

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

**Netzel, Fabian; Krüger, Christina; Terlau, Ina; Haber, Bernhard;
Mudersbach, Christoph**

Hydraulische Untersuchungen zur ökologischen Umgestaltung von Pegelmessstrecken mittels Gabionen

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/20.500.11970/103411>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Netzel, Fabian; Krüger, Christina; Terlau, Ina; Haber, Bernhard; Mudersbach, Christoph (2015): Hydraulische Untersuchungen zur ökologischen Umgestaltung von Pegelmessstrecken mittels Gabionen. 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. 531-540.

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.



Hydraulische Untersuchungen zur ökologischen Umgestaltung von Pegelmessstrecken mittels Gabionen

Fabian Netzel
Christina Krüger
Ina Terlau
Bernhard Haber
Christoph Mudersbach

Um eine ökologische Durchgängigkeit zu gewährleisten wurden an zwei Pegeln im nördlichen und nordöstlichen Ruhrgebiet Gabionenkörbe zur Querschnittsgestaltung eingesetzt. Die den Messquerschnitt bildenden Steinkörbe stellen den „Wanderungskorridor“ in der sonst stark befestigten Pegelmessstrecke dar.

Im Rahmen bisheriger Messungen ist festgestellt worden, dass die Gabionen stark durchströmt werden. Durch die damit bedingte Verfälschung der Schlüssel- bzw. Abflusskurven sind die Messergebnisse in den Gewässern ungenau. In unterschiedlichen Labor- und Feldversuchen wurden die Abweichungen in Abhängigkeit des Abflusses untersucht und hydraulisch zweckmäßige Maßnahmen für einen fehlerfreien Messbetrieb abgeleitet.

Stichworte: ökologisch durchgängige Pegelmessstrecken, Gabionenkörbe, Maßnahmen für fehlerfreien Messbetrieb

1 Einleitung

Die Anforderung an eine Pegelmessstelle, eine stabile Beziehung zwischen Wasserstand und Abfluss aufzuweisen, bringt als klare hydraulische Randbedingung ein beständiges und somit befestigtes Quer- bzw. Messprofil mit sich. Um der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie in Nordrhein-Westfalen und der damit geforderten Durchwanderbarkeit eines Fließgewässers Folge zu leisten, wurden vom Betreiber an beiden untersuchten Pegeln Gabionenkörbe bei der Querschnittsgestaltung eingesetzt. Diese sollen neben der Sohle den Wanderungskorridor des Benthos in der sonst stark befestigten Messstrecke darstellen (*Elsholz, Sellheim 2000*).

Die mit dem Einbau verbundene Durchströmung der Gabionenkörbe, bedingt durch die Gestaltung der Pegelmessstrecke, führte zu Abweichungen bei der Abflussmengenbestimmung.

Mittels Naturmessungen an beiden Pegeln sollte zunächst untersucht werden, wie groß diese Abweichungen in Abhängigkeit des Abflusses zu den Gerinneparametern in den Pegelmessstellen sind. Es wurden Wassertiefen, Wasserspiegelbreiten und anteilige Gabionendurchflüsse am Gesamtabfluss untersucht. Die Messungen ergaben Abflussabweichungen von bis zu 20 [%] (*LfW 2014*). Ausgehend davon wurden Verbesserungsvorschläge beschrieben und diese im Auftrag der Emschergenossenschaft und des Lippeverbandes anschließend in hydraulischen Versuchen im Wasserbaulabor der Hochschule Bochum untersucht.

Dabei wurden die Durchströmungsmengen und Durchlässigkeitsbeiwerte, die Ausspülung von Abdichtungsmaterial sowie Maßnahmen zur Abdichtung der Gabionenkörbe untersucht.

Vorab werden nachfolgend die örtlichen Verhältnisse der untersuchten Pegelmessstrecken näher beschrieben, bevor anschließend auf die Modellversuche und Untersuchungen im Labor eingegangen wird.

