten), erfolgreich die Leistungsfähigkeit des Sensors in diesen komplexen Umgebungen demonstriert.

Kamerun (CAMEO-WAGST-Projekt)

Im Rahmen des CAMEO-WAGST-Projekts, das vom Earth Observation Africa Research and Development Facility der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) finanziert wird, werden RPR-Sensoren eingesetzt, um ein Netzwerk zur Überwachung von Fluss- und Meeresspiegeln in Kamerun aufzubauen. Die Hauptziele des Projekts sind: 1) Entwicklung kostengünstiger, wartungsarmer Infrastrukturen für operationelle Frühwarnsysteme bei Überschwemmungen und Dürren in Afrika. 2) Validierung von Satellitenaltimetrie-Daten der ESA-Missionen Sentinel-3 und Sentinel-6. Diese Bemühungen werden durch die Entwicklung wiederverwendbarer, quelloffener Algorithmen und Anwendungen der Erdbeobachtung ergänzt, die speziell darauf ausgelegt sind, afrikanische hydrologische Herausforderungen wie die Minderung von Überschwemmungen und Dürren anzugehen.

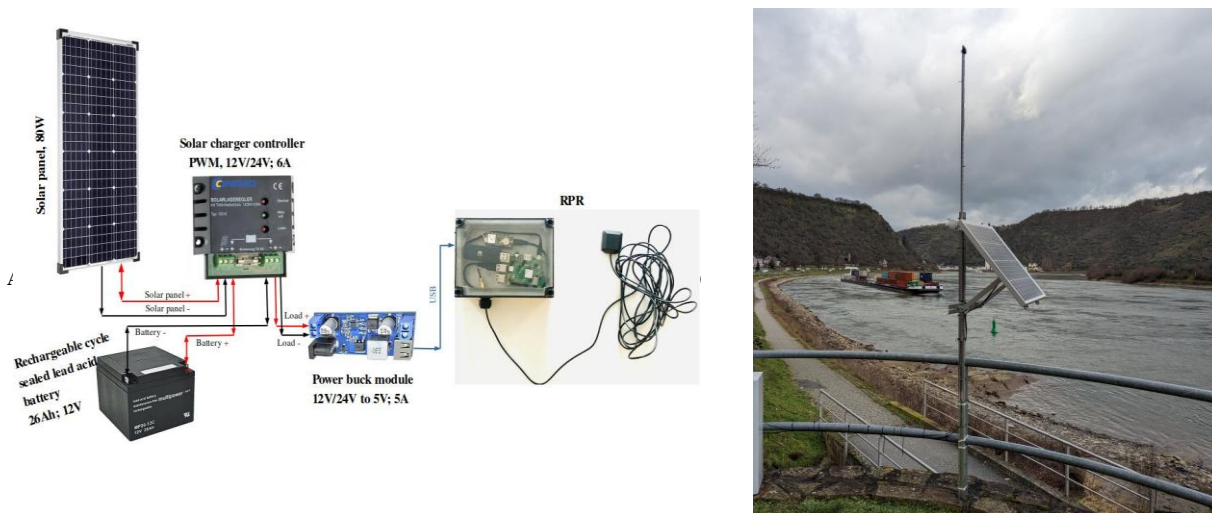


Abbildung 1: (Links) RPR mit Photovoltaik-Energiesystem, (Rechts) RPR-Installation an der Loreley.

Literatur

Karegar, M. A., Kusche, J., Geremia-Nievinski, F., & Larson, K. M. (2022). Raspberry Pi Reflector (RPR): A low-cost water-level monitoring system based on GNSS interferometric reflectometry. *Water Resources Research*, 58(12), e2021WR031713.

Karegar, M. A., Fenoglio-Marc, L., Larson, K. M., Kusche, J., & Uyanik, H. (2024). *The emergence of low-cost GNSS-IR sensors for surface change monitoring: a case study of the RPR network for measuring the Rhine River level* (No. EGU24-14817). Copernicus Meetings.

