Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 105 (2013)

Heft: 1

Artikel: Hydroökologie und nachhaltiges Auenmanagement : die Sandey-Aue als Modellökosystem für eine Konzeptstudie

Autor: Doering, Michael / Schweizer, Steffen / Blaurock, Martina

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941537

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: 09.07.2025

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

Hydroökologie und nachhaltiges Auenmanagement

Die Sandey-Aue als Modellökosystem für eine Konzeptstudie

Michael Doering, Steffen Schweizer, Martina Blaurock, Silvia Oppliger, Matthias Fuchs, Christopher T. Robinson

Zusammenfassung

Die Sandey-Aue, gelegen im Urbachtal im Kanton Bern, ist eine Aue von nationaler Bedeutung. Aufgrund ihrer vielfältigen Habitatstrukturen und ihrem dynamischen Abflussregime ist sie von einer hohen Diversität geprägt und damit ökologisch von besonderem Interesse. Allerdings ist diese Diversität aufgrund von Wasserkraftnutzung, extensiver Landwirtschaft und insbesondere durch eine Vielzahl von Verbauungen zum Hochwasserschutz beeinträchtigt.

Das in diesem Zusammenhang gegründete Projekt «Hydroökologie und nachhaltiges Auenmanagement» wurde von Vertretern verschiedener Interessengruppen initiiert und verbindet Wissenschaft und Praxis. Im Rahmen des Projekts werden integrative Methoden ausgearbeitet, um die Entwicklung von Auensystemen auf Landschaftsebene zu bewerten, vorherzusagen und zu beobachten. Dazu werden aussagekräftige und einfach anwendbare Indikatoren, ein digitales Oberflächenmodell, ein hydraulisches und hydrologisches Abflussmodell sowie Fernerkundungsmethoden miteinander verknüpft. Durch diese Kombination lassen sich Auswirkungen von historischen Eingriffen auf das System bewerten, die Wirkung von Massnahmen, wie das Entfernen von Verbauungen, auf Ökologie, Hochwasserschutz und Landnutzung vorhersagen, sowie die Auswirkungen von umgesetzten Massnahmen langfristig beobachten. Das Vorgehen erlaubt, sozioökonomische und ökologische Interessen gleichermassen zu berücksichtigen und damit Aufwertungsmassnahmen zu planen, zu bewerten und im Sinne eines adaptiven Managements gegebenenfalls anzupassen.

1. Auenlandschaften

Auenlandschaften sind sehr heterogene und dynamische Ökosysteme. Ihre strukturelle Vielfalt ist durch verschiedene terrestrische (z.B. Weich- und Hartholzaue, Inseln, Kiesbänke) und aquatische Habitattypen (z.B. Altarme, Haupt- und Nebengerinne, temporäre und permanente Tümpel) geprägt. Im Wesentlichen hängen diese verschiedenen Lebensräume von einem ausreichenden Flächenangebot, ausreichender Geschiebezufuhr und einer möglichst uneingeschränkten Überflutungsdynamik ab. Diese Dynamik ist die Voraussetzung für immer wiederkehrende Prozesse von Erosion, Deposition, Überflutung und Trockenfallen und bedingt so einen ständigen Wechsel der Habitate und deren Lebensbedingungen. Daher werden Auen auch als sich ändernde Habitatmosaike bezeichnet (Stanford et al. 2005). Aufgrund dieser Eigenschaften bieten sie Raum für eine Vielzahl verschiedener Pflanzen- und Tierarten und tragen einen sehr grossen Anteil zum Erhalt der heimischen Biodiversität bei. Heute haben Auenlandschaften in der Schweiz lediglich einen Anteil von ~0.3% an der Landesfläche. Dennoch leben rund 10% der heimischen Fauna ausschliesslich, 32% regelmässig und 42% gelegentlich in Auen (Rust-Duebié et al. 2006).

