

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Helm, Björn; Schiffner, Stefanie; Krause, Thomas; Grüner, Stefan; Weber, Stefan; Käseberg, Thomas; Zhang, Jin; Krebs, Peter

Das Urbane Observatorium Dresden – Integriertes Monitoring für ein verbessertes Systemverständnis in der Siedlungswasserwirtschaft

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103414>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Helm, Björn; Schiffner, Stefanie; Krause, Thomas; Grüner, Stefan; Weber, Stefan; Käseberg, Thomas; Zhang, Jin; Krebs, Peter (2015): Das Urbane Observatorium Dresden – Integriertes Monitoring für ein verbessertes Systemverständnis in der Siedlungswasserwirtschaft. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Messen und Überwachen im Wasserbau und am Gewässer. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 53. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 561-570.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Das Urbane Observatorium Dresden - Integriertes Monitoring für ein verbessertes System- verständnis in der Siedlungswasserwirtschaft

Björn Helm, Stefanie Schiffner, Thomas Krause, Stefan Grüner,
Steffen Weber, Thomas Käseberg, Jin Zhang, Peter Krebs

Das Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft der TU Dresden betreibt seit 2012 ein Urbanes Observatorium im Stadtgebiet von Dresden. Das Monitoringsystem erfasst mit hoch aufgelösten Online-Messungen und Beprobungskampagnen Wasser- und Stoffflüsse auf urbanen Flächen, im Kanalnetz und ihre Entlastung in die Gewässer. Die erhobenen Daten bilden die Grundlage für eine Analyse von Emissions- und Transportprozessen, die Modellierung von Entwässerungssystem und Fließgewässern sowie die Bewertung der Auswirkungen etablierter und neuartiger Belastungen auf die Gewässer.

Stichworte: Monitoring, Energiemanagement, Schmutzstoß, first flush, Antibiotika, Partikeltransport

1 Das Messnetz

Das Urbane Observatorium umfasst zurzeit drei standortspezifisch konfigurierte Messstationen im Kanalnetz von Dresden (Abbildung 1). Es soll im Jahr 2015 um zwei weitere Messstellen erweitert werden, um auch die Auswirkungen auf die Gewässer zu erfassen. Ziel des Messnetzes ist es, Emissions- und Transportprozesse durch die verschiedenen Kompartimente des urbanen Wasserkreislaufs zu verfolgen und ihre Auswirkungen auf die Gewässer immissionsorientiert zu erfassen.

Bereits 2012 wurde die erste Messstation an der „Flensburger Straße“ eingerichtet. Das 80 ha große Einzugsgebiet ist durch stark frequentierte Verkehrsflächen und einen hohen Sedimenttransport im Kanalnetz charakterisiert. Im Mischwasserkanal am Auslass des Einzugsgebietes wurde die Messstation mit hoch aufgelösten Sonden der physiko-chemischen Wasserqualität (Ammonium (NH₄), Nitrat (NO₃), Leitfähigkeit (LF), Trockensubstanz (TS), abfiltrierbare Stoffe (AFS), chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), Temperatur (Temp.), Trübung) und einem Durchflussmessgerät ausgestattet.