2 Örtliche Verhältnisse

2.1 Pegel Heerener-Mühlbach

Der Pegel Heerener Mühlbach liegt hinter einem Hochwasserrückhaltebecken in einem renaturierten, ehemaligen Schmutzwasserkanal. Um auch für das Benthos eine Durchwanderbarkeit der Messstrecke zu gewährleisten, wurden an beiden Ufern Gabionen gesetzt; der Ausbauquerschnitt ist rechteckig. Zwischen den Gabionen und dem gewachsenen Boden ist an den Ufern ein Geotextil verbaut worden. Die seitlichen Kopfseiten der Gabionenkörbe bzw. deren Ein- und Ausströmbereiche sind durch Steinschüttungen und krautigen, strauchigen Bewuchs in das natürliche Flussbett eingebunden. Über die gesamte Länge des Pegels liegt Bewuchs in Form von Gräsern, Kräutern und Sträuchern vor. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt den Pegel Heerener-Mühlbach in der Draufsicht. Abbildung 2 zeigt den Unterlauf der Pegelmessstrecke mit Blick in Fließrichtung.



Abbildung 1: Pegel Heerener-Mühlbach



Abbildung 2: Unterlauf des Pegels

2.2 Emscherpegel-Phönixsee

Der Emscherpegel-Phönixsee liegt in einem neu angelegten, naturnahen Flussbett. Um auch hier für das Benthos eine Durchwanderbarkeit der Messstrecke zu gewährleisten, wurden an beiden Ufern und in der Sohle (mittig in der Messstrecke) Gabionen gesetzt. Der Ausbauquerschnitt ist rechteckig. Zwischen den Gabionen und dem gewachsenen Boden an den Ufern ist ein Geotextil verbaut worden. Die Kopfseiten der Gabionen bzw. deren Ein- und Ausströmbe- reiche sind auch hier durch Steinschüttungen und vereinzelt Bewuchs in das natürliche Flussbett eingebunden. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt den Emscherpegel Phönixsee in der Draufsicht. Abbildung 4 zeigt den Unterlauf der Pegelmesstrecke mit Blick in Fließrichtung.



Abbildung 3: Emscherpegel-Phönixsee



Abbildung 4: Unterlauf des Pegels

3 Aufbau des Versuchsstandes

Der Versuchsstand besteht aus einer etwa 9,00 [m] langen und 0,60 [m] breiten Glasrinne, in die mittig die eigentliche Untersuchungsstrecke auf einer Länge von 2,00 [m] mit den oben beschriebenen Gabionen im Maßstab 1:1 eingebaut wurde. Damit standen genügend lange Strecken ober- und unterhalb der Messstrecke zur Verfügung, in denen sich der natürliche, dreidimensionale Abfluss im eigentlichen Messbereich ausbilden konnte. Die örtlichen Verhältnisse im Unterwasser bis zum Modellende wurden damit ebenfalls erfasst. Im Zulauf der Versuchsrinne sind Beruhigungselemente eingebaut, die zu einer gleichmäßigen Anströmung der Gabionen führen. Zur Regulierung der Wasserstände ist am Ende der Versuchsrinne ein Schütz vorgesehen.

3.1 Versuchsanordnung 1(vollflächig eingebaute Gabionen)

In der ersten Versuchsanordnung sind die unterschiedlichen Steinfüllungen der Gabionen auf ihre Durchlässigkeit, die „Schluckfähigkeit“, sowie eine zweckmäßige Abdichtung hin untersucht worden. Dazu wurden die Gabionen über die gesamte Rinnenbreite mit konstanter Querschnittsfläche ($b = 0,60$ [m] und $h = 0,50$ [m]) auf einer Länge von 2,00 [m] in den oben beschriebenen Versuchsstand eingebaut. Der gesamte Drahtkorb besteht dabei aus zwei aneinandergesetzten, 1,00 [m] langen Gabionenkörben. Die Körbe wurden mit Schüttsteinen der am jeweils zu untersuchenden Pegel verbauten Wasserbausteinklasse befüllt.

Primäres Ziel der Untersuchungen war es, eine hydraulisch zweckmäßige Abdichtung und damit Vermeidung von Durchflüssen durch die Gabionen zu finden. Hierzu wurden nach den Untersuchungen zur Ermittlung der Durchströmungsmengen, der Durchlässigkeitsbeiwerte und der „Schluckfähigkeit“ ober- und unterhalb der Gabionenreihe Verziehungen als keilförmige Drahtgitterkörbe, die mit Vlies und bindigem Boden befüllt wurden, angeordnet. Diese sollen nach Einbau vor Ort abdichtend wirken und das Wasser an den Gabionenköpfen vorbeileiten, sowie vor Ort zu einer ablösungsfreien Ein- und Ausströmung an der Pegelmessstrecke führen. Zusätzlich ist in die Gabionen Sand eingespült worden, der die bestehenden Hohlräume zwischen den einzelnen Steinen füllen soll. An der so abgedichteten Gabionenreihe wurden Dichtheitsuntersuchungen durchgeführt.

