

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 113 (2021)
Heft: 2

Artikel: Stranden von Wasserwirbellosen bei Schwallrückgang-Fallstudie am Hinterrhein
Autor: Tanno, David / Wächter, Kurt / Gerber, Roman
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-966184>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Stranden von Wasserwirbellosen bei Schwallrückgang – Fallstudie am Hinterrhein

David Tanno, Kurt Wächter, Roman Gerber

Zusammenfassung

Die in einem Fließgewässer durch den Schwall-Sunk-Betrieb entstehenden Wasserwechselzonen stellen potenzielle Strandungsflächen für Wasserwirbellose dar. Um die schwallbedingte Strandung auf diesen Flächen qualitativ und quantitativ zu erfassen, wurde von uns im Zuge der Schwallsanierungen eine Methode vorgeschlagen, welche in einer Pilotstudie an zehn verschiedenen Schwallstrecken der Schweiz getestet wurde (Tanno et al. 2016). Aus den Erkenntnissen und den offenen Fragen wurde am Hinterrhein bei Bonaduz eine weitere Fallstudie mit einem angepassten Versuchsdesign durchgeführt.

Zwischen März 2017 und Februar 2018 wurden insgesamt elf Strandungsversuche am immer gleichen Untersuchungsstandort auf einer Wasserwechselzone (Kiesbank) am Hinterrhein bei Bonaduz durchgeführt. In diesem untersten Hinterrheinabschnitt ist der Abfluss von mehreren, voneinander unabhängigen Schwallkraftwerken beeinflusst. Diese überlagern sich zeitweise, was insgesamt zu einem sehr heterogenen Schwallmuster führt.

In allen Versuchen konnten auf den exponierten Netzen gestrandete Organismen registriert werden. Dabei stellten Zuck- und Kriebelmückenlarven die dominierenden Grossgruppen dar. Die Gegenüberstellung der Strandungsdaten mit den jeweils bei Schwallanstieg durchgeführten, orientierenden Driftmessungen ergab eine signifikante Korrelation zwischen Drift und Strandung. Demnach erhöht eine Verdriftung von Wasserwirbellosen auch deren Strandungsrisiko. Die Pegelrückgangsraten zeigten hingegen keinen interpretierbaren Einfluss auf das Stranden von Wasserwirbellosen. Eine signifikante Reduktion der Strandungshäufigkeit durch einen gedämpften Schwallrückgang ist im beprobten Spektrum der Rückgangsraten damit nicht zu erwarten.

Die Ergebnisse liefern zusammenfassend wichtige qualitative und quantitative Anhaltspunkte über das Stranden der Wasserwirbellosen in Schwallstrecken. Für die Schwallsanierung – Reduktion der Strandung – lassen sich gestützt auf den aktuellen Wissensstand zu den Einflussfaktoren der Drift vor allem Massnahmen zur Dämpfung des Schwallanstiegs sowie der Abflussamplitude ableiten.

zum ersten Mal erfolgreich getestet (Tanno et al., 2016).

Die statistische Auswertung der Strandungszahlen beim ersten Pilotversuch ergab, dass bei schnellem Schwallrückgang (grosse Schwallrückgangsrate) tendenziell weniger Wasserwirbellose strandeten als bei gedämpftem Schwallrückgang. Schnelle Rückgangsraten sollten gemäss den Sanierungszielen in der Vollzugshilfe des BAFU (Tonolla et al., 2017), welche besonders für die Fischfauna eine gedämpfte Rückgangsrate fordert, vermieden werden.

Angesichts dieser Ausgangslage war es dringend angezeigt, die Ergebnisse der ersten Pilotstudie mit weiteren Feldversuchen zu verifizieren. Dazu wurden zwischen März 2017 und Februar 2018 elf weitere Strandungsversuche durchgeführt. Alle Versuche wurden diesmal an der gleichen Stelle am Hinterrhein bei Bonaduz durchgeführt. Damit entfallen für die Auswertung die standortspezifischen Kriterien, was die Interpretation erleichtert.

Dieses Projekt wurde zur Hauptsache vom naturemade star-Fonds von ewz (Elektrizitätswerk der Stadt Zürich) finanziert, was an dieser Stelle herzlich verdankt sei. Die restlichen Kosten wurden von Limnex AG getragen.

2. Vorgehen

2.1 Untersuchungsstandort und Hydrologie

Als Standort für die Strandungsversuche wurde der Hinterrhein bei Bonaduz Isla, kurz vor dem Zusammenfluss mit dem Vorderrhein, gewählt (Bild 1, roter Punkt). Es handelt sich dabei um eine orografisch links gelegene Kiesbank von ca. 200m Länge und bis zu 25m Breite. Diese wird bei hohen Schwallabflüssen fast vollständig überströmt (Bild 2).

Aus hydrologischer Sicht ist der Hinterrhein bei Bonaduz sehr heterogen, da sich hier insgesamt vier Schwälle von vier schwallerzeugenden Kraftwerks-Zentralen

1. Einleitung

Bei Schwallbetrieb werden durch die Pegelschwankungen Areale der Gewässer-sole temporär benetzt und fallen bei Sunk wieder trocken. Wasserwirbellose, die bei Schwall in diese Wasserwechselzonen verdriftet werden, stranden hier häufig bei Schwallrückgang. Ihr weiteres Schicksal bis zum nächsten Schwalldurchgang ist stark von der Sohlenbeschaffenheit (Refugien), den Witterungsverhältnissen und vermutlich auch der Dauer des Trockenfallens abhängig. Bislang ist wenig zur Strandung von benthischen Wasserwirbellosen bei Schwallbetrieb bekannt und

beschrieben worden. Die Firma Limnex hat deshalb nach Möglichkeiten gesucht, um die schwallbedingte Strandung von Wasserwirbellosen qualitativ und quantitativ zu erfassen. Die vorgeschlagene Strandungsnetz-Methode hat sich gemäss den ersten Versuchskampagnen gut bewährt und ist im Feld mit kleinem Geräteaufwand umsetzbar. Dabei werden auf der Wasserwechselzone bei Sunk Netze ausgelegt und nach einem Schwalldurchgang die darauf gestrandeten Organismen ausgewertet. Die Methode wurde von Limnex in den Jahren 2015 und 2016 in einem Pilotversuch mit 14 Feldversuchen an zehn verschiedenen Schwallstrecken der Schweiz

