

ÖKOLOGISCHE UND ENERGIE- WIRTSCHAFTLICHE BEWERTUNG SCHWALLDÄMPFENDER MASSNAHMEN



DI Franz Greimel

Institut für Hydrobiologie und
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Hydrobiologie und
Gewässermanagement
1180 Wien, Gregor-Mendel-Straße 33/DG
T: +43(1)47654-81213
E: franz.greimel@boku.ac.at

Ingenieurbüro für Kulturtechnik und
Wasserwirtschaft
1200 Wien, Bäuerlegasse 29/30
E: franzgreimel@netscape.net



DI Bernhard Zeiringer

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Hydrobiologie und
Gewässermanagement
1180 Wien, Gregor-Mendel-Straße 33/DG
T: +43(1)47654-81215
E: bernhard.zeiringer@boku.ac.at



DI Dr. techn. Jürgen Neubarth

e3 consult GmbH
6020 Innsbruck, Andreas-Hofer-Straße 28a
T: +43(0)512-908892
E: office@e3-consult.at

INTEGRATIVE ZUSAMMENARBEIT ZWISCHEN WISSENSCHAFT, ENERGIEWIRTSCHAFT UND BEHÖRDE – EIN WEGWEISENDES ERFOLGSMODELL

Eine nachhaltige Gewässernutzung sollte ökologische sowie volks- und betriebswirtschaftliche Ziele in Einklang bringen. Vor allem in Gewässerstrecken, welche sehr stark durch anthropogene Nutzungen geprägt sind, wie z. B. in „erheblich veränderten Wasserkörpern“, sind stark divergierende Interessenslagen und die damit einhergehenden Interessenskonflikte unausweichlich. Unter solchen Voraussetzungen gemeinsam Lösungswege zu erarbeiten stellt national und international eine große Herausforderung dar. Dieser Herausforderung stellte sich das Projekt SuREmMa. Schwallsanierung in Österreichs Gewässern – ein hoffnungsvoller Ansatz.

Ursachen und Auswirkungen von Schwallbelastungen

Die Europäische Union hat mit ihren Energie- und Klimapaketen sowie ihrem Fahrplan für eine CO₂-arme Wirtschaft bis 2050 die wesentlichen Randbedingungen für die zukünftige Entwicklung des europäischen und damit auch des österreichischen Energiesystems mit Zielen für Klimaschutz, erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Versorgungssicherheit vorgegeben. Durch den damit zusammenhängenden starken Ausbau der Stromerzeugung aus Wind- und Sonnenenergie steigen die Anforderungen an den verbleibenden Kraftwerkspark insbesondere in Bezug auf einen flexibleren Einsatz zur Ausregelung der unvermeidlichen Erzeugungsschwankungen erneuerbarer Energien. Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke stellen aus energiewirtschaftlicher Sicht auf

Grund ihrer schnellen Regelfähigkeit eine ideale und ebenfalls erneuerbare Ergänzung zur Wind- und Solarstromerzeugung dar. Sie können beispielsweise im Vergleich zu Kohle- und Gaskraftwerken nicht nur deutlich flexibler eingesetzt werden, sondern es entstehen für die Bereitstellung der für die Systemsicherheit essentiellen Versorgungsaufgaben auch keine zusätzlichen CO₂-Emissionen. Auf Grund der in Österreich besonders günstigen topografischen und hydrologischen Voraussetzungen stellen Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke mit einem Anteil von 33 % an der insgesamt installierten Kraftwerksleistung von knapp 24.500 MW (2014) das Rückgrat der Stromversorgung dar. Österreichische Speicherkraftwerke haben dabei nicht nur auf nationaler Ebene eine hohe Bedeutung für die Gewährleistung der Systemstabilität und