Yap, L. Karegar, M. A., Kusche J. and et al (2025): CAMEO-WAGST: Cameroon Advanced Measurements for Enhanced Observations of Water levels using Affordable GNSS-IR and Sentinel-3&6 Technology, Living Planet Symposium 2025.

Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (2023): Unter Brücken und im Weltraum – Die neue Ära der GNSS-Reflektometrie passt in einen Schuhkarton by Martin Bünnagel: https://geodaesie.info/images/zfv/148-jahrgang-2023/downloads/zfv_2023_1_Geodaesie_im_FOKUS.pdf

Expanding the Role of ADCP Systems: From Discharge Measurement to Comprehensive Hydrodynamics and Sediment Transport Analysis

Mohammd Tanvir Haque Tuhin¹, Christoph Mudersbach²

¹Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserwesen, mohammd.tuhin@hs-bochum.de

²Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserwesen, christoph.mudersbach@hs-bochum.de

Acoustic Doppler Current Profilers (ADCPs) have traditionally been employed for discharge measurement in hydrometric studies. However, their capabilities extend far beyond this primary function. ADCPs provide extensive datasets that can significantly enhance our understanding of hydrodynamics and sediment transport in rivers, estuaries, and laboratory settings. This study explores how ADCPs can be utilized for comprehensive flow characterization, suspended sediment concentration (SSC) estimation, and bedload transport assessment.

ADCPs offer high-resolution velocity profiles, echo intensity (backscatter), and bottom-tracking data, making them invaluable tools for sediment transport research. By leveraging these datasets, it is possible to analyze flow structures, turbulence characteristics, and sediment dynamics under various hydrological conditions. Our study plans to integrate ADCP measurements with numerical models such as Delft3D to improve hydrodynamic calibration and sediment transport predictions in future research. We also explore the potential application of machine learning techniques to ADCP datasets, allowing for advanced data assimilation and real-time sediment monitoring.

The presented case studies demonstrate ADCP-based assessments conducted in both controlled laboratory environments and natural rivers. In the laboratory, ADCPs are used to analyze near-bed sediment transport under different flow conditions, while future field measurements aim to focus on long-term monitoring of sediment dynamics at multiple cross-sections of a river. At this stage, we primarily utilize a previously collected database from different seasons for one river cross-section, while future work will combine ADCP data with other measurement techniques, such as turbidity sensors and physical sampling, to enhance the accuracy of sediment flux estimations.

This study highlights the need to expand the perception of ADCP applications beyond simple discharge measurement. By integrating ADCP data into hybrid modeling approaches, researchers can improve the predictive accuracy of hydrodynamic and sediment transport models and optimize monitoring strategies. The findings underscore the importance of ADCPs in modern hydrometry, demonstrating their potential to contribute to sustainable river management, flood risk assessment, and sediment-related environmental impact studies.

Through these advancements, ADCPs serve as powerful, multifunctional instruments that bridge the gap between traditional hydrometric methods and cutting-edge digital hydrology. Their integration into interdisciplinary studies fosters a more holistic understanding of riverine and estuarine dynamics, paving the way for innovative solutions in water resources engineering.

Bestimmung des Bodenwasserhaushalts in einer groß angelegten lysimetrischen Anlage mit 60 Jahren ununterbrochener Daten, bestehend aus einem Grünlandbecken, einem Eichen-/Buchen- und einem Kiefernbecken

Marcel Gaj^{1,5}, Stephan Costabel², Michèle Erlach³, Julia Frank⁴, Viktoriya Tarasyuk⁴, Stephan Peth², and Vera Schimetzek¹

¹ State Office Northern Westfalia for Nature, Environment and Consumer Protection, Duisburg, Germany

² Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Soil as a Resource-Properties and Dynamics, Hannover, Germany

³ Institute of Soil Science, Soil Biophysics, Leibniz University Hannover, Hannover, Germany, Hannover, Germany

⁴ University of Applied Science, Institute of sustainable Water Systems, Hof, Germany