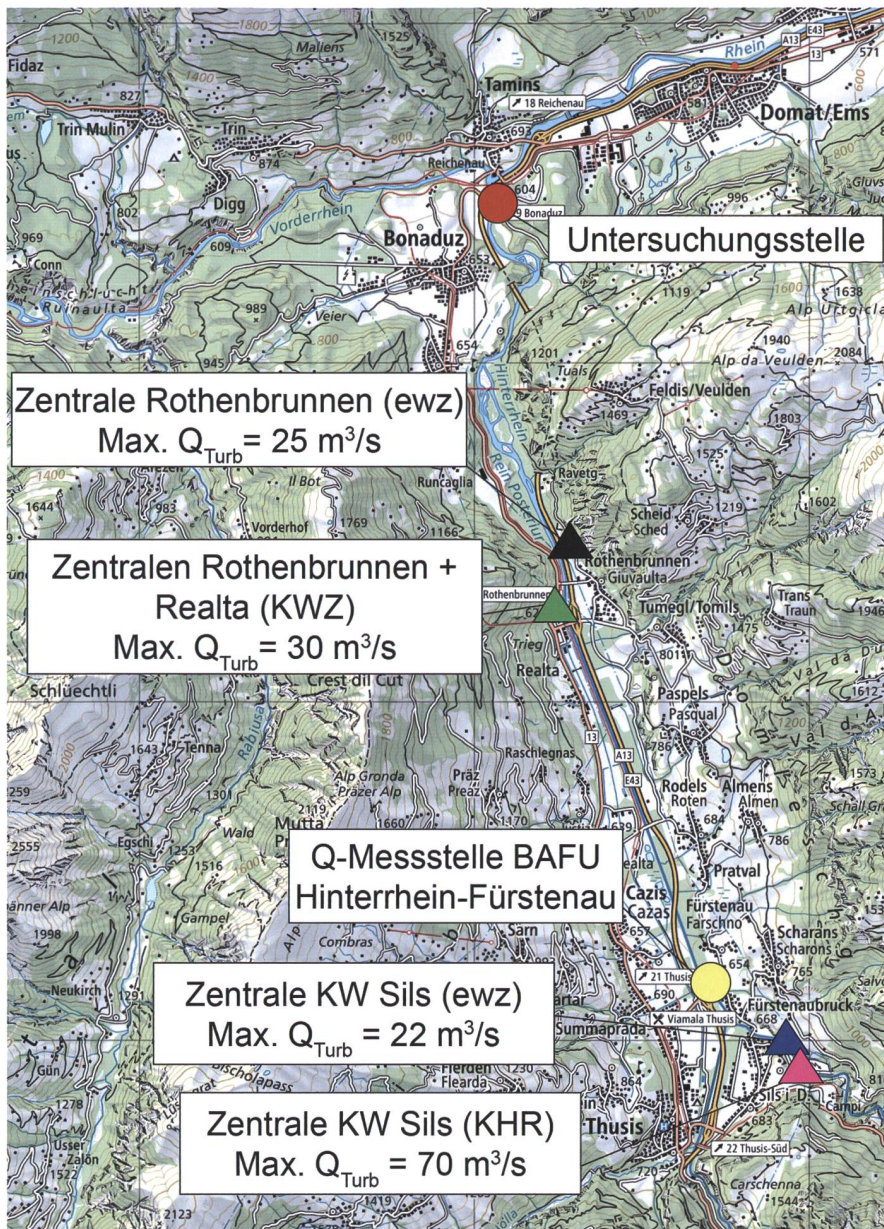


Bild 1: Systemüberblick mit den schwallerzeugenden Zentralen im Hinterrhein (farbige Dreiecke) sowie der Abflussmessstation Nr. 2387 Hinterrhein-Fürstenaue (gelber Punkt) und der Untersuchungsstelle für die Strandungsversuche bei Bonaduz Isla (roter Punkt). KHR=Kraftwerke Hinterrhein, KWZ=Kraftwerke Zervreila, ewz=Elektrizitätswerke der Stadt Zürich. ©Karte: swisstopo.

(Bild 1, farbige Dreiecke), überlagern können. Die maximale Turbiniermenge aller Zentralen zusammen liegt bei etwa $147 \text{ m}^3/\text{s}$. Bei einem minimalen Sunkabfluss von $8 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt das maximale Schwall-Sunk-Verhältnis bei Bonaduz ca. 19 zu eins. Je nach Tages-Produktionsmuster der einzelnen Kraftwerke können hier die Schwälle somit sehr unterschiedliche Kennwerte aufweisen (Schwall-Sunk-Verhältnis, Pegeländerungsraten, Dauer etc.).

In Bild 3 ist die Abflussganglinie bei der Untersuchungsstelle Bonaduz dargestellt. Sie resultiert aus der Aufsummierung der Abflussdaten der BAFU-Messstation 2387 Hinterrhein-Fürstenaue sowie der Turbinierdaten der Zentralen Rothenbrunnen (ewz + KWZ) und Realta (siehe Bild 1) und stellt damit eine Annäherung des exakten Abflusses dar. Die Ganglinie veranschaulicht den durch die Schwallkraftwerke geprägten Abfluss auf den untersten Flusskilometern des Hinterrheins, in denen zum Beispiel auch die Rhäzünser-Auen mit ausgedehnten Wasserwechselzonen und damit potenziellen Strandungsflächen liegen. Sehr häufig wurden an Werktagen ein bis zwei Schwälle produziert. Im betrachteten Zeitfenster von März 2017 bis März 2018 gab es aber auch schwallfreie Phasen oder solche mit stark reduziertem Schwallbetrieb (vgl. November 2017 und Weihnachten/Neujahr).

2.2 Feldmethode

Der Versuchsaufbau geht schematisch aus Bild 4 hervor. Bei Sunk wurden in der schwallbedingten Wasserwechselzone mehrere Netze flach auf der Sohle exponiert. Nach einem Schwalldurchgang wurden sie wieder entfernt und die auf dem Netz gestrandeten Wasserwirbellosen gesammelt und analysiert. Pro Versuch wurden mindestens acht bis zwölf quad-

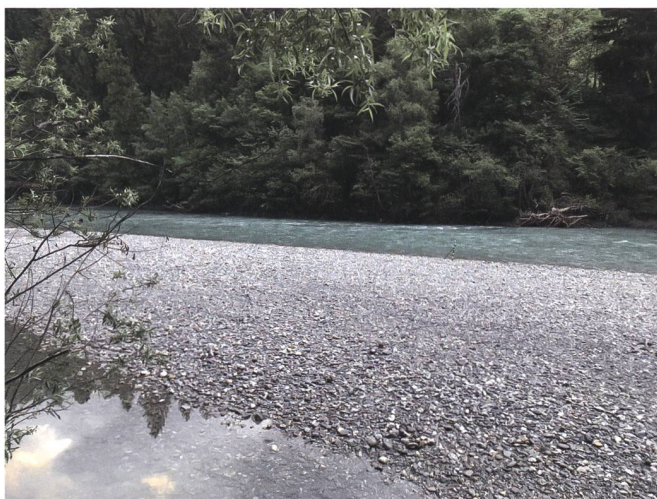


Bild 2: Untersuchungsstandort Bonaduz Isla am 23. Mai 2017, links bei Sunk ($Q=34 \text{ m}^3/\text{s}$) und rechts bei Schwall ($Q=129 \text{ m}^3/\text{s}$).

