

Müller, Andreas C. T.; Seidel, Frank; Nestmann, Franz

Vergleich verschiedener Monitoringmethoden von Gewässerstrukturen im Umfeld von Lenkbuhnen

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/20.500.11970/107547>

Vorgeschlagene Zitierweise / Suggested citation:

Müller, Andreas C. T.; Seidel, Frank; Nestmann, Franz (2021): Vergleich verschiedener Monitoringmethoden von Gewässerstrukturen im Umfeld von Lenkbuhnen. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Wasserbau zwischen Hochwasser und Wassermangel. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 65. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 215-224.



Vergleich verschiedener Monitoringmethoden von Gewässerstrukturen im Umfeld von Lenkbuhnen

Andreas C. T. Müller
Frank Seidel
Franz Nestmann

Mithilfe eines Freilandversuchs wurde ein angepasstes Monitoringkonzept für Strukturmaßnahmen mittels Lenkbuhnen entwickelt. Hierfür wurden für die drei untersuchten Parameter Sohltopographie, Fließgeschwindigkeit und Substratsortierung jeweils zwei verschiedene Untersuchungsmethoden angewendet und hinsichtlich der Praktikabilität und der Messgenauigkeit bewertet. Es zeigte sich, dass sich die Untersuchungsparameter ausgehend von der Buhnenwurzel vor allem bis eine Gewässerbreite nach ober- und unterstrom stark verändern. Daher wird empfohlen, sich im Rahmen zukünftiger Monitoringaktivitäten an Lenkbuhnen auf diese Bereiche zu konzentrieren.

Stichworte: Instream River Training, Lenkbuhnen, Monitoring, Freilandversuch, Large Scale Surface PIV

1 Freilandversuch an der Alb in Karlsruhe

Bedingt durch den beengten Entwicklungskorridor und vielfältige Nutzungen und Ansprüche, z.B. Hochwasserschutz, angrenzende Bebauung und Freizeitnutzung ergeben sich bei der Umgestaltung urbaner Fließgewässer oft Herausforderungen, den von der EU-Wasserrahmenrichtlinie geforderten guten ökologischen Zustand zu erreichen. Die Anwendung verschiedener Bauweisen des Instream River Trainings, u.a. Lenkbuhnen, könnte eine Möglichkeit darstellen, die Funktion von Fließgewässern in Restriktionsstrecken als Lebensraum entscheidend zu verbessern (Müller 2018).

In Bezug auf den Einsatz von Lenkbuhnen zur Gewässerstrukturierung liegen nur vereinzelt Projekterfahrungen vor. Einige der Lenkbuhnen-

Projekte werden dabei von einem mittel- bis langfristigen Monitoring begleitet, um einen Erkenntnisgewinn in Bezug auf die Dimensionierung und die Funktionsfähigkeit der Maßnahmen zu erzielen. Beispielhaft ist hier das Projekt am Ellikerbach im Schweizer Kanton Zürich zu nennen, wo im Jahr 2008 im Rahmen einer Pilotmaßnahme in fünf Abschnitten des Gewässers Lenkbuhnen eingebaut wurden. Das begleitende Monitoring zeigte in dem zuvor durch Monotonie geprägten Fließgewässer eine deutliche Zunahme der Strömungsdiversität und der Tiefenvarianz. Darüber hinaus belegten Elektrofischungen eine Verdopplung des Fischbestands (Mende 2012). Auch an dem Voralpenfluss Taverna im Schweizer Kanton Zürich lässt sich durch das Einbringen von Lenkbuhnen eine Zunahme der Habitatverfügbarkeit durch die Bildung von Kolken und Sandbänken beobachten (Werdenberg et al. 2012).

Das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung des KIT betreibt an der Alb in Karlsruhe in Kooperation mit dem Tiefbauamt Karlsruhe eine Versuchsstrecke zum Instream River Training (Müller & Schmauderer 2019, Müller et al. im Druck). Die Umgestaltungsmaßnahmen mit insgesamt 37 Lenkbuhnen verschiedener Konfigurationen wurden im Dezember 2018 fertiggestellt. Um den Erfolg der Strukturmaßnahme zu evaluieren, wird das Projekt durch ein auf drei Jahre angesetztes Monitoringprogramm begleitet. Ziel ist u.a. die wissenschaftliche Ableitung eines angepassten Monitoringkonzepts für Strukturmaßnahmen mittels Lenkbuhnen basierend auf Methoden auf dem aktuellen Stand der Technik.