Für die Untersuchungen der Durchlässigkeit und „Schluckfähigkeit“ der Gabionenkörbe wurden Schüttsteine der Wasserbausteinklassen CP 32/90 (Pegel 1) und CP 45/180 (Pegel 2) verbaut. Der Gabionenkörper wurde in 4 Messabschnitte

unterteilt um den Verlauf der Sickerlinie und damit das hydraulische Gefälle im Probekörper besser erfassen zu können. Die Messungen wurden mit einer Durchflusswassermenge von 2,00 [l/s] begonnen und schrittweise, bis zur vollflächigen (-ständigen) Anströmung der Stirnfläche der Gabionen erhöht. Für jede Wassermenge wurde jeweils das hydraulische Gefälle gemessen und der dazugehörige Durchlässigkeitsbeiwert berechnet.

Neben der Durchlässigkeit bzw. dem Durchfluss wurde ebenfalls die maximale „Schluckfähigkeit“ der Gabionen in Bezug auf die angeströmte Gesamtfläche überprüft (Q [l/s] zu A [m²]). Hierbei ist die Wassermenge schrittweise um 5,00 [l/s] erhöht worden, bis die Gabionen überströmt wurden, der Zufluss aber noch vollständig durch die Gabionen aufgenommen (verschluckt) werden konnte. Es lag sodann die maximal mögliche Durchströmung der Gabione vor.

Nach Einbau der Verziehungen und vollständiger Sättigung der Probe wurde der Versuchsstand zur hydraulisch zweckmäßigen Abdichtung der Gabionen vollständig auf eine Höhe von 48,00 [cm] eingestaut. Anschließend wurde über einen Zeitraum von 30,00 [min] die Sickerwassermenge bestimmt. Farbversuche an der Austrittsstelle der luftseitigen Verziehung sollten Aufschluss über den Verlauf des Sickerwassers geben.

3.2 Versuchsanordnung 2(halbseitig eingebaute Gabionen)

Um weiterführende Erkenntnisse über die Dichtheit und Beständigkeit der Abdichtungsmaßnahmen zu erlangen, wurden die Gabionen in einer zweiten Versuchsanordnung nur über die halbe Rinnenbreite eingebaut, damit Wasser, wie in den Pegeln vor Ort, seitlich parallel vorbeifließen kann. Die zwei aneinandergereihten Gabionen haben somit Abmessungen von je 1,00 [m] Länge, 0,30 [m] Breite und 0,50 [m] Höhe.

Nach den Untersuchungen zur Ermittlung der Durchströmungsmengen wurde der Versuchsstand ebenfalls durch Abdichtungsmaßnahmen in Form von keilförmigen Verziehungen sowie eingespültem Sand in die Gabionen ergänzt. Diese Maßnahmen wurden auf ihre Wirksamkeit hin bei halbseitigem Einbau der Gabionen und damit paralleler Anströmung untersucht.

Für die Untersuchungen der Durchlässigkeit der halbseitig eingebauten Gabionenkörbe wurden wie in der ersten Versuchsanordnung Schüttsteine der Wasserbausteinklassen CP 32/90 und CP 45/180 (jeweils entsprechend der am Pegel eingebauten Steinklassen) verbaut. Um die genaue Abflussmenge durch die Gabionen zu messen, wurde 10,00 [cm] vor Ende der zweiten Gabione ein Leitblech angebracht, um den Anteil des durch die Gabionen abgeflossenen Wassers von dem, der durch den freien Querschnitt abfloss zu separieren. Über Geschwindigkeitsmessungen und magnetisch induktive Durchflussmessung (MID)

wurden nun Gesamtabfluss, Gabionendurchfluss und die Abflussmenge neben den halbseitig eingebauten Steinkörben für eine Wassermenge von 5,00 bis 100,00 [l/s] bei eingestautem Unterwasser bestimmt. Die Auswertung der Messung erfolgte mit einer Software.