⁵ University of Applied Science and Arts, Institute of hydraulic engineering and water management, Detmold, Germany

Die hier vorgestellte Forschungsanlage St. Arnold besteht aus drei einzelnen Lysimetern mit einer Fläche von 400 m² und einer Tiefe von jeweils 3,5 m. Sie sind in der Bodenart ähnlich, unterscheiden sich jedoch in der Vegetationsbedeckung. Dieser einzigartige Aufbau ermöglicht den direkten Vergleich des Wasserhaushalts von Grünland, Eichen-/Buchenwald und Kiefernwald unter denselben klimatischen und topografischen Randbedingungen. Die letztgenannten Standorte wurden nach einem bedeutenden Sturm im Jahr 2007 abgeholzt. Seitdem entwickelte sich ein Pionierwald. Die Datenerfassung von Niederschlag, Grundwasserneubildung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Sonnenscheindauer begann bereits 1964. Zusätzlich wurde einmal jährlich der Stammdurchmesser an bestimmten Bäumen bestimmt. Alle Daten bis 1997 wurden manuell erhoben. Danach wurde eine automatisierte Erfassung hydroklimatischer Daten eingerichtet und direkt in die Datenbank des LANUV übertragen. Aus den Daten wurden die Verdunstungsraten mit Penman-Montheith berechnet. Zuletzt wurden im Oktober 2023 ungestörte Bodenkerne entnommen und auf ihre gesättigte und ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit analysiert. Darüber hinaus wurde die Untersuchung des Wasserhaushalts mit HYDRUS 3D durchgeführt. Die Daten zeigen signifikante Trends. Darüber hinaus kann beobachtet werden, wie sich Sturmschäden und/oder Kahlschläge von Waldflächen auf den Bodenwasserhaushalt auswirken. Der langjährige Durchschnitt des Zeitraums 1965 bis 2007 zeigte, dass das Grünlandbecken mehr als die Hälfte seines jährlichen Niederschlags in Sickerwasser und nur 36 % in Verdunstung umwandelt, während der Laubwald ein Verhältnis von 36 % Sickerwasser und 56 % Evapotranspiration aufweist. Der immergrüne Nadelwald weist mit 65 % die höchste Verdunstungsrate und mit 26 % die niedrigste Sickerwasserrate auf. (Harsch et al., 2009) Eine Aufrüstung der gesamten Anlage mit modernsten Messgeräten ist im Gange. Dies wird mit einer geophysikalischen Untersuchung Anfang 2024 sowie der Installation von Bodenfeuchte- und Tensiometersensoren eingeleitet. Abhängig von der Finanzierung werden permanente und langfristige geophysikalische Messungen und Analysen stabiler Isotope durchgeführt. Alle Daten werden als Open Source verfügbar sein. Wir freuen uns über Kooperationspartner für gemeinsame Forschungen an der Einrichtung.

Digitale Transformation der Hydrometeorologie des Landes NRW – Akzeptanz, Komplexität und Wirtschaftlichkeit

Günter Müller-Czygan¹, Julia Frank² und Viktoriya Tarasyuk³

¹Hochschule Hof, Institut für nachhaltige Wassersysteme (inwa), guenter.mueller-czygan@hof-university.de

²Hochschule Hof, Institut für nachhaltige Wassersysteme (inwa), julia.frank@hof-university.de

³Hochschule Hof, Institut für nachhaltige Wassersysteme (inwa), viktoriya.tarasyuk@hof-university.de