Neben ihrer Bedeutung für die Biodiversität erfüllen Auen aber auch zahlreiche Funktionen in Bezug auf gesellschaftliche Bedürfnisse wie Trinkwasserversorgung, Energieproduktion, Wasserreinigung, Hochwasserschutz und Erholung. Diese verschiedenen Nutzungsarten üben einen grossen Druck auf die schweizerischen Auensysteme aus. Während Nutzungen des Wassers zur Stromproduktion oder zur Bewässerung hauptsächlich das Abflussregime beeinflussen, reduzieren Landwirtschaft und Hochwasserschutzdämme häufig die für eine Auenentwicklung nötige Fläche oder unterbinden die Vernetzung von Auenlandschaften. Schätzungen zu Folge sind in der Schweiz bereits mehr als 70% aller Auengebiete verschwunden und nur noch sehr wenige Objekte befinden sich in einem naturnahen Zustand (Lachat et al. 2010).

Aktuelle Klimavorhersagen, wenn auch mit Unsicherheiten behaftet, prognostizieren für die alpinen Regionen eine Verschiebung der Niederschläge in den späten Winter und Frühling. Dies erhöht wiederum die Wahrscheinlichkeit von Überflutungen im Frühjahr und Trockenperioden im späten Sommer (Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL) und Hydrologische Kommission (CHy) 2011). Auf diese Tendenz forcierend dürfte sich auch der zukünftige Gletscherrückzug auswirken. Insbesondere für Auenlandschaften ergeben sich so neue Herausforderungen, die sowohl die Verteilung der Ressource Wasser als auch den Hochwasser- und Gewässerschutz betreffen.

Das revidierte Gewässerschutzgesetz (GSchG; in Kraft seit Januar 2011) sieht unter anderem für die kommenden Jahrzehnte die Revitalisierung von Gewässern (Art. 38a GSchG) sowie die Sicherung und extensive Bewirtschaftung des Gewässerraums (Art. 36a GSchG) vor. Innerhalb der nächsten 80 Jahre sollen etwa 25% der insgesamt 15 000 km beeinträchtigten Gewässerabschnitte revitalisiert werden (Göggel 2012). Ausserdem sind zur Reduktion der negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung verschiedene Sanierungsmassnahmen geplant, wie die Verminderung der negativen Auswirkungen des Schwall-Sunk-Betriebs (Art. 39a GSchG), die Reaktivierung des Geschiebehaushaltes (Art. 43a GSchG) und die Wiederherstellung der freien Fischwanderung (Art. 10 Bundesgesetz über die Fischerei).

Die verschiedenen sozioökonomischen und ökologischen Interessen haben prinzipiell ein hohes Konfliktpotenzial. Damit stellen sie grosse Anforderungen an ein nachhaltiges Gewässer- und Auenmanagement mit dem Ziel, einen tragfähigen Kompromiss zwischen Gewässerschutz, Gewässernutzung und Hochwasserschutz zu finden. Um diese komplexe Aufgabe anzugehen, müssen zunächst die Zusammenhänge zwischen diesen einzelnen Bereichen in Form einer integrativen Sichtweise verstanden und berücksichtigt werden. Sowohl für die Wissenschaft als auch für die Praxis stellt sich damit folgende Frage: Welche Massnahmen sind zu ergreifen, um die Struktur und Funktion eines Auensystems zu erhalten und gleichzeitig von seinen Leistungen zu profitieren, ohne dabei die Tragfähigkeit des Systems zu überschreiten und den Hochwasserschutz zu vernachlässigen?

2. Das Forschungsprojekt «Hydroökologie und nachhaltiges Auenmanagement»

Im Jahr 2011 gründete die Eawag gemeinsam mit den Kraftwerken Oberhasli AG das aktuelle Forschungsprojekt «Hydroökologie und nachhaltiges Auenmanagement», welches von den Bundesämtern für Umwelt und Raumentwicklung, dem Amt für Naturförderung des Kantons Bern und der Auenberatungsstelle (Service conseil Zones alluviales) unterstützt wird. In diesem Forschungsprojekt werden exemplarisch Möglichkeiten entwickelt, wie sich verschiedene sozioökonomische und ökologische Interessen im Sinne eines integrativen und nachhaltigen Gewässer- und Auenmanagement vereinbaren lassen. Für diese Konzeptstudie dient die Auenlandschaft Sandey im Kanton Bern als Modellökosystem. Im Rahmen des EU Interreg IVB Projektes «Alp Water Scarce – Risikoprävention von Wasserknappheit im Alpinen Raum» konnte die Aue als konkretes Untersuchungsobjekt bereits wichtige Daten und Erkenntnisse liefern (www.alpwaterscarce.eu; Hohenwallner et al. 2011). Diese Daten bilden die Grundlagen zu dem oben erwähnten und aktuell laufenden Projekt, an dem sich mittlerweile auch internationale Institute aus Slowenien und den USA beteiligen *(Tabelle 1)*.