damit für die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit, sondern sie unterstützen innerhalb des europäischen Stromsystems bereits heute maßgeblich die effiziente Integration der fluktuierenden erneuerbaren Energien (Neubarth J., 2017a). Durch den periodischen Betrieb verursachen Speicherkraftwerke jedoch auch kurzfristige Abflussschwankungen in den Gewässern, den sogenannten Schwall. Beim Schwallbetrieb wechseln einander der „Schwall“, ein künstlich erhöhter Abfluss, und der „Sunk“ als darauffolgende künstlich verringerte Abflusssituation bisweilen mehrmals täglich ab. Schwallbetrieb zählt zu den hydrologischen Belastungen und stellt einen Eingriff in die natürliche Abflussdynamik eines Gewässers dar. Im Gegensatz zu anderen Eingriffen und deren Folgen wirkt er meist über vergleichsweise lange Gewässerstrecken und kann eine Reihe von ökologischen Folgewirkungen mit sich bringen. Prinzipiell sind bei allen aquatischen Organismen Reaktionen auf Schwall zu erwarten, die Folgen können jedoch sehr unterschiedlich sein. Näher untersucht wurden diese bislang vor allem bei Benthischen Wirbellosen (Makrozoobenthos, Fischnährtiere) und Fischen. Aus fischökologischer Sicht werden Strandrungsphänomene als Hauptbelastung angesehen: Der anthropogen bedingte Abflussrückgang bzw. die

daraus resultierende Abstiegsgeschwindigkeit des Wasserspiegels hat hinsichtlich der Strandrungsraten eine besondere Bedeutung. Versuche in Experimentierinnen zeigten eine klare Reduktion des Strandrungsrisikos für Fischlarven und frühe Juvenilstadien bei einer Verminderung der Abstiegsgeschwindigkeit (Halleraker et al., 2003; Schmutz et al., 2013; Auer et al. 2014). Zusätzlich zum Strandrungsphänomen beim Abflussrückgang werden Organismen beim Abflusanstieg vermehrt verdriftet bzw. abgeschwemmt (Limnux, 2004). Dies bedeutet im betroffenen Gewässerabschnitt zumindest einen lokalen Verlust von Fischlarven und frühen Juvenilstadien sowie von Makrozoobenthos (z. B. Layzer et al., 1989; Gibbins et al., 2007; Young et al., 2011). In Schmutz et al. (2015) konnte nachgewiesen werden, dass schwallbedingte Auswirkungen neben der hydrologischen Situation auch mit dem morphologischen Zustand einer Gewässerstrecke in Zusammenhang stehen: In naturnahen Gewässerabschnitten sind negative ökologische Auswirkungen stets geringer, als in regulierten Gewässerstrecken. Zudem wurden die Auswirkungen bestimmter morphologischer Strukturen (Mulden- und Buchtstrukturen) hinsichtlich ihres Einflusses auf das Strandrungsrisiko für Fische getestet. Dabei konnte aufgezeigt werden, dass bei Muldenstrukturen

Falleneffekte und dementsprechend erhöhte Strandrungsraten auftreten können, während angebundene Buchtstrukturen bei Sunkabfluss das Strandrungsrisiko deutlich verringern können (Schmutz et al., 2013; Auer et al., 2014).

Schwallbelastungen in Österreich und der Steiermark

Aktuell sind gemäß Nationalem Gewässerbewirtschaftungsplan in Österreich 896 km Fließstrecke in 127 Wasserkörpern als signifikant schwallbelastet eingestuft (BMLFUW, 2017). Das entspricht etwa 2,8 % des Gewässernetzes mit einer Einzugsgebietsgröße > 10 km² bzw. rund 20 % des Gewässernetzes > 1000 km² Einzugsgebietsgröße. In der Steiermark sind Gewässerabschnitte folgender Flüsse von Schwall betroffen: Enns, Erzbach, Kainach, Raab, Salza, Sattentalbach, Sölkbach und Teigitsch (vgl. Abb. 1). Insgesamt sind allerdings mehr als die Hälfte der österreichischen Pegelstellen durch anthropogen bedingte Abflussschwankungen mit sehr heterogener Intensität und Auftretshäufigkeit beeinflusst, deren Ursachen nicht immer auf den ersten Blick erklärbar sind (Greimel et al., 2016; Greimel et al., 2017a). Anthropogene Abflussschwankungen und potentielle negative ökologische Folgewirkungen sind daher unter Umständen ein größeres Problem als derzeit angenommen wird.

