

Bestimmung der hydromorphologischen Qualität von kleinen und mittleren Fließgewässern

Pierre Karrasch¹, Sebastian Hunger¹, Björn Helm², Stefanie Wiek²

¹Professur für Geoinformatik, TU Dresden · pierre.karrasch@tu-dresden.de

²Professur Siedlungswasserwirtschaft, TU Dresden

Zusammenfassung: Das Monitoring von Fließgewässern ist Bestandteil der Forderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie aus dem Jahr 2000. Das Projekt BOOT-Monitoring nutzt einen integrativen Ansatz, um mithilfe von Daten eines bootgestützten Messsystems und der Analyseergebnisse von fernerkundlichen Daten eine gesamtheitliche Bewertung der hydromorphologischen Qualität von kleinen und mittleren Fließgewässern zu ermöglichen. Dabei steht die Nutzung und Evaluierung bestehender Methoden ebenso im Fokus des Projektes wie die Entwicklung neuer Methoden und Algorithmen.

Schlüsselwörter: Wasserrahmenrichtlinie, Fernerkundung, Gewässerstrukturgüte

Abstract: *The monitoring of water bodies is an essential element of the European Water Framework Directive passed in the year 2000. The BOOT-Monitoring project establishes an integrated approach utilizing data acquired by a measurement system mounted on a boat and the results of the analysis of remote sensing data to facilitate a comprehensive evaluation of the hydromorphological quality of small- and medium-sized rivers. In this context the project focuses on the application and evaluation of existing methods as well as the development of new methods and algorithms.*

Keywords: *Water Framework Directive, remote sensing, water quality*

1 Motivation und Einleitung

Mit der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EUROPÄISCHE UNION 2000) wurde im Jahr 2000 ein Werkzeug geschaffen, das das Ziel verfolgt bis zum Ende des Jahres 2015 den guten ökologischen und chemischen Zustand der Gewässer nachzuweisen (LAWA 2003). Zum gegenwärtigen Zeitpunkt zeigt sich jedoch, dass dieser Zustand längst nicht flächendeckend nachgewiesen werden kann. So muss festgestellt werden, dass im Freistaat Sachsen nur etwa 4 % der Fließgewässer diesen Anforderungen gerecht werden (SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2009). Die bereits überschrittenen Fristen wurden bis zum Jahr 2027 verlängert. Neben konkreten Umsetzungsmaßnahmen zur Verbesserung der Qualität der Fließgewässer gehören verschiedene Verfahren des Monitorings der Zustände und Veränderungen der berichtspflichtigen Gewässer. Die Bewertung erfolgt auf der Grundlage einer ökologischen, physikalisch-chemischen und hydromorphologischen Analyse einer Vielzahl von Parametern, die sich sowohl auf den eigentlichen Wasserkörper beziehen als auch auf dessen Umfeld. Verfahren und Methoden der Fernerkundung und Geodatenanalyse können dabei einen wertvollen Beitrag leisten (ZUMBROICH et al. 2012).

Im Rahmen der durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (Deutschland) geförderten Maßnahme *Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland* (REWAM), hat es sich das Projekt BOOT-Monitoring (FKZ 033W039A) zur Aufgabe gemacht, ein bootgestütztes Messsystem zu entwickeln, das Mor-

phometrie, Wasserqualität und Hydrologie entlang kleiner und mittlerer Fließgewässer erfasst. In Verbindung mit fernerkundlichen Daten des Gewässers und dessen Umfelds bilden sie die Grundlage eines integrierten Gewässermonitorings.

Als Testgewässer werden im Rahmen des Projekts zwei mittlere Fließgewässer in Mecklenburg-Vorpommern (Tollense) und Sachsen (Freiberger Mulde) sowie ein kleines Fließgewässer (Lockwitzbach) analysiert. Neben der Entwicklung eines Messbootes ist insbesondere die Nutzung fernerkundlicher Daten fester Bestandteil des Projektes. Grundsätzlich ist es das Ziel, bestehende Methoden zur Bestimmung von Gewässerstrukturparametern zu nutzen, zu evaluieren und gegebenenfalls neu zu entwickeln, um auf dieser Grundlage Empfehlungen für ein integriertes Gewässermonitoring abzuleiten. Dabei ergänzen sich die bootgestützte Erfassung von Gewässersohle und Fließeigenschaften mit der fernerkundlichen Analyse von Gewässerverlauf und -umfeld.