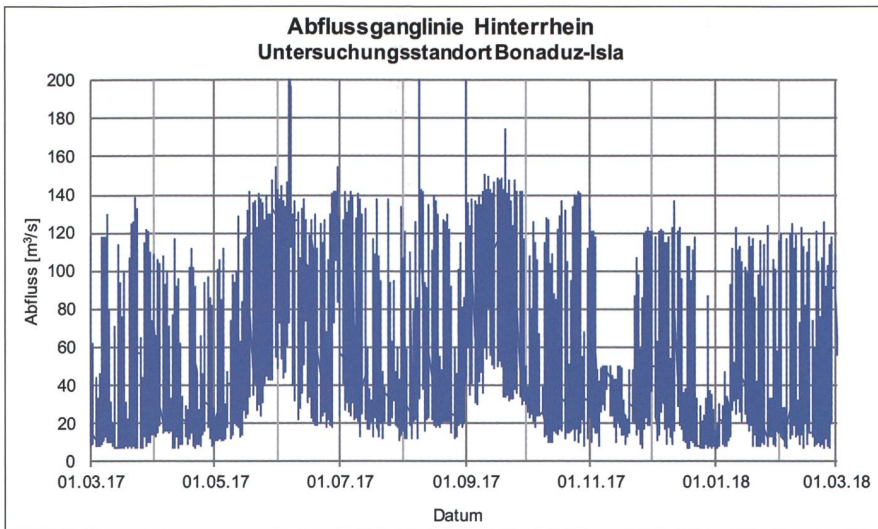


Bild 3: Abflussganglinie im Hinterrhein bei der Untersuchungsstelle Bonaduz Isla zwischen März 2017 und März 2018. Die Abflüsse bei Bonaduz Isla wurden anhand der Messwerte der eidgenössischen Messstation Hinterrhein-Fürstenu (BAFU) sowie den Turbinierdaten der Kraftwerke Rothenbrunnen (ewz + KWZ) und Realta im Sinne einer Annäherung berechnet.

ratische Strandungsnetze von 52 cm Seitenlänge und einer Fläche von 0,27 m² exponiert, was einer gesamten Probefläche von 2 bis 3 m² entspricht. Die Strandungsnetze haben wie die Kicknetze für die Benthosbeprobung eine Maschenweite von 500 µm, wie dies gemäss Modul-Stufen-Konzept (BAFU, 2019) vorgesehen ist. An den Ecken sind die Netze mit je einer Öse versehen. Damit können sie mit Heringen oder langen Stahlnägeln auf der Sohle verankert werden (Bild 5, links).

Die Netze wurden auf der Kiesbank in der Nähe der Sunkgrenze auf einer Länge von etwa 20 m exponiert. Um die Sohlenrauigkeit nachzubilden, wurden auf den Netzen Steine der am Standort dominierenden Korngrößenfraktion ausgelegt. Diese wurden vorher gewaschen, damit keine Wasserwirbellosen schon vor dem Schwalldurchgang auf die Netze gelangen konnten. Nach dem Schwalldurchgang wurden die Strandungsnetze bei Sunk geborgen und mit einer Giesskanne über einer flachen Wanne ausgespült. Die im Spülwasser vorhandenen Wasserwirbellosen wurden mit einem Makrozoobenthos-Netz herausgefiltert. Die Steine auf den Netzen wurden erneut gewaschen und die im Waschwasser vorhandenen Wasserwirbellosen ebenfalls mit einem Makrozoobenthos-Netz herausgefiltert. Die Teilproben aus allen Netzen wurden zu einer Sammelprobe vereinigt und für die Bestimmung im Labor mit Alkohol fixiert.

Bei jedem Versuch wurde orientierend die Drift bei Schwallanstieg beprobt. Dazu wurde ein Driftnetz an der Benetzungsgrenze bei Sunk installiert (Bild 4) und die

Drift bei steigendem Pegel während fünf bis 30 Minuten erfasst (Bild 5, rechts). Die Probenahmefenster richteten sich nach der Geschwindigkeit und der Intensität des Schwallanstiegs und streuten deshalb zeitlich stark. Um den Netzdurchfluss abzuschätzen, wurden bei der Eintrittsöffnung des Driftnetzes die Wassertiefe und die Fliessgeschwindigkeit mit einem Messflügel erfasst (Filteriertes Volumen = Fliessquerschnitt x Strömung x Dauer).

Der Pegelverlauf während des Schwalldurchganges wurde mit einer Drucksonde im Intervall von einer Minute aufgezeichnet.

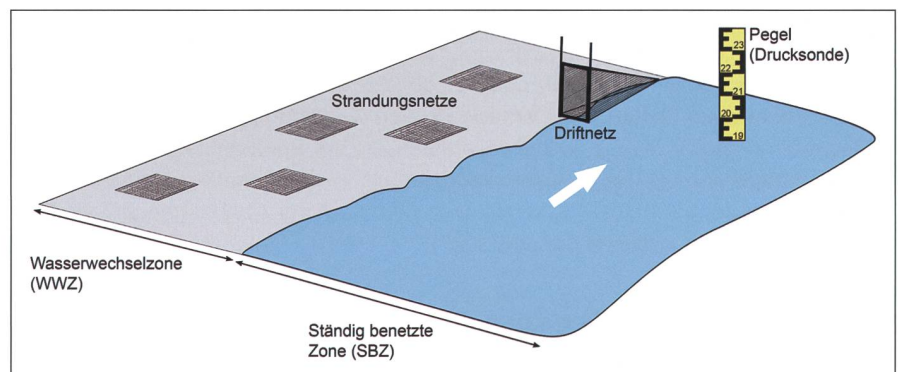


Bild 4: Skizzenhafte Darstellung der Versuchsanordnung am Hinterrhein.



Bild 5: Fotos des Probenahme-Equipments. Links: Mit Steinen belegtes Strandungsnetz noch vor dem Schwall, rechts: Driftnetz bei Schwallanstieg.

Aus den Daten können charakteristische Schwallkennwerte wie der zeitliche Schwallverlauf, die Pegeländerungsrate und die Pegelamplitude abgeleitet werden.

2.3 Auswertung

Die Wasserwirbellosen-Proben wurden im Labor ausgezählt und die Organismen auf Familien- oder Gattungsniveau bestimmt.

Bei der Datenauswertung standen folgende Aspekte im Vordergrund:

- Strandungsdichte (Anzahl gestrandete Wasserwirbellose pro Fläche)
- Taxa-Zusammensetzung der Proben

Für die Wirkungsanalyse wurden zusätzlich folgende Parameter im Feld erhoben oder aus Abflussdaten berechnet:

- Driftdichte bei Schwallanstieg (erste fünf bis 30 Minuten bei Ankunft der Schwallwelle)
- Pegelanstiegs- und -rückgangsrate nach zwei Berechnungsansätzen
 - Mittlere Rückgangsrate über den gesamten Schwallabstieg, wobei die Pegeldifferenz Schwall-Sunk durch die Dauer des Rückgangs geteilt wird.
 - Maximale Rückgangsrate über den gesamten Schwallabstieg nach dem Ansatz von Pfaundler & Keusen (2007). Diese Maximalwerte treten oft nur sehr kurzzeitig auf.
- Pegelamplitude Schwall-Sunk
- Abflussamplitude Schwall-Sunk
- Schwall-Sunk-Verhältnis ($V_{S/S}$)
- Schwalldauer (in Std.)