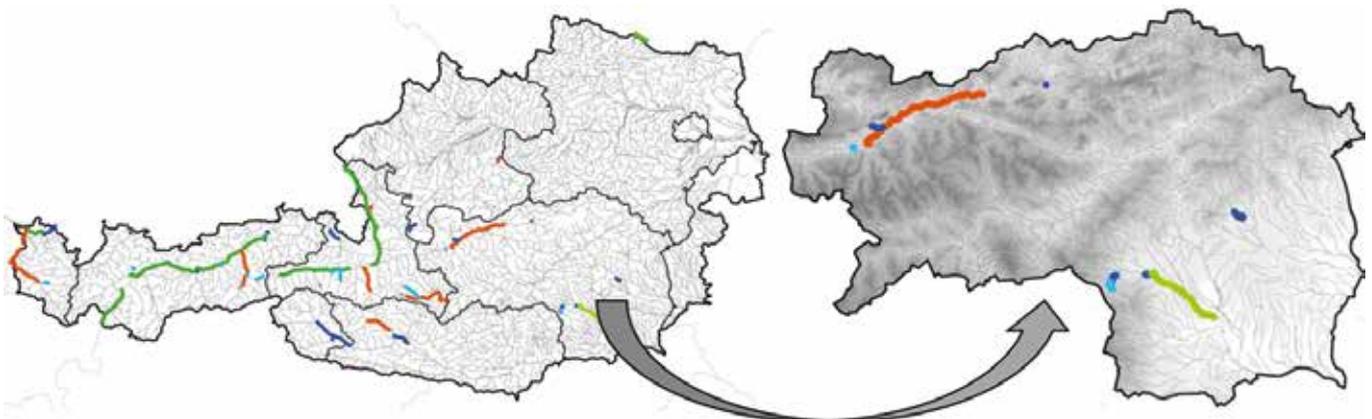


Abb. 1: Schwallbelastete Gewässerstrecken (dicke Linien) in Österreich bzw. der Steiermark (BMLFUW, 2017) (Farben kennzeichnen die jeweilige Fischregion: Epirhithral - hellblau, Metarhithral - dunkelblau, Hyporhithral - rot, Epipotamal mittel - hellgrün, Epipotamal groß - dunkelgrün)

Aufgrund der unterschiedlichen Betriebsweisen der schwallerzeugenden Kraftwerke ist die Schwallssituation an Österreichs Flüssen generell als sehr heterogen zu bezeichnen (Greimel et al., 2016).

Zudem bleibt die Schwallbelastung innerhalb eines bestimmten Gewässerabschnittes aufgrund der Retentionswirkung im Gewässer und den Effekten von Zubringern nicht konstant (Hauer et al., 2013; Hauer et al., 2014). Eine detaillierte Erfassung der hydrologischen Situation in den schwallbelasteten Gewässerstrecken ist eine essenzielle Grundlage um etwaige ökologische Auswirkungen von anthropogen erzeugten Abflussschwankungen beurteilen zu können. Durch die Analyse von Zeitreihen (Auftrittszeitpunkt, Auftrittshäufigkeit und Intensität von anthropogen erzeugten Abflussschwankungen) mehrerer Pegelstellen innerhalb einer schwallbelasteten Gewässerstrecke kann die hydrologische Situation im Längsverlauf erfasst werden (Greimel et al., 2017b; Greimel et al., in prep.). Dadurch kann in einem darauffolgenden Schritt, abhängig von der jeweiligen Entfernung zur Schwall-Einleitestelle, auf die Einhaltung oder Verfehlung bestimmter Umweltziele geschlossen werden.

Mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie wurden die Umweltziele konkret festgelegt (guter ökologischer Zustand bzw. gutes ökologisches Potential), deren Erreichung durch Schwallbelastungen gefährdet werden könnte. Es gilt das sogenannte Verbesserungsgebot sowie das Verschlechterungsverbot. In Österreich sind von Schwallbelastungen betroffene Gewässer großteils per Verordnung als „erheblich veränderter Wasserkörper“ gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie ausgewiesen. Sie müssen den Zielzustand „gutes ökologisches Potential“ erreichen. Bei der Festlegung

des guten ökologischen Potentials ist einerseits die ökologische Wirksamkeit von Maßnahmen zur Minderung der Schwallbelastung zu beurteilen. Dabei sind aufgrund der hohen Komplexität der Schwallthematik mehrere Fachdisziplinen gefordert: Ökologie, Hydrologie, Morphologie, Hydraulik und Feststoffhaushalt. Andererseits ist zu bewerten inwieweit durch die jeweiligen Maßnahmen eine signifikante Einschränkung der Nutzung der Speicherkraftwerke (systemrelevante, volks- und betriebswirtschaftliche Auswirkungen) zu erwarten ist (BMLFUW, 2009). Um gemeinsam mögliche „best-practice“ Lösungen zu entwickeln, ist eine intensive Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft, Behörde und Energiewirtschaft anzustreben, welche im Rahmen des SuREmMa Projektes als international wegweisender Benchmark realisiert werden konnte.