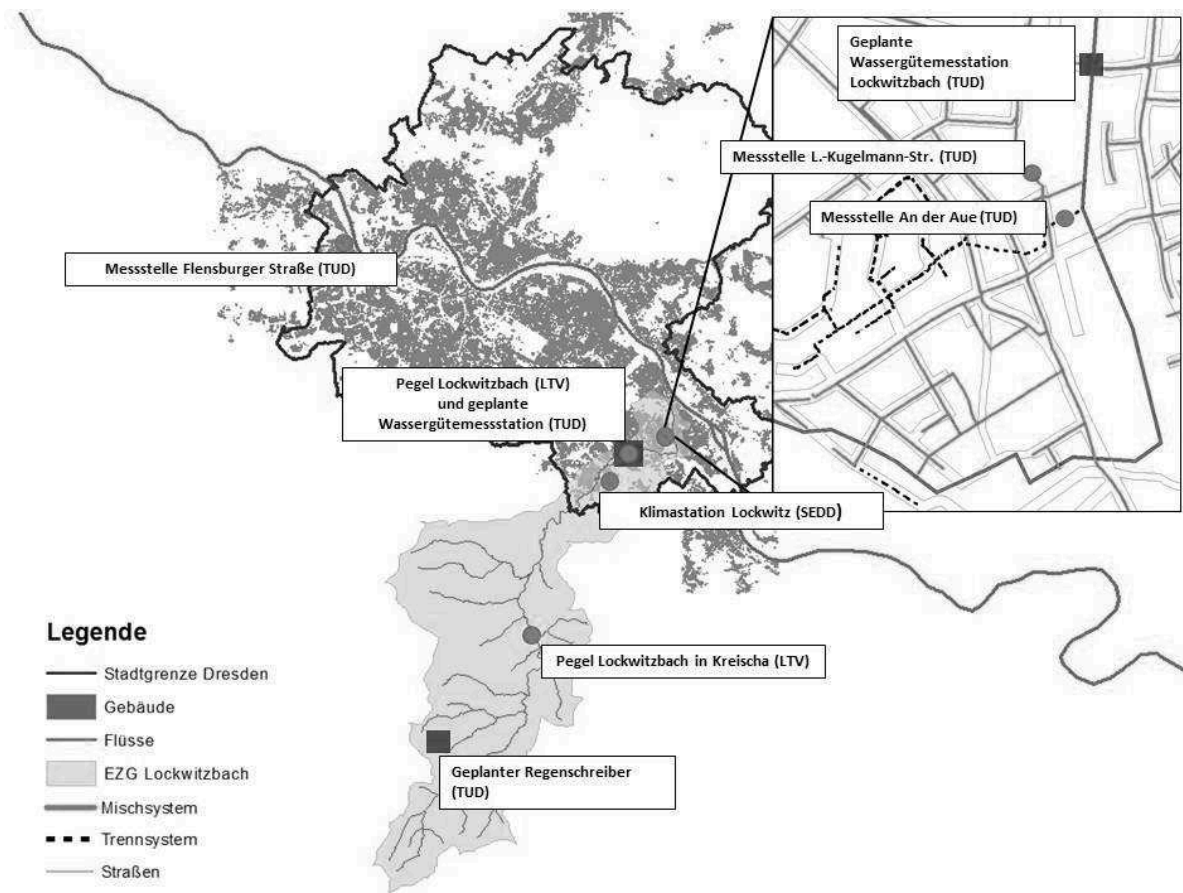


Abbildung 1: Lage der Messstellen des Urbanen Observatoriums in Dresden. Punkte zeigen bestehende Messeinrichtungen an, Quadrate zeigen für 2015 geplante Messungen.

Ein besonderer Fokus der Untersuchungen liegt auf dem Einzugsgebiet des Lockwitzbaches. Der Lockwitzbach, ein Gewässer erster Ordnung, fließt aus dem Erzgebirgsvorland in das Stadtgebiet von Dresden und mündet dort in die Elbe. Dabei nimmt er das Abwasser der Kläranlage Kreischa auf, welche die Abwässer einer der größten Rehabilitationskliniken in Deutschland mit über 1000 Betten behandelt. Das Entwässerungsnetz ist im Einzugsgebiet von Dresden in Misch- und Trennsysteme unterschiedlicher topographischer und hydraulischer Randbedingungen gegliedert und entlastet an 12 Einleitstellen in das Gewässer. Um den Einfluss der Entlastungen auf das Ökosystem abschätzen zu können, wurden zwei Messstellen im urbanen Entwässerungsgebiet Großschachwitz angelegt. Dieses gut eingrenzbare Einzugsgebiet von 144 ha Größe umfasst sowohl ein Trenn- als auch Mischsystem. Seit 2013 werden an der „Ludwig-Kugelmann-Straße“, kurz nach einer Mischwasserentlastung, verschiedene physiko-chemische Wasserqualitätsparameter (NH₄, LF, AFS, TS, CSB, Temp.) kontinuierlich erhoben. Der Durchfluss wird sowohl vor als auch nach der Mischwasserentlastung aufgenommen, um über Bilanzierungsrechnungen

auf die Frachten, der durch Mischwasserentlastungen in den Lockwitzbach eingeleiteten Stoffe, schließen zu können. Seit 2014 wird in der Regenwasserentlastung des Trennsystems, kurz vor der Einmündung in den Lockwitzbach, eine weitere Messstelle betrieben. Diese befindet sich an der Straße „An der Aue“ und ist ebenfalls mit Wasserqualitätssonden für LF, AFS, CSB, NO₃, Temp. sowie zusätzlich pH-Wert und Redox-Potential ausgestattet. Auch an dieser Messstelle wird der Durchfluss erfasst. Beprobungskampagnen finden begleitend zu den kontinuierlichen Sensormessungen statt. Für die Erfassung repräsentativer Mischproben und ereignisbezogener Einzelproben, z. B. während Entlastungsereignissen, kommen automatische Probenehmer zum Einsatz. Die Proben werden genutzt um die Messungen der online Sensoren zu validieren (s. Abschnitt 4.1), aber auch um sensorisch nicht erfassbare Analysen durchführen zu können (vgl. *Käseberg et al. (2014b)*). Neben den Proben der Wasserphase werden auch Untersuchungen zu Sedimenten an der Oberfläche (*Zhang et al. 2015*) und im Kanalnetz, sowie im Biofilm der Sielhaut und des Gewässers (*Gyenes et al. 2014*) durchgeführt.

