

RiverView – Eine virtuelle Flussfahrt

Gewässerzustandsbezogenes Monitoring und Management

Theide Wöffler, Ralf Engels, Jörg Blankenbach, Christoph Effkemann und Holger Schüttrumpf

Abstract

Our waters are stressed by extreme events, disasters, and dynamic changes due to intensive farming, multiple pollutant entry and climate change. The challenges of water management are manifold. All these phenomena and changes have one thing in common: They generate a need for river data, which has high temporal and spatial resolution and is available at short notice. The existing measurement systems only provide a partly realization and high costs are associated. With RiverView, a holistic approach is being developed for monitoring and managing rivers based on their status by measuring 360°-Panorama pictures, hydromorphological, -chemical and physical data simultaneously.

Zusammenfassung

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland (ReWaM)“ im Förderschwerpunkt „Nachhaltiges Wassermanagement (NaWaM) im Rahmenprogramm FONA³“ geförderte Verbundvorhaben RiverView hat zum Ziel, erstmals einen holistischen Ansatz zur Erfassung von Gewässerdaten über und unter Wasser umzusetzen. Der Hintergrund ist, dass die Intensivierung der Nutzung unserer Gewässer auf der einen Seite und die Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie auf der anderen Seite eine genaue Überwachung ihres hydromorphologischen und -chemischen Zustands erfordern. Dies ist mit den bestehenden Messsystemen nur bedingt möglich und mit hohen Kosten verbunden. In RiverView wird nun erstmals die Verknüpfung von modernen Methoden der Vermessung über und unter Wasser mit 360°-Panoramabildern und bildgebenden Unterwasservermessungen gemeinsam mit hydromorphologischen, -chemischen und physikalischen Gewässerdaten raumzeitlich durchgehend erfasst und für die Aufgaben der Wasserwirtschaft bereitgestellt.

1 Einleitung

Gewässerausbau und -renaturierung, Havarien und Störfälle, Urbanisierung, intensive Landwirtschaft, multiple Stoffeinträge, Hochwässer und klimatische Veränderungen er-

fordern zeitlich und räumlich hochauflösende, kurzfristig verfügbare, hydromorphologische, -chemische und -physikalische Gewässerdaten für die Beschreibung und Bewertung der Gewässerdynamik, das regionale Wassermanagement sowie die Identifikation nachhaltiger Maßnahmen. Die derzeitige Vorgehensweise über Punktmessungen, Kartierungen und Messkampagnen ist nicht in der Lage, den vielfältigen Anforderungen an ein nachhaltiges Wassermanagement zu entsprechen, die dynamischen Prozesse ausreichend abzubilden und die vielfältigen Wechselwirkungen im Naturraum Fluss zu erfassen. Es fehlt insbesondere an einer räumlichen Erfassung morphologischer, hydrologischer, struktureller und gütebezogener Gewässerdaten. Eine Erweiterung der derzeitigen Vorgehensweise ist vor allem aus ökonomischen Gründen nicht umsetzbar. Daher ist es zwingend erforderlich, ein neues Messsystem als Grundlage für ein nachhaltiges Gewässermanagement zu entwickeln, das neben der Messung zur Hydraulik und Gewässergüte auch bildgebende Verfahren über und unter der Wasseroberfläche zeitgleich einsetzt und dem Endanwender eine virtuelle Fahrt auf dem Gewässer ermöglicht. Dieses soll einen maßgeblichen Beitrag zur integrierten Gewässerprozess- und Zustandsbeschreibung leisten, die Analyse morphologischer Veränderungen dauerhaft für den gesamten Fluss ermöglichen, Grundlagen für eine funktions- und leistungsorientierte Bewertung von aquatischen Ökosystemen schaffen und das Prozessverständnis sowie die Bilanzierung von Stoffströmen räumlich und zeitlich ermöglichen.