Der Einfluss dieser Parameter auf die Strangungsdichte wurde mithilfe eines multiplen linearen Regressionsmodells statistisch getestet. Damit redundante Parameter aus dem Modell ausgeschlossen werden konnten (Verhinderung von Multikolarität), wurde in einem ersten Schritt nach korrelierenden Variablen gesucht. Anschliessend wurde das beste Modell durch schrittweisen Ausschluss von Variablen nach Aikakes Informationskriterium (AIC) ausgewählt. Da es sich bei der Strangungsdichte um Zählraten handelt, wurde diese Variable LOG10-transformiert. Die gesamte statistische Analyse wurde mit der Software R durchgeführt (R Core Team, 2018).

3. Ergebnisse

3.1 Eckwerte der Versuche

Das Datum und die hydrologischen Kennwerte während den Feldversuchen sind in *Tabelle 1* aufgelistet. Die Schwallkennwerte basieren auf der berechneten Abflussgang-

linie im Hinterrhein bei Bonaduz Isla sowie den Pegelmessungen am Untersuchungsstandort.

Die Schwallganglinien während den Versuchen werden in *Bild 6* dargestellt. Für den direkten Vergleich wurde der Ausgangspunkt für den Versuchsbeginn und den Wasserstand für alle Versuche auf null gesetzt. Damit ist ein direkter visueller Vergleich der Schwallyndynamik bei den elf Versuchen möglich. Die Variabilität der Schwallganglinien im Hinterrhein zwischen Rothenbrunnen und der Mündung in den Vorderrhein war in jeder Hinsicht sehr ausgeprägt. Die Kurven streuten bei den schwallrelevanten Kennwerten Dauer, Amplitude und Steilheit der Flanken erheblich. Sich überlagernde Schwälle am Hinterrhein führen zum Teil auch zu mehrgipfligen Schwallkurven. Die Strangungsproben enthalten in diesen Fällen zwei Schwalldurchgänge, die wir nicht auseinanderhalten konnten; ein Artefakt, das wir hier nicht als schwerwiegend einstufen.

Versuch	Datum	$Q_{Schwall}$ [m ³ /s]	Q_{Sunk} [m ³ /s]	$V_{S/S}$ [-]	Q-Amplitude [m ³ /s]	$\Delta P_{Anstieg}$ [cm/min]	$\Delta P_{Rückgang}$ [cm/min]
1	07.03.17	114,8	22,2	5,2	92,5	0,61	0,34
2	16.03.17	76,3	7,3	10,5	69,0	1,19	0,70
3	05.04.17	107,6	17,6	6,1	90,1	0,81	0,41
4	23.05.17	128,6	34,4	3,7	94,2	0,79	0,25
5	27.07.17	95,0	24,0	4,0	71,0	0,42	0,44
6	23.08.17	81,1	27,1	3,0	54,0	0,50	0,44
7	30.08.17	81,0	29,0	2,8	51,9	0,59	0,37
8	26.09.17	138,0	41,4	3,3	96,6	0,62	0,52
9	19.12.17	98,0	10,5	9,3	87,5	0,52	0,32
10	08.02.18	112,4	12,2	9,2	100,2	0,90	0,79
11	22.02.18	106,3	7,5	14,1	98,8	2,12	0,26

Tabelle 1: Schwallkennwerte während den elf Strangungsversuchen bei Bonaduz Isla, geordnet nach Datum. Pro Versuch werden die wichtigsten hydrologischen Kennwerte aufgeführt. $Q_{Schwall}$ = Schwallabfluss, Q_{Sunk} = Sunkabfluss, $V_{S/S}$ = Schwall-Sunk-Verhältnis ($Q_{Schwall}/Q_{Sunk}$), Q-Amplitude = $Q_{Schwall} - Q_{Sunk}$, mittlere Pegelanstiegs- und Pegelrückgangsrate (ΔP). Die Daten basieren auf der Abflussganglinie in *Bild 3* sowie den Pegelganglinien gemäss *Bild 6*.

3.2 Strangungszahlen

In allen durchgeführten Versuchen konnten gestrandete Organismen registriert werden. Durchschnittlich strandeten pro Schwall 121 Individuen/m² bei einer Streuung von 32 bis 247 Individuen/m² (*Bild 7*). Extrapoliert auf eine Wasserwechselzone von 1 ha entspricht das 0,32 bis 2,47 Mio. Individuen pro Schwallereignis. Für eine Einordnung der Resultate kann die Strangungsdichte in Bezug zur benthischen Besiedlungsdichte in der ständig benetzten Zone gesetzt werden. Dazu wird in Anlehnung an *Elliot (1967)* der Anteil der gestrandeten Wasserwirbellosen an der Besiedlungsdichte in der ständig benetzten Zone berechnet. Die Ergebnisse der umfangreichen gewässerökologischen Erhebungen im Rahmen des Basismonitorings Alpenrhein von 2009 bis 2015 liefern hierzu Angaben zu den Besiedlungsdichten. Im Hinterrhein bei Bonaduz – nahe unserer Untersuchungsstelle – wurden dort durchschnittliche Besiedlungsdichten von 7000 bis 17000 Individuen/m² nachgewiesen (*Rey et al., 2011; 2016*). Bezogen auf diese Daten lag die Strangungsproportion für die elf durchgeführten Versuche im Bereich von 0,7 bis 1,7 Prozent.

Auf den Netzen gestrandete Wasserwirbellose waren häufig auf abgerissenen Algenfäden, Laub etc. zu finden. Das deutet darauf hin, dass diese Organismen auf den Substraten festsitzend verdrifft wurden und so in der Wasserwechselzone gestrandet sind. Da hierzu keine systematischen Messungen durchgeführt wurden, kann diese Annahme jedoch nicht empirisch belegt werden.

In *Bild 7* sind die Strangungszahlen der elf Versuche aufgetragen. Im Jahresverlauf ist kein offensichtliches, saisonales Muster bei der Strangungshäufigkeit erkennbar. Die Strangungszahlen unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Jahreszei-

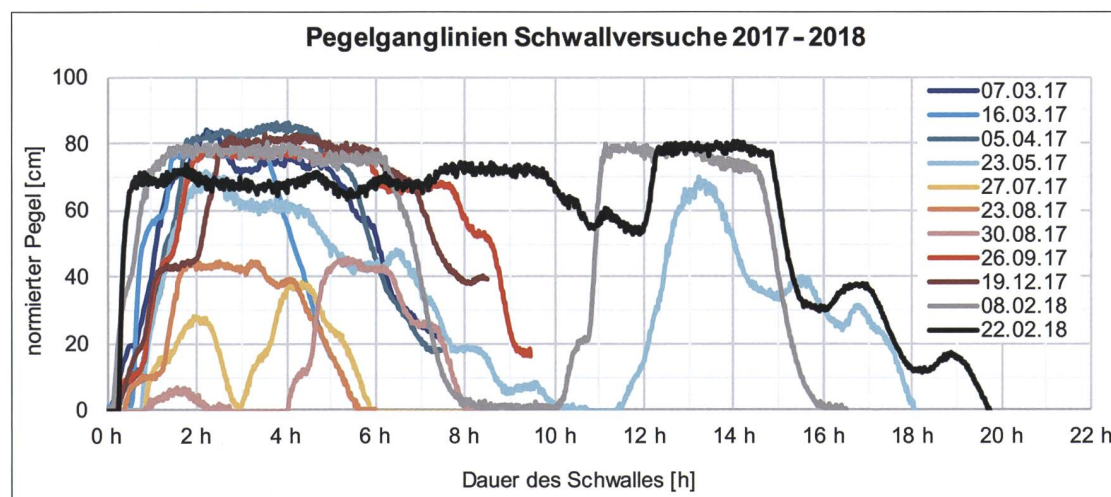


Bild 6: Pegelganglinien am Standort Bonaduz während den elf Strangungsversuchen.