Für das Jahr 2015 ist die Erweiterung der Messungen auf zwei Messtellen im Gewässer vorgesehen. Am Zufluss des Lockwitzbachs in das Stadtgebiet von Dresden soll die Belastung des Gewässers vor der urbanen Beeinflussung beschrieben werden. Mit einer zweiten Gewässermessstelle, unterhalb der Mischwasserentlastung der Messstelle Ludwig-Kugelmann-Str, wird ein Großteil der Regen- und Mischwasserüberläufe erfasst

2 Aufbau und Energiemanagement der Messstationen

Die online Sensoren messen direkt in der Kanalisation. Im Gegensatz zu Ansätzen zur onsite Messung, z.B. in *Bertrand-Krajewski 2008*, mit kontinuierlicher Entnahme eines Abwasserteilstroms, kommt es so nur zu minimalen Verzögerung der Messwertaufnahme und die Untersuchung von partikulären Stoffen wird nicht durch die Pumpstrecke beeinflusst.

Die Geräte befinden sich, in Abhängigkeit vom Umfang der Messungen und den Bedingungen vor Ort in einem Messschrank oder Messanhänger. Die mobile Konfiguration hat sich dabei bewährt, um die Messausrüstung bspw. bei Bauarbeiten oder unvorhergesehenen Ereignissen, wie dem Hochwasser 2013, umsetzen zu können.

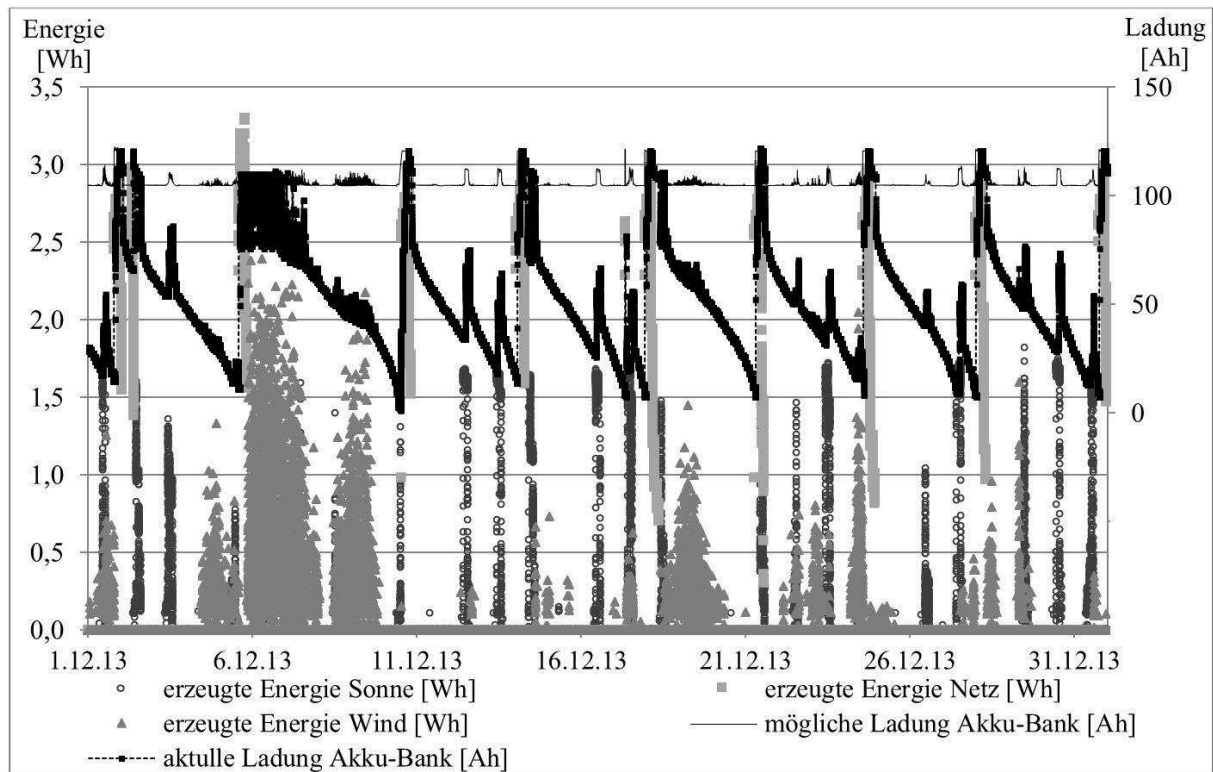


Abbildung 2: Zu erwartende Solarenergieausbeute bei minimal und maximal möglichem Energiebedarf an der Messstelle Flensburger Straße, *Thaute (2013)*