2 Monitoringkonzept

Für die Beurteilung der Entwicklung der Gewässerstrukturen im Projektgebiet werden die Indikatoren Tiefenvarianz, Strömungsdiversität und Substratsortierung erfasst (siehe Abbildung 1). Bei der Durchführung des Monitoringkonzepts wurden für jeden der genannten Parameter je zwei methodische Ansätze angewendet und miteinander verglichen. Die Methoden sollen im Folgenden gegenübergestellt werden.

Der Schwerpunkt des Monitorings liegt auf einem etwa 300 Meter langen Abschnitt der Umgestaltungsstrecke im unterstromigen Teil des Projektgebiets. Zusätzlich wird zu Vergleichszwecken eine Referenzstrecke direkt oberstrom des Projektgebiets betrachtet (Müller & Schmauderer 2019, Müller et al. im Druck).

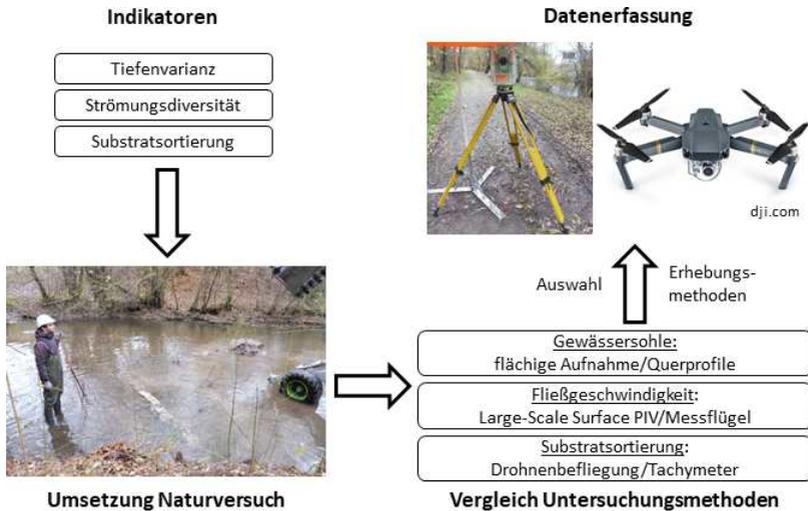


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Monitoringkonzepts

Zu Beginn der Erfolgskontrolle wurden die Messintervalle deutlich kürzer gewählt als gegen Ende, da zunächst mit einer höheren Dynamik gerechnet werden kann. Darüber hinaus ist es so möglich, Fehlentwicklungen frühzeitig zu erkennen und diesen ggf. durch weitere Maßnahmen entgegenzuwirken (Berger 2018).

Der Ist-Zustand und die morphologische Entwicklung im Projektgebiet wurden im Rahmen des Monitorings bisher zu vier unterschiedlichen Zeitpunkten erfolgreich dokumentiert. Eine Messung musste aufgrund von Defekten an den Messinstrumenten vorzeitig abgebrochen werden.

- September 2018: Ist-Zustand vor Durchführung der Baumaßnahme (VR1)
- Dezember 2018: Zustand unmittelbar nach Durchführung der Baumaßnahme (VR2)
- März 2019: Dokumentation nach einjährlichem Hochwasser HQ1 (VR3)
- März 2020: Dokumentation nach zweijährlichem Hochwasser HQ2 (VR5)

3 Vergleich der untersuchten Monitoringmethoden

In diesem Kapitel wird der Vergleich der Methoden vorgenommen werden und es werden die Vor- und Nachteile der untersuchten Messverfahren präsentiert.

3.1 Sohltopographie

Zur Evaluierung der Tiefenvarianz wurde die Gewässersohle mithilfe eines zielverfolgenden Tachymeters vom Typ Leica TCRA 1201 aufgenommen. Durch die starke Ufervegetation war die Nutzung eines GPS-Geräts in diesem Gebiet nicht möglich.