Projekthintergrund DMeStHyA

Das Vorhaben „DMeStHyA – Entwicklung eines digitalen Mess- und Steuerungssystems für hydrometeorologische Anwendungen“ (Bohatsch, et al., 2024) zielte auf die Standardisierung des Aufbaus und Betriebs von rund 300 hydrometeorologischen Messstellen des Landes NRW. Die gewonnenen Daten wurden durch die Generierung einer standardisierten Schnittstelle in ein cloudbasiertes Entscheidungsmanagementsystem überführt, um die digitale Datenerfassung und deren Bereitstellung zu optimieren und für vielfältige Anwendungen nutzbar zu machen (z. B. Wasserwirtschaft, Landwirtschaft oder Verkehrssektor). Das Klimawandel bedingte Niederschlagsverhalten erfordert zunehmend echt-zeitnahe Zugriffe und Bewertung der Daten als wirksame Unterstützung für Katastrophenschutzmaßnahmen, Aneicherung weiterer Daten und Steuerung von Anlagen. Die alte Ausstattung der Messeinrichtung musste hierzu auf den Stand der Technik gebracht bzw. darüber hinaus ausgerüstet werden, unter Einhaltung arbeitssicherheitstechnischer Standards sowie zur Minimierung des Betriebsaufwands. Weiterhin wurden die Messeinrichtungen auf eine Datenlieferung in Echtzeit angepasst. Der ökonomische Nutzen wurde durch die Hochschule Hof anhand einer neuartigen Methode auf Basis der Mehrebenenanalyse bewertet und die Auswirkungen sowie Vorteile der Endanwender erfragt und ausgewertet. Die Ergebnisse von DMeStHyA bilden die Grundlage für ein neues Vorhaben zur lokalen automatisierten Datenvorplausibilisierung mittels künstlicher Intelligenz.

Erfolgsfaktor Akzeptanz

DMeStHyA befasste sich neben Digitalisierung des hydrometeorologischen Messnetzes des LANUV NRW auch mit begleitenden Maßnahmen wie einer Akzeptanzanalyse und berücksichtigte damit wichtige Aspekte einer erfolgreichen Digitalisierung, wie sie die Hochschule Hof zum Stand der Digitalisierung in der deutschsprachigen Wasserwirtschaft ermitteln konnte (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022). Ziel der Akzeptanzanalyse war es, bei Endanwendern des LANUV Informationen zu den Erfahrungen mit dem neuen Konzept zur Modernisierung des Messnetzes zu erhalten. Zudem sollten Verbesserungsmöglichkeiten auch in Bezug auf Genauigkeit und Aktualität der Daten identifiziert werden. Insgesamt wurden die neuen Technologien gut angenommen und entsprachen den Bedürfnissen der Nutzer. Im Mittelpunkt standen ausreichende Datensicherheit, eine einfache Wartung, die „entfernte Überwachung“, eine „bessere Datenqualität“, „digitale (papierlose) Datenbearbeitung“, „Erleichterung der Ersatzbeschaffung“ sowie eine „erleichterte Schulung“. Abgelehnt wurde ein „potenziell höherer Stromverbrauch“.

Erfolgsfaktor Komplexitätstransparenz und Wirtschaftlichkeit

Vorhaben wie DMeStHyA zeichnen sich durch ein hohes Maß an Komplexität aus. Trotz einheitlicher Anforderungen an die Messstellen ergaben sich aus den lokalen Randbedingungen vielfältige Anforderungen und Herausforderungen. Dies ist typisch für räumlich weit verteilte Digitalobjekte wie ein hydrometeorologisches Messnetz. Aufbauend auf den Ergebnissen aus KOMMUNAL 4.0 (Müller-Czygan, 2021), bei dem die Projektpartner von DMeStHyA bereits gemeinsam beteiligt waren, sowie den Erkenntnissen aus der Hofer Studie zur Digitalisierung der Wasserwirtschaft (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022) wurde seitens der Hochschule Hof eine neuartige Komplexitätsanalyse sowie eine Kosten-Nutzen-Analyse in Anlehnung an LAWA-Grundsätze (LAWA, 2012) durchgeführt. Demnach bestimmen zwei Hauptperspektiven den Umgang mit Komplexität im Bereich der digitalen Transformation in der Wasserwirtschaft. Erstens die räumliche Perspektive, also wo wirken sich Themen als Problem bzw. Herausforderung aus. Hier müssen erforderliche Lösungen platziert werden. Zweitens zu beachtende Zielperspektiven, also wie und was soll mit Maßnahmen erreicht werden (Müller-Czygan, 2024). DMeStHyA war eines der ersten Vorhaben, bei dem diese Methode erstmals verwendet wurde. Nach Festlegung der räumlichen Ebenenzuordnung (Mikro- bis Metaebene) wurden für DMeStHyA anhand von Standardkategorien gemäß (Müller-Czygan, 2024) zugehörige relevante Einzelkriterien ausgewählt, die die angetroffene Komplexität ausreichend beschreiben konnten und gleichzeitig für die sich anschließende Kosten-Nutzen-Analyse eigneten. Abbildung 1 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer Mehrebenenanalyse .