Mit dem BMBF-Projekt RiverView kommt erstmals ein holistischer Ansatz für ein gewässerzustandsbezogenes Monitoring und Management zum Einsatz, der die zielgerichtete systematische Erhebung von Gewässerdaten ermöglicht und auf fünf Säulen basiert:

1. einem Messboot (RiverBoat) als Träger für
2. hydrophysikalische und -chemische Messsensoren (RiverDetect) und
3. einer optischen und sonarbasierten 360°-Gewässerscanning-Einheit (RiverScan).
4. Die umfangreichen Gewässerdaten werden in ein GIS-basiertes Gewässerdatenmanagementsystem (RiverAdmin) überführt und über
5. verschiedene Schnittstellen (RiverApp, RiverView-Portal) den Endnutzern aus Wasserwirtschaft, Industrie, Verwaltung und Bevölkerung zur Verfügung gestellt (RiverWorks).

Das Projekt leistet damit einen wesentlichen Beitrag zu einem verbesserten Verständnis der Prozesse in Gewässerökosystemen, stellt innovative Instrumente zum Monitoring und zur Analyse der Gewässerprozesse zur Verfügung und ermöglicht (kosten-)effiziente Lösungen für ein nachhaltiges Wasserressourcenmanagement im Sinne eines nachhaltigen Gewässerschutzes.

Durch die Verwendung unterschiedlicher Bootstypen ist das RiverView-System nicht auf eine Region oder ein Gewässer beschränkt. Es deckt vielmehr die ganze Bandbreite

möglicher Einsatzszenarien von kleinen bis zu großen Gewässern sowie Küstengewässern, Seen und Kanälen ab.

2 Bestehende Verfahren zur Aufnahme der Gewässerstrukturen kleiner und mittlerer Gewässer mittels bildgebender Verfahren

Der Vergleich von bereits existierenden Verfahren zur Aufnahme der Gewässerstrukturen kleiner und mittlerer Gewässer zeigt, wie in Abb. 1 zu erkennen, die Unterschiede zwischen den verschiedenen Systemen.

Verfahren	RiverScan	Airborne Hydromapping	River Surveyor	SAMBA	Riverwatch	RiverView
Messmöglichkeit						
Kamera	✓	-	-	✓	✓	✓
Laserscanner	✓	✓	-	-	✓	✓
Ultraschall	-	-	✓	-	✓	✓
Zusätzliche Messmöglichkeiten						
Gewässergüte	✓	-	-	✓	-	✓
Probennahme	-	-	-	-	-	✓
Hydraulik	-	-	✓	-	-	✓
Schichtenprofile	-	-	-	-	-	✓
Perspektive						
Wasseroberfläche	✓	-	✓	✓	✓	✓
Luft	-	✓	-	-	✓	-
Einsatzbereich						
	kleine und mittlere Gewässer (je nach Bootsgröße)	kleine und mittlere Gewässer bis 8 m Wassertiefe (Ufervegetation)	kleine und mittlere Gewässer (je nach Bootsgröße)	kleine und mittlere Gewässer	mittlere Gewässer	kleine, mittlere und große Gewässer
Grenzen						
	keine Bathymetrie	bis zu 8 m Wassertiefe, Beschattung des Gewässers durch Vegetation	nur bathymetrische Aufnahmen	nur auf dem elektronischen Fisch einsetzbar, Bilder nur zur Identifizierung von Algenblüten geeignet	nicht für kleine Gewässer geeignet	

Abb. 1: Vergleich von Verfahren zur Aufnahme der Gewässerstrukturen kleiner und mittlerer Gewässer mittels bildgebender Verfahren

Die einzelnen Verfahren basieren auf unterschiedlichen Messtechniken, wobei für manche Verfahren bis zu drei verschiedene Messmöglichkeiten verwendet werden können. So nutzt Airborne Hydromapping ein LiDAR (Light Detection and Ranging) zur Datenerfassung. Beim River Surveyor werden hingegen akustische Verfahren verwendet (Sontek, 2015) und bei SAMBA (Smartphone-based aquatic monitoring robotic platform) werden die Daten kamerabasiert erfasst (Wang et al., 2015). Im Vergleich dazu geschieht die Datenerfassung bei RiverScan über Kameras und LiDAR (RiverScan, 2015). Die Verfahren Riverwatch und RiverView erfassen Daten mit Hilfe von allen drei Messtechniken (Pinto et al., 2015).