2 Analyse von Fernerkundungsdaten

Der Wert der Auswertung fernerkundlicher Methodik im Zusammenhang mit der Bestimmung von Gewässerstrukturparametern spiegelt sich in der durch die LAWA zur Verfügung gestellten Methodik zur Erhebung eben dieser wider. So werden ein Vor-Ort-Verfahren und ein Übersichtsverfahren unterschieden, wobei bei Letzterem explizit die Nutzung fernerkundlicher Methodik genannt wird (LAWA 2003). Der durch die LAWA vorgegebene Rahmen wird aufgegriffen, um als Teil des BOOT-Monitoring Projekts, mithilfe unterschiedlicher Datenquellen vorhandene Methoden zu nutzen, zu bewerten und gegebenenfalls weiterzuentwickeln. Zu den verwendeten Datenquellen gehören neben verschiedenen Satellitendaten (z. B. Landsat) auch digitale Orthophotos (DOPs) unterschiedlicher Befliegungen der vergangenen Jahrzehnte. Retrospektive Analysen der Testgewässer ermöglichen damit nicht nur eine Bestimmung des aktuellen Zustandes, sondern zeigen auch Zustandsentwicklungen auf. Des Weiteren stehen amtliche Ergebnisse der Flussbewertung als Referenz zur Verfügung.

Ausgehend von den Parametern des Übersichtsverfahrens wurden erste Analysen am Testgewässer des Lockwitzbaches durchgeführt. Die Gewässerstrukturgüte eines Flussabschnittes wird auf Grundlage des Strukturbildungsvermögens, der Retention und des Entwicklungspotenzials bewertet, welche Aussagen zur Gewässerbett- und Auendynamik ermöglichen. Die Grundlage hierfür bilden unterschiedliche Parameter, die Linienführung, Uferverbau, Querbauwerke, Abflussregulierung, Uferbewuchs, Hochwasserschutzbauwerke, Ausuferungsvermögen, Auennutzung und Uferstreifen klassifizieren (LAWA 2003). Hierbei lassen sich rein geometrische Analysen von radiometrischen Analysen unterscheiden.

Insbesondere fernerkundliche Methoden der Landnutzungsanalyse können eingesetzt werden, um einen Teil dieser Parameter quantitativ und im zeitlichen Verlauf zu bestimmen. Im vorliegenden Fall wurden Satellitendaten (Landsat 5-8) aufbereitet und einer überwachten Landnutzungsklassifikation (Maximum Likelihood) unterzogen (vgl. Abb. 1). Erste Ergebnisse dieser Analysen (KARRASCH et al. 2015) zeigen, dass vor allem die Siedlungsflächen im direkten Umfeld des Gewässers (150 m Puffer) von 39 % im Jahr 1990 auf ca. 53 % im Jahr 2014 zugenommen haben (vgl. Abbildung 1). Zwar gibt dieser Wert noch keinen Aufschluss darüber, an welchen Stellen des Flusses diese Veränderungen eingetreten sind, und ob sie in bereits ohnehin durch Siedlungsflächen verdichteten Bereichen auftreten. Sie zeigen

aber dennoch, dass die Entwicklung des direkten Gewässerumfeldes (Auennutzung) als negativ bezeichnet werden kann.

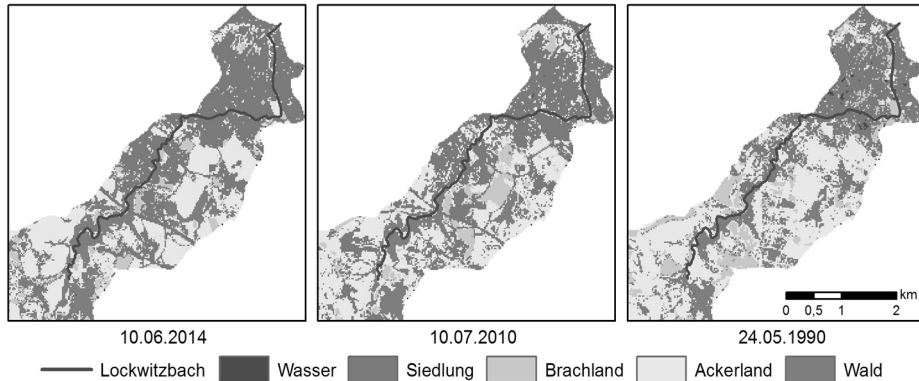


Abb. 1: Änderungen der Landnutzungen im Einzugsgebiet des Lockwitzbaches zwischen 1990 und 2014 (KARRASCH et al. 2015)

Das Ziel dieser Art der Datenanalyse ist es, sukzessive eine zeitlich retrospektive Verdichtung unter Einbeziehung zusätzlicher Daten vorzunehmen. Gleiches gilt für fokussierte Analysen des direkten Gewässerrandstreifens. Hier werden hoch aufgelöste DOPs beziehungsweise selbst erhobene UAS-Aufnahmen eine zentrale Rolle spielen.