Best Practice: Das SuREmMa Projekt (Greimel et al., 2017c)

Unter der wissenschaftlichen Leitung der Universität für Bodenkultur Wien und e3 consult waren sechs österreichische Wasserkraftwerksbetreiber sowie Oesterreichs Energie an Bord. Die Studie entstand mit fachlicher Unterstützung des Ministeriums für ein lebenswertes Österreich (BMLFUW) und in enger Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum alpS (vgl. Abb. 2).

Ziel des SuREmMa Projektes (**Sustainable Rivermanagement – Energie-wirtschaftliche und umweltrelevante Bewertung möglicher schwalldämpfender Maßnahmen**) ist es, schwalldämpfende Maßnahmen(-pakete) hinsichtlich ihrer ökologischen Wirksamkeit sowie ihrer systemrelevanten, volks- und betriebswirtschaftlichen Auswirkungen zu bewerten und gegenüberzustellen. Das Projekt berücksichtigt dabei die Interessenslagen sämtlicher Stakeholder (Wissenschaft, Energiewirtschaft und Behörde) und ist Grundlage für ein österreichweit sowie international anwendbares Bewertungsinstrument. Darauf aufbauend können in einem nächsten Schritt differenzierte Maßnahmenpakete ausgearbeitet werden, die zeitlich und örtlich im Einzelfall an die lokalen Gegebenheiten angepasst sind und die Erreichung des Zielzustandes gewährleisten sollen.

Im Projekt wurden folgende schwalldämpfende Maßnahmen analysiert: a) Betriebliche Einschränkungen zur Verringerung des Abflussrückganges, b) die Errichtung von Dämpfungsbekken zur Verringerung von Abflussanstieg und -rückgang sowie c) Schwallausleitungskraftwerke zur Totalausleitung anthropogen bedingter Abflussschwankungen. Sämtliche Maßnahmen wurden ohne und mit Einbindung morphologischer Sanie-



Abb. 2: Am SuREmMa Projekt beteiligte Institutionen

rungsmaßnahmen (Maßnahmenpakete) untersucht.

Als repräsentative Fallbeispiele wurden zehn österreichische Speicherkraftwerke und Kraftwerksgruppen an sechs Flüssen untersucht (insgesamt 294 km Gewässerstrecke). Sie decken gemeinsam rund 4.000 MW flexible Kraftwerksleistung ab – das ist knapp die Hälfte der 2014 in Österreich installierten Leistung von Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken. Für diese Fallbeispiele wurden ausgehend vom Istzustand sogenannte hydromorphologische Wirkungsszenarien (Sanierungsszenarien, die einen standardisierten Vergleich mehrerer Fallbeispiele ermöglichen) festgelegt. Anschließend wurden die ökologischen Auswirkungen der einzelnen Wirkungsszenarien (Greimel et al., 2017b) und die systemrelevanten sowie volks- und betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der dafür jeweils umzusetzenden Maßnahmen bzw. Maßnahmenpakete (Neubarth J., 2017b) bewertet (vgl. Abb. 3).

Für eine detaillierte Bewertung der ökologischen Auswirkungen von kurzfristigen Abflussschwankungen sind zusammenfassend der morphologische Zustand der Gewässerstrecke sowie die Häufigkeit, der Auftrittszeitpunkt und die Intensität der Schwallwellen ausschlaggebend (Schmutz et al., 2013). Im Rahmen des SuREmMa Projektes wurde ein Bewertungsinstrument entwickelt, welches die potentiell vorhandenen Habitate, die Retentionswirkung im Gewässer sowie die Widerstandsfähigkeit von Organismen berücksichtigt (vgl. Abb. 4). Die im Projekt angewandte Bewertungssystematik bezieht sich auf das Stranden von Fischlarven und frühen Juvenilstadien als einen der Hauptverursacher für das Fehlen von



Abb. 3: Methodischer Ansatz zur integrativen Bewertung ökologischer und energiewirtschaftlicher Auswirkungen schwalldämpfender Maßnahmen



Abb. 4: Methodischer Ansatz zur ökologischen Bewertung von Schwallbelastungen

ausreichendem Altersaufbau und Biomasse des Fischbestandes. Sie ist jedoch ebenso einsetzbar, um weitere ökologische Auswirkungen (z. B. hinsichtlich anderer Organismengruppen) im Detail zu untersuchen.