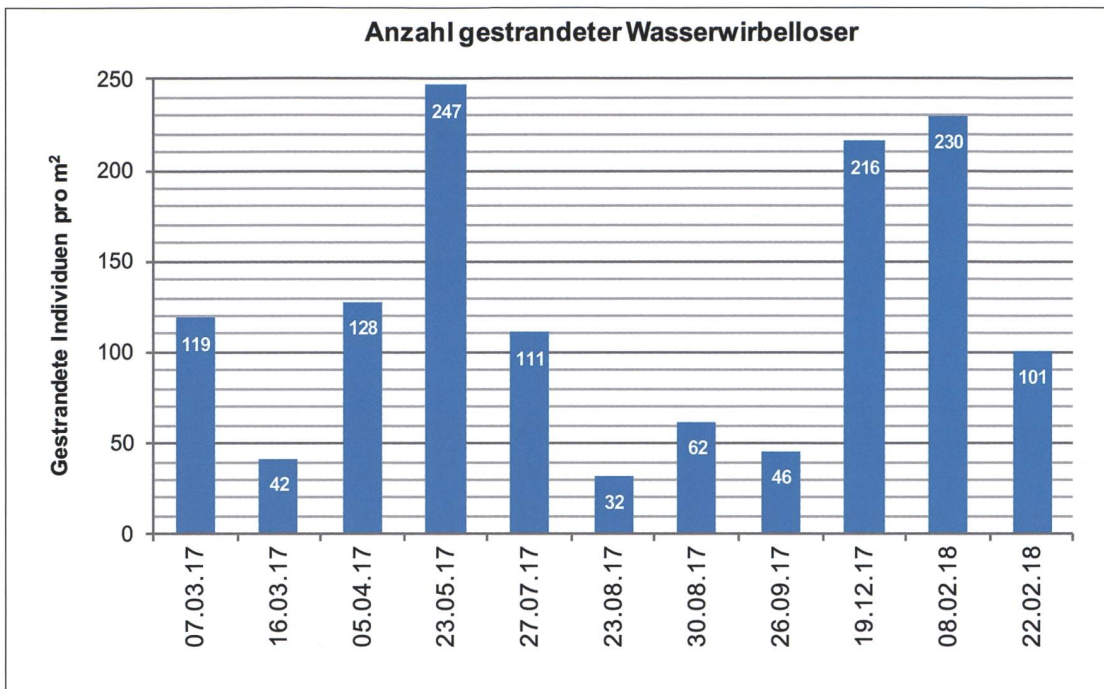


Bild 7: Anzahl gestrandeter Wasserwirbelloser gegliedert nach Versuch. Der Mittelwert über alle elf Versuche liegt bei 121 Individuen/m².

ten. Mit nur ein bis vier Versuchen pro Jahreszeit ist die Stichprobengrösse aber ohnehin zu klein, um eine robuste Aussage treffen zu können. Gesamthaft zeigt sich, dass beim derzeitigen Wissensstand die Analyse von driftinduzierenden hydraulischen Schwallparametern – welche je nach Betrieb ebenfalls eine gewisse saisonale Variation aufweisen können – eher im Vordergrund steht als die Saisonalität.

3.3 Taxa

Über alle Versuche betrachtet, strandeten im Untersuchungszeitraum auf der Kiesbank bei Bonaduz insgesamt 22 Taxa (Familien- und Gattungsniveau). Die zahlenmässig dominierenden Taxagruppen in den Strandungsproben waren Zuck- und Kriebelmückenlarven. Zusammen betrug ihr Anteil im Mittel 68 Prozent. Der Anteil der EPT-Taxa (Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen) an der Gesamtindividuenzahl

lag durchschnittlich bei knapp 30 Prozent und war damit deutlich kleiner. Weitere Taxagruppen wie Käfer, Würmer, Krebstiere oder andere Zweiflügler traten mit einem durchschnittlichen Anteil von 2 Prozent nur sehr vereinzelt in den Strandungsproben auf.

Die Driftproben (bei Schwallanstieg) wiesen eine ähnliche Zusammensetzung wie die Strandungsproben auf. Allerdings waren die Zuckmücken hinsichtlich Individuenzahl etwas häufiger vertreten, die EPT-Taxa kamen demgegenüber in geringerer Zahl vor. Bild 8 illustriert die Zusammensetzung der Strandungs- und Driftproben, gegliedert nach den wichtigsten taxonomischen Gruppen. Dargestellt wird die relative Häufigkeit jeder Gruppe über alle elf Versuche zwischen März 2017 und Februar 2018. Aufgrund der sehr ähnlichen Zusammensetzung und Dominanzverhältnisse der Drift- und Strandungsproben kann ange-

nommen werden, dass diejenigen Taxa, welche sich in der Drift befinden, auch mehrheitlich bei Schwallrückgang stranden.

Die Taxazusammensetzung sowohl der Strandungs- als auch der Driftproben zeigte nur eine leichte saisonale Variation. Die Individuen der Zuck- und Kriebelmückenlarven dominierten die Proben während des ganzen Jahresverlaufs. Ein saisonaler Trend war bei diesen Gruppen nicht erkennbar. Bei den EPT-Taxa war hingegen eine gewisse Variation erkennbar. So waren Steinfliegenlarven (v.a. Gattung Leuctra) in den Sommermonaten sowohl in den Drift- als auch in den Strandungsproben kaum vorhanden (Emergenz). Andere Organismengruppen zeigten eine deutliche Saisonalität, spielten für die Strandungsdichte insgesamt aber eine untergeordnete Rolle. So traten beispielsweise Saitenwürmer (*Gordius aquaticus*) ausschliesslich in den Sommerproben auf (vgl. Gruppe: übrige