Zuerst wurde die Sohle in einem Raster von etwa 0,5 m auf 0,5 m flächig aufgenommen. Prägnante Kolke und Anlandungen, die Böschungsunter- und -oberkanten wurden ebenso wie die Bühnenoberkante und der Bühnenfuß separat eingemessen. Insgesamt wurden dabei je Messkampagne etwa 15.000 Punkte in Bezug auf Lage und Höhe eingemessen. Die Vermessung der Referenzstrecke und der Bühnenstrecke streckten sich dabei über einen Gesamtzeitraum von 14 Tagen. Schwierig erwies sich hier der Einfluss der Ufervegetation. Aufgrund der Verschattung und dem im Vergleich zum umliegenden Gelände eingeschnittenen Flusslauf musste das Instrument häufig umgesetzt werden, um alle Bereiche des Flussschlauchs bei der Sohlaufnahme gleichmäßig abdecken zu können. Aus allen vorliegenden Daten wurde anschließend ein flächiges Raster der Gewässersohle extrahiert. Als zweite Methode wurden im Umfeld ausgewählter Lenkbuhnen zusätzliche Querprofile aufgenommen.

Signifikante morphologische Änderungen konnten bereits nach dem zweijährlichen Hochwasser im Jahr 2020 mit VR5 in Form von ausgeprägten Kolken unterstrom des Bühnenkopfs gefunden werden. Diese erstrecken sich in Fließrichtung etwas über die Lage der Bühnenwurzel hinaus (siehe Abbildung 2). Außerdem wurden ufernahe Anlandungen unterstrom der Bühnenwurzel beobachtet. Es zeigte sich, dass bei einem Abstand größer als einer Sohlbreite zwischen zwei Querprofilen die Erosions- und Anlandungsbereiche im unmittelbaren Umfeld der Einbauten unterhalb der Nachweisgrenze lagen.

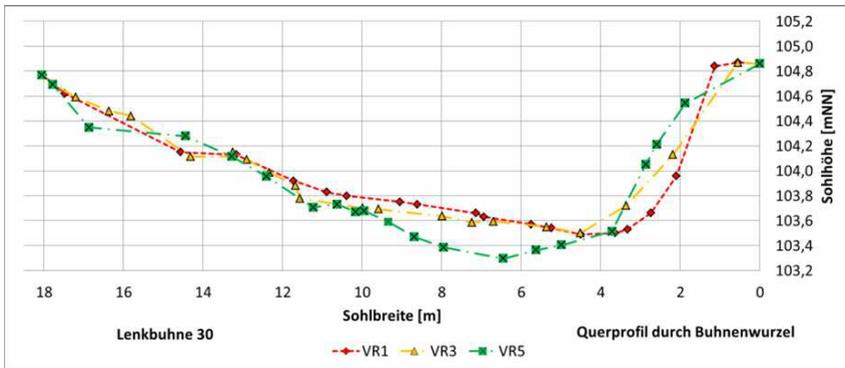


Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der Gewässersohle entlang der Bühnenwurzel von Lenkbühne 30

Die flächige Aufnahme per Tachymeter ermöglichte im Gegensatz zur Messung von Querprofilen eine wesentlich höhere Dichte an Daten. Dafür ist sie deutlich zeitaufwändiger und für viele Fragestellungen zu umfangreich. Da die Sohltopographie eine spätere Eingangsgröße für die beabsichtigte Habitatmodellierung darstellt, wurde im vorliegenden Projekt die flächige Vermessung durchgeführt.

3.2 Fließgeschwindigkeiten

Die Fließgeschwindigkeiten wurden jeweils als Querprofile eine Gewässersbreite ober- und unterstrom der Lenkbühne sowie entlang der Bühnenwurzel mit einem Messflügel Kleinflügel C 2 der Firma OTT dokumentiert. Für jedes Querprofil wurden über den gesamten Fließquerschnitt 12 Messsenkrechten in fünf Wassertiefen aufgenommen.

Als Vergleich wurde im selben Bereich des Umfelds einer Lenkbühne die Oberflächengeschwindigkeit unter Zuhilfenahme einer Drohne vom Typ DJI Mavic Pro Geschwindigkeitsmessungen per Large Scale Surface Particle Image Velocimetry (PIV) aufgenommen. Die Videos wurden mit einer Auflösung von 4.096 mal 2.160 Pixeln aufgenommen. Als Tracer-Material wurden grobe Holz hackschnitzel mit einer Mindestgröße von 4 cm verwendet (Dertert & Weitbrecht 2015). Die Auswertung erfolgte mit dem Programm PIVlab (Thielcke & Stamhuis 2015).