Die in den vorangegangenen Untersuchungen beprobten Verziehungen wurden auch an den halbseitig eingebauten Gabionen angebracht. Zudem wurde, wie in Versuchsanordnung 1, ebenfalls Sand in die Gabionen eingespült (Abbildung 5). Um zu prüfen, ob eine langlebige Abdichtung mit den Verziehungen und dem eingespülten Sand möglich ist, wurde zuerst eine natürliche Ausspülung von dem vorher eingebrachten Sand simuliert. Um eine hohe Belastung zu erreichen, wurde der eingebrachte Versuchsaufbau in der Versuchsrinne über mehrere Stunden mit unterschiedlich großen Wassermengen und hohen Fließgeschwindigkeiten bei schießendem Abfluss beschickt (Abbildung 6). Dies wurde solange wiederholt, bis sichtbar kein Sand mehr ausgespült wurde und sich somit ein stabiles System eingestellt hatte.

Die Dichtheit der Gabionen aufgrund des nach den Ausspülversuchen stabilen Sandprofils und der angebrachten Verziehungen wurde zunächst über Strömungsversuche mit gefärbtem Wasser überprüft. Dazu wurde die Farblösung direkt vor der Verziehung, neben der Gabione und in den Gabionenkörper selbst bei unterschiedlichen Abflüssen und Fließgeschwindigkeiten dem Wasser zugegeben. Abschließend wurden erneut der Gesamtabfluss und die Abflussmenge neben den halbseitig eingebauten Gabionen über Geschwindigkeitsmessungen für Wassermengen von $Q = 5,00$ bis $100,00$ [l/s] bei eingestautem Unterwasser ermittelt und über eine Software ausgewertet.



Abbildung 5: Abgedichtete Gabione



Abbildung 6: Ausspülversuche

4 Versuchsauswertung und Ergebnisse

Als Grundlage für die durchgeführten Untersuchungen zur Durchlässigkeit diente die DIN 18130 Teil 1. Dabei ist zu beachten, dass die DIN 18130, Teil 1, „Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes für Bodenproben“ in einem geschlossenen Zylinder bei vertikaler Durchströmung beschreibt. Im Versuchstand für die horizontale Durchströmung wurden k -Werte für Steine/gebrochenen Fels in einer offenen Glasrinne bestimmt. Die DIN 18130 konnte daher in diesem Fall nur als Handlungsempfehlung dienen, um möglichst repräsentative, vergleichbare Messergebnisse zu erzielen.

4.1 Vollflächige Anströmung der Gabionen

Für beide untersuchten Steinklassen wurde festgestellt, dass je größer der Abfluss und das Energieliniengefälle werden, umso kleiner wird der Durchlässigkeitsbeiwert und damit auch der Abfluss durch die Gabionen. Die aus den vorangegangenen Naturmessungen festgestellten Abweichungen von bis zu 20 [%] wurden dabei bestätigt. Der Verlauf der jeweils ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte veranschaulicht diese Abhängigkeit zwischen Abflussmenge und Abweichung ebenfalls. Die Durchlässigkeitsbeiwerte für den ersten Pegel liegen für Abflüsse von 2,00-18,00 [l/s] zwischen $k = 1,16$ und $0,65$ [m/s] und für den zweiten Pegel für Abflüsse von 2,00-22,00 [l/s] liegen diese zwischen $k = 1,18$ und $0,75$ [m/s].

Die maximale „Schluckfähigkeit“ beträgt für die Wasserbausteinklasse CP32/90 $0,0833$ [m³/s] für einen Kubikmeter Gabionenfüllung. Für die Wasserbausteinklasse CP45/180 liegt diese bei $0,10$ [m³/s] ebenfalls bezogen auf einen Kubikmeter Gabionenfüllung.

Die ermittelte Sickerwassermenge über einen Zeitraum von 30,00 [min] beträgt $0,034$ [l/s]. Über die Zugabe einer Farblösung entlang der Austrittsfläche hinter der Verziehung konnte festgestellt werden, dass die Sickerwassermengen zwischen Probekörper und der Wandung der Versuchsrinne auftreten und nicht durch die Verziehung bzw. abgedichteten Gabionen selbst. Die Abdichtungsmaßnahme ist demnach zweckmäßig.