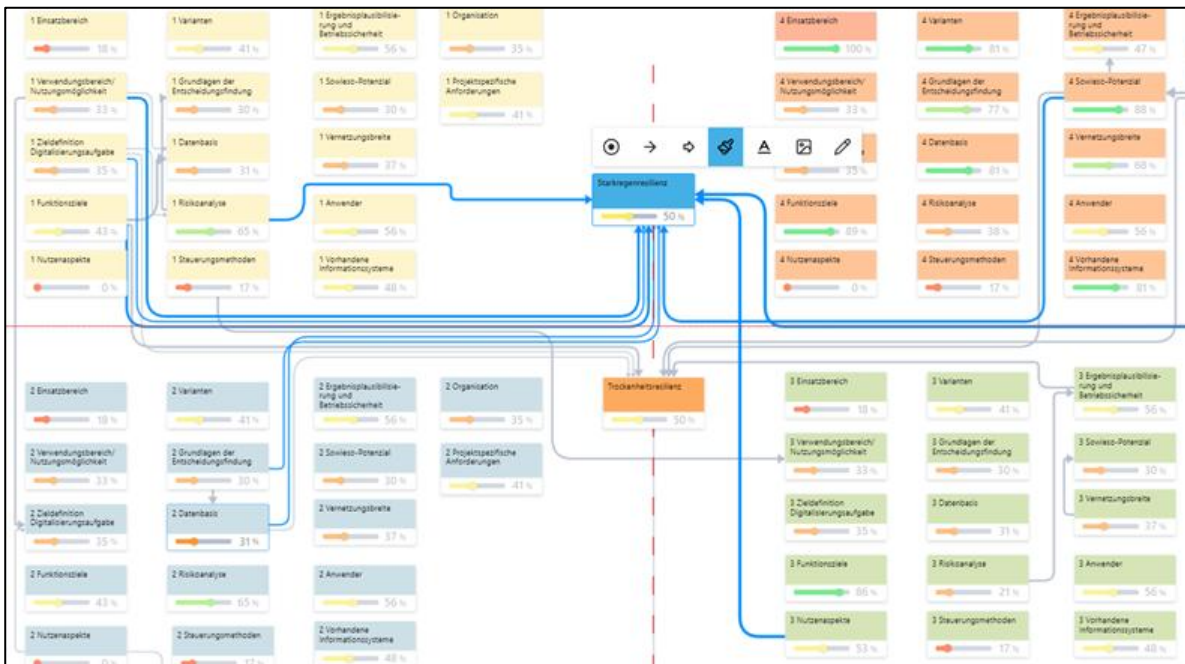


Abbildung 1: Auszug Ergebnisdarstellung Mehrebenenanalyse (Quelle: Hochschule Hof)