Neben radiometrischen Aspekten der Datenauswertung spielen auch geometrische Aspekte des Flusses selbst und seines Uferverlaufs eine wichtige Rolle. Die Bewertung der Linienführung (Krümmungsverhalten, Breitenvarianz etc.) kann mithilfe von Flussmittellinien, die durch die Behörden zur Verfügung gestellt werden, durchgeführt werden. Der visuelle Vergleich dieser Datengrundlage mit den tatsächlichen Flussverläufen zeigt, dass hier ein enormes Fehlerpotenzial erwartet werden kann. Aus diesem Grund wurden verschiedene Untersuchungen zur Flussmittellinie durchgeführt. Anfänglich erfolgte die Extraktion einer eigenen Mittellinie aus den DOPs sowie dem zur Verfügung stehenden DGM mit einer geometrischen Auflösung von 2 m (DGM2) mithilfe eines mehrstufigen Analyseschemas. In den Bereichen in denen der Fluss in den DOPs sichtbar ist, wurden mithilfe einer objektorientierten Klassifikation (eCognition) flächenhafte Flussegmente extrahiert. Die Ableitung der Flussmittellinie erfolgte dann durch die Nutzung einer Delaunay-Triangulation innerhalb dieser Flussegmente. Die Schnittpunkte der Mittelsenkrechten mit den Dreiecksseiten, die den Fluss schneiden, bilden dann die Punktmenge, die im Folgenden als Flussmittellinie verwendet werden kann. In den Bereichen, in denen der Fluss durch dichte, überhängende Vegetation in den DOPs nicht sichtbar ist, wurde aus dem DGM die Tiefenlinie extrahiert. Wenige verbleibende Abschnitte mussten mithilfe einer visuellen Bildinterpretation ergänzt werden. Durch die Verfügbarkeit dieser Mittellinie lassen sich die Lageabweichungen der behördlichen Flussmittellinie und die daraus resultierenden Abweichungen in der Bewertung des Flusses bestimmen. Die Analysen ergaben, dass die mittlere Abweichung bei ca. 2,95 m liegt, wenn die Mittellinien in 1 m Abständen untersucht werden, was einer typischen Digitalisierungsgenauigkeit von beispielsweise Daten im ATKIS entspricht. Es konnte aber auch festgestellt werden, dass für 25 % der Daten die Abweichungen über 3,50 m liegen (3. Quartil)

und im Einzelfall Werte von über 30 m erreicht werden. Dieser Fehler kann dabei unterschiedliche Wirkungen entfalten. Zum einen wirken sie sich indirekt auf die Verortung aller anderen Gewässerstrukturparameter aus, und zum anderen haben sie einen direkten Einfluss auf die Bestimmung einzelner Parameter. Zu diesen Parametern gehört beispielsweise das Krümmungsverhalten des Flusses.

Die Berechnung der Krümmung bzw. des Windungsverhaltens eines Flusses erfolgt durch die Bildung des Verhältnisses des Abstandes zweier Punkte am Fluss und seiner tatsächlichen Länge. Für Flüsse wie dem Lockwitzbach erfolgt diese Berechnung in festen 100 m langen Abschnitten. KARRASCH et al. (2015) erweiterten dieses Verfahren in dem einerseits die Beschränkung auf feste Flussabschnitte aufgehoben wurde und andererseits eine Analyse und Darstellungsform gewählt worden ist, die das Krümmungsverhalten quasi-kontinuierlich entlang des Flussverlaufs beschreibt (vgl. Abb. 2).

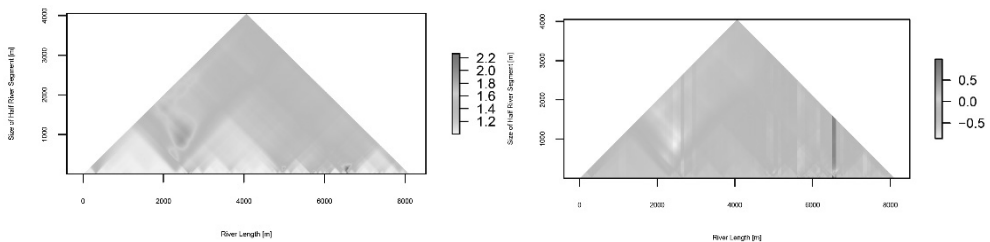


Abb. 2: Links: Quasi-kontinuierliche Darstellung des Lockwitzbaches (KARRASCH et al. 2015); rechts: Vergleich des quasi-kontinuierlichen Ansatzes mit der Krümmungsberechnung mit festen 100-m-Abschnitten nach LAWA (2003)