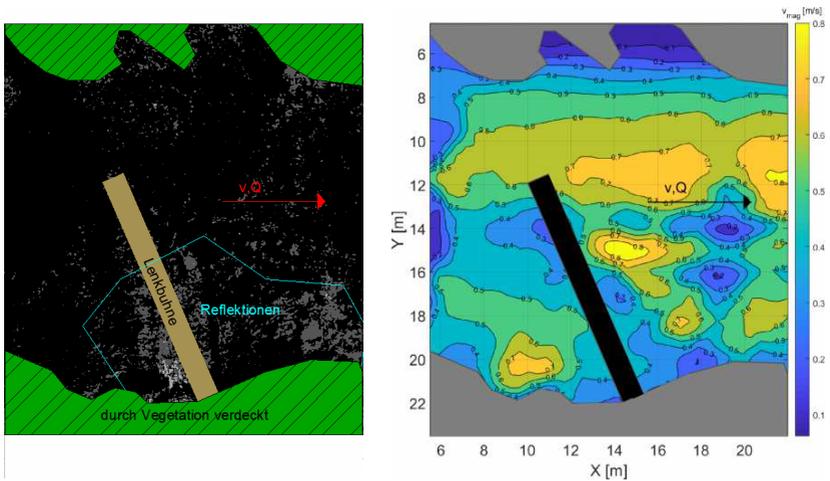


Abbildung 3: Vergleich des Seeding (hellgrau) der Holzhackschnitzel (links) mit dem Ergebnis der PIV-Messung an Buhne 30 in Vermessungsrunde 5 bei Mittelwasserabfluss (rechts; Müller et al, im Druck)

Die Messung per PIV hatte aufgrund der Beschattung durch stark vegetationsbestandenen Ufer und der schwierigen Lichtverhältnisse nur eingeschränkte Aussagekraft. Trotz Nutzung eines Polfilters kam es durch Reflexionen an der Wasseroberfläche und Schwierigkeiten bei Erreichung einer homogenen Verteilung der Holzhackschnitzel zu Artefakten in der Auswertung. Der Messbereich musste dadurch auf die unmittelbare Umgebung der Buhnenachse begrenzt werden. In der beispielhaften Analyse des Seeding für Buhne 30 sind trotzdem deutliche Reflexionen entlang der Buhnenachse (siehe Abbildung 3 links) und im Endergebnis Artefakte durch unzureichendes Seeding der Partikel entlang von $X = 18 \text{ m}$ mit sehr geringen Fließgeschwindigkeit nahe 0 m/s zu sehen (siehe Abbildung 3 rechts).

Oberflächennahe Vergleichsmessungen mit dem Messflügel zeigen starke Abweichungen der Geschwindigkeitsverteilung zwischen den beiden Methoden. Zudem erwies sich Large Scale Surface PIV in puncto Messerfahrung, Handhabung, Materialkosten und Personalaufwand, quantifiziert in Personenstunden (PS), als deutlich aufwändiger als die Messung per Messflügel (siehe Tabelle 1). Die Messflügel-Messung bot zudem den Vorteil, die Verteilung der Fließgeschwindigkeit über die ganze Wassersäule abbilden zu können.

Tabelle 1: Vergleich der Geschwindigkeitsmessung per Messflügel und LSPIV, Aufwand in Personalstunden (PS)

Methode	Vorbereitung	notwendiges Fachwissen	Messzeit pro Bühne	Zeitaufwand Postprocessing	Verbrauchsmaterial
Messflügel	0,5 PS/Bühne	gering	2 PS	vernachlässigbar	keines
Large Scale Surface PIV	3 PS/Bühne + Beschaffung 6 Transport Material	hoch	5 PS	2 PS/Bühne	2,5 Bigbags Holzhacksnitzel/Bühne

3.3 Substratsortierung

Der Effekt des Einbaus der Lenkbühnen auf die Substratsortierung wurde per Luftbild mit Drohnenbefliegung und händischer Vermessung der Sedimentflächen per Tachymeter nachgewiesen. Die Trübung der Alb durch mitgeführte Feinsedimente erschwerte bei beiden Verfahren die Durchführung.

