



# Tagungsband

mit Kurzfassungen der Beiträge zum

**2.**  
**B**  
**H**  
**K**  
**2019**

**2. Bochumer  
Hydrometrie-Kolloquium**

20. & 21.02.2019 | Hochschule Bochum

messen · bewerten · planen

## Inhaltsverzeichnis

Kamerabasierte Durchflussmessung in offenen Kanälen und Flüssen .....	1
Messung des Starkregenabflusses auf Straßen mittels Videoauswertung .....	3
Der Doppler – Effekt und die Qualifizierung der kontinuierlichen Durchflussmessung in offenen Gerinnen .....	4
Neue Entwicklungen der akustischen Konzentrationsmessung mit ADV Sonden - Methoden, Grenzen und praktische Anwendungen .....	5
Vermessung aus der Luft – Drohnen als Messwerkzeuge in der Wasserwirtschaft .....	7
Hydraulische Modellierung – Brauchen wir noch Durchflussmessungen? .....	10
Herausforderungen und Möglichkeiten der neuen hydrologischen Messnetze .....	11
Datenfernübertragung in den Messnetzen in der Steiermark und deren Herausforderungen .....	13
Integration zeitlich hochauflösender Fernerkundungsdaten in das Sensor Web .....	15
Langjähriges Niederschlagsverhalten in der Emscher-Lippe-Region .....	17
Niederschlag: Datenqualität und Datenprozessierung für die praktische Anwendung in der Hydrologie .....	19
Flächenhafte Niederschlagserfassung mittels Radar – Erfahrungen aus 25 Jahren Radardatennutzung bei Emschergenossenschaft und Lippeverband .....	21
Das Messdatenmanagementsystem (MDMS) als Grundvoraussetzung für eine nachhaltige ganzheitliche wasserwirtschaftliche Betrachtung von urbanen Einzugsgebieten am Beispiel der Stadt Bochum .....	24
Autovalidierung von Messdaten – Wie kann sie uns Hydrologen unterstützen? .....	26
Technische, konzeptionelle und organisatorische Lösungen zur Qualitätskontrolle hydrometrischer Daten .....	29
Workflow und Qualitätssicherung in einem Messdatenmanagementsystem am Beispiel von Wasserstand und Abfluss .....	30
Qualitätsmanagement von Niederschlags- und Abflussmessdaten mit dem Fokus auf siedlungswasserwirtschaftliche Anwendungen .....	32
Unsicherheitsbetrachtung hydrometrischer Messsysteme – Ein Vorschlag für einen vereinfachten Berechnungsansatz .....	34
Durchführung umfassender Abflussmessungen an der Lippe .....	36
Unsicherheiten in der Wasserstandsmessung mit Radarfüllstandsensoren .....	38
Fliesswiderstände submerser Vegetation und ihre Behandlung in hydraulischen Modellen .....	40
Beeinflussungen gewässerkundlicher Pegel durch spontane Übereisung .....	42
Manuelle und halbautomatische Verfahren als Werkzeug für die operationelle Digitalisierung historischer Pegeldata .....	44

# Kamerabasierte Durchflussmessung in offenen Kanälen und Flüssen

Issa Hansen<sup>1</sup>, Christian Satzger<sup>1</sup>, Salvador Peña-Haro<sup>2</sup> und Beat Lüthi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG, Kaufbeuren, Deutschland, hansen@seba.de

<sup>2</sup>Photrack AG, Zürich, Schweiz

## Abstract

Das quantitative Monitoring von natürlichen Fließgewässern und Wasserbauwerken umfasst unter anderem die Erfassung von hydraulischen Parametern wie dem Fließquerschnitt, der Fließgeschwindigkeit und dem Durchfluss.

Die Erfassung der Durchflussparameter erfordert die Messung von Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit und Fließquerschnitt. Für die Messung dieser Größen stehen verschiedene Messverfahren zur Verfügung, die meistens jedoch im Fließquerschnitt installiert werden müssen. Bildverarbeitung ist eine revolutionäre Messtechnik für eine nicht-intrusive Erfassung des Durchflusses.

SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG und Photrack AG haben ein neues kamerabasiertes Messsystem, der sogenannte "DischargeKeeper", zur Erfassung von Wasserstand, Fließgeschwindigkeit und damit dem Durchfluss entwickelt (Hansen et al. 2017, Peña-Haro et al. 2015).

Der DischargeKeeper besteht aus einer IP-Kamera, einem Infrarot-Strahler und einer Prozessoreinheit mit Datenfernübertragung. Das Oberflächengeschwindigkeitsprofil wird mittels eines innovativen optischen Verfahrens gemessen. Die Wasserstandererfassung erfolgt gleichzeitig über eine Bildverarbeitungsmethode. Das vertikale Geschwindigkeitsprofil wird mit Hilfe eines Rauigkeit-basierten Modells (nach Absi, 2006) ermittelt. Der Durchfluss wird direkt vor Ort im DischargeKeeper berechnet.

Eine Besonderheit dieser Technologie ist, dass zur Erfassung der Strömungsgeschwindigkeit keine Tracer ins Wasser zugegeben werden müssen. Darüber hinaus liefert der DischargeKeeper sowohl die gewünschten Messwerte als auch Bilder und Videos in HD-Qualität (siehe Abb. 1).

Im Zweifelsfall lassen sich die Parameter, wie z.B. der Wasserstand, anhand der vorliegenden Bildinformationen bzw. Videos verifizieren. Das entwickelte Messsystem wurde an mehreren Standorten und unter unterschiedlichen Wetter- und Lichtbedingungen getestet.

Die Validierung des DischargeKeeper erfolgte durch Vergleichsmessungen mit einem mobilen ADCP-System (Acoustic Doppler Current Profiler). Die Korrelation zwischen den Messungen des kamerabasierten Systems und des Referenzmessgeräts ergab eine relative Abweichung von 3 % innerhalb des Testzeitraums.

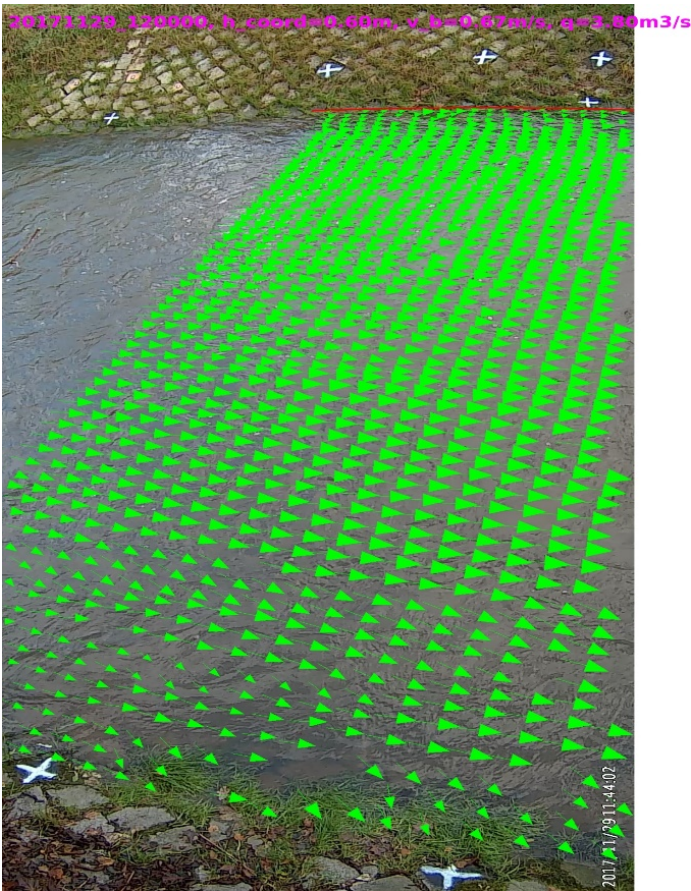


Abbildung 1: Ergebnisbild einer DischargeKeeper-Messstelle in Deutschland

## Literatur

- Absi R. (2006). A roughness and time dependent mixing length equation. Journal of Hydraulic, Coastal and Environmental Engineering, (Doboku Gakkai Ronbunshuu B), Japan Society of Civil Engineers, 62(4), 437-446
- Hansen, I., Warriar, R., Satzger, C., Sattler, M., Luethi, B., Peña-Haro, S., Duester, R., (2017). An Innovative Image Processing Method for Flow Measurement in Open Channels and Rivers, GLOBAL CONFERENCE & EXHIBITION - 2017 "Innovative Solutions in Flow Measurement and Control - Oil, Water and Gas", Palakkad, Kerala, India.
- Peña-Haro, S., Lüthi, B., and Philippe, Th., (2015). "Smartphone for Measuring River Discharge" Vol. Vol. 17, EGU2015-1847, 2015. Vienna, Austria, 2015.

# Messung des Starkregenabflusses auf Straßen mittels Videoauswertung

Peter Eichendorff<sup>1</sup> und Andreas Schlenkhoff<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bergische Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Wasserwirtschaft und Wasserbau eichendorff@uni-wuppertal.de

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

## Abstract

Durchflussmessungen in offenen Fließgerinnen bilden eine wichtige Grundlage zur Beschreibung und Quantifizierung wesentlicher hydrologischer Zusammenhänge in Gewässereinzugsgebieten und Entwässerungssystemen. Insbesondere sommerliche Starkregenereignisse und daraus resultierende Fließprozesse sind für die Ausgestaltung der Entwässerungsinfrastruktur von großer Bedeutung. Infolge extremer Starkregenereignisse kommt es meist zur Überlastung der Kanalisation und zu ausgeprägten Abflussvorgängen an der Geländeoberfläche. In Abhängigkeit der lokalen Niederschlagsverteilung und Topografie ergeben sich, insbesondere in versiegelten Einzugsgebieten, mitunter erhebliche Abflusssituationen auf Straßen, welche ein hohes Gefahrenpotenzial darstellen können.

Während der Abfluss an einzelnen Elementen der Entwässerungsinfrastruktur, wie z. B. in Sammlern, Gerinnen und Sonderbauwerken, anhand zahlreicher Standardverfahren (Morgenschweis 2018) überwacht werden kann, sind die sich infolge von Starkregenereignissen ergebenden Fließverhältnisse auf Straßen bisher nicht messtechnisch berücksichtigt. Das im Beitrag erörterte Messverfahren verfolgt daher das Ziel, Fließprozesse auf Straßen durch Auswertung von Videoaufnahmen quantitativ zu beschreiben. Dazu werden in sozialen Netzwerken oder Streaming-Plattformen veröffentlichte Videos verwendet. Unter Zuhilfenahme terrestrischer Vermessungen der Örtlichkeit wird auf Grundlage der Videos der Straßenabfluss durch Anwendung des LSPIV-Verfahrens (Large Scale Particle Image Velocimetry, Muste et al. 2008) bestimmt. Das LSPIV-Verfahren dient dabei der Ermittlung der Fließgeschwindigkeit und deren Verteilung an der Wasseroberfläche. Der Beitrag erläutert das Konzept und die Erprobung des Messverfahrens am Beispiel einer Videoauswertung des Abflussvorgangs im Zuge des Starkregenereignisses am 29.05.2018 in Wuppertal und weist die Tauglichkeit des Messkonzeptes nach. Anhand des Fallbeispiels werden die notwendigen Arbeitsschritte umrissen sowie messtechnische Rahmenbedingungen, Einschränkungen und Herausforderungen aufgezeigt und diskutiert.

## Literatur

- Morgenschweis, G. (2018): Hydrometrie - Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen, 2. Auflage, Springer Vieweg
- Muste, M., Fujita, I., Hauet, A. (2008): Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments, *Water Resour. Res.*, 44, W00D19, doi:10.1029/2008WR006950.

# Der Doppler – Effekt und die Qualifizierung der kontinuierlichen Durchflussmessung in offenen Gerinnen

Stefan Siedschlag<sup>1</sup>

<sup>1</sup>OTT Hydromet GmbH, s.siedschlag@ott.com

Seit der Nutzbarmachung des Doppler – Effektes für hydrometrische Anwendungen haben sich die Möglichkeiten zur kontinuierlichen Durchflussmessung in offenen Gerinnen nicht nur beträchtlich erweitert, sondern auch qualitativ spürbar verbessert. Modernste Signalverarbeitungstechnologien sowie die Bereitstellung von Metadaten zur Sicherung und Überwachung der Messqualität gewährleisten dabei einen hohen Standard bei Zuverlässigkeit und Genauigkeit der gemessenen Werte.

Eine wachsende Zahl rund um die Uhr arbeitender Durchflussmessanlagen nutzt heute akustische Dopplersensoren (z.B. Horizontal-Doppler) und zunehmend auch Radar-Dopplersensoren für die Geschwindigkeitsmessung in Fließgewässern und die darauf aufbauende Durchflussermittlung nach der Geschwindigkeits – Index – Methode. Insbesondere die berührungslos arbeitende Radartechnologie erfährt momentan großen Zuspruch, da sie keine Installationsarbeiten im Wasser erfordert und bei sorgfältiger Messstellenauswahl präzise Messungen auch in Extremsituationen wie beispielsweise bei Hochwasserereignissen mit hohem Schwebstoff – und Geschiebeanteil gewährleisten kann.

Der Beitrag schlägt einen Bogen von der Entdeckung des Doppler – Effektes im Jahr 1842 zum aktuellen Stand verfügbarer Sensoren für den Einsatz im kontinuierlichen hydrologischen Routinemessbetrieb. Unterschiedliche physikalische Messprinzipien und Signalverarbeitungstechniken werden erläutert, deren Vor – und Nachteile diskutiert und anhand praktischer Anwendungsbeispiele illustriert. Leicht verständliche Tipps zur sachkundigen Messtellenevaluierung und Kalibrierung ergänzen die Ausführungen und geben dem interessierten Hydrologen eine Vielzahl praktischer Hinweise an die Hand.

# Neue Entwicklungen der akustischen Konzentrationsmessung mit ADV Sonden – Methoden, Grenzen und praktische Anwendungen

Oliver Chmiel<sup>1</sup>, Ivo Baselt<sup>2</sup> und Andreas Malcherek<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen, Professur für Hydromechanik und Wasserbau, oliver.chmiel@unibw.de

<sup>2</sup> Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen, Professur für Hydromechanik und Wasserbau, ivo.baselt@unibw.de

<sup>3</sup>Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen, Professur für Hydromechanik und Wasserbau, andreas.malcherek@unibw.de

## Abstract

Im Rahmen des Monitoring von Gewässern werden unter anderem die Fließgeschwindigkeit und die Schwebstoffkonzentration von Sedimenten gemessen. Meist werden dafür Messgeräte verwendet, die weder orts- noch zeitgleich Messdaten aufnehmen können. Untersuchungen, wie beispielsweise an der stark verschlickten Ems oder der Hamburger Elbe, zeigen jedoch eine gegenseitige Beeinflussung der Schwebstoffkonzentration, dem Turbulenzverhalten und der Fließgeschwindigkeit. Die dort vorkommenden Schwebstoffkonzentrationen führen zu einer Dämpfung der Turbulenz und somit zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit, was wiederum zu erheblichen Abweichungen der Hochwasservorhersage führen kann (Malcherek und Cha 2011). In solchen Fällen werden für die Praxis Messsysteme benötigt, die orts- und zeitgleich die Geschwindigkeit, die Turbulenz und die Schwebstoffkonzentration erfassen können. Um die Auswirkungen der Schwebstoffe auf das Turbulenzverhalten untersuchen zu können, müssen diese Messsysteme in der Lage sein Geschwindigkeits- und Konzentrationsfluktuationen mit einer hohen Frequenz messen zu können.

ADV-Sonden (Acoustic Doppler Velocimetry) werden zur hochfrequenten Messung der Fließgeschwindigkeit und der Turbulenz verwendet. Diese akustischen Messgeräte geben mit der Signal-to-Noise Ratio (SNR) zusätzlich eine quantitative Angabe zum Hintergrundrauschen während einer Messung an. Dieses wird wiederum maßgeblich von der Schwebstoffkonzentration beeinflusst. Kennt man den Zusammenhang zwischen der SNR und der Schwebstoffkonzentration, so lassen sich mit einer ADV Sonde die Fließgeschwindigkeit, die Turbulenz sowie die Schwebstoffkonzentration und ebenfalls deren Fluktuationen orts- und zeitgleich messen.