Eine Besonderheit von RiverView ist die zusätzliche Datenerfassung per Kamera. Die durch die 360°-Panoramakamera erzeugten Bilder und daraus generierten Punktwolken erlauben in Kombination mit einer Inertialmesseinheit auch ohne eine GPS Verbindung eine exakte Vermessung von Gewässerabschnitten. Außerdem werden Parameter zur Bestimmung der Wasserqualität gemessen und über eine INN-Sonde wird die Zusammensetzung des Untergrundes unter der Gewässersohle aufgenommen. Zusätzlich werden die erfassten Daten nach ihrer Auswertung auf einer Webplattform oder einer App anderen Nutzern zur Verfügung gestellt.

3 Eingesetzte Plattformen (Boote) in RiverView

Da mit dem RiverView-Verfahren sowohl kleine als auch mittlere und große, stehende und fließende Gewässer untersucht werden sollen, müssen dafür unterschiedliche Plattformen konzipiert werden. Die auf den Plattformen eingesetzte Technik soll möglichst redundant sein und damit eine Skalierbarkeit des Gesamtsystems ermöglichen. Während vor allem für die Untersuchung von kleinen Gewässern die Entwicklung eines ferngesteuerten Messkatamarans im Vordergrund des Projektes steht, wird zur Untersuchung größerer Gewässer das RiverBoat-IWW verwendet.

3.1 RiverBoat

Im Fokus des Projektes RiverView steht die Entwicklung eines autonom operierenden Messkatamarans mit einer Länge von etwa 1,6 m, einer Breite von etwa 1,2 m und einem Gewicht von 35 kg durch die Projektpartner EvoLogics GmbH und Geo-DV GmbH (vgl. Abb. 2). Bei nur 15 cm Tiefgang wird durch das nahezu vollständige Eintauchen der Schwimmkörper eine hohe Stabilität der Plattform im Wasser erreicht. Die beiden Schwimmkörper sind jeweils mit einem 450 W starken Elektromotor ausgestattet, der über zwei Batteriepacks gespeist wird und bei normalem Messbetrieb mit einer Geschwindigkeit von 1,0 m/s mindestens 10 Stunden betrieben werden kann (Evolomics, 2016). Das RiverBoat ist ausgestattet mit einem Seitensichtsonar und einem Single-Beam Echolot für die akustische Aufnahme der Gewässersohle. Die Position des Bootes wird über eine integrierte GNSS Antenne oder wahlweise mit einer Doppel-GNSS Antenne und der 360°-Panoramakamera bestimmt. Zusätzlich dient eine Inertialmesseinheit (IMU) der Erfassung der Bootsbewegung in allen drei Achsen. Zwischen den beiden Schwimmkörpern wird eine Multiparametersonde der Firma SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG befestigt, mit deren Hilfe Wasserqualitätsparameter wie Temperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Leitfähigkeit, Redoxpotenzial und Trübung kontinuierlich während der Messfahrt aufgenommen werden. Über einen optionalen Anhänger, der an dem RiverBoat befestigt werden kann, wird eine INN (Impuls-Neutron-Neutron)-Sonde der Firma DBM mitgeführt, mit deren Hilfe die Zusammensetzung des Gewässeruntergrundes bis in einige Meter Tiefe kontinuierlich erfasst werden kann. Zwischen dem RiverBoat und dem Messrechner besteht eine ständige Funkverbindung, mit deren Hilfe

die Messgeräte in Echtzeit abgerufen werden können. Zudem dient der Messrechner der Programmierung und Überwachung von autonomen Messfahrten auf Basis der GPS Position.