4.2 Seitliche Anströmung der Gabionen

Auch die Durchlässigkeitsversuche an den halbseitig eingebauten Gabionen ergaben, dass mit steigendem Gesamtabfluss, die Abflussabweichung durch die Gabionen sinkt. Die prozentualen Abweichungen waren jedoch deutlich höher als in den vorangegangenen Naturersuchen. So wurden für einen Gesamtabfluss von 5,00 bis 150,00 [l/s] Abweichungen für den ersten Pegel zwischen 28 und 16 [%], für den zweiten Pegel zwischen 40 und 16 [%] gemessen (Abbildung 7).

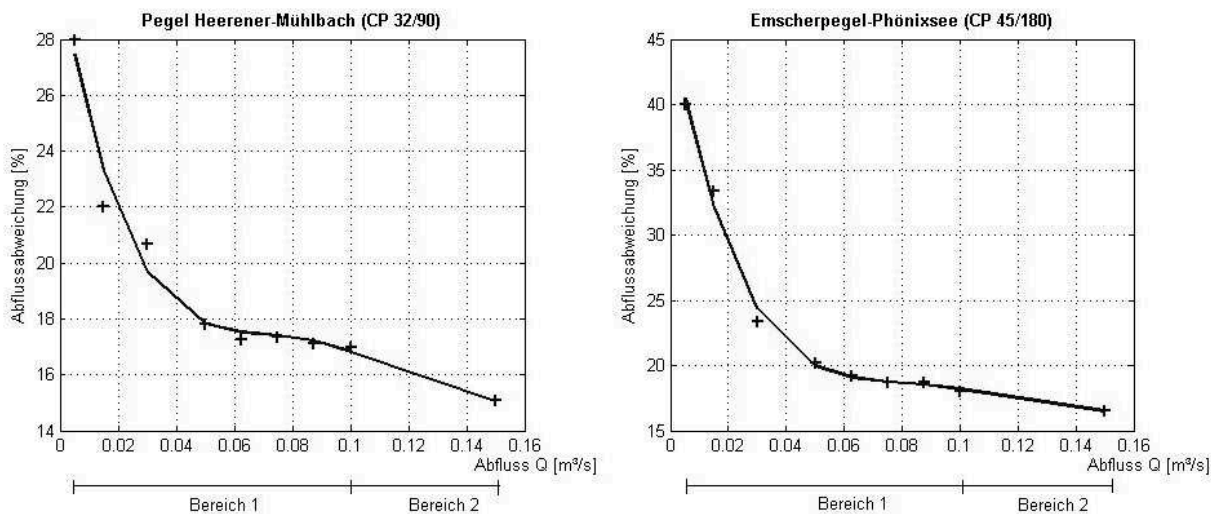


Abbildung 7: Prozentuale Abflussabweichung in Abhängigkeit des Gesamtabflusses

Die Ausspülversuche wurden über einen schichtweisen Rückbau des Modells überprüft. So konnte das im Gabionenkörper verbliebene, stabile Sandsystem genau bestimmt werden. Die 30,00 [cm] breiten Gabionen weisen eine Ausspülung des Sandes von ungefähr 50 [%] auf. Im Fußbereich der Gabionen wurde im Vergleich auffallend wenig ausgespült, da die Sohlgeschwindigkeiten geringer sind. Im Pegel vor Ort sollen zusätzlich 20,00 [cm] Oberboden auf die Verziehungen und die Gabionen aufgetragen und mit tief wurzelnden Pflanzen begrünt werden. Durch eine Durchwurzelung der gesamten Gabionen und Verziehungen wird so ein noch größerer Rückhalt des eingespülten Sandes erreicht.