Der optionale autarke Betrieb war ein weiteres Ziel bei der Konzeption der Messstationen. Dadurch wird ein möglichst kontinuierlicher Messbetrieb sichergestellt und die Auswahl der Messstandorte kann frei erfolgen. Die Energieversorgung kann über Netzstrom, ein Photovoltaikmodul oder einen windgetriebenen Generator erfolgen. Zwei in Reihe geschaltete Akkumulatoren gewährleisten die Energiebereitstellung bei Versorgungsschwankungen oder bei Stromausfall. In Testuntersuchungen konnten mit der Wind-generierten Energie am Standort Flensburger Str. 5 – 30 % des Bedarfs gedeckt werden, so dass ein Einsatz nur zur Unterstützung anderer Energiequellen sicher möglich ist. Mit den Photovoltaikmodulen kann dagegen in den Sommermonaten auch bei maximalem Energiebedarf eine autarke Stromversorgung sichergestellt werden. Eine detaillierte Bilanzierung des Energiehaushalts der Messstelle Flensburger Str. für Dezember 2013 ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die Messungen der einzelnen Kenngrößen erfolgen teilweise redundant, nach unterschiedlichen Messprinzipien und Sensorherstellern. Die Messung von anorganischen Stickstoffspezies (NO_3 , NH_4) kann ionenselektiv (Hach Lange AN-ISE oder WTW VARiON), für NO_3 zusätzlich spektrometrisch (spectro::lyser) erfolgen. Für AFS, TS und CSB, wird ebenfalls der spectro::lyser

Sensor verwendet. Die Leitfähigkeit wird über induktive (Hach-Lange 3700sc) und potentiometrische Messung (onset HOBO U24-001) erfasst.

Der Durchfluss wird nach den Erfordernissen der Messstationen mit Kombinationsensoren von Nivus erfasst. Dabei wird der Wasserstand über piezoresistive Sensoren und die Fließgeschwindigkeit über eine Ultraschall-Kreuzkorrelation gemessen. Für die Durchflussmessung an der Aue wird eine Kombination aus Ultraschallecholot für den Wasserstand und Radar-erfasster Fließgeschwindigkeit (Marsh McBriney Flo-Dar) verwendet. Zusätzlich misst den Wasserstand ein kostengünstiger keramischer Drucksensor (onset HOBO U20L), beide Methoden sollen bei unterschiedlicher Abflussdynamik verglichen werden.

3 Datenmanagement

Die Messstationen werden online betrieben, sodass die Sensoren über Fernzugriff (Remote Access) gesteuert und ausgelesen werden können. Zurzeit wird ein SCP-Server zur automatisierten, zentralen Verwaltung der Daten eingerichtet. In diesen werden auch die durch die Stadtentwässerung zur Verfügung gestellten meteorologischen Daten, die hydrologischen Messwerte der Landestalsperrenverwaltung (LTV), sowie die Gewässergütedaten des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) eingebunden. Das ermöglicht eine integrierte Betrachtungsweise der Emission- und Transportprozesse durch die verschiedenen Kompartimente des urbanen Wasserkreislaufs.

4 Untersuchungsschwerpunkte

Die umfassenden Messungen im Urbanen Observatorium bilden die Grundlage für die Identifikation und Analyse der ablaufenden Prozesse bei Niederschlags-Abflussereignissen und stofflichen Transportvorgängen in den urbanen Gebieten, sowie um ihre Auswirkung auf die Gewässerökosysteme zu untersuchen. Im Folgenden sollen exemplarisch einige der Untersuchungsansätze vorgestellt werden.

4.1 Validierung von Online Messtechnik

Neben den zurzeit bestehenden Testmessungen zu den Methoden der Wasserstandbestimmung, wurde bereits eine vergleichende Analyse von ionenselektiven Sonden verschiedener Hersteller zur Erfassung der Ammoniumkonzentration im Projekt KoPiGe durchgeführt (Krebs *et al.* 2014). Die Bewertungsgrundlage bildeten die Richtlinien aus dem Merkblatt *DWA-M 269*.