Abb. 2: RiverBoat mit Kameragestell und Doppel-GNSS Antennen auf Einsatzfahrt

3.2 Kleine, ferngesteuerte Messboote

Das RiverBoat ist unter der Maßgabe der Messung aller oben genannten Parameter die minimal mögliche Konfiguration in Abhängigkeit von der Nutzlast. Die Abmessungen des RiverBoat definieren allerdings automatisch eine Mindestbreite, -tiefe und -struktur der Untersuchungsgewässer. Die mit den beteiligten Praxispartnern Emschergenossenschaft/Lippeverband und Wasserverband Eifel-Rur für interessant befundenen Gewässer beinhalten auch weniger breite und tiefe Gewässer und Gewässerabschnitte, für die der RiverView-Ansatz ebenfalls zum Einsatz kommen soll. Zu diesem Zweck wird ein weiteres ferngesteuertes Messboot eingesetzt. Mit Abmessungen von etwa 0,6 m Länge und 0,4 m Breite sowie 0,1 m Tiefgang und einem Gewicht von etwa 3 kg kann dieses Messboot auch auf Gewässern von 1 m Breite oder weniger unterwegs sein (vgl. Abb. 3). Es handelt sich ebenfalls um einen Messkatamaran, der von zwei Jet-Motoren angetrieben wird. Das Boot ist mit einer Positionsbestimmung per GPS ausgestattet, mit einer Kamera zur Aufnahme des Ufers, einem Echolot zur akustischen Aufnahme der Gewässersohle und kann wahlweise mit unterschiedlichen Sonden zur Messung der Wasserqualität ausgestattet werden. Damit kann ein Großteil der Gewässerdaten, die vom RiverBoat aufgenommen werden können, auch von diesem Messboot erfasst werden.



Abb. 3: Ein kleines, ferngesteuertes Messboot im Einsatz auf der Wurm in Aachen

3.3 Das RiverBoat-IWW (Nelli 2)

Das RiverBoat-IWW ist ein Katamaran (2-Kielgleiter) der Firma Harro mit leichtem V-Boden aus einer seewasserbeständigen Aluminiumlegierung (vgl. Abb. 4). Es hat eine Länge von 4,0 m und eine Breite von 1,7 m. Durch die beiden Seitenkiele wird eine hohe Seitenstabilität und Kentersicherheit erreicht und zusätzlich ermöglichen sie exakte Geradeausfahrten. Die Höhe der Bordwand beträgt ca. 0,50 m bis 0,60 m. Das Boot hat einen durchgehend luftdicht eingeschweißten Doppelboden aus rutschfestem Raupenblech und ist durch Bodenluftkammern zudem unsinkbar. Das Eigengewicht beläuft sich auf 190 kg und durch die seitenstabile Konstruktion ergibt sich eine maximal zulässige Zuladung von 600 kg. Der maximale Tiefgang bei voller Zuladung beträgt lediglich 0,20 m, so dass auch flache Gewässer mit diesem Messboot befahren werden können. Das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University verfügt über drei Außenbordmotoren, die auf dem Boot zum Einsatz kommen:

- 1 PS Elektromotor zum Einsatz auf Trinkwasserstauseen
- 10 PS Zwei-Takt-Verbrennungsmotor
- 40 PS Benzin Verbrennungsmotor

Mittschiffs befindet sich ein durchgehender Schacht zum Einbau von Messgeräten. Dieser ist luftdicht durch den Doppelboden angeschweißt und verfügt zudem unter Wasser

über einen Abweiser gegen Verwirbelungen, die die Qualität der durchzuführenden Messungen beeinflussen könnten. Durch diesen Schacht können mit dem Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) des Typs Teledyne RD Instruments Sentinel Messungen zur Hydraulik der Gewässer durchgeführt werden. Durch den Bottom Tracker des ADCP können zusätzlich Tiefenprofile aufgenommen werden, mit denen die jeweiligen Durchflüsse ermittelt werden. Neben diesen Messungen zur Hydraulik von Gewässern können mit dem RiverBoat-IWW durch den Einsatz eines Van-Veen-Bodengreifers die oberen 0,4 m mächtigen Bodenschichten von Gewässersohlen beprobt werden. Außerdem werden im Rahmen des Projektes RiverView ein Sidescan-sonar und eine Multiparameter-sonde zur Bestimmung verschiedener Gewässergüteparameter am Boot installiert. Die Multiparameter-sonde kann über eine Winde in unterschiedliche Gewässertiefen abgelassen werden.