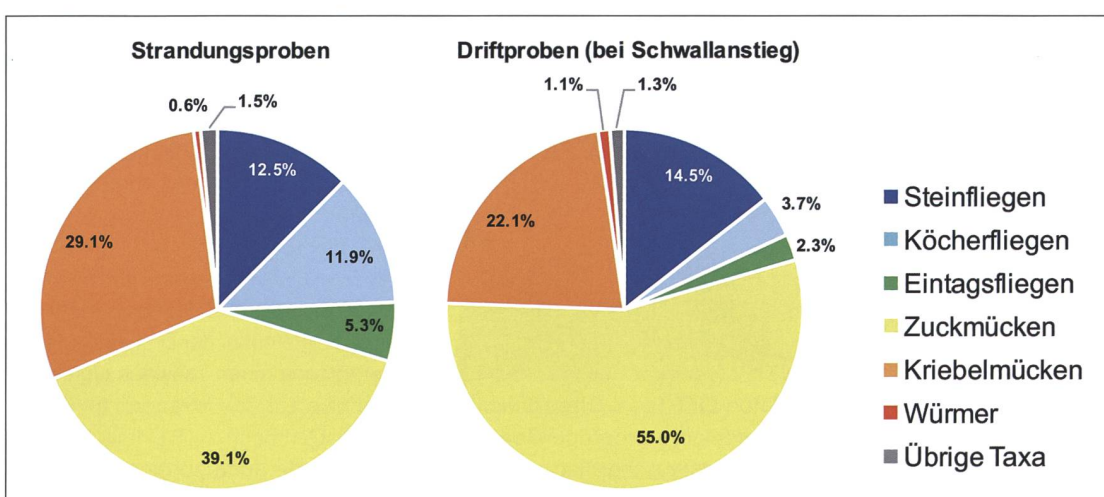


Bild 8: Relative Häufigkeit der wichtigsten systematischen Gruppen in den Strandungsproben (links) und den bei Schwallanstieg entnommenen Driftproben (rechts). Dargestellt ist jeweils der Mittelwert über alle elf Versuche.

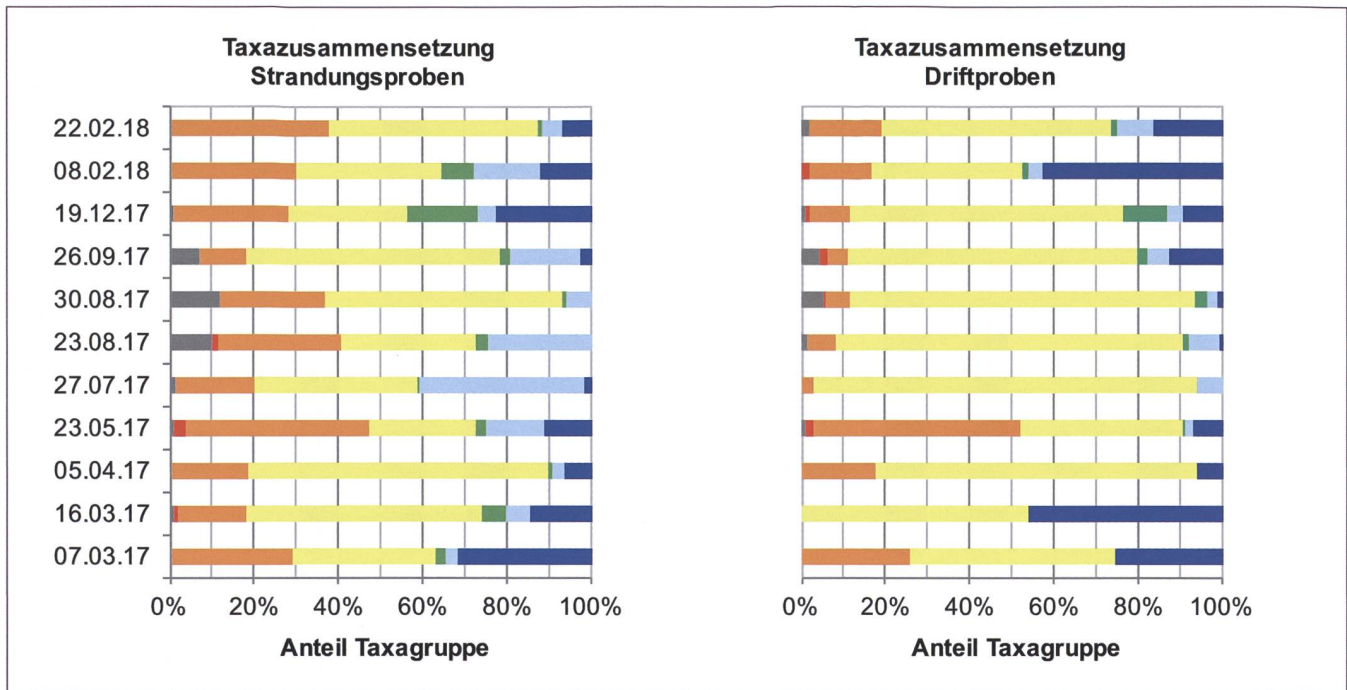


Bild 9: Relative Häufigkeit der wichtigsten systematischen Gruppen in den Strandungsproben (links) und Driftproben (rechts) pro Versuch.

Taxa). Bild 9 zeigt die Zusammensetzung der Strandungs- bzw. Driftproben pro Versuch, gegliedert nach den wichtigsten taxonomischen Gruppen. Dargestellt wird die relative Häufigkeit der verschiedenen Gruppen.

Die Ergebnisse vom Hinterrhein decken sich relativ gut mit den Erkenntnissen aus der Pilotstudie «Stranden von Wasserwirbel-

losen bei Schwallrückgang» (Tanno et al., 2016) sowie auch mit Resultaten aus zahlreichen anderen Untersuchungen. Zuckmücken waren in diesen Untersuchungen sowohl in der Drift als auch als Gestrandete in der Wasserwechselzone die dominierende Gruppe (z.B. Kroger, 1973; Bruno et al., 2010; Kastenhofer, 2018; Tonolla et al., 2019).

3.4 Statistische Auswertung

Das resultierende multiple Regressionsmodell enthielt als einzigen signifikanten Parameter die Driftdichte bei Schwallanstieg. Die Driftdichte war dabei positiv mit der Anzahl gestrandeter Wasserwirbellosen korreliert ($p=0,017$, $R^2=0,48$). Die Pegelrückgangsrate lieferte – unabhängig vom gewählten Berechnungsansatz – im beprobten Schwallenspektrum keinen Zusammenhang mit den Strandungsdaten. Die Ergebnisse aus der Pilotstudie von 2015/2016, wo ein leicht negativer Zusammenhang zwischen Pegelrückgangsrate und Strandung festgestellt wurde, konnten in dieser zweiten Versuchsreihe nicht bestätigt werden. Auch die übrigen Parameter zeigten im multiplen Regressionsmodell keinen signifikanten Einfluss auf das Stranden von Wasserwirbellosen.

Die Modellierung ist aufgrund der geringen Stichprobengrösse ($n=11$) sowie der grossen Variabilität bei den Schwallkennwerten als nicht sehr robust einzustufen. Die Ergebnisse der statistischen Auswertung mittels multipler Regression haben deshalb vor allem orientierenden Charakter.

Bei der Gegenüberstellung der verschiedenen Einflussfaktoren mit den Strandungsdaten mittels einfacher linearer Regression zeigte nebst der Drift auch die Abflussamplitude einen schwach signifikanten Einfluss auf das Stranden ($p=0,038$, $R^2=0,39$). Demnach führt eine höhere Abflussamplitude auch zu einem erhöhten Strandungsrisiko.



Bild 10: Nahaufnahmen von auf den Netzen gestrandeten EPT-Taxa. Oben links: Eintagsfliegenlarve (Baetidae), oben rechts: Eintagsfliegenlarve (Heptageniidae), unten links: Köcherfliegenlarve (Limnephilidae), unten rechts: Köcherfliegenlarve (Rhyacophilidae).