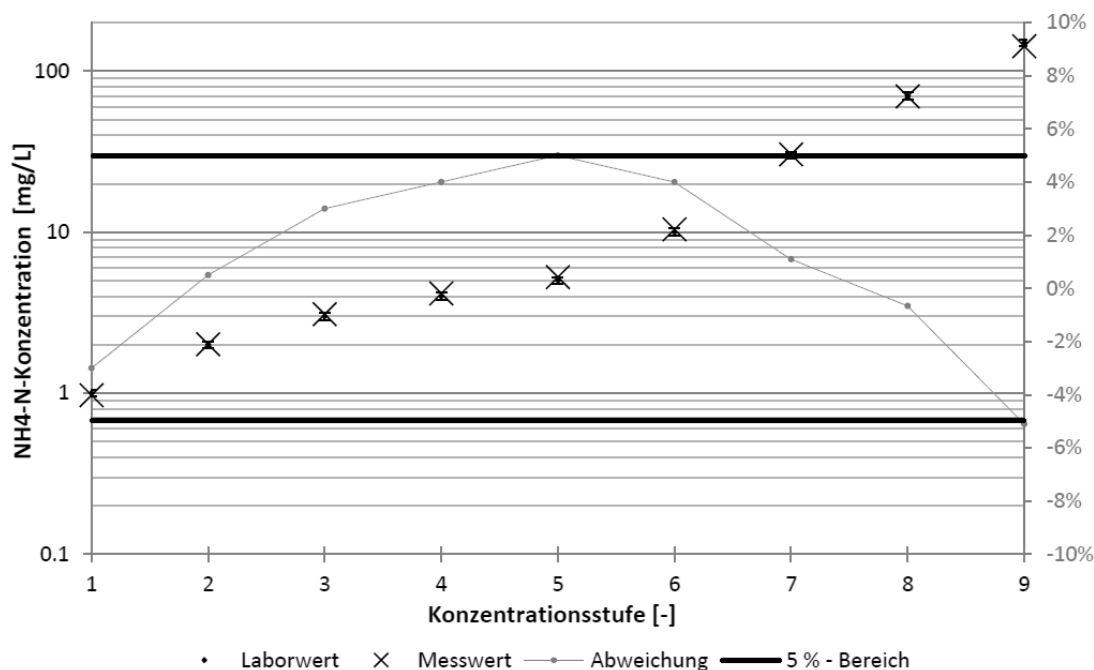


Abbildung 3: Gegenüberstellung Messwert und Laborwert der ionenselektiven Sonde der Firma Hach-Lange mit Verdünnungsreihen für NH₄-N [mg/l]

Es wurden die ionenselektiven Sonden Hach-Lange und WTW untersucht. Große Unterschiede traten dabei bei der Kalibrierung auf. Bei Hach-Lange wird eine 1-Punkt oder 2-Punkt-Matrix-Korrektur direkt im Messmedium durchgeführt, während bei WTW Standardlösungen bei der Kalibrierung zum Einsatz kommen. Trotz der vereinfachten Kalibrierung des WTW-Produkts werden bei Versuchen zur Messgenauigkeit mit Verdünnungsreihen bei beiden Produkten gute Messergebnisse mit einer Abweichung $\leq 5\%$ erreicht. In Abbildung 3 sind die Ergebnisse für die Sonde der Firma Hach-Lange dargestellt, die in den Messstationen des Urbanen Observatoriums Anwendung findet.

Spektrometrische Messungen haben sich im Bereich der Abwasserbehandlung als ein kompaktes Messverfahren mit hoher Messgenauigkeit bewährt. Mit der Möglichkeit im Online-Betrieb gleichzeitig mehrere Abwasserqualitätsparameter zu erfassen, besitzt die Messtechnik das Potential ebenfalls im Monitoring-Einsatz in einer Mischwasserkanalisation verwendet zu werden.

In Mischwasserkanälen stoßen statische Kalibrierfunktionen, auf Grund der schwankenden Abwasserzusammensetzung bei Regen- und Trockenwetterverhältnissen, an ihre Genauigkeitsgrenzen. Ein Forschungsansatz verfolgt für diesen Einsatz die Entwicklung dynamischer Kalibrierfunktionen, die Zusatzinformationen nutzen, um die Messgrößen unter den spezifischen Abflussbedingungen präziser zu erfassen.