Abb. 4: RiverBoat-IWW (Nelli 2) mit der 360°-Panoramakamera

4 Messfahrten und Messergebnisse

Die oben beschriebenen Messboote sind bereits auf einer Reihe von Gewässern der beiden Praxispartner zu Messfahrten unterwegs gewesen. Dabei sind bereits alle beschriebenen Messgeräte zum Einsatz gekommen. Versuchsfahrten mit dem Autopiloten des RiverBoat haben dessen grundsätzliche Eignung gezeigt, wobei mit Abweichungen des Positionierungssystems gerechnet werden muss. Das führt dazu, dass autonome Messfahrten in unmittelbarer Ufernähe nur nach vorheriger Prüfung der Positionsgenauigkeit des GNSS Systems durchgeführt werden können. Da die Programmierung des

Autopiloten nur wenige Minuten in Anspruch nimmt, ist diese Anpassung vor Ort möglich. Weiterhin hat sich gezeigt, dass die Strömungsgeschwindigkeit Einfluss auf die autonome Steuerung des Bootes hat. Gemeinsam mit der Auswertung der Messergebnisse hat sich gezeigt, dass eine Messgeschwindigkeit von 1,0 m/s optimal ist und das River-Boat bis zu einer Fließgeschwindigkeit von 1,0 m/s gut betrieben werden kann. In den bislang durchgeführten Messfahrten wurden bereits Ergebnisse der 360°-Panoramakamera, von Echolot und Seitensichtsonar sowie der Multiparametersonde und der INN-Sonde erzeugt. Mit den Panoramabildern der 360°-Kamera ist es möglich, detailscharfe Überwasserbilder aufzunehmen. Mit Hilfe der Methodik der Photogrammetrie können aus diesen Bildern durch die beteiligten Projektpartner des Geodätischen Institutes (gia) der RWTH Aachen University 3D Punktwolken erstellt werden. Abb. 5 zeigt zwei 360°-Panoramabilder, die während einer Messfahrt am 29.10.2015 auf der Maas bei Maas-tricht in den Niederlanden aufgenommen wurden.



Abb. 5: 360°-Panorama auf der Maas in Maastricht (oben) und in einem kleinen Seitenkanal der Maas (unten) am 29.10.2015

Während solch einer Messfahrt entstehen in Folge der Bewegung des Messbootes Serien von Bildfolgen für jede der sechs Einzelkameras der 360°-Panoramakamera. Aufgrund der Überdeckungen der Einzelbilder der Bildfolgen können diese mit speziellen

Image-Matching-Algorithmen für weitere Anwendungen ausgewertet werden. So können die Position und Orientierung des Messbootes zum Zeitpunkt der jeweiligen Bildaufnahme indirekt über eine automatische Bildzuordnung ermittelt werden. Von den Uferbereichen und den angrenzenden Längs- und Querbauwerken werden außerdem hochaufgelöste 3D-Punktwolken generiert (Structure-from Motion). Diese können zusammen mit den Bilddaten verwendet werden, um ein texturiertes Oberflächenmodell zu erzeugen, mit dem eine fotorealistische 3D-Ansicht der Topographie oberhalb der Wasseroberfläche dargestellt wird (vgl. Abb. 6).



Abb. 6: 3D-Punktwolke eines Gewässerabschnittes auf der Lippe

Zusätzlich zu den Überwasseraufnahmen werden mit Hilfe des Seitensichtsonars Aufnahmen der Unterwasserstruktur erzeugt. In Verbindung mit Echolotdaten entstehen auch daraus 3D-Ansichten der Gewässersohle als Überlagerung der 3D-Punktwolke des Echolotes mit den Bildaufnahmen des Seitensichtsonars (vgl. Abb. 7).

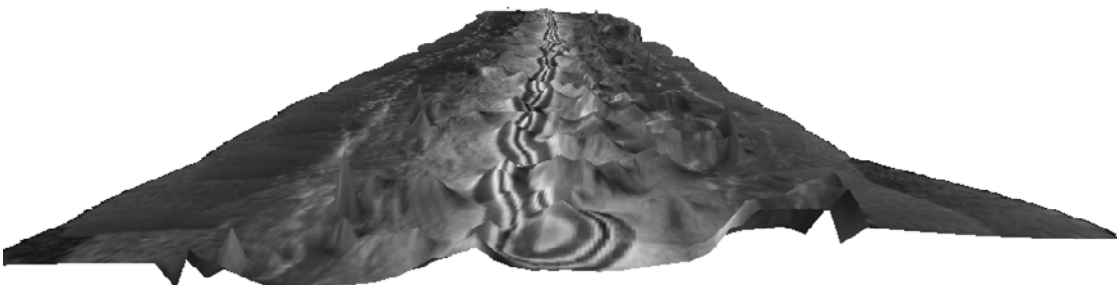


Abb. 7: Unterwassermapping als Überlagerung von SideScan Bildern mit 3D Punktwolken