Abbildung 2 (links) zeigt deutlich, dass bezogen auf eine bestimmte Stelle am Fluss, eine starke Variabilität der Krümmung bezüglich der Länge des in die Berechnung einfließenden Flussabschnittes (size of river segment) besteht. Der Vergleich mit der herkömmlichen Methode zeigt zum Teil deutliche Abweichungen in den Krümmungswerten (vgl. Abb. 2, rechts). Da die Bewertung der Krümmung eines Flusses in fünf Bewertungsklassen erfolgt, werden die Ergebnisse beider Methoden in diese Klassen transformiert. Um die Wirkungsweise des quasi-kontinuierlichen Ansatzes auf die Klassenzuordnung zu untersuchen, erfolgte diese Transformation ebenfalls in 100 m Abschnitten. Es zeigt sich, dass weniger als die Hälfte (46 %) des untersuchten Abschnittes des Lockwitzbaches (8,1 km des Unterlaufs) genauso bewertet worden sind. Etwa 18 % wurden einer schlechteren Krümmungsklasse zugeordnet, ca. 36 % einer Besseren. Es wird deutlich, dass die derzeit verwendeten Methoden (LAWA) in Verbindung mit qualitativ schlechten Datengrundlagen, einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf einzelne Parameter der Gewässerstrukturgüte haben können. Letztlich wird es die Aufgabe des Projektes BOOT-Monitoring sein, weitere Methoden zur Nutzung fernerkundlicher Daten zu generieren. Dabei steht immer die Qualität der Daten und der daraus abgeleiteten Bewertungen im Zentrum der Entwicklung. So ist beispielsweise zu überprüfen, welchen Einfluss und Wert kontinuierliche Betrachtungen einzelner Parameter entlang des Flusslaufes auf dessen Bewertung haben können. Darüber hinaus ist auch die Nutzung neuer Datenquellen, wie zum Beispiel aus den Archiven der Sentinel-Missionen zu überprüfen.

3 Bootgestützte Messungen

Mit etablierten fernerkundlichen Erfassungsmethoden können nur hydromorphologische Eigenschaften des Gewässers über der Wasseroberfläche erfasst werden. Verfahren die eine Beschreibung der Gewässersohle ermöglichen (STEINBACHER et al. 2016), befinden sich derzeit in der Entwicklungsphase. Um die Gewässerstrukturerfassung zu den Aspekten Gewässersohle und Strömung abzudecken, wird im Rahmen des Projekts ein Messsystem für die räumlich aufgelöste Bestimmung von Abstand und Fließgeschwindigkeit implementiert. Dadurch können die Einzelparameter Sohlverbau, Uferverbau, Strömungsbild, Querprofil, Profiltiefe, Tiefenvariabilität und Breitenvariabilität nach dem LAWA Vor-Ort-Verfahren (LAWA 2003) bewertet werden. Dabei bestehen für die Pilotgewässer spezifische Herausforderungen, die eine modulare Auswahl der Messgeräte nach Messbereich, Auflösung und Messprinzip erfordert. Für die Freiburger Mulde machen geringe Wassertiefen und relativ dazu große Gewässerbreiten nicht-vertikale Messungen und eine zusätzliche Erfassung der Gewässerbreite über Wasser notwendig. In der Tollense ist die kontinuierliche Messung streckenweise durch dichten Makrophytenbewuchs eingeschränkt. In Abbildung 3 ist ein Prinzipschema für die Anordnung der Messgeräte dargestellt. Detailliertere Angaben zur verwendeten Messtechnik finden sich in HELM et al. (2016).

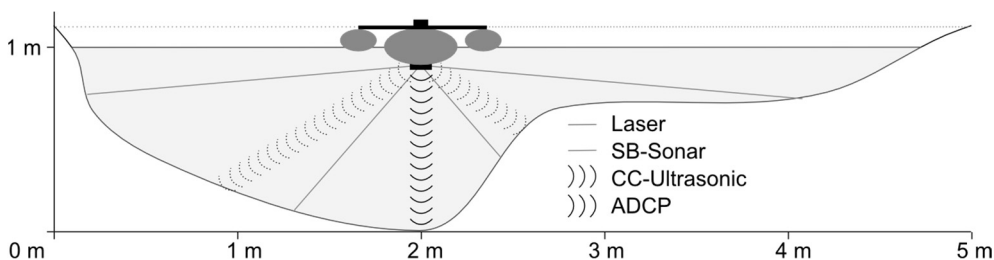


Abb. 3: Modular aufgebautes Messboot mit Sensoren zur Abstands- und Fließgeschwindigkeitsmessung. Punktiert dargestellte Sensoren werden einer Machbarkeitsuntersuchung unterzogen (HELM et al. 2016).