Die im Rahmen des SuREmMa Projektes erfolgte Gegenüberstellung der ökologischen, systemrelevanten sowie volks- und betriebswirtschaftlichen Auswirkungen einzelner schwalldämpfender Maßnahmen ergab zusammenfassend folgendes Bild:

(Detailergebnisse unter: https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasser-oesterreich/plan_gewaesser_ngp/umsetzung_wasserrahmenrichtlinie/suremma.html)

- **Betriebliche Einschränkungen haben positive ökologische Folgen, aber stark negative systemrelevante, volks- und betriebswirtschaftliche Auswirkungen.**

Betriebliche Einschränkungen zur Verringerung des Abflussrückganges ergaben positive ökologische Auswirkungen. Volkswirtschaftlich und systembezogen wirkt sich die verminderte Flexibilität durch den Verlust an flexibler Leistung und Erzeugungsmengen deutlich negativ aus – etwa durch mehr CO₂-Emissionen und höhere Kosten im Versorgungssystem oder die Gefährdung der Bahnstromversorgung. Zudem führen betriebliche Einschränkungen – abhängig vom Umfang – zu starken Erlösminderungen und einer betriebswirtschaftlichen Entwertung der

Speicherkraftwerke. Aufgrund der potenziell hohen negativen Auswirkungen sind Eingriffe in den bestehenden Kraftwerksbetrieb grundsätzlich nur mit großer Vorsicht anzudenken.

- **Schwalldämpfungsbecken haben positive ökologische Folgen und wirken sich betriebs- und volkswirtschaftlich wenig aus.**

Dämpfungsbecken haben positive ökologische Auswirkungen bei Abflussanstieg und -rückgang. Dadurch verringert sich für Gewässerorganismen sowohl das Strandrungs- als auch das Driffrisiko. Die systemrelevanten und volkswirtschaftlichen Auswirkungen sind neutral, die Flexibilität des Speicherkraftwerks bleibt voll erhalten. Im Vergleich zu betrieblichen Einschränkungen verursachen Dämpfungsbecken geringe finanzielle Belastungen durch Investitions- und Betriebskosten. Ihre Errichtung wirkt sich auf die Landnutzung und das Landschaftsbild aus und ist nicht an allen Standorten möglich.

- **Schwallausleitungskraftwerke haben insgesamt die positivsten Auswirkungen, sind aber nicht überall umsetzbar.**

Schwallausleitungskraftwerke verhindern künstlich verursachte Abflussschwankungen zur Gänze. Sie haben daher die höchste ökologische Wirkung, wenn die Schwallwellen in ein erheblich größeres Gewässer oder einen See ausgeleitet werden können und in der Ausleitungsstrecke eine ökologisch angepasste Restwasserführung garantiert wird. Dazu kommen maßgebliche positive volkswirtschaftliche Effekte: Ausleitungskraftwerke stärken die Versorgungssicherheit durch zusätzliche flexible Leistung, erzeugen Strom aus erneuerbaren

Energien und sparen CO₂-Emissionen sowie Mehrkosten für alternative Stromerzeugung ein. In der aktuellen Situation am Energiemarkt sind Ausleitungskraftwerke jedoch meist nicht wirtschaftlich betreibbar. Wegen der naturräumlichen Voraussetzungen lassen sie sich auch nicht an jedem Standort umsetzen.

- **Die Kombination hydrologischer und morphologischer Sanierungsmaßnahmen bringt den größten ökologischen Nutzen.**