Mit dem Überwasser- und dem Unterwassermapping ist eine durchgehende Erfassung von Gewässer und Gewässerumfeld möglich. Darüber hinaus können weitere Sonden den Zustand des Wassers selbst erfassen. Die eingesetzte Multiparametersonde kann mit vielfältigen Sensoren ausgestattet werden und parallel zum Mapping des Gewässers eingesetzt werden (vgl. Abb. 8).

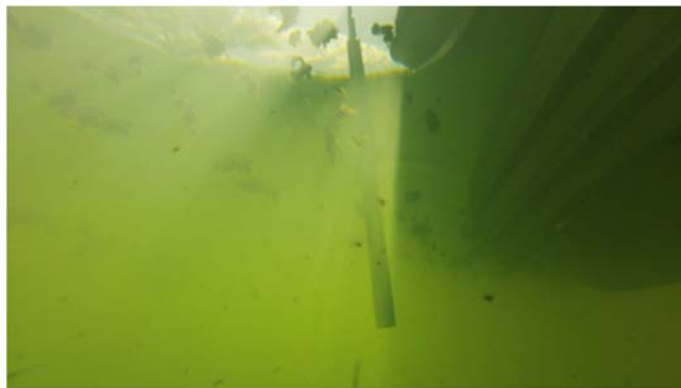


Abb. 8: Einsatz der Multiparametersonde am RiverBoat-IWW

In Tab. 1 sind Messdaten der eingesetzten Multiparametersonde auf der Lippe im Gewässerabschnitt Beckinghausen am 04.05.2016 dargestellt. Die Sonde hat die Temperatur, die Leitfähigkeit, die Trübung, die O₂-Konzentration und den pH-Wert in einer Tiefe von 0,67 m gemessen. Die Werte der Salinität, der gelösten Stoffe (TDS), der suspendierten Stoffe (TSS) sowie der O₂-Sättigung werden aus den gemessenen Werten berechnet. Die Übersättigung an O₂ ist auf die Photosynthese des Phytoplanktons zurückzuführen.

Tab. 1: Messdaten der Multiparametersonde auf der Lippe im Gewässerabschnitt Beckinghausen am 04.05.2016

Datum/Uhrzeit	Temperatur [° C]	Leitfähigkeit [mS/cm]	Wassertiefe [m]	Salinität [Sal]	Gelöste Stoffe [g/l TDS]	Dichte [g/l]	pH	Trübung [NTU]	Suspendierte Stoffe TSS [g/l]	O ₂ -Konzentration [mg/l]	O ₂ -Sättigung [%]
04.05.2016/15:27:05	13.93	1.12	0.67	0.55	0.75	999.68	7.58	5.2	0.021	10.37	110.01

5 Mehrwert für Wasserverbände und Unternehmen durch RiverView

Mit der Entwicklung des RiverView-Verfahrens, mit dem Gewässer unter- und oberhalb der Wasseroberfläche zeitgleich sowohl im Längsprofil als auch im Querprofil erfasst werden können, ergeben sich erhebliche Vorteile gegenüber den traditionellen punktuellen chemischen und physikalischen Aufnahmen. So können unter anderem Fernwirkungsbelastungen von Gewässern untersucht werden und durch die hohe Mobilität des Messbootes können Messungen ohne großen Aufwand regelmäßig wiederholt werden.