Üblicherweise wird dieser Zusammenhang auf Basis der Sonar-Theorie und der Schallwellenreflexion an Partikeln beschrieben (Hoitink und Hoekstra 2005), (Salehi und Strom 2011), (Decrop et al. 2015). Die existierenden Modelle unterscheiden dabei zwei funktionale Anwendungsbereiche: (1.) Ein Bereich niedriger Konzentrationen - hier wird lediglich die Schallabsorption an Wassermolekülen betrachtet und (2.) der Bereich höherer Konzentrationen, bei dem zusätzlich die Schallabsorption an Sedimentpartikeln berücksichtigt wird. Diese Anwendungsbereiche werden allerdings entweder gänzlich mathematisch getrennt voneinander beschrieben oder es wird lediglich der Bereich niedriger Konzentrationen betrachtet.

Um bei der Auswertung der Konzentrationsmessungen keinerlei Fallunterscheidung durchführen zu müssen und um den wichtigen Messbereich besonders niedriger als auch hoher Konzentrationen besser beschreiben

zu können, präsentieren wir ein verbessertes, kontinuierliches Modell zur akustischen Konzentrationsmessung. Dieses neue Modell basiert auf einem Schwellenwert-Ansatz für die SNR. Mit dieser Methode können je nach Material Schwebstoffkonzentrationen bis zu 20 g/l gemessen werden.

Wir zeigen, wie dieses Modell sowohl für Quarzmehl, als auch für Schwebstoffe aus der Ems und aus dem Altmühlsee kalibriert wurde und präsentieren die Anforderungen für die praktische Anwendung. Ferner diskutieren wir die Vor- und Nachteile der neuen Methode gegenüber den klassischen Modellen aus der Sonar-Theorie.

## Literatur

- Decrop, B., De Mulder, T., Toorman, E., and Sas, M. (2015): New methods for ADV measurements of turbulent sediment plume. In: *Journal of Hydraulic Research*, 53(3):317-331.
- Hoitink, A. and Hoekstra, P. (2005): Observations of Suspended Sediment from ADCP and OBS Measurements in a Mud-dominated Environment. In: *Coastal Engineering*, 52(2):103-118.
- Malcherek, A. and Cha, H. (2011): Zur Rheologie von Flüssigschlickern – Experimentelle Untersuchungen und theoretische Ansätze. In: *Mitteilungen Heft 111/2011*. Shaker Verlag. ISBN 978-3-8440-0136-5.
- Salehi, M. and Strom, K. (2011): Using Velocimeter Signal to Noise Ratio as a Surrogate Measure of Suspended Mud Concentration. In: *Continental Shelf Research*, 31(9):1020-1032.



# Vermessung aus der Luft – Drohnen als Messwerkzeuge in der Wasserwirtschaft

Steffen Vogt<sup>1</sup> und Johannes Schlesinger<sup>2</sup>

<sup>1</sup>svGeosolutions GmbH, Freiburg, s.vogt@svgeosolutions.de

<sup>2</sup>svGeosolutions GmbH, Freiburg, j.schlesinger@svgeosolutions.de

## Einleitung

Drohnen sind derzeit omnipräsent. Das gilt nicht nur für die Medienberichterstattung, sondern zunehmend auch für Fachtagungen und Gespräche unter Praktikern der Wasserwirtschaft. Die Einsatzmöglichkeiten dieser neuen Technologie sind vielfältig und gehen weit über einfache Schrägluftbilder hinaus. Dabei können unterschiedlichste Trägerplattformen und Sensoren zum Einsatz kommen. Ebenso vielfältig sind die erzeugten Daten und Produkte, die in den verschiedensten Bereichen der Wasserwirtschaft Anwendung finden – vom georeferenzierten Orthophoto bis hin zur 3D-Punktwolke. Der große Vorteil liegt dabei in der Möglichkeit zur flächenhaften und detaillierten Abbildung der Realität. Zudem können Geodaten mit Drohnen schnell, ohne Störung des Betriebsablaufs und zudem zeitlich und räumlich deutlich flexibler als mit vielen klassischen Verfahren (z.B. flugzeuggestützte Befliegung) erhoben werden (Rastetter, LUBW 2015).

## Systeme und Verfahren

Grundsätzlich lassen sich drei Typen von Drohnen unterscheiden: Starrflügler, Kopter und Hybridsysteme. Welches dieser Systeme am besten für die Datenerhebung geeignet ist, hängt stark von den Rahmenbedingungen der jeweiligen Anwendung ab (Strohmayr 2017). Es erfordert ein umfassendes technisches Verständnis, um die zum Teil sehr geringen, aber je nach Anwendungsbereich oft entscheidenden Unterschiede zwischen den verschiedenen Fluggeräten erkennen zu können.

Auch bei den Sensoren, die von Drohnen getragen werden können, gibt es mittlerweile eine enorme Vielfalt. Sie reicht von einfachsten Kamerasystemen für Schnappschüsse bis zu modernen Messinstrumenten im Wert von mehreren zehntausend Euro. In der Wasserwirtschaft kommen neben digitalen RGB-Kameras, Multi- bzw. Hyperspektralsensoren und in Ausnahmefällen auch von Drohnen getragene Laserscanner zum Einsatz (Colomina et al. 2014).

Die aus Drohnenbefliegungen abzuleitenden Datenformate und Produkte sind vielfältig und für verschiedenste Fragestellungen einsetzbar. Sie reichen von einfachen Luftbildern bis hin zu komplexen 3D-Analysen und unterscheiden sich enorm hinsichtlich der Anforderungen an Piloten, Bearbeiter und Nutzer der Daten. Entsprechen sind – entgegen der von Herstellern oft verbreiteten Werbeversprechen – für die Wahl der richtigen Trägerplattform und Sensoren für das jeweilige Projekt sowie für die Flugplanung und -durchführung umfassende Erfahrung und Spezialwissen hinsichtlich photogrammetrischer Verfahren notwendig. Gleiches gilt im Besonderen für die Datenaufbereitung und -auswertung.

## Beispiele aus der Praxis

Anhand der beiden folgenden Fallbeispiele soll gezeigt werden, wie Drohnenbefliegungen bei wasserwirtschaftlichen Fragestellungen genutzt werden können. Im Zuge einer der größten Gewässerumgestaltungen Baden-Württembergs konnte an der Elz durch die mehrfache Befliegung eine flächenhafte Baudokumentation ermöglicht werden (Schrägluftbilder, Videos, georeferenzierte Orthophotos).

Zudem wurde für die Abflussmodellierung ein digitales Geländemodell erstellt. Nach Abschluss der Bautätigkeiten wurden weitere Befliegungen durchgeführt, um hochaufgelöste Orthophotos zu erstellen, die als Grundlage für das längerfristige Monitoring von Vegetation und Gewässermorphologie dienen. Die erfassten Luftbilddaten wurden in verschiedenen Formen für die Öffentlichkeitsarbeit genutzt (z.B. Schautafeln, Videos, Plakate).

Anlässlich einer Renaturierungsmaßnahmen an der Dreisam wurden die Uferbefestigungen an einem ca. 1 Kilometer langen Gewässerabschnitt rückgebaut, das Gewässerbett aufgeweitet, und neue Seitenarme angelegt (RP Freiburg 2012). Der Fokus bei der Analyse der mittels Drohne gewonnenen Daten lag in diesem Fall auf der natürlichen Morphodynamik nach Abschluss der Bautätigkeit und der Quantifizierung kleinräumiger Geschiebebewegungen. Auf Grundlage der Befliegung wurde eine 3D-Punktwolke, ein 2,5D-Oberflächenmodell und Orthophotos mit einer Auflösung von 5 Zentimetern erstellt. Daraus konnten Erosionsprozesse an Prallhängen nachvollzogen und Sedimentationsprozesse im Bereich der Aufweitung quantifiziert und kartiert werden.

## Zusammenfassung

Die vorgestellten Fallbeispiele zeigen, dass Drohnenbefliegungen auch im Bereich der Wasserwirtschaft eine hervorragende Ergänzung zu den klassischen Verfahren der Vermessung darstellen können. Die Vorteile des Einsatzes von Drohnen in der Wasserwirtschaft liegen insbesondere in der Vielfalt der daraus ableitbaren Datenprodukte. Im Gegensatz zu klassischen Messverfahren können aus Drohnenbefliegungen detaillierte Orthophotos und 3D-Visualisierungen abgeleitet werden. Darüber hinaus werden flächenhafte Messdaten statt weniger isolierter Messpunkte erzeugt. In vielen Fällen bietet ein Drohneneinsatz also die Möglichkeit, verschiedenste Produkte zu erzeugen, die zur Effizienzsteigerung in allen Phasen wasserwirtschaftlicher Projekte – von der Öffentlichkeitsarbeit über die Bauüberwachung bis zum Monitoring – beitragen können.

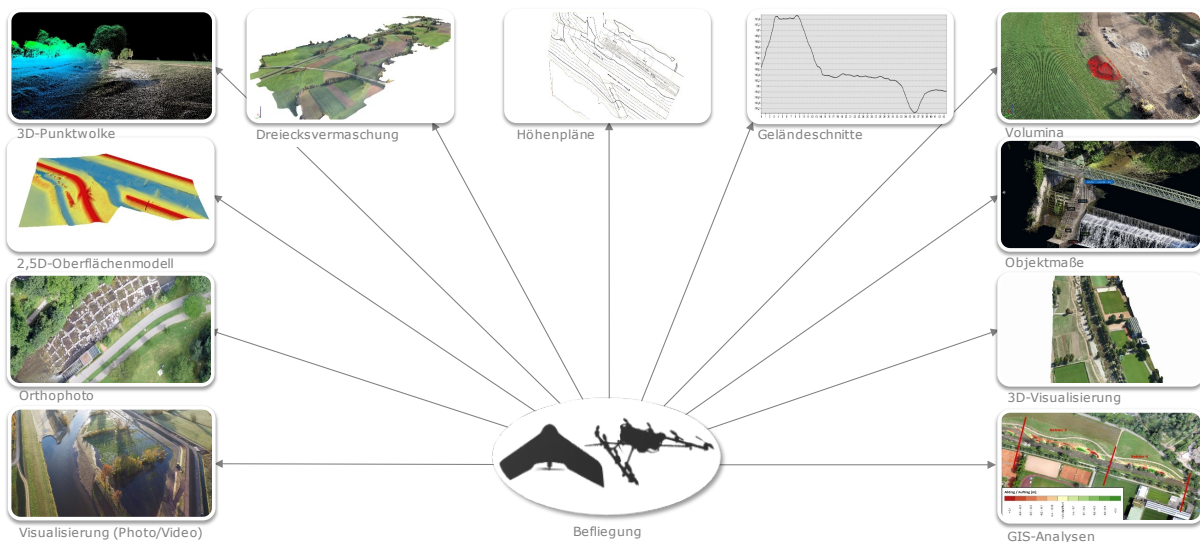


Abbildung 1: Übersicht der aus Drohnenbefliegung ableitbaren Datenprodukte

## Literatur

- F. Rastetter, LUBW (2015): Gegenüberstellung verschiedener Vermessungsmethoden am Dammbauwerk des Hochwasserrückhaltebeckens Wolterdingen. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Kurzbericht.

- A. Strohmayer (2017): Unmanned Aerial Systems – Auslegung, Einsatzbereiche und operative Rahmenbedingungen. DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V., Unmanned Aerial Vehicles 2017, Beiträge zum 156. DVW-Seminar am 9. und 10. Februar 2017 in Stuttgart, S. 27-44.
- I. Colomina, P. Molina (2014): Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92 (2014), S. 79–97.
- Regierungspräsidium Freiburg (2012): Gewässerentwicklung an der Dreisam auf der Gemarkung Stadt Freiburg, Bereich Kartauswiese Fluss-km 23+040 bis 24+000.

# Hydraulische Modellierung – Brauchen wir noch Durchflussmessungen?

Uwe Büttner<sup>1</sup>, Thomas Fichtner<sup>2</sup>, Uwe Köhler<sup>3</sup>, Christin Mudra<sup>3</sup> und Erhard Wolf<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie/Landeshochwasserzentrum; Uwe.Buettner@smul.sachsen.de

<sup>2</sup> Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft/Fachbereich Radebeul; Thomas.Fichtner@smul.sachsen.de

<sup>3</sup> Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft/Fachbereich Chemnitz; Christin.Mudra@smul.sachsen.de; Uwe.Koehler@smul.sachsen.de

## Abstract

Die Modellierung hydraulischer Prozesse hat in den letzten Jahren Dank der sich rasant entwickelnden Rechentechnik wesentliche Fortschritte erreicht. Hydrodynamisch-numerische 2-D-Ansätze werden mittlerweile standardmäßig zur Ausweisung von Überschwemmungsgebieten oder für die Beschreibung von Deichbruchszenarien, in Einzelfällen auch schon für operative Durchflussvorhersagen eingesetzt. Aber auch stationär ungleichförmige Berechnungen von Wasserspiegellagen sind aufgrund ihres geringeren Datenbedarfes und des daraus resultierenden geringeren Aufwandes für die Erfüllung von anderen Bemessungsaufgaben durchaus noch gerechtfertigt. Dieses breite Anwendungsspektrum bietet auch die Möglichkeit zur Extrapolation von Wasserstands(W)-Durchfluss(Q)-Beziehungen (oftmals auch als Schlüsselkurven bezeichnet) auf hydraulischer Grundlage in Bereiche, die nicht mit Durchfluss(Q)-Messungen belegt sind oder werden können. Dabei sind in der Regel andere Konventionen und höhere Detaillierungsgrade einzugehen als für Bemessungsaufgaben im Allgemeinen erforderlich sind. Dass trotzdem auf Q-Messungen mit der Bestimmung von Fließgeschwindigkeiten nicht verzichtet werden kann, wird an Hand von drei Beispielen in diesem Beitrag erörtert: Konkret handelt sich dabei um

- einen wasserrechtlich geforderten hydraulischen Nachweis zum Nichtverschlechterungsgebot des Hochwasserabführungsvermögens sowie der Fischdurchgängigkeit hinsichtlich Mindestwassertiefe und Maximalgeschwindigkeit bei einem Pegelneubau,
- die hydraulisch basierte Festlegung der optimalen Lage der Sensoren einer Ultraschalldurchflussmessanlage und
- die Bestimmung des Scheiteldurchflusses eines Extremhochwassers,

die alle im Zusammenhang mit der Planung sowie dem Betrieb von Pegeln und den dort zu erhebenden Daten stehen. Herausgestellt wird insbesondere die Notwendigkeit zur gleichwertigen Betrachtung von Fließgeschwindigkeiten, Wasserspiegellagengefälle und Durchfluss als Kalibriergrößen, an der sich die Festlegung von fließwiderstandsbeschreibenden Parametern als Stellgrößen im hydraulischen Modell maßgeblich orientieren muss.

# Herausforderungen und Möglichkeiten der neuen hydrologischen Messnetze

Michael Bramer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>COMTEX Ing GmbH, m.bramer@comtexing-gmbh.de

## Überblick der Möglichkeiten und der sicherheitstechnischen Aspekte der IP-basierenden Protokolle im hydrologischen Messnetz und neue Entwicklungen am Beispiel des LoRaWAN-Netzwerkes.

Heute muss eine Pegelstation als Einheit mit allen Bestandteilen betrachtet werden. Neben den essenziellen Sensoren, Datenlogger und der Energieversorgung spielt die Übertragungstechnik eine immer wichtigere Rolle. Die heute oft unterschätzte Rolle der Übertragungstechnik spielt für den Betrieb beim Ausfall der Energieversorgung und aus sicherheitstechnischen Aspekten eine entscheidende Rolle.

Wurden früher die klassischen analogen und digitalen (ISDN) Anschlüsse von der Vermittlungsstelle mit Energie versorgt, verbrauchen heute Router oft allein schon einen Großteil der gesamten Energie. Durch die Wahl von geeigneten Routern, kann der Energieanteil zwar verringert werden, aber auch dann muss der Energieverbrauch mit verschiedenen technischen Vorkehrungen angegangen werden. Verschiedene Möglichkeiten zur Verbesserung der Energiebilanz und einer allumfassenden Energiebereitstellung werden in dem Vortrag vorgestellt, sodass auch ein Betrieb der hydrologischen Station über mehrere Tage bei Energieausfall möglich ist. Neben anderen Beispielen soll hier der adaptive Betrieb des Routers bei Energieausfall genannt werden.

### Sicherheitsaspekte im IP-Netzwerken

Durch die Abschaltung von ISDN und den zukünftigen Wegfall von UMTS und GPRS wird sich die Anbindung eines typischen automatisierten Pegels grundlegend ändern. Der Hydrologe wird unfreiwillig zum halben Informatiker. Daher werden diese Schritte eine erweiterte Schulung der eingesetzten Mitarbeiter erfordern.

Durch die neuen IP-basierenden Telefonanschlüssen (All-IP) wird die Messstation Teil des großen internationalen Internets. Auch wenn in der Regel die Station keinem gezielten Angriff ausgesetzt ist, stellt man nach kurzer Zeit zahlreiche Verbindungsversuche aus der ganzen Welt fest. Daher ist eine sicherheitstechnische Betrachtung des Routers und des Datensammlers wichtig.