In Abbildung 4 ist ein Beispiel für die Bestimmung der Trockensubstanzkonzentration unter verschiedenen Abflussbedingungen dargestellt.

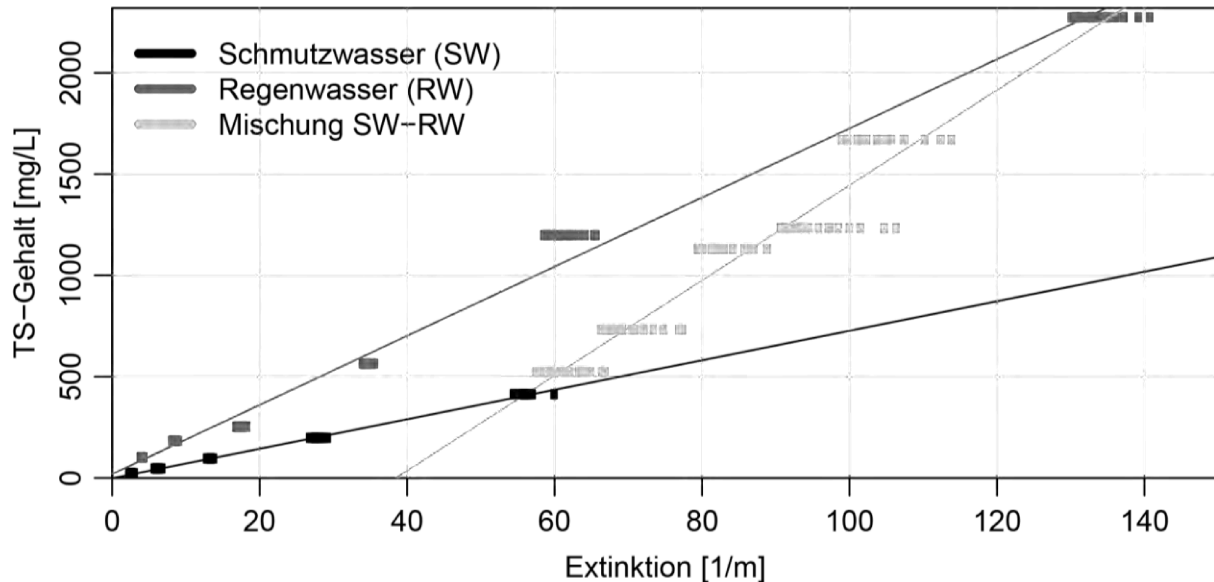


Abbildung 4: Kalibrierfunktionen für die spektrometrische Messung des Feststoffgehalts in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Abwassers.

4.2 Analyse von Schmutzfrachttransportphänomenen

Ein wichtiger Aspekt der Datenauswertung ist die Untersuchung der Schmutzstoßphänomene (first flush). Dieses Phänomen kennzeichnet einen signifikanten Anstieg der Schmutzstoffkonzentrationen zu Beginn eines Ereignisses mit erhöhten Abflussbedingungen. Erst im weiteren Verlauf des Ereignisses tritt ein Verdünnungseffekt ein. Kommt es in der Anlaufphase bereits zu einer Entlastung in die Vorfluter, führt dies zu einer erhöhten Belastung der Gewässerökönose. Der Verlauf solcher Ereignisse kann, neben der Analyse der Hysterese, auch durch die Berechnung von Stofffracht- Abflussvolumen- Zusammenhängen (M(V) Kurven) erfolgen. In diesen wird das kumulative Abflussvolumen durch die gesamte Abflussmenge zu der kumulativen Schadstofffracht durch die Gesamtfracht aufgetragen (*Krajewski 1997*).

$$\frac{\sum_{i=1}^j Q_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^N Q_i \Delta t_i} = \frac{\sum_{i=1}^j c_i Q_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^N c_i Q_i \Delta t_i} \quad (1)$$

Anhand der vorliegenden online Messungen für partikuläre und gelöste Schmutzstoffe sollen die Messstationen hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Charakteristik ausgewertet werden. Erste Analysen erfolgten für die Ammoniumfrachten für die Messstation an der Flensburger Straße und an der Ludwig-Kugelmann-Straße in dem Zeitraum von September 2013 bis August 2014.