Zur Dokumentation kurzfristiger Entwicklungen, wie zum Beispiel nach Hochwasserereignissen, ist eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung sowohl der Mess- als auch der Bilddaten für einen visuellen Vergleich von großer Bedeutung und kann durch RiverView realisiert werden. Die Praxispartner Wasserverband Eifel-Rur (WVER) und Emschergenossenschaft/Lippeverband (EGLV) erhoffen sich Optimierungen durch RiverView vor allem in den Bereichen der biologischen und hydrochemischen Parameter im Längsverlauf, der Erfassung der Bedeckungsgrade der Gewässer sowie der Bestimmung der prozentualen Beschattung des Gewässers durch Ufergehölz. Im morphologischen Bereich sind laut EGLV die Erfassung von Daten im Längsverlauf und laut WVER die technische Erfassung von bislang subjektiv geschätzten morphologischen Parametern erstrebenswert. Des Weiteren sind auch Erkenntnisse zur Substratverteilung über das gesamte Gewässerprofil sowie das Auftreten von Verschlämmungen innerhalb der Gewässer von Interesse für die Wasserverbände. Auch Grundwasserzuströmungen können über Temperaturmessungen im Längsverlauf ermittelt werden und sind für die Wasserverbände von großer Bedeutung. Für die allgemeinen chemisch-physikalischen Parameter und für einen Großteil der morphologischen Parameter bedeutet die Erfassung der Daten im Längsverlauf und die verbesserte zeitliche und räumliche Auflösung einen erheblichen Mehrwert für die Arbeit sowohl bei den Wasserverbänden als auch bei Unternehmen.

6 Fazit & Ausblick

Im Rahmen des BMBF-Projektes RiverView wird die Grundlage für ein nachhaltiges Gewässermanagement geschaffen. Der auf der Vielseitigkeit der eingesetzten Messtechnik basierende holistische Ansatz von RiverView vereint die gleichzeitige Aufnahme von georeferenzierten 360°-Panoramafotos, hydrophysikalischen und -chemischen Messwerten, Topographie und Bathymetrie sowie die Überwachung von Gewässergüteparametern. Die gewonnenen Daten werden mit Hilfe eines Web-Portals online zur Verfügung gestellt. Durch die Einbindung der Praxispartner in das Projekt wird die spätere Praxistauglichkeit des Verfahrens sichergestellt.

7 Danksagung

Die Autoren danken den Projektpartnern von GEO-DV, DBM - Dr. Buckup e.K., EvoLogics GmbH und SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG sowie den Praxispartnern Wasserverband Eifel-Rur (WVER), Emschergenossenschaft und Lippeverband (EGLV). Das Verbundprojekt ist Teil der BMBF-Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland“ (ReWaM) im Förderschwerpunkt „Nachhaltiges Wassermanagement“ (Na-WaM) (Förderkennzeichen 033W022).

8 Literatur

Evologics (2016): EvoLogics Sonobot - an autonomous unmanned surface vehicle for hydrographic surveys; <https://www.evologics.de/en/products/sonobot/index.html>; zuletzt geprüft am 30.01.2017.

Pinto, E.; Marques, F.; Mendonca, R.; Santana, P. & Barata, J. (2014): An Autonomous Surface-Aerial Marsupial Robotic Team for Riverine Environmental Monitoring: Benefiting from Coordinated Aerial, Underwater, and Surface Level Perception; in Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO).

RiverScan (2015): Technology; <http://www.riverscan.com/technology>; zuletzt geprüft am 30.01.17.

Sontek (2015): A new perspective to the notion of measuring open channel hydraulics; <http://www.sontek.com/productsdetail.php?RiverSurveyor-S5-M9-14>; zuletzt geprüft am 30.01.17.

Wang, Y.; Tan, R.; Xing, G.; Wang, J.; Tan, X.; Liu, X. (2015): Samba: A Smartphone-Based Robot System for Energy-Efficient Aquatic Environment Monitoring; Proceedings of the 14th International Conference on Information Processing in Sensor Networks; Pages 262-273.

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Geogr. Theide Wöffler
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf
Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University
Mies-van-der-Rohe Str. 17
52056 Aachen

Dipl.-Ing. Ralf Engels
Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e.V.
Kackertstraße 15–17
52072 Aachen

Dipl.-Ing. Christoph Effkemann
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Blankenbach
Geodätisches Institut der RWTH Aachen
Mies-van-der-Rohe-Str. 1
52074 Aachen