So wurde in der Vergangenheit schon versucht über die SIP-Funktion eines Routers Einnahmen auf Kosten des Betreibers zu erzeugen. Im Beitrag werden Punkte wie sichere Passwörter, Firewall, VPN, Sondernetze, Verschlüsselung (TSL, https, sftp, ftps, ...) aus hydrologischer Sicht erklärt. Dabei werden die Grundbegriffe und die Vor- und Nachteile der verschiedenen sicherheitstechnischen Möglichkeiten beleuchtet. So wird zum Beispiel auch dargestellt, dass ein VPN am Pegel kein Allheilmittel ist, sondern auch neue Gefahren für das Behördennetz mit sich bringen kann.

### Ausblick auf neue Netzwerke: LoRaWAN

Neben den klassischen IP-Netzwerken hört man in den letzten Monaten immer öfter von Mesh-Systemen wie LoRaWAN für Sensornetze. Das LoRaWAN Netz wird vorgestellt und die neuen Möglichkeiten und ihre

Vorteile für hydrologische Stationen werden an diesem Beispiel betrachtet. Vor allem die großen Reichweiten durch die geringen Bandbreiten bei extrem geringen Energieverbrauch macht LoRaWAN Netzwerke für Pegel interessant.

## Literatur

Claudia Eckert: IT-Sicherheit. Konzepte – Verfahren – Protokolle. 6. überarbeitete Auflage. Oldenbourg, München u. a. 2009, ISBN 978-3-486-58999-3

[https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a\\_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf) LoRa Alliance - What is LoRaWAN

# Datenfernübertragung in den Messnetzen in der Steiermark und deren Herausforderungen

Josef Quinz<sup>1</sup> und Hans Jörg Holzer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Amt der Stmk. Landesregierung, Abteilung 14 Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit, Hydrographischer Dienst Steiermark, hans-joerg.holzer@stmk.gv.at

## Abstract

Ein umfangreiches Messnetz ist ohne eine hohe Datenverfügbarkeit durch eine schnelle und ausfallssichere Datenfernübertragung nicht zeitgerecht. Besondere Herausforderungen stellen sich in Gebieten wie der Steiermark, wo die Landschaft von Tieflagen im Süden bis hin zu hochalpinen Bereichen im Norden verschiedenste Lösungsansätze notwendig macht.

Dafür werden verschiedenste Technologien der Datenfernübertragung verwendet, um sowohl eine hohe Datenverfügbarkeit als auch eine ausfallssichere und redundante Datenübertragung zu gewährleisten. Das gesamte Messnetz des hydrographischen Dienstes Steiermark mit rund 1300 Stationen, wovon zurzeit rund 400 Stationen fernübertragen werden, teilen sich in die folgenden Fachbereiche auf: Niederschlag und Lufttemperatur, Oberflächengewässer und Feststoffe sowie Grundwasser und Quellen.

Jedes dieser Fachbereiche stellt eigene Anforderungen an die Datenfernübertragung. Im Aufgabengebiet des Grundwassers werden rund 1000 Messstellen betrieben, die durch einen 4 Stunden Messtakt zwar eine geringe Senderate aufweisen, dafür jedoch eine große Menge an Datenpaketen in kurzer Zeit in Anspruch nehmen.

Im Fachbereich Niederschlag und Lufttemperatur werden rund 180 Stationen betrieben, welche in sehr kurzen und zeitkritischen Abständen von 5 Minuten übertragen werden müssen, um für die Niederschlagsprognose INCA Nowcast der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Österreich zur Verfügung gestellt werden können.

Bei den Messwerten des Fachbereichs Oberflächengewässer und Feststoffe liegt durch deren Verwendung in den Hochwasserprognosesystemen das Hauptaugenmerk auf der Ausfallssicherheit der Datenfernübertragung.

Um all diesen Aufgaben gerecht zu werden, verwendet der hydrographische Dienst des Landes Steiermark 4 verschiedene Technologien zur Datenfernübertragung. Dabei werden folgende Übertragungswege genutzt:

- GSM mit M2M Simkarten als Hauptübertragungsmedium für schnelle und massentaugliche Übermittlung der Daten
- Funksystem der Firma Adcon (flächendeckend installiert), um ausfallssichere, netz- und versorgungsunabhängige Datenübermittlung zu gewährleisten
- ADSL Verbindungen, um große Datenmengen und Bildmaterial von z.B.: Pegelwebcams zu übertragen
- Analoges Behördenfunknetz als letztes Standbein, welches aber durch den hohen Aufwand und der veralteten Technologie sukzessive eingestellt wird. Dies wird an strategisch wichtigen Punkten durch satellitengestützte Übertragung ersetzt.

Durch neue Übertragungstechniken sowie die Einführung von M2M - Simkarten im GSM Bereich wurde die Datenfernübertragung wesentlich vereinfacht und erlaubt es, den Betrieb eines Messnetzes in der Größenordnung von rund 1300 Stationen in einem topografisch sehr inhomogenen Land wie der Steiermark trotz Personaleinsparungen und wachsender Aufgabenstellungen weiter zu betreiben und bestmöglich zu warten.



# Integration zeitlich hochauflösender Fernerkundungsdaten in das Sensor Web

Benedikt Gräler<sup>1</sup>, Christian Malewski<sup>2</sup>, Christian Förster<sup>2</sup> und Simon Jirka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>52°North Initiative for Geospatial Open Source Software GmbH, Martin-Luther-King-Weg 24, 48155 Münster

<sup>2</sup>Wupperverband, Untere Lichtenplatzer Str. 100, 42289 Wuppertal

## Projektkontext

Stauseen sind in vielen Teilen der Erde für die Trinkwassergewinnung unerlässlich. Ihr Betrieb ist allerdings mit einem tiefgreifenden Eingriff in das Kontinuum von Flussläufen verbunden. Stauseen bilden eine Senke, in der sich insbesondere partikuläres Material sowie daran gebundene Stoffe ablagern können. Über die Verlängerung der Aufenthaltszeit dieser Stoffe verändern sich die Randbedingungen für die Primärproduktion. Eine unmittelbar spürbare Folge davon ist die Eutrophierung der Reservoirs. Das starke Wachstum von Algen und Cyanobakterien führt dann zu deutlichen qualitätsbezogenen Nutzungseinschränkungen, besonders bei der Gewinnung von Trinkwasser. Klimaänderungen verschärfen durch eine zunehmende Ungleichverteilung des Wasserdargebots den Wasserstress. Gleichzeitig erhöhen die Intensivierung der Land- und Forstwirtschaft sowie die zunehmende Siedlungstätigkeit den Nutzungsdruck im Einzugsgebiet und führen zunehmend zu konfliktträchtigen Phasen der Wasserknappheit.

Derartige Bedingungen erfordern langfristig ausgelegte, integrierte Managementstrategien, welche die Wasser- und Stoffflüsse in Einzugsgebieten ebenso wie die wesentlichen Reaktionen in Wasserspeichern adäquat berücksichtigen. Für diese Aufgabe stehen grundsätzlich geeignete Modelle zur Verfügung. Die Anwendung dieser sehr leistungsfähigen Softwarepakete ist jedoch in vielen Regionen der Welt aufgrund des Fehlens von Eingangs- und Validierungsdaten in adäquater räumlicher und zeitlicher Auflösung, etwa aus einem terrestrischen Sensornetzwerk oder regelmäßiger Beprobung, stark limitiert. In der Folge werden insbesondere sehr komplexe und grundsätzlich leistungsfähige Modelle häufig mit Default-Daten parametrisiert. Sie verlieren damit zwangsläufig den regionalen Bezug und damit die für die Ableitung von Managementstrategien maßgebliche Modellschärfe.

Im MuDaK-WRM Forschungsvorhaben [1] wird daher zum einen erarbeitet wie die für die Modelle benötigten Eingabeparameter auf die Schlüsselparameter reduziert werden können und zum anderen werden Methoden entwickelt, die möglichst viele dieser Schlüsselparameter aus frei verfügbaren zeitlich hochauflösenden Fernerkundungsdaten ableiten. Mit Hilfe von diesen Fernerkundungsdaten und daraus abgeleiteten Proxies würde eine nahezu globale Anwendbarkeit mit lokalem Bezug erreicht.

## Geodateninfrastruktur

In diesem Beitrag wird die in MuDaK-WRM erarbeitete Geodateninfrastruktur vorgestellt, die es unter anderem erlaubt die heterogenen Mess- und Berechnungsergebnisse der beiden im Projekt untersuchten Talsperren (Dhünn Talsperre, Deutschland, Passauna Reservoir, Brasilien) institutsübergreifend und standardisiert auszutauschen. Dies erleichtert die Bewertung der für das Wasserqualitätsmanagement relevanten Prozesse, so dass die Schlüsselparameter identifiziert und die Modellkomplexität gezielt reduziert werden können, die Modellergebnisse aber belastbar bleiben.

Um auch gleichzeitig zeitlich hochauflösende Fernerkundungsdaten (insbesondere aus dem Copernicus Programm) in die Analyse und die Modellparametrisierung miteinbeziehen zu können, wurde das klassische Sensor-Web Setup dahingehend erweitert, dass es einen gemeinsamen Endpunkt für punktuelle in-situ Messungen und multi-temporale rasterbasierte Fernerkundungsdaten bietet. Dies ermöglicht eine weitere Harmonisierung der Datenhaltung und einen einfacheren standardisierten Zugang zu den im Projekt und darüber hinaus relevanten Geodaten und Messwerten der Talsperren. Die entwickelte Geodateninfrastruktur stellt die Daten unter OGC [2] konformen Diensten (sensor observation service (SOS), web coverage service (WCS), web map service (WMS), web processing service (WPS)) bereit. Zur internen Datenhaltung wurden verschiedene Datenbankverbindungen erarbeitet, prototypisch implementiert und im Projektkontext evaluiert.

## Internetquellen

- [1] <http://www.mudak-wrm.kit.edu/index.php>
- [2] <http://www.opengeospatial.org/>

# Langjähriges Niederschlagsverhalten in der Emscher-Lippe-Region

Marc Krüger<sup>1</sup> und Angela Pfister<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Emschergenossenschaft/Lippeverband, Technisches Hochwassermanagement, krueger.marc@eglv.de und pfister.angela@eglv.de

Um ihre Verbandsaufgaben wie z. B. Abwasserbeseitigung, Hochwassermanagement, Unterhaltung der Gewässer und Umgestaltung ausgebauter Wasserläufe zu erfüllen, betreiben Emschergenossenschaft und Lippeverband (EG/LV), bei einer zu verwaltenden Gesamteinzugsgebietsgröße von etwa 4.145 km<sup>2</sup> an Emscher und Lippe, ein dichtes terrestrisches Hauptmessnetz von aktuell 73 online angebundene, kontinuierlich messenden Niederschlagsstationen (Pluviometern). Mit einem Anteil von 59 % verfügt der Großteil dieser Stationen über langjährige Beobachtungszeiträume mit zum Teil mehr als 80 Jahren, deren Daten geprüft, korrigiert und lückenbereinigt wurden (Pfister 2016). Dabei erfolgt die Verwaltung dieser kontinuierlich fortgeschriebenen Zeitreihen-Datenbestände innerhalb eines Zeitreihenmanagementsystems (ZRMS) mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute in hochaufgelöster Verfügbarkeit (Krüger et al. 2015).

Vor dem Hintergrund der Sicherstellung des Hochwasserabflusses und des Schutzes der Bevölkerung vor Starkregen und Sturzfluten in der von der Montanindustrie durch Bergsenkungen geprägten Emscher-Lippe-Region (ELR) kommt dem Monitoring der Niederschlag-Abfluss-Verhältnisse eine essenzielle Bedeutung zu. Dies gilt insbesondere im Kontext des Emscher Umbaus, der zurzeit größten Wasser-Infrastruktur Maßnahme in Europa (EG/LV 2018). So liegt z. B. bei wasserwirtschaftlichen Bemessungsaufgaben und Nachweisrechnungen für betriebliche Anlagen neben fundierten hydrologischen Untersuchungen zur Entwicklung des Niederschlagsverhaltens auch ein besonderer Fokus auf der extremwertstatistischen Analyse von Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer nach DWA (2012).

In diesem Zusammenhang untersuchten EG/LV bereits im Jahr 2001 das Trendverhalten der 70-jährigen Niederschlagsreihen in der ELR für die Dauerstufen 15 min bis ein Tag im Zeitraum 1931 bis 2000. Es wurde damals u. a. festgestellt, dass sich keine Hinweise auf eine signifikante Veränderung der statistischen Starkregenwerte, die in die wasserwirtschaftliche Bemessung eingehen, ergeben haben (Pfister und Verworn 2002). Mit dem Abschlussbericht „Extremwertstatistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW (ExUS)“ konnten weitere Erkenntnisse zum sich verändernden Niederschlagsverhalten in der ELR, basierend auf einem NRW-weit homogen abgedeckten 59 Jahre langen Beobachtungszeitraum von 1950 bis 2008, abgeleitet werden, die zu einem ähnlichen Ergebnis führten. In den Dauerstufen 15 min bis drei Tagen nehmen die Regenhöhen der jüngsten Vergangenheit zwar zu, allerdings liegen diese mit bis zu 11 % in einer Größenordnung, die sich im Rahmen der normalen statistischen Unsicherheit bewegen und somit keine statistische Signifikanz aufzeigen (LANUV NRW 2010).

In 2011 wurden von EG/LV weiterführende Detailuntersuchungen zur Veränderung des Niederschlagsverhaltens in der ELR, basierend auf den 80 Jahren umfassenden Beobachtungsdaten im Zeitraum 1931 bis 2010 für die Dauerstufen 5 min bis ein Tag, fortgeführt. Hieraus resultiert ein etwas differenzierteres Ergebnis. Es konnte insgesamt festgestellt werden, dass zwar die Niederschlagshöhe der betrachteten Starkregen noch immer eine sehr geringe bis gar keine signifikante Erhöhung zeigt, demgegenüber aber die Häufigkeit von Starkregen in den vergangenen 20 Jahren zwischen 1991 und 2010 zugenommen hat. Beispielsweise zeigt sich bei der Betrachtung der Anzahl von Starkregen, die den

Schwellwert von 20 mm Niederschlag pro Tag überschreiten, eine durchschnittliche Erhöhung von 3,4 auf 4,8 Ereignisse pro Jahr mit einer Steigerungsrate von +41 % in den vergangenen zwei Dekaden, verglichen mit der langjährigen Periode vor 1990. Allein in den Regendauern zwischen 15 Minuten bis zwei Stunden sind im Zeitraum 1991 bis 2010 über 30 % mehr Starkregenereignisse pro Jahr aufgetreten als gegenüber 1931 bis 1960. Für die Niederschlagshöhen wird eine Zunahme von 6 bis 13 % im analogen Vergleichszeitraum 1991 bis 2010 versus 1931 bis 1960 für die Regendauern bis ein Tag konstatiert, die eine leicht ansteigende Tendenz aufzeigt, aber weniger statistisch signifikant ist, da die Abweichungen im üblichen Toleranzbereich von statistischen Auswertungen liegen (EG/LV 2012, Pfister 2016).

In Kooperation mit einer am Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik der Ruhr-Universität Bochum und EG/LV durchgeführten Bachelorarbeit wurde im Jahr 2017 exemplarisch an drei Niederschlagszeitreihen das Verhalten bzgl. zeitlicher Veränderungen von Starkregenereignissen weiter untersucht. Ähnlich der Methodik aus dem ExUS-Bericht wurde der Untersuchungszeitraum um weitere sechs Jahre bis 2016 verlängert und um Analysen zur Saisonalität des Niederschlags ergänzt. Als Resultat konnte festgestellt werden, dass die Zunahmen der Niederschlagshöhe insbesondere in den mittleren Dauerstufen zwischen 60 Minuten und drei Stunden nun einem statistisch signifikanten Trend unterliegen. Zudem zeigt sich eine leichte Tendenz in der saisonalen Verschiebung von Starkregen vom Sommer in den Winter. Dies deckt sich mit den Ergebnissen des ExUS-Berichtes (Franke 2017).

Der vorliegende Beitrag fokussiert auf die Analyse der Veränderung des langjährigen Niederschlagsverhaltens in der ELR und stellt in diesem Zusammenhang die Ergebnisse der bisher erfolgten Untersuchungen vor. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf die Auswertung von Starkregen und deren Trenduntersuchungen gelegt. Abschließend werden weiterführende Analysen zu maximalen Starkregen aufgezeigt und verschiedene Klassifizierungsmöglichkeiten von Starkregen vorgestellt. Die Ergebnisse werden zur Diskussion gestellt.