Die aufgenommenen Daten werden unter Nutzung von GPS Daten und einem inertialen Navigationssystem positioniert und referenziert. Die Messungen enthalten je nach Messprinzip Einzelwerte oder in Messzellen aufgelöste Profile. Aus der Aneinanderreihung dieser Werte entlang der Befahrungsstrecke entstehen längskontinuierliche Messreihen. Die Kombination dieser Werte zu räumlich-kontinuierlichen Feldern soll über geostatistische Interpolationsverfahren erfolgen. Zusätzlich zu den morphometrischen und hydrometrischen Daten, die für die Gewässerstrukturbewertung genutzt werden, werden auch Daten zur Wasserqualität sensorisch aufgenommen, sodass eine umfassende und räumlich kontinuierliche Bewertung der Gewässerqualität möglich wird.

4 Zusammenfassung und Weiterentwicklungen

Die dargestellten Ergebnisse zeigen exemplarisch, welchen Wert ein integriertes bootgestütztes Messsystem für die Bestimmung von Gewässerstrukturparametern im Sinne der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie haben kann. Darüber hinaus wurden im fernerkundlichen Bereich die Ergebnisse der Analyse der Auennutzung sowie ausführliche Untersuchungen zur Nutzbarkeit und Nutzung unterschiedlicher Flussmittellinien präsentiert. Im weiteren Verlauf des Projektes wird der Methodenkatalog der hydromorphologischen Parameter sukzessive erweitert und evaluiert. Erfolgt, wie dargestellt, eingangs eine voneinander unabhängige Analyse der Parameter im Wasserkörper (bootgestütztes Messsystem) und außerhalb des Wasserkörpers (Fernerkundung), wird in einem zweiten Schritt die Datenfusion als geometrische und thematische Koregistrierung zur Bestimmung einer Gesamtbewertung von Flussabschnitten eine zentrale Rolle im Projekt BOOT-Monitoring spielen.

Literatur

- EUROPÄISCHE UNION (2000), Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- HELM, B., WIEK, S., KARRASCH, P., HUNGER, S., KUHN, K., SIX, A. & KREBS, P. (2016), Das Projekt BOOT-Monitoring: Entwicklung eines Messsystems für die räumlich kontinuierliche Erfassung von Hydrometrie, Morphometrie und Wasserqualität zur Bewertung der Gewässergüte. In: STAMM, J. & GRAW, K.-U. (Hrsg.), *Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen: Gewässerentwicklung & Hochwasserrisikomanagement – Synergien, Konflikte und Lösungen aus EU-WRRL und EU-HWRM-RL*. Dresden, Selbstverlag der Technischen Universität Dresden, 57, 263-273.
- KARRASCH, P., HENZEN, D., HUNGER, S. & HÖROLD, M. (2015), Determination of water body structures for small rivers using remote sensing data. *SPIE – Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVII*, Toulouse, 96370W-96370W-13.
- LAWA (2003), *Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Teil 1: Einführung*, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, L. U. G. (2009), *Bericht über die sächsischen Beiträge zu den Bewirtschaftungsplänen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder*.
- STEINBACHER, F., OTTO, A. & STADLER, T. (2016), Gewässerstrukturkartierung aus der Luft – Ersterfassung und Prozessevaluierung mit Hilfe hochaufgelöster topobathymetrischer Vermessungsdaten, Luftbildern, Spektral- und Thermaldaten. In: STAMM, J. & GRAW, K.-U. (Hrsg.), *Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen: Gewässerentwicklung & Hochwasserrisikomanagement – Synergien, Konflikte und Lösungen aus EU-WRRL und EU-HWRM-RL*. Dresden, Selbstverlag der Technischen Universität Dresden, 57, 411-422.
- ZUMBROICH, T., WASKE, B., KLEMENJAK, S., MEIER, G., NIENHAUS, I. & LANGE, P. (2012), *HYDRA – Gewässerstruktur-Monitoring mit TerraSAR-X und RapidEye*, Universität Bonn & Planungsbüro Zumboich.