Um eine Aussage über die unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten im Bereich der Freifläche und der damit bedingten Erosion treffen zu können, wurde die Analogie zweier im Zusammenhang stehenden Fließgeschwindigkeiten aufgestellt. Dazu wurde bei strömendem Abfluss die mittlere Fließgeschwindigkeit v_m [m/s] in Relation zu der Fließgeschwindigkeit unmittelbar neben der Gabione v_{Gab} [m/s] gesetzt. Diese beträgt nur noch 54% der mittleren Fließgeschwindigkeit und weist somit eine starke Reduzierung zur Wandung auf. Die Drosselung des Wassers bewirkt damit eine sehr langsame Strömung innerhalb des Gabionenkörpers, die innerhalb weniger Zentimeter schließlich auf null abfällt. Die Möglichkeit eines Stillstands des Wassers und die daraus resultierende Dichtheit der Gabione wurden durch die nachfolgenden Farb- und Geschwindigkeitsmessungen bestätigt. So ergab eine Zugabe der Farblösung direkt vor der Verziehung, dass das gefärbte Wasser immer neben der Gabione entlang floss und eine seitliche Einströmung in die Gabione nicht erfolgte. Beim Einbringen der Farbe im Gabionenkörper selbst, wurde die Lösung, unabhängig von Wasserstand und

Abfluss, unmittelbar an der Einbringungsstelle, zeitverzögert orthogonal zur Fließrichtung ausgespült.

Abschließende Abflussmengenmessungen im Freiquerschnitt neben den abgedichteten Gabionen ergaben nur minimale Abweichungen in Bezug auf den unbeeinflussten Abflussbereich von 2,5 [%]. Diese sind auf Messungenauigkeiten zurückzuführen und bestätigen wie auch die vorangegangenen Versuche die hydraulische Zweckmäßigkeit der Abdichtungsmaßnahmen.

5 Zusammenfassung und Fazit

Bei der ökologischen Umgestaltung von zwei Pegelmessstrecken wurden Gabionenkörbe zur Querschnittsgestaltung eingesetzt. Durch den Einbau in das Gewässer und die dadurch bedingte Durchströmung der Steinkörbe treten Abflussabweichungen im Pegel gegenüber dem Ober- bzw. Unterwasser von bis zu 20 [%] auf. Diese Abweichungen wurden durch Feldversuche und Untersuchungen im Labor bestätigt und zeigen deutlich, dass Maßnahmen entwickelt und durchgeführt werden müssen, welche die Abflussabweichung verhindern.

In ersten physikalischen Laborversuchen wurden geeignete Abdichtungsmaßnahmen unter verschiedenen Strömungs- und Abflussverhältnissen auf ihre hydraulische Zweckmäßigkeit hin untersucht.

Die Ergebnisse aus Geschwindigkeitsmessungen, Durchlässigkeits-, Farb- und Ausspülversuchen zeigen, dass das Abdichten der Steinkörbe mit dichten, keilförmigen Verziehungen und ein Einspülen von Sand in die Gabionen die eingangs festgestellten Abflussabweichungen verhindern. In Bezug auf die EG-Wasserrahmenrichtlinie bleibt die Zweckmäßigkeit der Steinkörbe trotz des Abdichtens mit Sand vorhanden, da ein genügend breiter Wanderungskorridor durch natürliche Ausspülvorgänge vorhanden bleibt.

Durch einen entsprechenden Umbau der betroffenen Pegelmessstrecken mit den vorgeschlagenen Maßnahmen kann also ein zuverlässiger und fehlerfreier Messbetrieb sichergestellt werden. Für weitere, die Gabionen betreffende Parameter müssen umfangreichere und detailliertere Versuche durchgeführt werden.

6 Literatur

- Deutsches Institut für Normung (1998): DIN 18130 Teil 1: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes – Teil 1: Laborversuche
- Elsholz, M., Sellheim, P. (2000): Pegel an kleineren Fließgewässern – Anforderungen aus hydraulischer und fließgewässerökologischer Sicht, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Niedersachsen
- LfW · Labor für Wasserbau GmbH (2014): Bericht über die Hydraulischen Untersuchungen zur Ermittlung der Durchlässigkeitsbeiwerte und von möglichen Abdichtungsmaßnahmen einschließlich Vermeidung von Ausspülungseffekten, Wülfrath

Autoren:

M.Sc., Fabian Netzel
Christina Krüger
Ina Terlau
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Haber
Prof. Dr.-Ing. Christoph Mudersbach

Institut für Wasser und Umwelt
Lehrgebiet Wasserwesen, insb. Wasserbau und Hydromechanik (LWH)
Hochschule Bochum
Lennershofstr. 140
44801 Bochum

Tel.: +49 234 32 10 272
Fax: +49 234 32 14 125
E-Mail: fabian.netzel@hs-bochum.de