## Literatur

- DWA (2012): Arbeitsblatt DWA-A 531: Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), 29 S.
- EG/LV (2012): Trendauswertungen von Starkregen unterschiedlicher Dauerstufen aus langjährigen Niederschlagsaufzeichnungen der Emschergenossenschaft und des Lippeverbandes. Interner Untersuchungsbericht, 22 S., unveröffentlicht.
- EG/LV (2018): <http://www.eglv.de/wasserportal/emscher-umbau.html>, zuletzt aufgerufen am 10.07.2018.
- Franke J. (2017): Untersuchung von Niederschlagszeitreihen auf zeitliche Veränderungen unter Berücksichtigung von Starkregenereignissen. Bachelorarbeit, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften – Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik, Ruhr-Universität Bochum, 305 S., unveröffentlicht.
- Krüger, M., Niehüser, S., Pfister, A., Mudersbach, C., Teichgräber, B., Jensen, J. (2015): Vorstellung eines Tools zur Analyse von Starkregen an einem Beispiel im westlichen Emschergebiet. In: KW – Korrespondenz Wasserwirtschaft (2), S. 94–101.
- LANUV NRW (2010): Extremwertstatistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW (ExUS): Veränderung in Dauer, Intensität und Raum auf Basis beobachteter Ereignisse und Auswirkungen auf die Eintretenswahrscheinlichkeit. Abschlussbericht. Aachen, Lübeck und Hattingen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW), 1340 S.
- Pfister, A. (2016): Langjährige Entwicklung von Starkregen – Handlungsempfehlungen für die Zukunft. In: Pinnekamp, J. (Hg.): 49. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft: „Wasserwirtschaft 4.0“. Aachen: Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen, S. 35/1–35/14.
- Pfister, A. und Verworn H. R. (2002): Trenduntersuchungen von Starkregen im Emscher-Lippe-Raum. In: KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall (8), S. 1101–1104.

# Niederschlag: Datenqualität und Datenprozessierung für die praktische Anwendung in der Hydrologie

Thomas Einfalt<sup>1</sup>

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

## Anforderungen aus der Anwendung

### Hochwasserwarnung für städtische Gebiete

Die Anforderungen an Niederschlagsdaten für städtische Gebiete wurde schon früh mit einer Auflösung von einem Wert pro 1 km<sup>2</sup> und pro Minute formuliert (Schilling, 1991). Darüber hinaus ist eine Niederschlagsvorhersage über eine bis drei Stunden, je nach Reaktionszeit des Einzugsgebietes erforderlich. Die erforderliche Qualität der Vorhersage sollte an anderer Stelle diskutiert werden.

### Ereignisauswertung

Zur Bestimmung der Zuständigkeiten nach einem Ereignis, aber auch für die Nachbetrachtung einer Überflutung in einem Modell sind Auswertungen extremer Ereignisse erforderlich. Hier werden besondere Anforderungen an die Genauigkeit der ausgewerteten und bereitgestellten Daten formuliert, damit auch Vergleich zu Extremwertstatistiken möglich sind. Auch hier sind die zeitlichen und räumlichen Anforderungen wie oben angegeben, ein Wert pro km<sup>2</sup> und Minute.

## Datenqualität

### Regenschreiber

Die Qualität von Regenschreibern ist bei guter Wartung verlässlich gut. Der hauptsächliche Nachteil von Regenschreibern ist die geringe räumliche Repräsentativität, besonders bei konvektiven Ereignissen mit großen kleinräumigen Unterschieden, wie sie beispielsweise am 10.5.2018 in Hamburg und am 29.5.2018 in Wuppertal auftraten.

### Wetterradar

Durch das flächendeckende Radarmessnetz des Deutschen Wetterdienstes liegt eine gute Datengrundlage vor, Niederschläge in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung abzuschätzen. Wie in der VDI-Richtlinie 3786 Blatt 20 (2014) dargestellt, sind für Niederschlagsauswertungen mittels Radardaten kritische Untersuchungen und gegebenenfalls Korrekturen der vom DWD gelieferten Daten erforderlich.

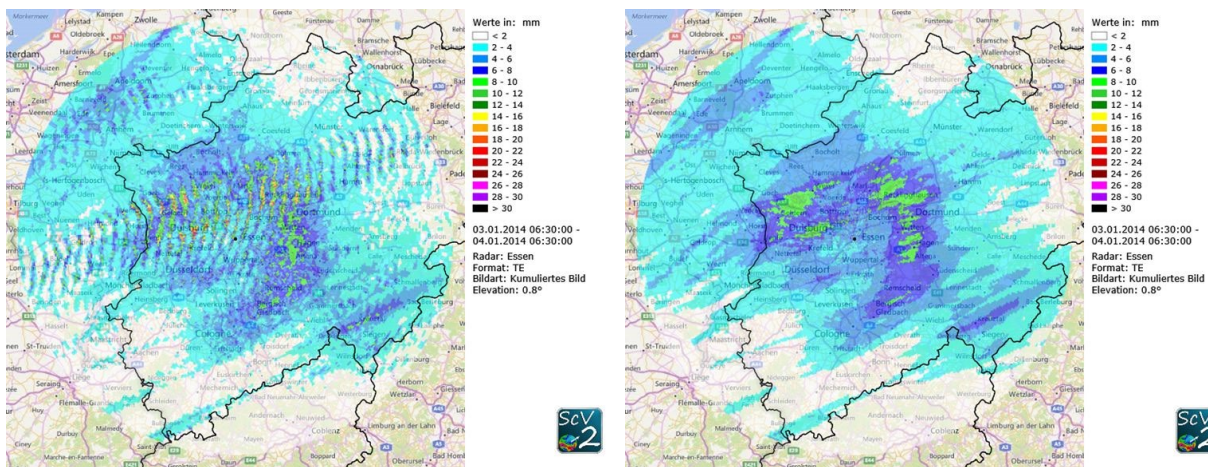


Abbildung: Radardaten vor (links) und nach (rechts) dem Korrekturschritt „Bildinterpolation“

## Datenprozessierung

Die Datenprozessierung für die Erstellung belastbarer Niederschlagsdaten aus Radar und Regenschreiber beinhaltet die Korrektur der Radarmessung auf Messfehler und Artefakte, die Vorprüfung der Regenschreibermessung, die Aneichung der Radardaten an die Regenschreiberwerte an den Stationen und die Abschätzung der Unsicherheit der erzielten Ergebnisse durch eine Verifizierung mit unabhängigen Stationen. Eine Kreuzvalidierung ist in den meisten Fällen nicht praktikabel.

Die Aneichung kann online für zeitkritische Anwendungen stattfinden oder offline. Die zweite Variante ergibt dabei systematisch bessere Ergebnisse, da dort Radar- und Regenschreibermessungen über identische Zeiträume miteinander verglichen werden und nicht aus vergangenen Zeitintervallen auf den gegenwärtigen Zeitpunkt geschlossen werden muss.

## Ergebnisse und Diskussion

Niederschlagsdaten liegen in unterschiedlichen Qualitäten vor. Diese müssen klar benannt bzw. die Unsicherheiten dargestellt werden.

Messungen aus Stationsdaten haben das Problem der räumlichen Repräsentativität und sind deshalb für kurze Starkregen bis zu einer Stunde Dauer nur am Messort selber belastbar.

Die Niederschlagsbestimmung aus Radarmessungen und Regenschreiberdaten zeigt das Niederschlagsgeschehen zeitlich und räumlich hoch aufgelöst. Wesentliche Aspekte zur Bestimmung der Unsicherheit der Niederschlagsabschätzung am Ort sind – neben der Qualität der Stationsdaten – die Frage, ob die Radardaten online oder zeitversetzt angeeicht wurden und welche Korrekturen sie durchlaufen haben. Hier ist die Formulierung von Mindestanforderungen, auch im Hinblick auf unterschiedliche Anwendungen, dringend geboten.

Anforderungen an die Daten wie Sichtbarkeit und statistische Einordnung erfordern Zusatzmodule für die jeweiligen Funktionen.

## Literatur

Schilling, W.: Rainfall data for urban hydrology: what do we need?, Atmospheric Research, 27(1–3), 5–21, doi:10.1016/0169-8095(91)90003-F, 1991

VDI: Environmental meteorology – Ground-based remote sensing of precipitation – Weather radar. VDI 3786 Part 20, Beuth Verlag, Berlin., 2014

# Flächenhafte Niederschlagserfassung mittels Radar – Erfahrungen aus 25 Jahren Radardatennutzung bei Emschergenossenschaft und Lippeverband

Adrian Treis<sup>1</sup> und Angela Pfister<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Emschergenossenschaft / Lippeverband, Kronprinzenstraße 24, 45128 Essen, treis.adrian@eglv.de und pfister.angela@eglv.de

## Einführung

Die Erfassung des Niederschlagsgeschehens ist von zentraler Bedeutung für Hydrologie und wasserwirtschaftliche Aufgaben. Regenschreiber erfassen den Niederschlag direkt, mit hoher Genauigkeit und kontinuierlich, die Repräsentativität der Punktmessungen ist jedoch räumlich begrenzt. Demgegenüber bietet die Niederschlagsmessung mittels Radar den Vorteil, das Regengeschehen weiträumig flächenhaft erfassen zu können. Bei Emschergenossenschaft (EG) und Lippeverband (LV) sind beide Verfahren langjährig etabliert. Der vorliegende Beitrag beschreibt die Erfahrungen aus der langjährigen Nutzungshistorie von Radarniederschlagsdaten bei EG/LV und stellt deren Anwendungsmöglichkeiten und Nutzungsvoraussetzung aus wasserwirtschaftlicher Sicht vor.

## Historie der Radardatennutzung bei Emschergenossenschaft und Lippeverband

Die Historie der Radardatennutzung bei EG/LV beginnt bereits im Jahr 1994 im Rahmen des F&E Projektes „Abflusssteuerung unter Verwendung radargemessener Niederschläge“ mit dem Ziel der Untersuchung der Nutzungsmöglichkeiten von Radarniederschlagsdaten für die Steuerung von siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen (EG/LV 1998). Hierzu wurde ein eigenes X-Band Radar errichtet. Nach Abschluss des Projektes wurde das Radargerät von EG/LV weiterbetrieben und für vertiefende Untersuchungen genutzt.

Mit dem Einsatz von Radardaten in der operationellen Hochwasservorhersage seit 2008 stiegen die Anforderungen an die räumliche Verfügbarkeit und die Datenübertragung. Da die Qualität und Verfügbarkeit der Radardaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) seit dem Jahr 2001 deutlich verbessert wurde und die räumliche und zeitliche Auflösung der C-Band Radardaten für eine Kopplung mit den hydrologischen Gebietsmodellen bei EG und LV optimal geeignet erschienen, wurde im Jahr 2008 gemeinsam mit neun weiteren Wasserverbänden die Radarkooperationsvereinbarung der Wasserverbände NRW mit dem DWD unterzeichnet, die den gegenseitigen Datenaustausch regelt (Pfister et al. 2015).

## Anwendung von Radarniederschlagsdaten

Radarniederschlagsinformationen werden bei EG/LV für vielfältige wasserwirtschaftliche Fragestellungen genutzt. So dienen sie als wichtige Inputquelle für die Hochwasservorhersage auf Basis der Software Delft-FEWS. Neben der reinen Visualisierung werden sie in Echtzeit zur Ermittlung des Gebietsniederschlags und beispielsweise bei Baustellen an Gewässern zur automatisierten Warnung bei Überschreitung von Intensitätsschwellen oder Niederschlagssummen verwendet. Die Kopplung mit hydrologischen Gebietsmodellen macht eine Analyse und Vorhersage der Abflusssituation möglich. Mit zunehmender Zahl von Starkregenereignissen steigt der Bedarf einer Nachbereitung auf Grundlage von Radarniederschlagsinformationen. Trotz eines dichten Messnetzes von terrestrischen Niederschlagsstationen ist die Verortung kleinräumiger Niederschlagszellen häufig nur durch die Analyse von Radarbildern möglich und lokale Überflutungen können durch qualitative und quantitative Auswertungen der radarerfassten Niederschläge nachgewiesen werden.

## Qualität von Radarniederschlagsdaten und Anwendungsempfehlungen

Im Gegensatz zur terrestrischen Niederschlagsmessung stellt die Erfassung mittels Niederschlagsradar ein indirektes Messverfahren dar, auf welches eine Reihe von Einflussmöglichkeiten einwirkt (VDI 2014). Bei einer quantitativen Auswertung ist deshalb eine Verwendung qualitätskorrigierter und/oder angeeichter Radardaten dringend zu empfehlen. EG/LV verwenden zur quantitativen Auswertung die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bereitgestellten Radarprodukten DX, RY, RZ und RW. Rein qualitativ werden die Produkte PF, PI und PG verwendet (DWA 2017). Zusätzlich wenden EG /LV in Kooperation mit weiteren Wasserverbänden eigene Verfahren zur Korrektur von Radardaten an. Im Fokus steht dabei das speziell für die Wasserwirtschaft entwickelte DX-Produkt des DWD, welches im Hinblick auf die spezifischen Gebietscharakteristika der Einzugsgebiete aufbereitet wird. Die physikalischen Einflussgrößen werden mit besonderem Schwerpunkt auf die Dämpfung korrigiert. Eine charakteristische Rolle kommt auch der Umrechnung der Radarreflektivitäten (R) in Intensitäten (Z) zu. Bei der hier beschriebenen Aufbereitung erfolgt eine dynamische Zuweisung der Z-R Beziehung je nach Ereignistyp. Die so aufbereiteten Daten liefern sehr gute Ergebnisse im Starkregenfall und stehen in Echtzeit zur Verfügung.

Zur Modellkalibrierung, zur Ermittlung von Gebietsniederschlägen und auch zur statistischen Auswertung von Radardaten kommen Offline-korrigierte und angeeichte DX-Radardaten zum Einsatz. Neben umfangreichen Korrekturen kann bei der Offline-Aneichung auf eine Vielzahl von Ombrometern zurückgegriffen werden, die die Basis für eine Aneichung auf Tageswerten darstellen (Treis et al. 2016).

### Ausblick/weiteres Vorgehen

Die positiven Anwendungserfahrungen haben EG/LV dazu motiviert, die Verbesserung von radarbasierten Niederschlagsinformationen fortzuführen. Aktuell ist ein Verfahren zur BIAS-Korrektur der dämpfungskorrigierten Radardaten unter Verwendung von Regenschreiberdaten in Umsetzung. Ein von EG/LV entwickeltes Werkzeug zur GIS-gestützten, automatisierten Aufbereitung von Radardaten wird fortentwickelt (Treis et al. 2017). Ziel ist ein Vergleich mit KOSTRA-DWD 2010 R-Kacheln (Deutschländer & Pfister 2017). Zudem ist eine Visualisierung des Starkregenindex in Umsetzung. Durch die freie Verfügbarkeit von Radardaten wird die Verbreitung und Anwendung der Daten weiter zunehmen, die Restriktionen und Randbedingungen sollten den Nutzern bekannt sein. Hierzu soll dieser Artikel einen Beitrag leisten.

## Literatur

- Deutschländer, T., Pfister, A. (2017): Deutscher Wetterdienst veröffentlicht Revision des KOSTRA-DWD-2010-Datensatzes. In: KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 10 (11), S. 656.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (2017): Niederschlagsfassung durch Radar und Anwendung in der Wasserwirtschaft. Hennef (DWA-Themen, T2/2017). ISBN 978-3-88721-478-4.
- Emschergenossenschaft / Lippeverband (EG/LV) (Hrsg.) (1998): Abflußsteuerung unter Verwendung radargemessener Niederschläge. Abschlußbericht zum F&E Projekt. Essen (unveröffentlicht).
- Pfister, A., Treis, A., Teichgräber, B. (2015): Der Einsatz von Radardaten für wasserwirtschaftliche Zwecke bei Emschergenossenschaft und Lippeverband. Korrespondenz Wasserwirtschaft (8), Nr. 2, Februar 2015, 115-124.
- Treis, A., Gemreich, J., Krüger, M., Pfister, A. (2017): GIS-gestützte Aufbereitung von Radarniederschlagsdaten in der Starkregenanalyse und deren Anwendung im Emschergebiet. In: Strobl, J.; Zagel, B.; Griesebner, G.; Blaschke, T. (Hrsg.): AGIT. Journal für Angewandte Geoinformatik, 3-2017. Berlin und Offenbach: VDE Verlag GmbH, S. 266-276, ISBN 978-3-87907-633-8, DOI: 10.14627/537633029.
- Treis, A., Einfalt, T., Weigl, E., Keller, T., Gattke, C., Kaiser, M., Schitthelm, D., Pfister, A. (2016): Kombination hochaufgelöster Radarniederschlagsinformationen und terrestrischer Ombrometerdaten – Ergebnisse des DX-Offline Projektes der Wasserverbände NRW mit dem Deutschen Wetterdienst. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft (9), Nr. 4, April 2016, S. 233–242.



Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2014): VDI 3786 Blatt 20 (2014-09): Umweltmeteorologie; Bodengebundene Fernmessung des Niederschlags; Wetterradar (Environmental meteorology; Ground-based remote sensing of precipitation; Weather radar). Berlin: Beuth Verlag.

# Das Messdatenmanagementsystem (MDMS) als Grundvoraussetzung für eine nachhaltige ganzheitliche wasserwirtschaftliche Betrachtung von urbanen Einzugsgebieten am Beispiel der Stadt Bochum

Frank Großklags<sup>1</sup>, Ioannis Papadakis<sup>2</sup>, Marko Siekmann<sup>1</sup>, Elke Freistühler<sup>2</sup>, Celeste Saldin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Stadt Bochum, Fgrossklags@bochum.de, msiekmann@bochum.de

<sup>2</sup>dr. papadakis GmbH, ipapadakis@drpapadakis.de, efreistuehler@drpapadakis.de, c.saldin@drpapadakis.de

Gewässersysteme werden u.a. von Abwasserableitungssystemen quantitativ und qualitativ signifikant belastet. Entwässerungssysteme sind meistens Teilsysteme von natürlichen Gewässereinzugsgebieten mit unterschiedlichen Schnittstellen zu Gewässern, wie direkte und indirekte gedrosselte oder nicht gedrosselte Einleitungen aus Entlastungsbauwerken unterschiedlicher Art (SK, RÜB, RÜ, RRB, RKB). Auf der anderen Seite werden besonders in den dicht besiedelten Gebieten Stadt(-teil) Zentren Gewässerverläufe durch das städtische Kanalnetz geleitet. Aus dieser Systemstruktur resultiert eine Wechselwirkung zwischen Kanal und Gewässer. Diese führt zur gegenseitigen Beeinflussung des hydraulischen und gewässerschutzspezifischen Verhaltens innerhalb des Gewässerhauptsystems mit unterschiedlichen Auswirkungen.

Zur Erreichung eines guten ökologischen Zustandes der Gewässer fordert die EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) einen integralen Betrachtungsansatz. Im Sinne der WRRL für eine nachhaltige, gewässerökologisch orientierte Bewirtschaftung von Einzugsgebieten ist es erforderlich, bei Eingriffen in Teilbereichen des Gewässereinzugsgebietes eine Gesamtbetrachtung des Gewässersystems zu verfolgen. Dadurch werden vorhandene und zu erwartende signifikante quantitative und qualitative Wechselwirkungen innerhalb des betrachteten Systems erfasst, die bei der Umsetzung von notwendigen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen Berücksichtigung finden.

In der Vergangenheit wurden Teilsysteme wie urbane Gebiete quasi isoliert vom Gewässer betrachtet. Erst mit in Kraft treten der EU-WRRL und in Verbindung mit der Immissionsbetrachtung BWK-M3 und -M7 (DWA A 102) hinsichtlich der Gewässerbelastung sind die gesetzlichen Voraussetzungen einer ganzheitlichen Betrachtung von Gewässereinzugsgebieten geschaffen.

Diese neue Betrachtungsweise verlangt allerdings einen Umdenkprozess bei der Bearbeitung von stadthydrologischen und gewässerspezifischen wasserwirtschaftlichen Aufgabenstellungen. Grundvoraussetzungen einer ganzheitlichen Betrachtung von urbanen Strukturen und Gewässereinzugsgebiete sind:

- Das Verständnis, wie sich verschiedene Systemkomponenten gegenseitig beeinflussen;
- Möglichkeiten zur Analyse von Ursachen und Wirkungen;
- Verständnis des Betriebes von wasserwirtschaftlichen Anlagen
- Verständnis der Auswirkungen von stofflichen Belastungen
- Möglichkeiten einer strategischen Bewertung des hydraulischen Versagensrisikos
- Möglichkeiten einer detaillierten Beurteilung des hydraulischen Versagensrisikos

- Möglichkeiten zur Entwicklung von Anpassungsstrategien bei veränderlichen Rahmenbedingungen
- usw.

Dazu sind umfangreiche Prozessdaten und Informationen notwendig. Die Bearbeitung, die Archivierung, die Dokumentation und die Bereitstellung kann nur auf Basis eines qualifizierten EDV-gestützten Messdatenmanagementsystems (MDMS) gewährleistet werden.

Am Beispiel der Stadt Bochum wird gezeigt, welche Schritte notwendig sind, um ein qualifiziertes EDV-gestütztes Messdatenmanagementsystem (MDMS) aufzubauen. Darüber hinaus wird anhand von konkreten Beispielen der Umfang und die Funktionalität des implementierten MDMS erläutert.

# Autovalidierung von Messdaten – Wie kann sie uns Hydrologen unterstützen?

Roland Funke <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Fachbereich 51: Hydrologie und Messnetzzentrale

## Einleitung / Veranlassung

Wasser 4.0 ist in aller Munde. Unter dem Begriff werden derzeit umfangreiche Initiativen und Maßnahmen der Wasserwirtschaft zur Digitalisierung und Automatisierung von Prozessen und Abläufen zusammengefasst. Übergeordnetes Ziel ist dabei die Wasserwirtschaft ressourceneffizient, flexibel und wettbewerbsfähig für die Zukunft aufzustellen (GWP 2016). Während die Digitalisierung in vielen Bereich erst in diesem Jahrzehnt Einzug hält, begann sie in der Hydrometrie und Hydrologie bereit in den 1970er-Jahren und stellt seit den 80ern eine wesentliche Grundlage im Arbeitsalltag dar.

Durch die fortschreitende Vernetzung und Digitalisierung der Lebens- und Arbeitswelt verändern sich die Anforderungen an die die Hydrometrie und deren Daten derzeit weiterhin in vielfältiger Weise. Zentral ist dabei die Geschwindigkeit der Datenverfügbarkeit. War es früher üblich, dass die Messdaten nach umfassender Prüfung und evtl. erforderlicher Bearbeitung in Jahrbüchern oder –berichten veröffentlicht wurden, werden mit zunehmender Tendenz die Daten quasi in Echtzeit in hoher Qualität und möglichst geprüft und berichtet erwartet. Dies gilt sowohl für die interne Weiternutzung z.B. in Vorhersagemodellen und Hochwasserinformations- und –warndiensten wie auch zur externen Informationsbefriedigung von staatl. Stellen, Wasserverbänden, Journalisten und Medien sowie der Öffentlichkeit.

Damit entsteht für die Messnetzbetreiber ein zunehmender Druck möglichst „perfekte“ Daten möglichst schnell auf den Markt zu bringen. Um diesem gerecht zu werden, aber auch um die fachliche Weiterentwicklung voranzutreiben, hielt in den vergangenen Jahren eine Vielzahl von neuen Technologien Einzug in die Hydrometrie. Als wesentlich sind u.a. folgende zu nennen

- Digitale Sensorik an den Messtellen
- Digitalisierung der Durchflussbestimmung, z.B. ADCP
- Datenfernübertragung
- Zentrale Messdatenmanagementsysteme
- Datenveröffentlichung über Internet-Plattformen

Dennoch ist es derzeit Stand der Technik, dass zeitnah nur ungeprüfte Rohdaten veröffentlicht werden, da der Prozess der Datenprüfung weiterhin ein manueller, durch qualifizierte Fachkräfte durchzuführender Arbeitsschritt ist. Dieser wird durch verschiedenste Fachwerkzeuge innerhalb von Messdatenmanagementsystemen effektiv unterstützt, eine Verlagerung der Aufwände von Sachbearbeiter auf automatisch ablaufende Softwareroutinen ist aber derzeit nur in ersten Ansätzen erkennbar.

Bei einer Betrachtung des gesamten Prozesses der Datenprüfung lassen sich unabhängig von dessen konkreter Struktur verschiedene Teilprozesse identifizieren, die für eine automatische Prüfung oder sogar Korrektur geeignet sind oder den Datensatz für eine manuelle Prüfung vorbereiten. Dabei ist zu beachten, dass jede Datenprüfung und –freigabe letztlich durch den Sachbearbeiter abzuschließen ist (DWA M 151) und im Sinne

einer Nachvollziehbarkeit und Qualitätssicherung sowohl durch den Automaten wie durch den Sachbearbeiter umfassende und nachvollziehbare Dokumentationen erfolgen müssen (ISO 9001).

## **Autovalidierung – Eine kurze Definition**

In der Autovalidierung werden Test, wie numerische Prüfungen oder Vergleiche mit anderen Messwerten durchgeführt. Bei der Datenprüfung wird zwischen der Prüfung des aktuellen Materials und der Prüfung über längere Zeit-spannen unterschieden. Ergebnisse der Autovalidierung müssen nicht unbedingt Fehler oder Qualitätsmängel in den Daten sein müssen. Sie können auch Hinweise auf System- oder Belastungsänderungen darstellen (DWA M 151). Integraler Bestandteil einer Autovalidierung ist immer eine umfassende Dokumentation sowohl des verwendeten Algorithmus als auch der während des Betriebes erzielten Prüf- und Korrekturergebnisse. Die Autovalidierung somit ist immer als unterstützendes Element zu betrachten, das das Fachpersonal in seiner Arbeit unterstützt, von aufwendigen Routinearbeiten befreit und über komplexe Prüfungen Informationen bereitstellt, die manuell kaum zu erzeugen wären.

## **Konzepte – Methoden – Prüfungen**

Die Autovalidierung kann konzeptionell an verschiedenen Stellen der Datenprüfung eingebunden werden. Die wesentlichen Prozesse sind dabei die Erstprüfung der Rohdaten direkt nach deren Erfassung und Übertragung sowie tiefgreifende Validierungen über längere Zeiträume und größere Raumeinheiten im Rahmen einer abschließenden Datenfreigabe. Damit bietet die Autovalidierung die Möglichkeit neben den in Echtzeit verfügbaren Rohdaten und den langfristig erhältlichen freigegebenen Daten in Quasi-Echtzeit automatisch geprüfte Daten zusätzlich bereit zu stellen. Diese sind zwingend mit der der Information auf deren Entstehung und möglichst auch mit Hinweisen zu den Prüf und Korrekturergebnissen zu versehen.

In der Methodik muss zwischen reinen Prüfalgorithmen und Algorithmen mit Korrekturfunktionen unterschieden werden. Reine Prüfalgorithmen stellen als Ergebnis Listen identifizierter unplausibler Daten zusammen. Diese bieten innerhalb eines Messdatenmanagementsystems den schnellen Sprung zu den Daten, um evtl. erforderliche Korrekturen durchzuführen. Liegen weitreichende Erfahrungen zum Verhalten an einzelnen Messstellen vor, können Korrektoren auch eine direkte automatisierte Bearbeitung durchführen. Über diese ist der Sachbearbeiter immer in geeigneter Form zu informieren. Bei einer Korrektur ist immer zu beachten, dass eine Konfiguration der Methode messstellenspezifisch zu erfolgen hat. So können z.B. an größeren Gewässern durchaus Lücken von mehreren Stunden Dauer durch Interpolation geschlossen werden, während bei kleinen Gewässern dies schon bei einzelnen Fehlwerten nicht möglich ist.

Eine Zwischenstellung nehmen Algorithmen ein, die nach Identifikation kritischer Werte diese zwar nicht korrigieren, aber in einer Weise kennzeichnen, dass sie von einer weiteren Nutzung vor einer Korrektur bzw. der Bestätigung durch den Sachbearbeiter ausschließen.

Prüfalgorithmen können prinzipiell für alle Prüfungen entwickelt werden, die einen standardisierten Ablauf besitzen. Um sie einzusetzen, müssen darüber hinaus auch deren Konfigurationsparameter bekannt sein. Oftmals ist die Ableitung dieser Parameter ein iterativer Prozess, der durch die Sachbearbeiter mit der erforderlichen umfassenden Kenntnis zur Messstelle sowie der verwendeten Messmethodik intensiv zu betreuen bzw. selbst durchzuführen ist (Morgenschweiß 2018).

Wesentliche Prüfalgorithmen sind derzeit:

- Datenaktualität
- Datenvollständigkeit
- Lückendetektion/ -schließung
- Vergleich mit Handablesungen

- Abweichung bei redundanten Messsystemen
- Grenzwertprüfung/ Ausreißer-Korrektur
- Gradientenprüfung
- Innere Konsistenz der Daten einer Messstelle
- Externe Konsistenz, z.B.:
  - Abflusspenden der Messstellen einer Region
  - Niederschläge benachbarter Stationen
  - Vergleich mit unabhängigen Datensätzen (Niederschlagsradar, Pegel anderer Betreiber)

Einen vertieften Überblick gibt u.a. (Haß et. al, 2016).

## Ausblick

Insgesamt wird die immer weiter fortschreitende Digitalisierung sowie das weiter zunehmende Prozessverständnis die Arbeitsabläufe in den hydrologischen Diensten weiter verändern. Routinearbeiten wie die Datenprüfung werden zunehmend automatisiert erfolgen. Dabei werden die Sachbearbeiter qualifiziertere Aufgaben in Konzeption, Konfiguration und Überwachung der Automatismen sowie der abschließenden Freigabe, Datenauswertung und Interpretation der Messwerte übernehmen.

## Literatur

- DWA Merkblatt 151 (DWA M 151): Messdatenmanagementsysteme (MDMS) in Entwässerungssystemen; DWA Bad Honnef; 2016
- Funke, R. (2013): Messdatenmanagement in der Wasserwirtschaft – Anforderungen, Standards, Software; Kolloquium Wasserwesen der TU Berlin; 2013; <https://docplayer.org/2209066-Messdatenmanagement-in-der-wasserwirtschaft-anforderungen-standards-software.html>
- German Water Partnership (GWP); (2016) Wasser 4.0; [https://www.germanwaterpartnership.de/fileadmin/pdfs/gwp\\_materialien/gwp\\_wasser\\_40.pdf](https://www.germanwaterpartnership.de/fileadmin/pdfs/gwp_materialien/gwp_wasser_40.pdf)
- Haß, U. et al. (2016): Umsetzungsansatz Portal für das BAFU; Bern; <http://docplayer.org/60374240-Umsetzungsansatz-portal-fuer-das-bafu-uwe-hass-matthias-egeling.html>
- Morgenschweis, G. (2018): Hydrometrie – Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen. In Springer Vieweg, 2. Auflage, Berlin
- DIN EN ISO 9001:2015-11 (ISO 9001) (2015): Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen; Beuth-Verlag; Berlin; 2015

# Technische, konzeptionelle und organisatorische Lösungen zur Qualitätskontrolle hydrometrischer Daten

Dirk Schwanenberg<sup>1</sup>, Simon Gockel<sup>1</sup> und Uwe Haß<sup>2</sup>

<sup>1</sup>KISTERS AG, Business Unit Water, dirk.schwanenberg@kisters.de

<sup>2</sup>KISTERS AG, Business Unit Water, uwe.hass@kisters.de

## Abstract

Die Qualitätskontrolle und -sicherung von hydrometrischen Daten ist eine vielschichtige Aufgabenstellung für die damit betrauten Organisationen. Aufgrund einer steigenden Datenmenge sowohl in Bezug auf die Anzahl der gemessenen Parameter und eine erhöhte Messfrequenz, der Verfügbarkeit neuer Datenprodukte – beispielsweise aus der Fernerkundung – und tendenziell abnehmenden personellen Ressourcen in der öffentlichen Verwaltung, stoßen etablierte, oft auf vielen manuellen Schritten beruhende Prozesse an ihre Grenzen. In diesem Zusammenhang schlagen wir die konsequente Anwendung eines Paradigmas vor, das als ‚over-the-loop‘ bezeichnet wird (Schwanenberg et al., 2017). Es automatisiert die Qualitätskontrolle, liefert dem Anwender zusammenfassende Berichte über auftretende Probleme und bietet ihm die entsprechenden Eingriffsmöglichkeiten. Im Gegensatz zu der als ‚in-the-loop‘ bezeichneten etablierten Vorgehensweise kann so die Effizienz der Qualitätskontrolle signifikant gesteigert werden.