Literatur

- Bohatsch, M., Frank, J., Müller-Czygan, G., Schimetzek, V., Tarasyuk, V., & Wiesner, I. (2024). Das Projekt DMeStHyA - Messnetze zur Erfassung hydrometeorologischer Daten auf dem Weg in die Digitalisierung. *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft*, S. 155-167.
- LAWA. (2012). Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen. Hennef: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- Müller-Czygan, G. (2021). Smart Water - how to master the future challenges of water management. In P. T. Chandrasekaran, M. S. Javaid, & A. Sadiq, *Resources of Water*. IntechOpen.
- Müller-Czygan, G. (2024). Digitizing Complex Tasks in Water Management with Multilevel Analysis. In E. Babula, *Advances in Digital Transformation - Rise of Ultra-Smart Fully Automated Cyberspace*. IntechOpen DOI: 10.5772/intechopen.1004449.
- Müller-Czygan, G., Tarasyuk, V., Wagner, C., & Wimmer, M. (2022). Die deutschsprachige Wasserwirtschaft im Jahr 2020/21 – Metastudie „WaterExe4.0“ zeigt Erfolgsfaktoren und Erwartungen für die digitale Zukunft auf. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*.

Die Hydrometrie im Wandel der Zeit – Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft

Nicole Mai, Norman Kurtz, Tim Makus, Daniel Heinenberg

Wupperverband, Wassermengenwirtschaft & Hochwasserschutz, nmie@wupperverband.de

Wupperverband, Forschungsprojekt HWS4.0, nkz@wupperverband.de

Wupperverband, Forschungsprojekt HWS4.0, tms@wupperverband.de

Wupperverband, Wassermengenwirtschaft & Hochwasserschutz, dhg@wupperverband.de

Nutzung von IoT-Sensorik – Erfahrungen aus dem ersten Betriebsjahr

Nach dem prägenden Hochwasserereignis im Juli 2021 wurde die Wasserwirtschaft mit den Forderungen aus Öffentlichkeit und Politik vor vielfältige Herausforderungen gestellt. Diese Forderungen betreffen auch den Bereich der Hydrometrie des Wupperverbandes. Neben dem reinen Ausbau des Messnetzes, spielt die Verdichtung sowie Hochwasserresilienz und Redundanz in Messung und Übertragung zukünftig eine wichtigere Rolle.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Bergisches Hochwasserschutzsystem 4.0 - HWS 4.0“ hat der Wupperverband Sensortechnik ausgebracht und Erfahrungen in der Ausbringung, dem Betrieb und der Auswertung am Gewässer und in Bauwerken gesammelt.

Weiterhin ist die Übertragungstechnik eine Chance, das vorhandene Messnetz breiter und somit resilienter aufzustellen. Die möglichen Übertragungsarten setzen eine fundierte Entscheidung in der Auswahl voraus.

IoT-Sensorik wird beim Wupperverband für die Erhebung von Wasserstandsdaten an HotSpots, HRBs, als temporäre Messung sowie an kleineren Nebengewässern und zur Verdichtung an größeren Gewässern genutzt. Auch zur Ankalibrierung von Modellen werden die Daten genutzt. Dabei ist der Einsatzzweck kritisch gegenüber der gegebenen Messqualität zu bewerten.

Hinweis: Im Rahmen des Vortrages soll lediglich ein Erfahrungsbericht des ersten Betriebsjahres erfolgen.

Ausstattung und Betrieb von Pegelmessnetzen für unterschiedliche Verwendungszwecke

Martin Brinkmann¹, Alexander Hartung²

¹Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV NRW), Fachgebietsleiter Pegel, martin.brinkmann@lanuv.nrw.de

²Emschergenossenschaft, Gruppenleiter Pegelwesen und Abfluss, hartung.alexander@eglv.de

Motivation

Im Zuge der Aufarbeitung des Hochwassers vom 14. Juli 2021 wurde mehrfach die Verdichtung bestehender oder die Schaffung neuer Gewässerpegelmessnetze gefordert. In diesem Beitrag sollen grundlegende Elemente einer langfristigen und nachhaltigen Umsetzung dargestellt und begründet werden.

Grundlagen

Messen ist teuer – dieser Grundsatz hat sich leider seit jeher bewahrheitet und wird auch nicht durch neuere Entwicklungen wie low cost Sensorik und oder KI ausgehebelt. Und vollständig heißt der Grundsatz: Messen ist teuer und personalintensiv! Für den finanziellen und personellen Aufwand ist letztlich immer der spätere Verwendungszweck entscheidend. Dazu werden exemplarisch zwei Varianten vorgestellt.