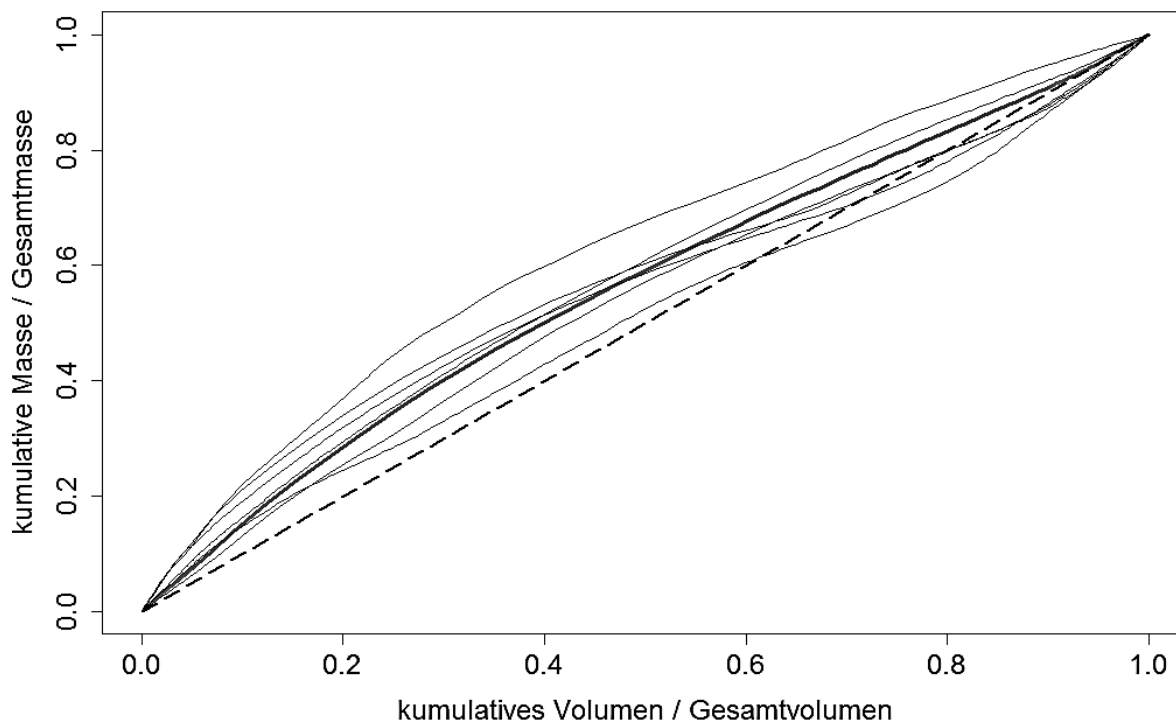


Abbildung 5: M(V) Kurve für Niederschlagsereignisse im Juli und August 2014 an der Messstation Flensburger Straße. Hervorgehoben ist das Ereignis am 15.08.2014.

In Abbildung 5 sind die M(V) Kurve für Niederschlagsereignisse im Juli und August 2014 dargestellt. Die Winkelhalbierende (gestrichelte Linie) beschreibt dabei einen durchflussproportionalen Schadstofftransport aus dem Einzugsgebiet. Das Ereignis vom 15.8.2014 beschreibt dabei, durch die Lage über der Winkelhalbierenden und den aufgestellten Verlauf bei Ereignisbeginn, eine typische first flush Charakteristik. Die Varianz der Kurvenverläufe für die unterschiedlichen Ereignisse verdeutlicht den Einfluss der Ereignisdynamik und von vor-Ereignis Randbedingungen.

Es zeigt sich, dass die Flensburger Straße durch ein durchschnittlich größeres Kanalfälle und erhöhte Schmutzstoffakkumulation während Trockenwetterphasen eher zu einer Ausbildung von first flush Ereignissen neigt. Von 49 betrachteten Regenereignissen an der Flensburger Straße führten 19 zu einem first flush Ereignis, während an der Kugelmanstraße von 38 Regenereignissen nur 8 zu einem first flush Ereignis führten, die auch nur sehr schwach ausgeprägt waren. Neben der direkten Belastung durch die Stickstoffspezies, können sich zusätzliche Risiken durch anhängende Schadstoffe ergeben. *Käseberg 2014* beschreibt die Möglichkeit der Schadstoffbelastung durch gelöste Antibiotika und verwendet die Ammonium-Stickstoff Konzentration an der Messstelle Flensburger Straße als Proxygröße für den ausgeschiedenen Urin und damit der

Möglichkeit von gelöst vorliegenden Antibiotika. Da Antibiotika nicht oder nur schwer biologisch abbaubar sind, sind Entlastungen bei first flush Ereignissen zu vermeiden.