Im vorliegenden Beitrag gehen wir auf technische, konzeptionelle und organisatorische Aspekte bei der Implementierung einer Qualitätskontrolle in einer modernen Software-Lösung ein. Im technischen Teil geht es um die Verifizierung des korrekten technischen Datenflusses vom Sensor bis hin zur Datenbanklösung. Dabei besteht die Herausforderung, verteilte Prozesse derart zu überwachen und zu analysieren, dass der Datenfluss insgesamt evaluiert werden kann. Bei der konzeptionellen oder fachlichen Qualitätskontrolle wird im folgenden Schritt die Verfügbarkeit der Daten und deren Qualität thematisiert. Dazu werden einerseits automatische Validierungsalgorithmen eingesetzt, andererseits werden die Prüfergebnisse von der Zeitreihe auf die Stufe eines Parameters, einer Station oder eines Messnetzes aggregiert, um dem Anwender einen einfachen Einstieg in den aktuellen Zustand der Daten zu verschaffen. Weiterhin stehen ihm an dieser Stelle vielfältige Eingriffsmöglichkeiten zur Verfügung. Die Interaktion des Systems mit dem Anwender bzw. der Anwender untereinander kann darauf aufbauend über Geschäftsprozesse beschrieben und softwareseitig abgebildet werden.

Die Anwendung der oben beschriebenen Methodik wird anhand von zwei praktischen Anwendungsfällen demonstriert. Dabei handelt es sich um verschiedene Systeme mit einem unterschiedlichen Fokus. In einer Anwendung für das LfU und das DLR, Rheinland-Pfalz liegt der Schwerpunkt auf der fachlichen Validierung von insbesondere meteorologischen Daten. Beim Schweizer Bundesamt für Umwelt liegt der Fokus mehr auf hydrologischen Daten und der Abbildung von Geschäftsprozesse der unterschiedlichen Bearbeitergruppen.

## Literatur

Schwanenberg, D., Natschke, M., Todini, E. und Reggiani, P. (2017): Scientific, technical and institutional challenges towards next-generation operational flood risk management decision support systems, *International Journal of River Basin Management*, 16:3, 345-352, DOI: 10.1080/15715124.2017.1411924

# Workflow und Qualitätssicherung in einem Messdatenmanagementsystem am Beispiel von Wasserstand und Abfluss

Gerhard Langstädtler<sup>1</sup> und Claudia Janßen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>aqua\_plan Ing.-Ges. für Problemlösungen in Hydrologie und Umweltschutz mbH, Aachen, gl@aquaplan.de

<sup>2</sup>aqua\_plan Ing.-Ges. für Problemlösungen in Hydrologie und Umweltschutz mbH, Aachen, cj@aquaplan.de

## Messungen von Wasserstand und Abfluss, bzw. dessen Berechnung

Auch wenn Messstellen zur kontinuierlichen Messung und Aufzeichnung von Wasserstand und Abfluss nach den Regeln der Technik (Pegelvorschrift) eingerichtet und betrieben werden, sind Messfehler der Beobachtungsgrößen nicht auszuschließen. Zur Überprüfung bedarf es einer stetigen Durchführung von Kontrollmessungen für den korrekten Zeitbezug, den Wasserstand, den Abfluss und ggf. den Verkrautungszustand. So sind regelmäßig Abflussmessungen zu möglichst unterschiedlichen Wasserständen durchzuführen.

## Aufgaben, Funktionen und Mehrwert eines Messdatenmanagementsystems (MDMS)

In einem MDMS werden alle genannten Messdaten in einen Bedeutungszusammenhang gebracht. Sie werden mit weiteren Informationen wie u.a. Niederschlagsmessungen, geografischen bzw. geomorphologischen Daten und Vermessungsdaten zur Aufnahme von Querprofilen und hydraulischen Kenngrößen verknüpft. Dies geschieht für alle Pegel im Bewirtschaftungsgebiet. Neben den Vergleichsmöglichkeiten, die virtuos kombinierbar sind, stellt das MDMS umfangreiche Berechnungs- und Auswertungsmöglichkeiten sowie Prüfmethode zur Verfügung. Dazu gehören auch grafisch interaktive Fachanwendungen, wie etwa:

- ein sehr leistungsstarker Visualisierer für Ganglinien
- eine semiautomatische Plausibilisierung, die den Bearbeiter auf Messfehler fokussiert, Korrekturvorschläge macht und grafische Methoden für die interaktive Korrektur zur Verfügung stellt
- ein sehr leistungsstarker Abflusskurveneditor
- ein Modul zur Berechnung und Kontrolle von Veränderungswerten nach dem Stau- und Eta-Verfahren, auch in beliebiger zeitlicher Aufeinanderfolge
- ein umfangreiches Berichtswesen

## Workflow in einem Messdatenmanagementsystem

In diesem Vortrag wird der praktische Workflow in einem MDMS vorgestellt. Insbesondere für die folgenden Aufgaben:

- Prüfung und Korrektur der Rohdaten
- Erstellung von Abflusskurven nach unterschiedlichen Verfahren, u.a. auch aus Querschnittsvermessungen und hydraulischen Randbedingungen
- Erstellung von Veränderungswerten



- Berechnung von Abflüssen
- Überprüfung der Abflüsse mit Nachbarpegeln

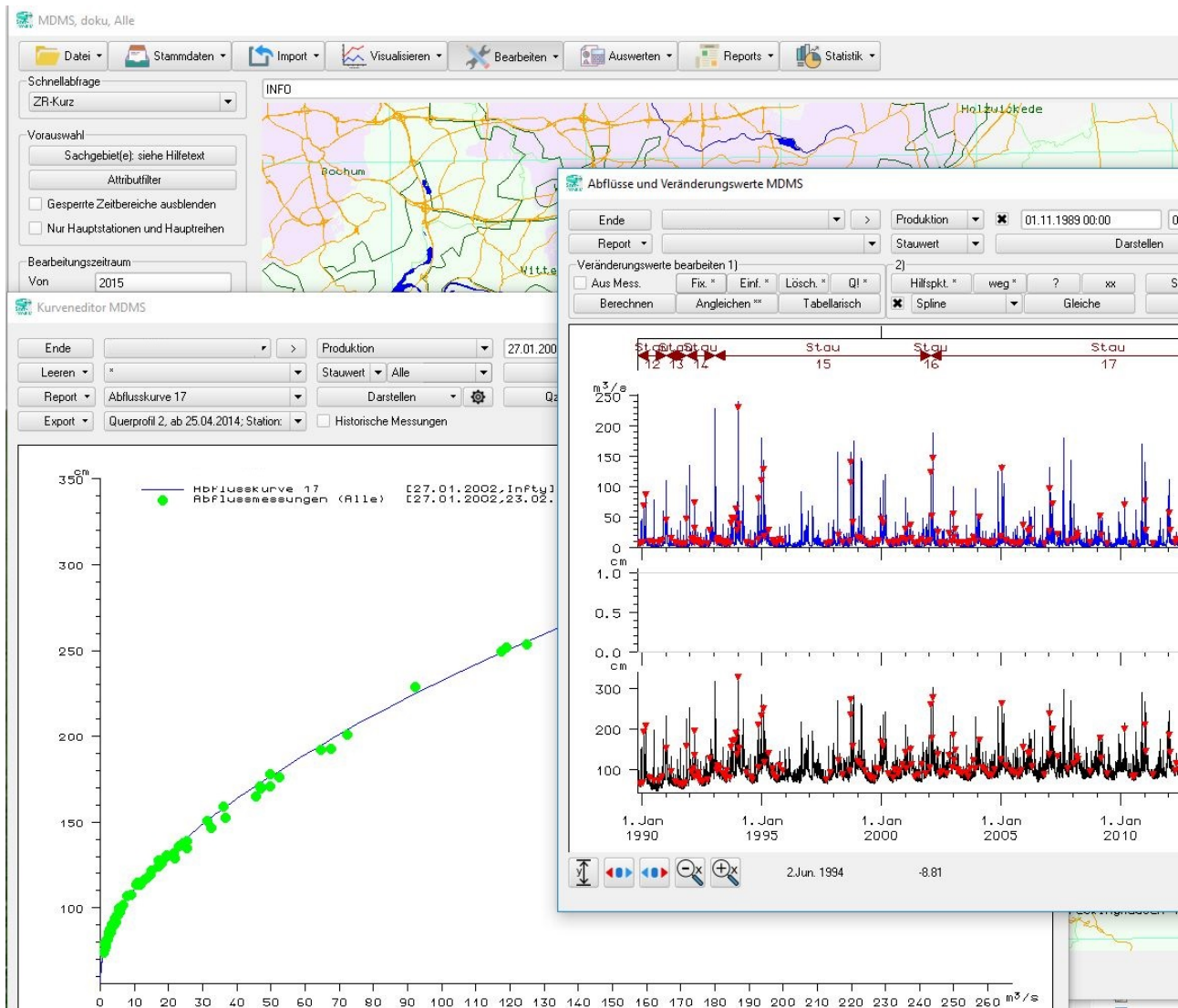


Abbildung 1: MDMS - Grafisch interaktive Fachanwendungen

## Literatur

Pegelvorschrift, Ländergemeinschaft Wasser (LAWA) und dem Bundesministerium für Verkehr (BMV), Anlage A und D

# Qualitätsmanagement von Niederschlags- und Abflussmessdaten mit dem Fokus auf siedlungswasserwirtschaftliche Anwendungen

Markus Quirnbach<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau, markus.quirnbach@hs-ruhrwest.de

## Verwendung hydrologischer Messdaten bei siedlungswasserwirtschaftlichen Anwendungen

Hydrologische Messdaten werden für viele siedlungswasserwirtschaftliche Anwendungen insbesondere für die Dimensionierung von Bauwerken und die Modellierung von wasserwirtschaftlichen Systemen genutzt. Eine besondere Bedeutung besitzen hier die Parameter Niederschlag und Abfluss (Durchfluss), der aus den eigentlichen Messgrößen Wasserstand und Fließgeschwindigkeit abgeleitet wird. Fehler bei der Messdatenerfassung sowie bei der Auswertung und Interpretation von Messdaten wirken sich unmittelbar auf die siedlungswasserwirtschaftliche Anwendung aus und verursachen unsachgemäße Kosten. Viele Anwender nutzen solche hydrologischen Messdaten, ohne sich mit der Qualität dieser Grundlagendaten auseinanderzusetzen, oder diese zumindest grob auf Plausibilität zu prüfen.

### Qualitätsmanagement von Niederschlagsmessdaten

In einem ersten Teil wird auf das Qualitätsmanagement von Niederschlagsmessdaten eingegangen, da diesen als Belastungsgröße für wasserwirtschaftliche Systeme eine besondere Bedeutung zukommt. Von der Messung bis zur Anwendung gibt es dabei zahlreiche Fehlerquellen, die im Folgenden kurz angerissen werden:

- Standortwahl: Abschattungs- und Windeffekte, Einfluss der Gerätewahl
- Messdatenprüfung: Insbesondere Überprüfung der räumlichen Variabilität bei statistisch relevanten konvektiven Starkregen
- Lückenschließung anhand benachbarter Stationsdaten
- Statistische Auswertung nach dem DWA-A 531: Einfluss von seltenen Extremereignisse, Zeitreihenlänge und Bereichsgrenzenwahl
- Auswahl geeigneter Niederschlagsereignisse für Modellkalibrierungen (hier konkret: Kanalnetzmodellierungen)
- Nutzung von frei verfügbaren Radarniederschlagsdaten; Nutzen und Gefahren bei der Anwendung

### Qualitätsmanagement von Abfluss- / Durchflussmessdaten

Im zweiten Teil wird auf unterschiedliche Möglichkeiten zur Prüfung von Abfluss- / Durchflussmessdaten eingegangen. Es werden unterschiedliche Fehlertypen und deren Relevanz für siedlungswasserwirtschaftliche Anwendungen aufgezeigt. Auf der einen Seite führt nicht jeder Messfehler dazu, dass Messdaten nicht mehr genutzt werden können (z. B. zeitliche Inkonsistenz MEZ vs. MESZ). Auf der anderen Seite können auf den ersten Blick fehlerfreie Zeitreihen durch systematische Fehler so stark beeinträchtigt sein, dass diese verworfen werden müssen. Gerade bei solchen systematischen Fehlern ist oftmals eine alleinige Analyse der Messdaten / Zeitreihen unzureichend. Es wird daher ein hydrologischer Ansatz vorgestellt, der unter Berücksichtigung

von Einzugsgebietsdaten eine allgemeine Bewertung des Messdatensatzes zulässt und auf systematische Fehler hinweist.

# Unsicherheitsbetrachtung hydrometrischer Messsysteme – Ein Vorschlag für einen vereinfachten Berechnungsansatz

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

<sup>1</sup>Hochschule Bochum, Lehrgebiet für Wasserwesen (LWH), felix.simon@hs-bochum.de

## Abstract

Für viele wasserwirtschaftliche Aufgabenbereiche bilden die Größen Wasserstand ( $w$ ) und Durchfluss ( $Q$ ) die Grundlage, auf der Bemessungswerte ermittelt, Planungen durchgeführt und Unterhaltungsmaßnahmen entschieden werden. Darüber hinaus sind diese Größen grundlegend zur Erstellung und Validierung von Wasserstands-Abflussbeziehungen und werden in verschiedenen Vorhersagemodellen sowie zur Kalibrierung von hydrodynamisch-numerischen Modellen genutzt (Netzel, 2017).

Unter Berücksichtigung eines gewissen Genauigkeitsanspruchs an die Daten selbst, bedarf es einer möglichst hochaufgelösten, kontinuierlichen und vor allem fehlerfreien Erfassung des Wasserstandes sowie des Durchflusses. Der Einsatz verschiedener Verfahren zur Durchflussbestimmung (Verfahren des mittleren Querschnitts) aber ebenso die Messsysteme selbst beinhalten von Natur aus einen gewissen Grad an Unsicherheit, welcher aus systembedingten Messunsicherheiten, Ablesefehlern oder sonstigen Unsicherheiten resultiert, wodurch die fehlerfreie Erfassung der genannten Größen unter Umständen beeinflusst wird. Um die Zuverlässigkeit und Aussagekraft einer Messung beurteilen zu können ist es notwendig, die Qualität des Ergebnisses zu bewerten. Ebenfalls für den Vergleich der Messergebnisse untereinander oder mit Referenzwerten ist eine Angabe der Ergebnisqualität erforderlich und von hohem Nutzen (DIN 25377, 2008). Diese Angabe erfolgt über die Beschreibung der Unsicherheit des Messergebnisses selbst. In der wasserwirtschaftlichen Praxis findet derzeit jedoch keine Angabe einer Unsicherheit für eine Durchflussmessung statt.

In einem gemeinsamen Forschungsprojekt des Lehrgebiets für Wasserwesen (LWH) mit dem Wupperverband (WV), der Emschergenossenschaft/ Lippeverband (EGLV) sowie der Linksniederrheinischen Entwässerungs-Genossenschaft (LINEG) zur detaillierten Untersuchung und Bewertung von Unsicherheiten bei Durchflussmessung wurden unter Berücksichtigung der Berechnungsverfahren der DIN 748 / „Leitfaden zu Messunsicherheiten in der Hydrometrie (HUG)“ bzw. dem „Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)“ diverse Durchflussmessungen ausgewertet und deren Messunsicherheit bestimmt. Im Zuge der Untersuchungen wurde deutlich, dass die Ermittlung und Berechnung einer Angabe zur Messunsicherheit einer Durchflussmessung ein zeitaufwendiger und komplexer Prozess ist. Dies führt dazu, dass dieser Vorgang in der wasserwirtschaftlichen Praxis keine oder nur sehr wenig Anwendung findet. Zudem werden in Fachkreisen bestimmte Berechnungsgrundlagen kontrovers diskutiert (vgl. Morgenschweis, 2018).

Durch die Entwicklung eines vereinfachten Berechnungsansatzes am LWH soll das Fachpersonal hinsichtlich der Unsicherheiten bei der Datenakquise als auch im Zuge der Weiterverarbeitung der Daten sensibilisiert werden. Weiterführend soll eine breitere Anwendung und Akzeptanz der Berechnung und der zusätzlichen Angabe von Messunsicherheiten bei Durchflussmessungen durch den vereinfachten Ansatz erzielt werden.

Der vereinfachte Berechnungsansatz wird zunächst beispielhaft an 5 Messungen mit dem hydrometrischen Flügel angewendet und den Berechnungsverfahren nach DIN 748/ HUG bzw. GUM gegenübergestellt. Es

werden Vor- und Nachteile beider Verfahren dargestellt und diskutiert. In weiterführenden Schritten soll der entwickelte Ansatz auf berührungslos arbeitende Messverfahren (Radar/ Kamera) und ADCP-Systeme angewendet und dessen Eignung überprüft werden.