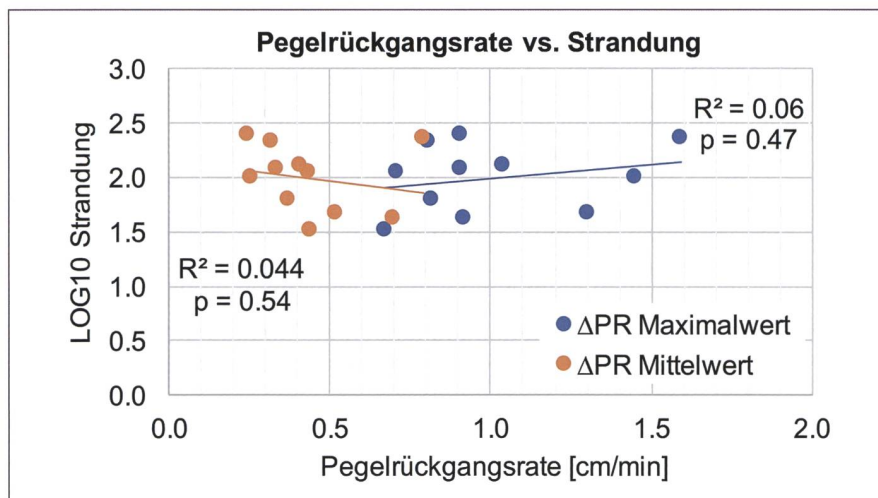
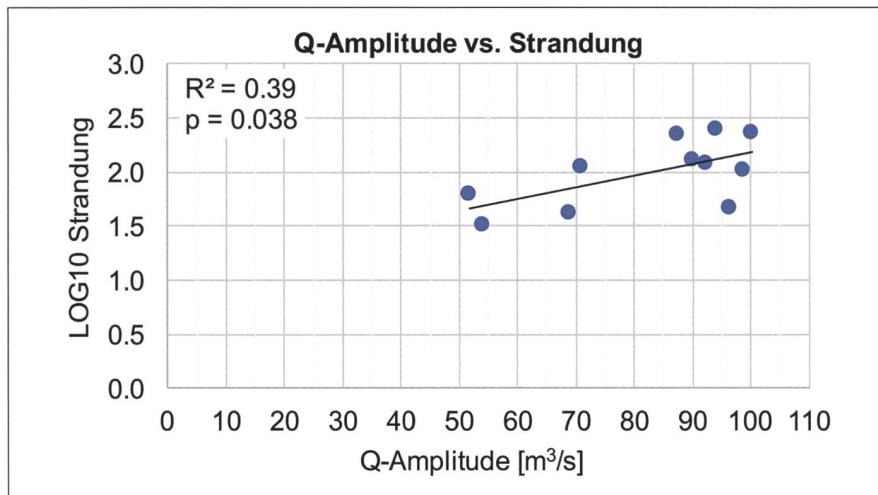
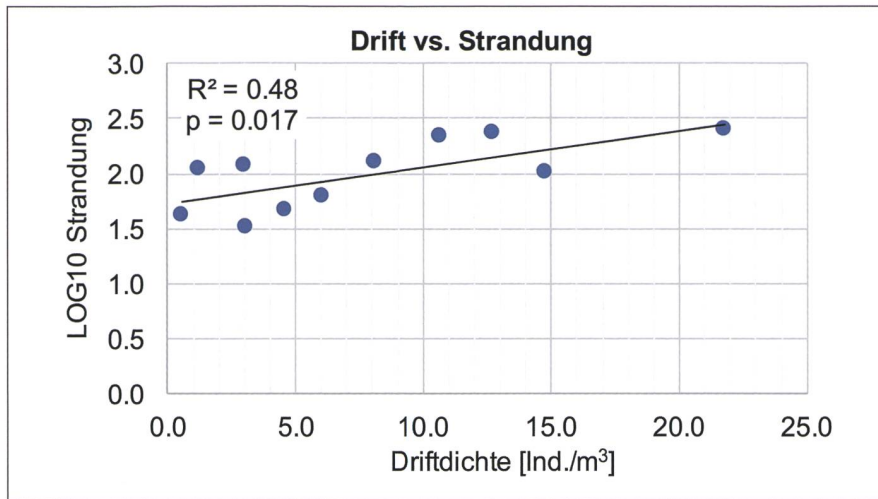


Bild 11: Korrelationen zwischen Drift- und Strandungsdichte (oben), zwischen Abflussamplitude und Strandungsdichte (Mitte) sowie zwischen Pegelrückgangrate und Strandungsdichte (unten). Die Y-Achsen der Grafiken sind LOG10-transformiert. Bei der Korrelation zwischen Strandung und Pegelrückgangrate wurden zwei Kennwerte der Pegelrückgangsgeschwindigkeit betrachtet. Einerseits die maximale Pegeländerungsrate nach dem Ansatz von Pfaundler & Keusen (2007, blaue Punkte) andererseits die mittlere Rückgangrate (orange Punkte).

Bild 11 illustriert die wichtigsten Korrelationen zwischen Drift und Strandungsdichte, zwischen Abflussamplitude und Strandungsdichte sowie zwischen Pegelrückgangrate und Strandungsdichte als einfache lineare Regression. Für die Pegel-

rückgangrate wurden zwei unterschiedliche Berechnungsansätze verwendet (maximale Pegelrückgangrate und mittlere Pegelrückgangrate). Beide wurden mit der Strandungsdichte korreliert und sind in Bild 11 (rechts) aufgetragen.

4. Diskussion

Die vorliegende Fallstudie am Hinterrhein hatte zum Ziel, die Strandungsnetzmethode weiter zu optimieren und die noch offenen Fragen aus der Pilotstudie von 2015/2016 zu beantworten. Mit der zweiten Versuchsreihe mit elf Schwallversuchen konnte der leichte Trend aus der ersten Kampagne, wonach sich ein langsamer Schwallrückgang negativ auf das Strandungsrisiko auswirkt, nicht bestätigt werden. Auch die Gesamtbetrachtung der 25 Feldversuche aus den beiden Kampagnen 2015/16 (14 Versuche; Tanno et al., 2016) und 2017/18 (11 Versuche) zeigt, dass die Wasserwirbellosen bezüglich Stranden nicht sensibel auf die Schwallrückgangsrate reagieren. Eine Reduktion der Strandungshäufigkeit von Wasserwirbellosen durch einen gedämpften Schwallrückgang, wie sie die Vollzugshilfe des BAFU (Tonolla et al., 2017) vor allem für die Fischfauna vorschlägt, ist demnach nicht zu erwarten.

Die Untersuchungen am Hinterrhein ergaben einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Driftdichte bei Schwallanstieg und dem Stranden bei Schwallrückgang. Die vergleichende numerische Auswertung der Driftzahlen mit den Strandungszahlen zeigte hier eine positive Korrelation. Je mehr Organismen bei Schwallanstieg verdriftet wurden, desto mehr Organismen strandeten in der Wasserwechselzone bei Schwallrückgang, was plausibel erscheint. Neben der statistischen Auswertung resultiert dieser Zusammenhang auch bei der Zusammensetzung von Strandungs- und Driftproben.