Die Gewässerstrecke ohne Strandrungsrisiko für Fischlarven und frühe Juvenilstadien kann durch zusätzliche morphologische Maßnahmen maßgeblich gesteigert werden. Ausschließlich morphologische Maßnahmen sind hingegen nur dann zielführend, wenn die hydrologische Belastung nicht verringert werden kann.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch das SuREmMa Projekt liegt ein national sowie international anwendbares, praxisnah erprobtes, wissenschaftlich fundiertes Bewertungsinstrument vor, um im Sinne der EU-Wasserrahmenrichtlinie verschiedene schwalldämpfende Maßnahmenzenarien im Spannungsfeld ökologischer sowie volks- und betriebswirtschaftlicher Gesichtspunkte auf Strecken- sowie Einzugsgebietsebene bewerten und gegenüberstellen zu können. Im Zuge der Umsetzung des zweiten Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans sind für schwallbelastete Gewässer detaillierte Maßnahmenplanungen zur Schwallanierung erforderlich (BMLFUW, 2017). Dabei sollen die Forschungsarbeiten fortgesetzt (SuREmMa+ Projekt) und Varianten- sowie Machbarkeitsstudien erstellt werden, die als Grundlage zur konkreten Definition des Zielzustandes herange-

zogen werden können. Eine anschließende Maßnahmenumsetzung mit adaptiver Forschungsbegleitung (Entwicklung von effizienten Monitoringstandards, adaptive Berücksichtigung der neuesten Forschungsergebnisse) sowie die Identifikation von Synergieeffekten (z. B. mit der EU-Hochwasserrichtlinie) sind anzustreben.

Durch die langjährige Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft, Energiewirtschaft und Behörde im Rahmen des SuREmMa Projektes bzw. aufgrund vorangehender Studien (Habersack et al., 2012; Schmutz et al., 2013) und die dadurch wiederholt geführten intensiven Diskussionen wurde die Basis für ein gegenseitig vertieftes Verständnis und eine Akzeptanz der unterschiedlichen Interessenslagen geschaffen. Die unterschiedlichen Sichtweisen konnten dadurch zu einem umfassenden und integrativen Gesamtbild verknüpft werden, wodurch gegenseitige Vorurteile abgebaut und „Totschlagargumente“ entkräftet werden konnten. Das ermöglichte in weiterer Folge gemeinsam nach geeigneten Lösungswegen zu suchen. Dieser „gemeinsame Weg“ hat gezeigt, dass trotz komplexer Thematik und schwieriger Ausgangssituation faktenbasierte Ergebnisse erarbeitet werden können, welche letztendlich von allen beteiligten Interessengruppen getragen werden. Dazu ist es vor allem erforderlich, dass offen geführte Diskussionen gepflegt werden, in welchen die jeweiligen Interessenslagen bzw. die zu erwartenden Interessenskonflikte und mögliche Lösungswege im Detail erörtert werden und sämtliche Beteiligte eine „gewisse Ausdauer“ an den Tag legen. Diese Vorgehensweise bzw. der dadurch bedingte gegenseitige Lernprozess mag mühsam sein, ist aber erfolgversprechend, wie durch das SuREmMa

Projekt aufgezeigt werden konnte. Es erscheint daher wünschenswert den hinsichtlich Schwallanierung eingeschlagenen Weg fortzusetzen bzw. auch abseits der Schwallthematik vermehrt einzuschlagen, um - zum Wohle aller - den Zustand unserer Gewässer bei gleichzeitiger Gewässernutzung schrittweise verbessern zu können. ■