## Literatur

- Morgenschweis, G. (2018): Hydrometrie – Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen. In Springer Vieweg, 2. Auflage, Berlin
- Netzel, F., Mudersbach, C., Scheibel, M. (2017): Systematische Vergleiche von Durchflussmessungen – Optimierungsansätze durch Kombinationsmöglichkeiten. In WasserWirtschaft, Ausgabe 7-8, 2017, S. 31 – 34.
- DIN EN ISO 748:2008-02 (2008): Hydrometrie – Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Fließgeschwindigkeitsmessgeräten oder Schwimmern. Deutsche Fassung EN ISO 748:2007. Beuth Verlag, Berlin. ICS 17.12.20
- DIN ISO/TS 25377\_2008-01 (2008): Leitfaden zu Messunsicherheiten in der Hydrometrie (HUG). Deutsche Fassung CEN ISO/TS 25377:2007. Beuth Verlag, Berlin. ICS 17.120.01
- Joint Committee for Guides in Metrology (2008): Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement

# Durchführung umfassender Abflussmessungen an der Lippe

Alexander Hartung<sup>1</sup> und Wolfgang Adelung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lippeverband, Kronprinzenstraße 24, 45128 Essen, hartung.alexander@eglv.de

<sup>2</sup>Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserwesen, wolfgang.adelung@gmx.de

## Die Lippe im hydrologischen Längsschnitt

Im Rahmen der Aufgaben des Lippeverbandes sind der Ausgleich der Wasserführung und die Sicherung des Hochwasserabflusses als wesentliche Aspekte in den Verbandsgesetzen mit verankert. Hierzu betreibt der Lippeverband seit seiner Gründung (1916) Gewässerpegel an der Lippe und ihren Nebenläufen.

An den Gewässerpegeln in der Lippe kommen neben Ultraschallanlagen als stationäre Durchflussmessenrichtung natürlich auch die Wasserstandserfassung in Verbindung mit einer Abflusstafel zum Einsatz. Um eine möglichst hohe Datenqualität zu sichern, werden kontinuierlich Abflussmessungen durchgeführt, die entweder als Kalibrierpunkte für die Ultraschallanlagen eingesetzt werden oder mit denen der Verlauf der Abflusstafel kontrolliert wird.

Vergleicht man die Hauptzahlen der Lippepegel im Längsschnitt oder führt eine Nachberechnung von Hochwasserwellen durch, fallen immer wieder Ungereimtheiten zwischen einzelnen Pegeln auf. Diese wurden im Zuge einer Masterarbeit (Adelung 2018) umfassend untersucht und analysiert. Das Ziel der Masterarbeit bestand darin, Anpassungen für die betroffenen Pegel vorzuschlagen, damit diese mit ihren Ober- und Unterliegern ein plausibles Bild ergeben.

## Erfassung des Längsschnittes durch Abflussmessungen

Neben vielen Analysen und Auswertungen der vorliegenden Zeitreihen sowie der vorhandenen Abflusstafeln und der ihnen zugrunde liegenden Abflussmessungen wurde auch eine umfassende Messkampagne durchgeführt, um nicht nur bestehende Daten zu analysieren, sondern auch das Datenkontingent der Abflussmessungen zu vergrößern. An dieser umfassenden Messkampagne waren daher neben dem Lippeverband die Hochschule Bochum sowie der Fachbereich 51 des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) NRW beteiligt. Insgesamt wurden 5 Messwochen durchgeführt, in einer einzelnen Messwoche wurden 13 Lippepegel gemessen, im oberen Abschnitt bei Kessler beginnend und an der Mündung in Fusternberg endend. Damit wurden 65 neue Abflussmesspunkte geschaffen. Neben diesen Daten wurden auch die Ergebnisse der 2-D Hydraulik der Lippe in die Analysen an den Pegelstationen mit einbezogen.

## Ergebnisse der Messkampagnen und der Masterarbeit

Schon während der Auswertung der ersten Messwochen wurden folgende Stationen als problematisch erkannt: der Pegel Lippborg, rund 145 km von der Mündung entfernt, der Pegel Rünthe bei 110 km und der Pegel Rauschenburg bei 77 km.

Die durchgeführten Anpassungen und Verbesserungen der Abflusstafeln Lippborg, Rünthe und Rauschenburg sowie die neue Abflusstafel für den Pegel Selm-Bork bei Lippe km 85 ergaben eine deutlich höhere Plausibilität der Durchflussdaten in Bezug auf Hochwasserereignisse und die veränderten Hauptzahlen der

Pegelstationen im Längsschnittvergleich. Damit konnte für die Pegel des Lippeverbandes ein wesentlicher Beitrag zur Erhöhung der Datenqualität geleistet werden.

## **Überführung und Fortführung der Ergebnisse**

Die spannenden Fragen nach einer Masterarbeit sind natürlich immer: „Was ist aus den Ergebnissen geworden und wie werden sie vom Betreiber fortgeführt?“ Im Falle der Abflusstafeln ist dies einfach zu beantworten, diese wurden nach einem Zeitraum von einigen Monaten, in denen sie parallel zu den aktiven Tafeln vorlagen, erneut bewertet und dann produktiv geschaltet und lösten damit die Vorgängerversionen ab.

Bei der Bewertung der Messkampagne bleiben drei Bereiche übrig, in denen die gemessenen Durchflüsse nach wie vor Fragen aufwerfen. Diese werden durch gezielte Abflussmesskampagnen des Lippeverbandes mit dem Fachbereich 51 des LANUV NRW geklärt bzw. weiter untersucht. Neben den gemeinsamen Abflussmessungen wird auch der Datenaustausch zwischen beiden Institutionen nicht nur fortgeführt, sondern deutlich intensiviert, indem ein kontinuierlicher Austausch aufgebaut wird. Schließlich sollen die Längsschnittvergleiche auch in Zukunft in mehrjährigen Abständen fortgeführt werden. Allen Beteiligten, vor allem während der Messkampagnen sei hier noch einmal ausdrücklich für die Unterstützung gedankt.

Dieser Beitrag fasst die erzielten Verbesserungen der Datenqualität zusammen und gibt darauf aufbauend einen Ausblick auf die künftige Fortschreibung.

## **Literatur**

Adelung, W. (2018): Vergleich von Lippepegeln im hydrologischen Längsschnitt – Masterarbeit Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserwesen

# Unsicherheiten in der Wasserstandsmessung mit Radarfüllstandssensoren

Stephan Mai<sup>1</sup>, Jens Wilhelmi<sup>2</sup> und Hartmut Hein<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Mainz, Lehrgebiet Wasserbau und Wassermanagement, stephan.mai@hs-mainz.de

<sup>2</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat M1 Hydrometrie und gewässerkundliche Begutachtung, wilhelmi@bafg.de

<sup>3</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat M1 Hydrometrie und gewässerkundliche Begutachtung, hartmut.hein@bafg.de

## Einleitung

Seit etwa zwanzig Jahren werden neben den traditionellen, berührenden Sensoren zur kontinuierlichen Messung des Wasserstands, wie Schwimmern, Pneumatikpegeln oder Drucksonden, auch berührungsfreie Sensoren, wie Ultraschall- bzw. Radarfüllstandssensoren, eingesetzt (Barjenbruch et al. 2000). Da die Abstandsmessung mit Radar im Gegensatz zu der mit Ultraschall nur eine sehr geringe, im Rahmen der Wasserstandsmessung zu vernachlässigende Beeinflussung durch die meteorologischen Bedingungen entlang der Messstrecke, d.h. durch Lufttemperatur- und Luftfeuchteprofil, erfährt, werden Radarsensoren bevorzugt für berührungsfreie Messsysteme eingesetzt. So nutzt die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) insbesondere bei der angestrebten, redundanten Ausrüstung von Pegeln (Qualitätszirkel Gewässerkunde der WSV, 2015) oft Radarfüllstandssensoren. Die längsten, redundant mit Radarfüllstandssensor und Schwimmer gemessenen Wasserstandszeitreihen liegen im Küstenbereich am Pegel Borkum-Südstrand (seit 2002) (Barjenbruch et al., 2002) sowie im Binnenbereich am Pegel Mainz (seit 2005) vor. Im Folgenden werden für diese beiden Standorte die Messabweichungen von Schwimmer und Radarfüllstandssensor statistisch analysiert und auf mögliche Korrelationen mit hydrologischen Parametern, wie Wasserstand bzw. Abfluss, untersucht. Des Weiteren erfolgt für den Pegel Borkum-Südstrand, an welchem seit 2012 zudem ein Array von insgesamt vier redundanten Radarfüllstandssensoren betrieben wird (Rütten et al, 2013), eine Bestimmung der Eigenabweichung der Radarfüllstandssensoren als Teilbestandteil der Messabweichung von Schwimmer und Radarfüllstandssensoren sowie die Korrelation der Eigenabweichung der Wasserstandsmessung mit dem aus dem Array von Radarfüllstandssensoren abgeleiteten 2D-Wellenspektrum bzw. den sich daraus ergebenden Wellenparametern (Mai und Barjenbruch, 2017).

## Sensorbedingte Unsicherheit in der Messung des Wasserstands

Die Abbildung 1 zeigt die Pegel Borkum-Südstrand und Mainz. An beiden Pegeln ist der Radarfüllstandssensor an einem Kragarm am Schwimmerschacht installiert. Die Radarfüllstandssensoren blicken jeweils auf die freie Wasseroberfläche außerhalb des Schwimmerschachts. Die freie Wasseroberfläche ist (im Gegensatz zu der Wasseroberfläche im Schacht) wesentlich durch Wind- bzw. Schiffswellen beeinflusst. Die Messung und die Rohdatenaufzeichnung der Radarfüllstandssensoren erfolgen im Küstenbereich mit bis zu 2 Hz; im Binnenbereich erfolgt die Rohdatenregistrierung minütlich. Die Rohdaten werden im Küstenbereich zu 1-Minutenwerten und im Binnenbereich zu 15-Minutenwerten des Wasserstands aggregiert, wodurch auch der Welleneinfluss eliminiert wird. Für beide Pegelstandorte sind in Abbildung 1 exemplarisch Zeitreihen der Wasserstandsmessungen mit Schwimmer und mit Radar vergleichend gegenübergestellt. Es zeigt sich weitgehend eine gute Übereinstimmung. Im Bereich der Scheitel der Ganglinie sind jedoch geringe (systematische) Abweichungen erkennbar. Die Standardabweichung zwischen den Sensoren am Pegel Mainz beträgt etwa 2 cm, am Pegel Borkum-Südstrand aufgrund des geringeren Aggregationsintervalls etwa 4 cm. Die Verteilung der Sensorabweichungen weicht leicht von der Normalverteilung ab ( $|\text{Schiefe}| < 0,3$  bzw.



< 0,5). Die Analyse der mit dem Array von vier Radarfüllstandsensoren gewonnenen Wasserstandszeitreihen lässt auf eine Eigen-Standardabweichung der Radarfüllstandsensoren von im Mittel 0,4 cm schließen. In Bezug auf die Eigenabweichung zeigt sich jedoch eine erhebliche Zunahme mit steigender Wellenunruhe. So sind bei signifikanten Wellenhöhen von mehr als 1,5 m Eigen-Standardabweichungen von etwa 2 cm festzustellen.



Abbildung 1: Vergleichsmessungen von Radarfüllstandsensor und Schwimmerpegel in Küsten- und Binnengewässern (links: Pegel Borkum-Südstrand, rechts: Pegel Mainz)

## Literatur

- Barjenbruch, U., Zenz, T., Kranz, S. (2000) A New Technology Applicable To Water Level Gauging. Proc. of the XXV General Assembly of the European Geophysical Society EGS, Nizza, Frankreich
- Barjenbruch, U., Mai, S., Ohle, N., Mertinatis, U. (2002) Monitoring Water Level, Waves and Ice With Radar Gauges. In: Proc. of the Hydro 2002 Conference, Kiel, S. 328 – 337
- Mai, S., Barjenbruch, U. (2017) Water Level Measurements with Radar Gauges at the German North Sea Coast. In: Intergovernmental Oceanographic Commission (Hg.): Manual on Sea Level Measurement and Interpretation, Volume V: Radar Gauges, Manuals and Guides 14, Appendix
- Qualitätszirkel Gewässerkunde der WSV (2015) Handbuch Moderne Pegel, 3. Auflage
- Rütten, S., Mai, S., Wilhelmi, J., Zenz, T., Fröhle, P., Barjenbruch, U. (2013) Directional wave spectra measurement by an array of Radar gauges. Proc. of the 7th Int. Conf. on Coastal Dynamics, Arcachon, Frankreich

# Fließwiderstände submerser Vegetation und ihre Behandlung in hydraulischen Modellen

Holger Kulik<sup>1</sup>, Christian Klein<sup>2</sup>, Michael Leismann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bezirksregierung Arnsberg, Dezernat 54: Wasserwirtschaft und Gewässerschutz

<sup>2</sup>Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Fachbereich 51: Hydrologie und Messnetzzentrale

## Abstract

Für die Planung und Beurteilung von Renaturierungen an Fließgewässern werden in der Regel numerische Strömungsmodelle eingesetzt. Für Hochwasserabflüsse liefern diese Modelle typischerweise gute Ergebnisse, für niedrige Abflüsse werden die beobachteten Wasserstände bei der Berechnung aber häufig deutlich unterschätzt. Die Ursache dafür liegt oft in der unrealistischen Abbildung der Fließwiderstände der submersen Vegetation, der Wasserpflanzen oder der Verkräutung.

Wasserpflanzen stellen dem fließenden Wasser einen Widerstand, eine Kraft entgegen. Deshalb liegt es nahe, sie nicht als eine Oberflächenrauheit nach Darcy-Weisbach oder Strickler anzusetzen, sondern als angeströmte Körper, die in der Gerinnehydraulik mit Cw-Werten und angeströmten Flächen beschrieben werden können.

Die Beobachtungen zeigen, dass sich Pflanzen sowohl terrestrisch als auch submers mit steigender Strömungsgeschwindigkeit in die Strömung schmiegen, sich ihre hydraulischen Parameter also mit der Strömungsgeschwindigkeit ändern.

Für terrestrische Pflanzen haben das z.B. Determination of flow resistance caused by nonsubmerged woody vegetation (Järvelä 2004) und, Formwiderstand flexibler Pflanzenelemente in durchströmten Bewuchsfeldern (Aberle, Dittrich, Schoneboom 2010), Leichtweiss-Institut Braunschweig, im Labor untersucht. Den Fließwiderstand beschreiben sie mit Hilfe der Lauboberfläche, dargestellt durch den LAI, und eines sich mit der Strömung exponentiell verändernden Cw-Wertes. Der LAI kann im Gelände erhoben werden, der Exponent wird im Labor bestimmt.

Erste Ansätze für submerser Vegetation beschreiben Biologen, z.B., "Life in moving fluids", (Vogel 1994), die aber von den Wasserbauern kaum aufgegriffen wurden. Auch hier gibt es einen Parameter für die Pflanzenmenge im Gewässer und für die Formänderung mit der Strömungsgeschwindigkeit.

Bei den hydrologischen Diensten der Länder liegen viele Daten über Wasserstände und Abflüsse an Pegeln vor, die deutlich die Abhängigkeit des Wasserstandes nicht nur vom Abfluss, sondern auch von der submersen Vegetation (Verkräutung) zeigen. Dort wird diese Variabilität mit dem Parameter ETA beschrieben.

Es liegt nahe, diese Datenbestände zur Quantifizierung der Fließwiderstände heranzuziehen. Dazu werden die Hüllkurven der W/Q-Beziehungen mit einem einfachen hydraulischen Modell nachgerechnet und die erforderlichen Parameter mit Hilfe der Kleinste-Quadrate-Anpassung angefitet.

Als Ergebnis zeigt sich, dass der Exponent der Änderung des Formwiderstandes recht konstant ist, der Parameter für die Pflanzenmenge aber natürlich je nach Verkräutung variiert. Und es zeigt sich ein eingegrenzter Parameterraum. Die Verwendung der Hüllkurven zeigt die Variabilität der Parameter.

Die Verwendung dieses Widerstandsgesetzes in einem zweidimensionalen Strömungsmodell einer Pegelstrecke, mit einer Datenreihe von über 60 Jahren, zeigte eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung, die ohne Berücksichtigung der Wasserpflanzen nicht zu erzielen war.

# Beeinflussungen gewässerkundlicher Pegel durch spontane Übereisung

Torsten Lambeck<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Fachbereich 51: Hydrologie und Messnetzzentrale, torsten.lambeck@lanuv.nrw.de

## Beobachtete Eisbeeinflussung am Pegel Kierspe im Februar 2018

Das hydrologische Winterhalbjahr 2018 war in Nordrhein-Westfalen zeitweilig von anhaltendem Frost und sehr niedrigen Lufttemperaturen geprägt. So verharrten die Werte im Sauerland Ende Februar stellenweise über etliche Tage im Minusbereich bei Tagesminima bis unter -12 °C (LANUV).