Fallbeispiel Hochwasserfrühwarnung bzw. Gefahrenabwehr

Das Ziel ist die Sensibilisierung eines Personenkreises (Verwaltung, Feuerwehr, betroffene Bevölkerung) für ein, möglicherweise, eintreffendes Hochwasser in einem eng umgrenzten räumlichen Bereich. Hierzu kann günstige Sensorik, auch Low Cost Produkte eingesetzt werden, die Datenübertragung sollte (dynamisch) auf ein enges zeitliches Raster (15 min bis 2 min) gesetzt werden können und auf einer sich ständig selbsttätig aktualisierenden Online-Plattform zur Darstellung gebracht werden. Zusätzlich sind Warnstufen, geeignete Alarmierungsformen (SMS, Email, ...) und Rückfallszenarien für den Ausfall einer oder mehrerer Komponenten (Sensoren, GSM Netz, Webserver, Stromversorgung) zu definieren und umzusetzen. Für die langfristig zuverlässige Funktion des Systems im Hochwasserfall ist eine intensive Wartung notwendig. Dieses Messnetz kann auch als Verdichtungsform der zweiten Variante eingesetzt werden.

Fallbeispiel Hochwasservorhersage

Die oben skizzierte Ausstattung inklusive der entsprechenden Infrastruktur ist kostenintensiv, bietet dafür aber bereits eine sehr gute Basis für das Überwachen und Verfolgen einer auftretenden Situation, dennoch lässt sich daraus keine Hochwasservorhersage ableiten.

Für eine Hochwasservorhersage werden mathematische Modelle (hydrologisch, stochastisch, empirisch) benötigt, da nur hiermit die zukünftige Reaktion eines Fließgewässers auf einen Modellinput (z. B. Niederschlag) berechnet und vorhergesagt werden kann. Ausschlaggebend für die Kalibrierung dieser Modelle ist das Pegelmessnetz.

Die Kalibrierung erfolgt durch den Vergleich der durch das Modell ermittelten Durchflüsse vergangener Hochwasserereignisse mit den parallel dazu vorliegenden Durchflusszeitreihen der Pegel. Die Durchflusszeitreihen an den Pegelstationen können über unterschiedliche Wege erzeugt werden, die Grundlage für alle Wege beinhaltet die regelmäßige Durchführung von Kontrollmessungen des Durchflusses, diese werden zur Prüfung der Durchflusszeitreihen der Pegelstationen verwendet.

Zusammengefasst sind folgende Arbeitspakete für den Betrieb einer Pegelstation im Sinne des Pegelhandbuchs (2018) erforderlich:

- die hochgenaue Erfassung der Wasserstände an einer geeigneten Pegelstation mit eingemessener Pegellatte,
- die zwingend notwendigen regelmäßigen Vorort Kontrollen des Wasserstandes, die ebenso notwendigen regelmäßigen vor Ort durchgeführten Kontrollmessungen des Durchflusses und
- die nachgelagerten Datenkontrollen / Datenkorrekturen,
- weiterhin entsprechend geschultes Personal,
- die notwendigen Gerätschaften und Fahrzeuge sowie
- zusätzliche Aufwände für Datenkontrolle, Datenspeicherung, notwendige Software und schließlich IT-Infrastruktur zur ausfallsicheren und performanten Datenbereitstellung und Datenarchivierung.

Mit diesen Voraussetzungen sind entsprechende statistische Analysen und Auswertungen sowohl der Wasserstände als auch der Durchflüsse möglich und durchführbar. Alle nachgelagerten Aussagen wie gewässerkundliche Hauptzahlen, Bemessungswasserstände und -durchflüsse sowie Hochwasserjährlichkeiten sind erst auf dieser Basis ableitbar.

Literatur

Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder – Pegelhandbuch (2018), Bund / Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA),
Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.), Stuttgart