Viele gestrandete Zuck- und Kriebelmückenlarven auf den Strandungsnetzen waren auf Algenfäden oder Detritus zu finden. Die Vermutung liegt nahe, dass diese Individuen nicht aktiv drifteten, sondern gewissermassen als blinde Passagiere auf ihrem Substrat verdriftet wurden. Es ist anzunehmen, dass sich ein Teil von ihnen bei Schwallrückgang weiterhin auf ihrem Driftsubstrat festhielt und strandete. Demnach müsste auch das Potenzial an schwallbedingt mobilisierbarem Aufwuchs und Detritus die Driftbilanz beeinflussen.

Wasserwirbellose, die sich aktiv vom Boden lösen und bei Schwall in die Drift gehen, werden wegen ihrer geringen Eigenfortbewegung – die deutlich kleiner ist als die Strömung – über die gesamte benetzte Breite verdriftet und gelangen so teilweise auch in die Wasserwechselzone. Die bezüglich Schwallrückgangsrate indifferenten Strandungszahlen werfen die Frage auf, ob und inwieweit Wasserwirbel-

lose einen Verhaltensreflex besitzen, um bei Schwallrückgang der zurückweichenden Wasserlinie zu folgen.

Aufgrund all dieser Erkenntnisse steht für die Reduktion der Strandungshäufigkeit bei Wasserwirbellosen die Dämpfung des Schwallanstiegs und allenfalls der Abflussamplitude im Vordergrund.

5. Ausblick

Die insgesamt 25 In-situ-Versuche mit sehr verschiedenen Schwallkennzahlen ergaben, dass nach jedem Schwalldurchgang Wasserwirbellose auf den Wasserwechselzonen strandeten. Wollte man Stranden total unterbinden, so müssten entweder der Schwallbetrieb aufgehoben oder Wasserwechselzonen im Gewässer möglichst verhindert werden. Beides ist aus ökologischen und/oder wirtschaftlichen Gründen unerwünscht und auch nicht realistisch. Dennoch zeichnet sich für die Gewässer-

ökologie bei Schwallstecken ein Zielkonflikt zwischen Revitalisierungen und Schwall-sanierungen ab. Bei Revitalisierungen werden vielfältige aquatische und auch terrestrische Lebensräume geschaffen, ein wichtiger Bestandteil ist dabei häufig die Aufweitung von kanalisierten Gerinnen und die Gestaltung von Flachufern. Das führt aber im Zusammenhang mit Schwall/Sunk gleichzeitig zu einer Vergrößerung der Wasserwechselzone und damit zu grösseren Strandungszahlen für die Wasserwirbellosen. Aus diesem Grund ist zu überlegen, wie solche Sanierungen für Schwallstrecken optimiert werden können. Es stellt sich in manchen Fällen die Frage, ob Instream-Massnahmen in Kombination mit schwalldämpfenden Massnahmen auf Schwallstrecken nicht einen grösseren ökologischen Mehrwert bringen als grossflächige Schwall-Wasserwechselzonen, die weder für aquatische noch für terrestrische Organismen Lebensräume

darstellen. In dieser Hinsicht besteht sicher noch weiterer Forschungsbedarf. So könnten beispielsweise vergleichende gewässerökologische Fallstudien von revitalisierten, kanalisierten und mit Instream-Massnahmen aufgewerteten Strecken in dieser Frage wertvolle Informationen liefern.

6. Danksagung

Dieses Projekt wurde vom naturemade star-Fonds von ewz (Elektrizitätswerk der Stadt Zürich) sowie zu einem kleinen Teil von Limnex AG finanziert. Wir bedanken uns herzlich beim Lenkungs-gremium des naturemade star-Fonds von ewz für die Finanzierung und wohlwollende Unterstützung dieses Projekts. Wir danken zudem *Dr. Christoph Tellenbach* für seine Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Quellen:

BÄFU (Hrsg.) 2019: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung von Fliessgewässern (IBCH_2019). Makrozoobenthos – Stufe F. 1. aktualisierte Ausgabe, November 2019; Erstausgabe 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026: 59 S.
Bruder, A. 2012: Bewertung von Massnahmen zur Beseitigung wesentlicher Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk. Grundlagen für den Vollzug. Bericht der EAWAG, 92 S.
Bruno, M.C., Maiolini, B., Carolli, M., Silveri, L. 2010: Short time-scale impacts of hydropeaking on benthic invertebrates in an alpine stream (Trentino, Italy). *Limnologica* 40 (2010): 281–290
Elliott, J.M. 1967: Invertebrate drift in a Dartmoor stream. *Arch. Hydrobiol.* 63:202–237
Kästenhofer, O. 2018: Stranden von Makrozoobenthos infolge von Schwall und Sunk. Bachelor-Thesis, Zurich University of Applied Sciences (ZHAW). Wädenswil, Switzerland
Kroger, R. L. 1973: Biological Effects of Fluctuating Water Levels in the Snake River, Grand Teton National Park, Wyoming. *The American Midland Naturalist* 89 (2), 478–482

Pfändler, M., Keusen, M. 2007: Veränderungen von Schwall-Sunk. Hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall-Sunk Phänomenen in der Schweiz. *Umwelt-Wissen* Nr. 0712, Bundesamt für Umwelt, Bern. 110 S.
Pfändler M., Dübendorfer, C., Zysset, A. 2011: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Hydrologie – Abflussregime Stufe F (flächendeckend). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1107: 113 S.
R Core Team 2018: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>
Rey, P., Werner, S., Mürle, U., Becker, A., Ortlepp, J., Hürlimann, J. 2011: Monitoring Alpenrhein – Basismonitoring Ökologie. Herausgeber: Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA), Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie. 150 S. St. Gallen 2011
Rey, P. Hesselschwerdt, J. 2016: Monitoring Alpenrhein – Basismonitoring Ökologie 2015; Benthosbesiedelung, Jungfischhabitate, Besiedelung der Kiesbänke. Herausgeber: Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA), Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie

Tanno, D., Wächter, K., Schmidlin, S. 2016: Stranden von Wasserwirbellosen bei Schwallrückgang – Ergebnisse einer Pilotstudie. *Wasser Energie Luft* – 108. Jahrgang, 216, Heft 4, S. 277 – 284
Tonolla D., Chaix O., Meile T., Zurwerra A., Büsser P., Oppliger S., Essyad K. 2017: Schwall-Sunk – Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1701: 133 S.
Tonolla, D., Schülting, L., Dossi, F., Di Cugno, N., Hauer, C., Döring, M., Graf, W. 2019: Assessment of hydropeaking impacts on the drift of aquatic macroinvertebrates – Flume and field experiments. Bericht zuhanden des Bundesamtes für Umwelt

Autoren:

David Tanno, Limnex AG, Stahlrain 4, CH-5200 Brugg
Kurt Wächter, Limnex AG, Stahlrain 4, CH-5200 Brugg
Roman Gerber, Limnex AG, Stahlrain 4, CH-5200 Brugg