In diesem Zeitraum wurden am Pegel Kierspe an vier aufeinanderfolgenden Tagen auffällige tägliche Maxima des gemessenen Wasserstandes verzeichnet. Nach der bekannten Wasserstands-Abfluss-Beziehung hätten diese einer Zunahme des beobachteten Gebietsabflusses um mehrere hundert Prozent in der Spitze oder bis zu einer Verdoppelung der täglichen Abflusshöhe entsprochen. Abflussbildung durch Niederschlag in flüssiger Form oder Schneeschmelze konnte aufgrund der herrschenden Witterung ausgeschlossen werden, die benachbarte Niederschlagsstation Kierspe\_KA wies zeitgleich über 14 Tage keinerlei Niederschlag auf.

Der beobachtete Tagesgang des Wasserstandes ließ sich gleichartig an allen drei installierten Wasserstandsgebern nachvollziehen. Die Zunahme des Messwerts setzte nachmittags oder in der Nacht ein, das Maximum wurde jeweils am späten Vormittag zwischen 10 und 11 Uhr erreicht, danach fiel der Wert wieder rapide auf das vorherige Niveau ab. Eine Beeinflussung durch Eisstau erschien naheliegend, ein Anstau um bis zu 13 cm innerhalb eines halben Tages in einem Messprofil von lediglich rund 10 cm Wassertiefe und die Rückbildung der verursachenden Eisschicht innerhalb weniger Stunden wirkte aber zunächst wenig plausibel.

Nach dem Abfall des letzten beobachteten Wasserstandsmaximums am 02.03.2018 wurden im Pegelprofil Reste von Randeis in Form eines Gitters feiner Eisnadeln vorgefunden. Das ursprüngliche Wasserstandsniveau im Einstauzustand war noch anhand von Wasserstandsmarken am Böschungsfuß zu erkennen. Verbliebene Eisreste in Schollenform zerfielen bei Berührung augenblicklich. Dass entsprechend fragile Eisstrukturen gleichwohl über die gesamte Gewässerbite bestehen können, ließ sich im unterwasserseitig anschließenden Gewässerabschnitt nachvollziehen, wo sich teilweise noch eine geschlossene Eisdecke erhalten hatte. Damit wurden sowohl der beobachtete Staueinfluss erklärlich, als auch sein kurzfristiges Zustandekommen und plötzliches Verschwinden.

## Methoden zur Eingrenzung eisstaubeinflusster Wasserstandswerte und Korrekturmöglichkeiten

Notwendige Bedingung für die Eisbildung in fließenden Gewässern ist eine Abkühlung der Wassertemperatur unter 0 °C im gesamten Fließquerschnitt (Dyck und Peschke 1995). Für die Ausbildung abflusshemmender Eisstrukturen muss dieser Zustand darüber hinaus hinreichend lange andauern. Ausgehend von dieser Überlegung wurde ein einfaches Verfahren erprobt, vorliegende Wasserstandsaufzeichnungen auf vergleichbaren Eisstaueinfluss zu untersuchen. Die Niveaumessung mittels Druckmesssonden verwendet eine Temperaturkompensation der Dichte des Messmediums, so dass zumindest für die jüngere Vergangenheit zeitlich hoch aufgelöste Wassertemperaturdaten vielfach bereits als Nebenprodukt der gewässerkundlichen Pegelaufzeichnung vorliegen, wo entsprechende Messwertgeber eingesetzt werden. Ein 12-Stunden-Mittel der

Wassertemperatur unter 0 °C erwies sich als brauchbares Prüfkriterium zur Identifikation potenziell eisstaubeinflusster Zeitintervalle.

In den so ermittelten Zeitbereichen wurde die aufgezeichnete Wasserstandsganglinie nach Augenschein auf nach Größe und Verlauf vergleichbare Hochwasserspitzen untersucht. Charakteristisch für die am Pegel Kierspe beobachteten Eisstauerscheinungen ist der gegenüber der Einheitsganglinie des Abflusses eines natürlichen Einzugsgebiets annähernd spiegelbildliche Verlauf: Der Wasserstandsanstieg vollzieht sich über einen deutlich längeren Zeitraum als das Zurückfallen auf das vorherige Niveau. Damit gehen betragsmäßig größere Werte der Ableitung im negativen als im positiven Bereich einher, was einen Ansatz zur Programmierung einer entsprechenden Suchroutine bieten kann. Sicherheit lässt sich durch den Vergleich der dem Ereignis vorhergehenden Niederschläge und Lufttemperaturen gewinnen.

In der beschriebenen Weise konnten gleichartige Staubeinflussungen für weitere Zeitbereiche und Pegelstandorte nachgewiesen werden. Bei der routinemäßigen Prüfung und Plausibilisierung der erhobenen Pegelstandorte waren diese bisher nicht aufgefallen. Zur Gewinnung realistischer Abflusswerte lässt sich der festgestellte Eisstau beispielsweise mit Hilfe des  $\Delta W$ -Verfahrens korrigieren (LAWA 2018).

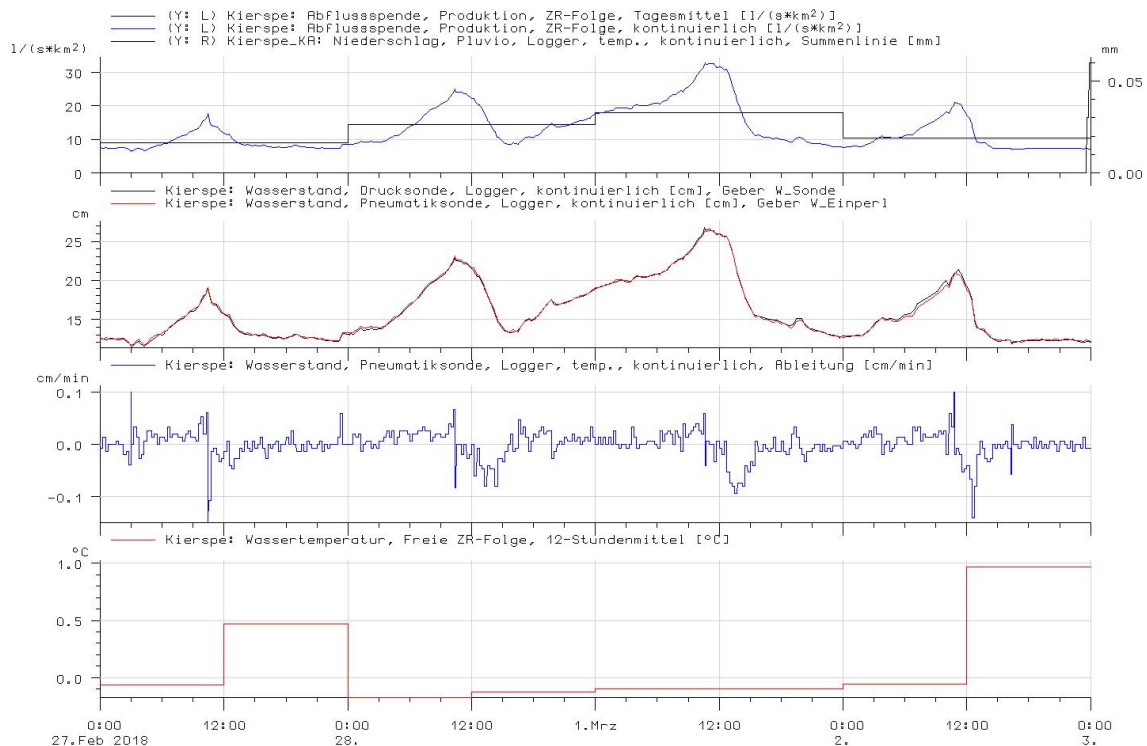


Abbildung 1: Wasserstandsverlauf am Pegel Kierspe und vermeintliche Abflusspendenerhöhung bei unterkühlter Wasserphase

LANUV: Aufzeichnung der Klimastation Herscheid\_Wellin des LANUV

Dyck, S., Peschke, G., (1995): Grundlagen der Hydrologie. Berlin: Verlag für Bauwesen, S. 270-271.

Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2018): Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder – Pegelhandbuch Entwurf Stand Januar 2018.

# Manuelle und halbautomatische Verfahren als Werkzeug für die operationelle Digitalisierung historischer Pegeldaten

Jens Bender<sup>1</sup>, Christoph Mudersbach<sup>2</sup>, Hartmut Hein<sup>3</sup>, Arne Arns<sup>4</sup> und Jürgen Jensen<sup>5</sup>

<sup>1</sup>wbu consulting Ingenieurgesellschaft mbH, bender@wbu-consulting.de

<sup>2</sup>Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserwesen, christoph.mudersbach@hs-bochum.de

<sup>3</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde, hein@bafg.de

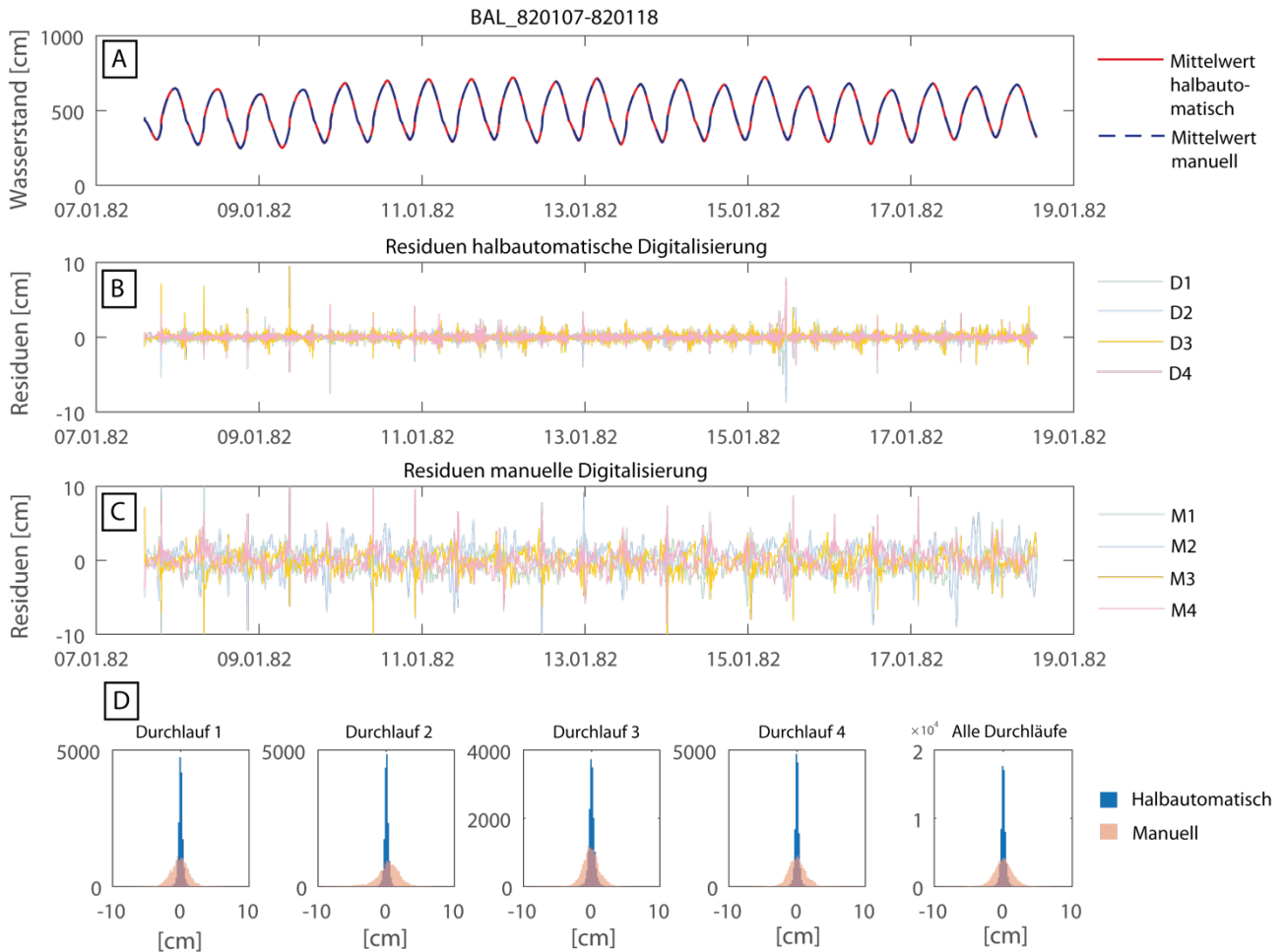
<sup>4</sup>Universität Siegen, Forschungsinstitut Wasser und Umwelt, arne.arns@uni-siegen.de

<sup>5</sup>Universität Siegen, Forschungsinstitut Wasser und Umwelt, juergen.jensen@uni-siegen.de

## Abstract

Langjährige hydrologische Zeitreihen sind für eine Vielzahl statistischer Untersuchungen notwendig. So können zum Beispiel Trendanalysen und extremwertstatistische Auswertungen deutlich verlässlicher durchgeführt werden, je länger die zu Grunde liegende Zeitreihe in die Vergangenheit reicht. Zu Beginn des automatisierten Pegelwesens wurden Wasserstände mittels Schwimmerschreibpegel auf Papierbögen aufgezeichnet. Deutschlandweit befindet sich heute eine sehr große, aber noch ungezählte Anzahl Pegelbögen in den Archiven der zuständigen Behörden. Um diese historischen Datensätze in statistische Auswertungen einbeziehen zu können, ist zunächst eine Überführung der Pegelbögen in ein digitales Format erforderlich. Für diesen, als Digitalisierung bezeichneten Vorgang, stehen heute im Wesentlichen zwei unterschiedliche computergestützte Verfahren zur Verfügung. Zum einen die manuelle Digitalisierung, bei der die Wasserstandslinien vom Bearbeiter händisch erfasst werden müssen. Zum anderen können Softwareprodukte zum Einsatz kommen, deren Algorithmen eine automatische Erfassung der Wasserstandslinie ermöglichen. Da dies jedoch (noch) nicht vollautomatisiert geschehen kann, wird diese Vorgehensweise als halbautomatische Digitalisierung bezeichnet.

In diesem Beitrag werden beide Verfahren unter Anwendung jeweils einer ausgewählten Softwarelösung vorgestellt und in Hinblick auf die Eignung zur operationellen Digitalisierung einer großen Menge von Pegelbögen bewertet. Dabei soll zunächst der zeitliche Aufwand für die Digitalisierung historischer Datensätze unter Anwendung beider Verfahren abgeschätzt und vergleichend betrachtet werden. Weiterhin sollen beide Verfahren hinsichtlich der zu erwartenden Unsicherheiten untersucht und bewertet werden. Für die Studie wurden 25 charakteristische Bögen von Tidepegeln in der Deutschen Bucht durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) bereitgestellt. Der Auswahl der Pegelbögen lag bereits zugrunde, dass sie ein möglichst vergleichbares Qualitätsspektrum der Bögen abdeckt, mit dem auch bei der operationellen Digitalisierung zu rechnen ist. Alle Pegelbögen wurden im Zuge der Untersuchung mit beiden Verfahren jeweils viermal digitalisiert und der benötigte Zeitbedarf erfasst. Auf Basis der digitalisierten Zeitreihen wurden im Anschluss die Residuen der einzelnen Durchgänge zu den Mittelwerten berechnet sowie die Abweichungen zwischen den beiden Verfahren bestimmt (vgl. Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Beispielhafte Darstellung der Digitalisierungsergebnisse mittels manueller und halbautomatischer Digitalisierung für ein Zeitintervall von 1 min. A: Mittelwerte der jeweils vier digitalisierten Zeitreihen. B: Residuen der vier halbautomatischen Durchläufe bezogen auf den Mittelwert. C: Residuen der vier händischen Durchläufe bezogen auf den Mittelwert. D: Histogramme der Residuen für alle vier einzelnen Durchläufe und alle Durchläufe zusammen bezogen auf den Mittelwert.

Unter Berücksichtigung der Auswertung aller Pegelbögen zeigt das Ergebnis, dass die halbautomatische Digitalisierung mit einem durchschnittlichen Zeitbedarf von etwa 65 min pro Pegelbögen nahezu doppelt so lange dauert wie eine manuelle Digitalisierung (32 min pro Pegelbogen). Die zu erwartende Genauigkeit bei der halbautomatischen Digitalisierung liegt bei -1,69 cm und +1,86 cm (95% Konfidenzbereich). Die manuelle Digitalisierung liefert bei den gleichen Randbedingungen einen zu erwartenden Genauigkeitsbereich von -4,92 cm bis +4,47 cm.