Die Dokumentation des Sohlsubstrats erfolgte mit derselben Drohne wie in Kapitel 3.2 flächendeckend für das gesamte Referenz- und Projektgebiet mithilfe Fotos mit einer Auflösung von 4.000 mal 3.000 Pixel. Es wurde eine Überlappung von 50 % sichergestellt Da die Drohne über kein eigenes GPS-Modul verfügt, wurde der Lagebezug über händisch ausgebrachte und mit dem Tachymeter eingemessene Referenzpunkte hergestellt. Über die Lage der Bühnenkanten konnte die Referenzierung kontrolliert werden. Dennoch konnten durch die starke Beschattung nur kleine Teilbereiche der Projektstrecke im Umfang von etwa 10 % des gesamten Gebiets dokumentiert werden.

Hinsichtlich der Erhebung der Substratverteilung erwies sich die Drohnenbefliegung mit anschließender Georeferenzierung gegenüber der Dokumentation aus dem Wasserkörper heraus trotzdem als zielführender. Bei der händischen Messung führten Spiegelungen und zusätzliche Trübungen durch aufgewirbeltes Sediment zu großen Problemen bei der Lagebestimmung. Zudem war die Erhebung stark abhängig vom jeweiligen Bearbeiter. Vor allem die ausgezogenen Sand- und Schlammfahnen entlang des Ufers wurden bei der händischen Erfassung übersehen, wie in Abbildung 4 zu sehen ist.

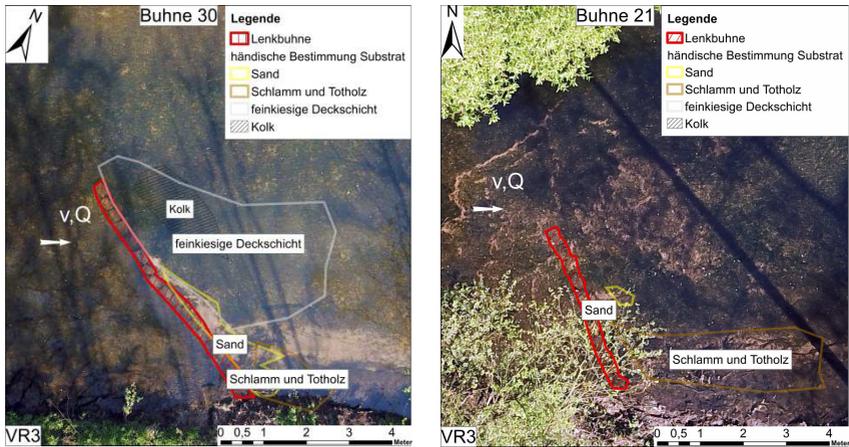


Abbildung 4: Vergleich der Substratsortierung an Buhne 30 und Buhne 21 in Vermessungsrunde 3 anhand des Luftbilds der Drohnenbefliegung und der händischen Abgrenzung zwischen den Substratflächen per Tachymeter

Da beide Methoden nicht flächig einsetzbar waren, wurde die Substratsortierung ergänzend nach einem Punktesystem beurteilt. Dafür wurden die charakteristischen Elemente der Substratverteilung an Lenkbuhnen herausgearbeitet:

- Anlandung von Schlamm und Totholz nahe dem Ufer,
- Sandfahne entlang dem Ufer,
- Sandfahne oder größere freie Sandfläche auf Höhe der Buhnenachse.

Für jedes nachgewiesene Element wurde ein Punkt vergeben und die Sortierung anschließend mit „keine Sortierung“ (0 Punkte) über „leichte Sortierung“ (1-2 Punkte) bis zu „starker Sortierung“ bewertet (3 Punkte). Die in Abbildung 4 gezeigten Beispiele wurden dementsprechend mit 3 Punkten für Buhne 30 und 1 Punkt für Buhne 21 bewertet.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Anhand der praktischen Erfahrungen beim Betrieb der Versuchsstrecke an der Alb wurde ein angepasstes Monitoringkonzept für Lenkbuhnen basierend auf dem Stand der Technik entwickelt.

Zur Dokumentation der Tiefenvarianz hat sich die flächige Vermessung aufgrund der hohen Datendichte als genauer als die reine Vermessung von Querprofilen erwiesen. Sie ist jedoch deutlich zeitaufwändiger. Daher wird für zukünftige Projekte empfohlen, im unmittelbaren Umfeld der Lenkbuhnen Querprofile in hoher Dichte in einem Abstand von maximal einer halben Sohlbreite aufzunehmen. So können die charakteristischen Kolk- und Anlandungsbereiche nahe dem Bühnenkopf bzw. unterstrom der Bühnenwurzel wirtschaftlich abgebildet werden.