Literatur

- Auer S., Fohler N., Zeiringer B., Führer S., Schmutz S. (2014) Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik - Drift und Stranden von Äschen und Bachforellen während der ersten Lebensstadien. Forschungsbericht. BMLFUW (2009) Leitfaden zur Bewertung erheblich veränderter Gewässer – Biologische Definition des guten ökologischen Potentials. BMLFUW (2017) Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015, Wien.
- Gibbins C., Vericat D., Batalla R. (2007) When is stream invertebrate drift catastrophic? The role of hydraulics and sediment transport in initiating drift during flood events. *Freshwater Biology* 52:2369–2384.
- Greimel F., Zeiringer B., Höller N., Grün B., Godina R., Schmutz S. (2016) A method to detect and characterize sub-daily flow fluctuations. *Hydrological Processes* 30:2063–2078.
- Greimel F., Zeiringer B., Höller N., Grün B. & S. Schmutz (2017a): Technischer Bericht A - Kurzfristige Abflussschwankungen in Österreich. Ergänzung zu Endbericht: Suremma, Sustainable River Management - Energiewirtschaftliche und umweltrelevante Bewertung möglicher schwalldämpfender Maßnahmen. Forschungsbericht, Wien, Innsbruck, 20 Seiten.
- Greimel F., Zeiringer B., Hauer C., Holzapfel P., Fuhrmann M., Haslauer M., Führer S., Höller N., Grün B., Habersack H. & S. Schmutz (2017b): Technischer Bericht B - Ökologische Bewertung schwalldämpfender Maßnahmen sowie weiterführende Analysen und Modelle. Ergänzung zu Endbericht: Suremma, Sustainable River Management - Energiewirtschaftliche und umweltrelevante Bewertung möglicher schwalldämpfender Maßnahmen. Forschungsbericht, Wien, Innsbruck, 69 Seiten.
- Greimel F., Neubarth J., Fuhrmann M., Führer S., Habersack H., Haslauer M., Hauer C., Holzapfel P., Auer S., Pfleger M., Schmutz S. & Zeiringer B. (2017c): SuREmMa, Sustainable River Management - Energiewirtschaftliche und umweltrelevante Bewertung möglicher schwalldämpfender Maßnahmen. Forschungsbericht, Wien, 92 Seiten.
- Greimel F., Zeiringer B., Führer S., Holzapfel P., Fuhrmann M., Höller N., Hauer C., Schmutz S. (in prep.) Longitudinal assessment of hydropeaking intensity and frequency based on multiple hydrograph curves – a method proposal.
- Habersack H., C. Hauer, P. Holzapfel, M. Haimann, B. Schober, S. Köfmmüller, T. Fellner, A. Stebegg, L. Gugger, R. Rieger, W. Graf, G. Unfer, P. Leitner, C. Steidl, G. Salcher & G. Ochsenhofer (2012): Grundlagenuntersuchungen und Methodikentwicklung zur Bewertung des Schwallinflusses bei unterschiedlichen Flusstypen - SCHWALL_2012 - Synthesebericht, 222 S.
- Halleraker J. H., Saltveit S. J., Harby A., Arnekleiv J. V., Fjeldstad H. P., Kohler B. (2003) Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Research and Applications* 19(5-6):15–20.
- Hauer C., Schober B., Habersack H., Impact analysis of river morphology and roughness variability on hydropeaking based on numerical modelling. *Hydrological Processes*, Vol. 27(15), (2013), pp 2209-2224.
- Hauer C., Unfer G., Holzapfel P., Haimann M., Habersack H., Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 39(12), (2014), pp 1622-1641.
- Layzer J., Nehus T., Pennington W., Gore J., Nestler J. (1989) Seasonal variation in the composition of the drift below a peaking hydroelectric project. *Regulated Rivers: Research & Management* 3(1):29–34.
- Limnex (2004) Auswirkungen des Schwallbetriebes auf das Ökosystem der Fließgewässer: Grundlagen zur Beurteilung, Zürich.
- Neubarth J. (2017a): Technischer Bericht C - Die Rolle der Speicherwasserkraft im österreichischen und europäischen Stromversorgungssystem. Ergänzung zu Endbericht: Suremma, Sustainable River Management - Energiewirtschaftliche und umweltrelevante Bewertung möglicher schwalldämpfender Maßnahmen. Forschungsbericht, Wien, Innsbruck, 72 Seiten.
- Neubarth J. (2017b): Technischer Bericht D - Energiewirtschaftliche Bewertung von schwalldämpfenden Maßnahmen für repräsentative Fallbeispiele. Ergänzung zu Endbericht: Suremma, Sustainable River Management - Energiewirtschaftliche und umweltrelevante Bewertung möglicher schwalldämpfender Maßnahmen. Forschungsbericht, Wien, Innsbruck, 64 Seiten.
- Schmutz S., Fohler N., Friedrich T., Fuhrmann M., Graf W., Greimel F., Höller N., Jungwirth M., Leitner P., Moog O., Melcher A., Müllner K., Ochsenhofer G., Salcher G., Steidl C., Unfer G., Zeiringer B. (2013) Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten, Wien.
- Schmutz S., Bakken T., Friedrich T., Greimel F., Harby A., Jungwirth M., Melcher A., Unfer G., Zeiringer B. (2015) Response of fish communities to hydrological and morphological alterations in hydropeaking rivers of Austria. *River Research and Applications* 31: 919–930.
- Young P., Cech J., Thompson L. (2011) Hydropower-related pulsed flow impacts on stream fishes: a brief review, conceptual model, knowledge gaps, and research needs. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 21:713–731.