4.3 Partikeltransport

In einem weiteren Ansatz soll der Transportpfad oberflächendeponierter Partikel in seinen einzelnen Kompartimenten erfasst werden. Neben der Beprobung von Oberflächen mit unterschiedlicher Belastungscharakteristik (*Zhang et al. 2015*) wurde ein Beprobungsverfahren in den Schmutzfangkörben von Einlaufschächten der Straßenentwässerung entwickelt und optimiert. Zusätzlich erfasst der ereignisgesteuerte automatische Probenehmer Partikelproben in der Messstation der Regenwasserkanalisation An der Aue während Durchflussereignissen. Somit kann der Emissions-, Akkumulations- und Transportprozess dieser Partikel erstmals kontinuierlich und ereignisspezifisch im Zusammenhang untersucht werden. Erste Ergebnisse deuten auf die herausgehobene Bedeutung der feinen Partikelfractionen für die Adsorption und den Transport von Mikroverunreinigungen in das Entwässerungssystem hin.

5 Zusammenfassung

Mit dem Urbanen Observatorium entsteht in Dresden ein Monitoringsystem, das es erlaubt mit integrierten Messungen von Wasserqualität und Wassermenge ein verbessertes Verständnis für die Prozesse in der Siedlungshydrologie und ihre Auswirkungen auf die Gewässer zu entwickeln. Für den operativen Betrieb der Messstationen werden robuste Verfahren der Energieversorgung und – autarkie verfolgt, für die online Sensoren werden verbesserte Kalibrierungsansätze entwickelt. Die räumlich differenzierte und kompartimentspezifische Erfassung von Eintrags- und Transportvorgängen ermöglicht eine Analyse im Hinblick auf Ereignis- wie auch Gebietscharakteristika und somit auf besonders kritische Randbedingungen der Gewässerbelastung. Dabei stehen etablierte Belastungsparameter wie Ammoniumkonzentration und Sauerstoffdefizit ebenso im Blickpunkt wie die Auswirkung neuartiger Belastungskenngrößen.

6 Literatur

- Bertrand-Krajewski, J.-L., Chebbo, G., Saget, A. (1997). Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon, *Water Res.*, 2341-2356
- Bertrand-Krajewski, J. L., Barraud, S., Gibert, J., Malard, F., Winiarski, T., & Delolme, C. (2008). The OTHU case study: integrated monitoring of stormwater in Lyon, France. *Data Requirements for Integrated Urban Water Management*, 303-314.
- DWA (2008). Merkblatt 269, Prozessmessgeräte für Stickstoff, Phosphor und Kohlenstoff in Abwasserbehandlungsanlagen, DWA-Regelwerk, A. u. A. e. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft
- Käseberg, T., Blumensaat, F., Zhang, J., Krebs, P. (2014a). Spülstoßeffekt gelöster und feststoffgebundener Antibiotika und resultierendes Umweltrisiko bei Mischwasserentlastungen, Prävention und Gesundheitsförderung, DOI 10.1007/s11553-014-0450-5
- Käseberg, T., Blumensaat, F., Zhang, J., Krebs, P. (2014b). Assessing antibiotic resistance of microorganisms in sanitary sewage. *Wat. Sci. & Tec.*, DOI 10.2166/wst.2014.467
- Krebs, P., Krause, T., Weber, S. (2014). Konzeption und beispielhafte Realisierung einer Pilotstation zum Gewässermonitoring bzgl. radiologischer und chemisch-toxischer Inhaltsstoffe für nachhaltige, umwelteffiziente Entwicklungen in dem Bereich „Nachhaltiges Wassermanagement“: Regionales Wasserressourcenmanagement, Gewässersanierungstechnologien, Abschlussbericht, KoPiGe, Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft, TU-Dresden
- Zhang, J., Wang, J., Hua, P., Krebs, P. (2015). The qualitative and quantitative source apportionments of polycyclic aromatic hydrocarbons in size dependent road deposited sediment. *Science of the Total Environment*, 505, 90-101.

Autoren:

Dipl. Ing., Dipl. Hydrol. Björn Helm¹,

Dipl. Hydrol. Stefanie Schiffner¹

Dipl. Ing Thomas Krause^{1,2}

Dipl. Ing. Stefan Grüner¹

Dipl. Ing. Steffen Weber¹

Dipl. Ing. Thomas Käseberg¹

M.Sc. Jin Zhang¹

Prof. Dr. Peter Krebs¹

1 Institut für Siedlungs- und
Industrierwasserwirtschaft
Technische Universität Dresden
01062 Dresden

2 Institut für Grundwasserwirtschaft
Technische Universität Dresden
01062 Dresden

Korrespondierender Autor:
Bjoern.Helm@tu-dresden.de