Die Geschwindigkeitsmessung mit dem Messflügel erwies sich in dem Gebiet mit hohem Baumbestand als deutlich genauer und effizienter als Large Scale Surface PIV. Das angesprochene Verfahren ist zudem nur auf Oberflächengeschwindigkeiten begrenzt, während der Messflügel auch in der Tiefe messen kann. Daher wird die Messflügelmessung zur Dokumentation der Strömungsdiversität empfohlen.

Für die Substratsortierung konnte kein zufriedenstellendes Verfahren zur flächigen Evaluierung des Parameters gefunden werden. In frei einsehbaren Bereichen bewährte sich die Drohnenbefliegung und wird daher bei geeigneten Randbedingungen empfohlen. Da die Befliegung bei eingeschränkten Sichtbedingungen nicht flächendeckend möglich ist, wird die Substratsortierung mit einem Punktsystem für das Vorhandensein bestimmter Charakteristika in der Substratverteilung zusätzlich evaluiert.

Es zeigte sich, dass sich die untersuchten Parameter vor allem im Bereich eine Gewässerbreite vor bis eine Gewässerbreite nach der Bühnenwurzel stark verändern. Daher wird empfohlen, sich im Rahmen zukünftiger Monitoringaktivitäten an Lenkbuhnen auf diese Bereiche zu konzentrieren.

5 Danksagung

Die Autoren möchten sich gerne bei M.Sc. Ines Schmauderer und B.Sc. Ann-Kathrin Mayer bedanken, die Teile der Daten im Rahmen ihrer Abschluss- und Studienarbeiten gewonnen haben. Diese Arbeit wurde von der Hector Fellow Academy gefördert.

6 Literatur

Berger, V. (2018): Ansätze zur Quantifizierung des Renaturierungserfolgs - Beispielhafte Betrachtung in sandgeprägten Tieflandbächen. Forum

- Siedlungswasser-, Wasser- und Abfallwirtschaft Universität Duisburg-Essen, Heft 47, Shaker Verlag.
- Detert, M.; Weitbrecht, V. (2015): A low-cost airborne velocimetry system: proof of concept. *Journal of Hydraulic Research*, DOI: 10.1080/00221686.2015.1054322
- Mende, M. (2012): Instream River Training – Naturnaher Flussbau mit minimalem Materialeinsatz. *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 2012 (5), Nr. 10. 537 – 543.
- Müller, A. (2018): Gewässerstrukturierung in urbanen Bereichen durch Lenkbuhnen. Beitrag zum 20. JuWi-Treffen 29.08-31.08.2018, Darmstadt. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Heft 156, 30-33.
- Müller, A.; Schmauderer, I. (2019): Gewässerstrukturmaßnahmen mittels Lenkbuhnen – Erste Erfahrungen aus einem Pilotprojekt an der Alb in Karlsruhe. Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.) (2019): 21. Treffen junger WissenschaftlerInnen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.
- Müller, A.; Seidel, F.; Nestmann, F. (im Druck): Untersuchung der durch Lenkbuhnen hervorgerufenen Habitatvielfalt - Freilanduntersuchung an einem Flachlandgewässer. *Korrespondenz Wasserwirtschaft*.
- Thielicke, W. & Stamhuis, E.J. (2014): PIVlab - Towards User-friendly, Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB. *Journal of Open Research Software* 2(1):e30, DOI: <http://dx.doi.org/10.5334/jors.bl>
- Werdenberg, N.; Meile, T.; Steiner, R. (2012): Erfahrung mit Lenkbuhnen bei Hochwasserschutz und Renaturierung – Instream River Training am Voralpenfluss Taverna. *Wasserbausymposium 2012*. S.533- 540.

Autoren:

M.Sc. Andreas C. T. Müller

Dr.-Ing. Frank Seidel

Prof. Dr.-Ing. Franz Nestmann

Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG)

Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG)

Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik

Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik

Karlsruher Institut für Technologie

Karlsruher Institut für Technologie

Engesserstraße 22

Engesserstraße 22

D-76131 Karlsruhe

D-76131 Karlsruhe

Tel.: +49 351 608-46915

Tel.: +49 721 608-43160

Fax: +49 721 608-42992

Fax: +49 721 608-42992

E-Mail: andreas.mueller@kit.edu

E-Mail: frank.seidel@kit.edu

nestmann@kit.edu