Forschungsinstitutionen:	Bundes- und Kantonale Ämter:	Private und Planungsbüros:	Referenzsysteme:
Eawag (Projektleitung)	Bundesamt für Umwelt (BAFU)	Kraftwerke Oberhasli AG	Soća Auen (Slowenien)
EPFL	Amt für Raumentwickung (ARE)	Auenberatungsstelle (Service conseil Zones alluviales)	Tagliamento Auen (Italien)
National Institute of Biology (Slowenien)	Abteilung Naturförderung (ANF) Bern		
Universität Texas (USA)			
Universität Montana (USA)			

Tabelle 1. Am Projekt beteiligte Akteure und untersuchte Referenzsysteme.

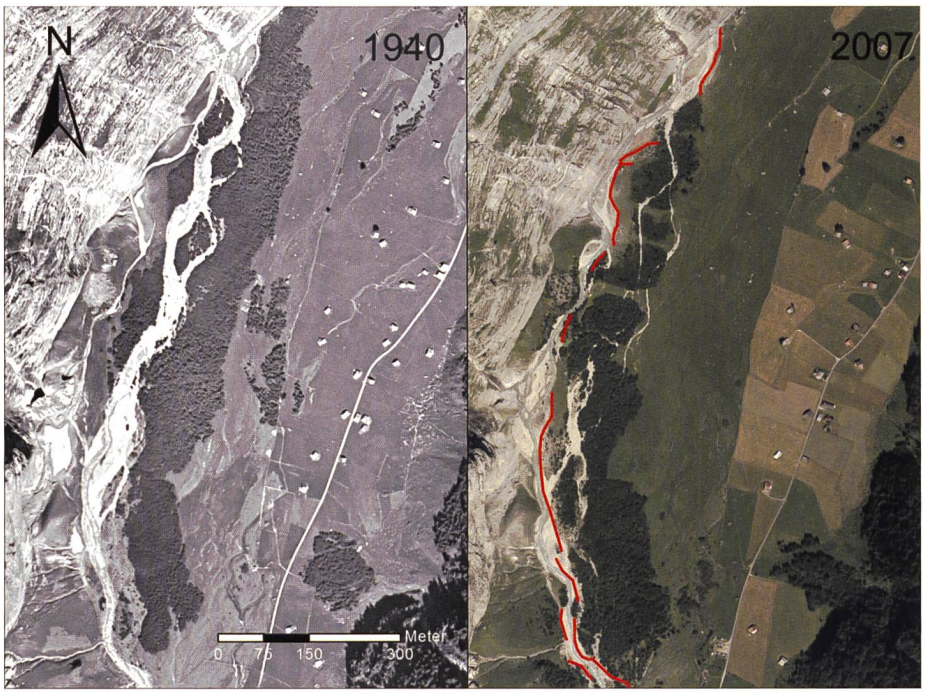


Bild 1. Der Vergleich von Luftbildern zeigt deutlich, wie sich der abgebildete Teilabschnitt der Sandey-Aue zwischen 1940 (links) und 2007 (rechts) verändert hat. Die roten Linien markieren die Lage von Hochwasserschutzdämmen (Quelle: Swisstopo).

2.1 Die Sandey-Aue – Ein Modellökosystem für ein nachhaltiges Auenmanagement

Die Sandey-Aue liegt im unteren Teil des Urbachtals (800–900 m ü.M.), direkt oberhalb der Ortschaft Innertkirchen im Kanton Bern *(Bild 1)*. Der Schutzstatus entspricht einer Aue von nationaler Bedeutung. Die knapp vier Kilometer lange und bis zu 600 m breite Aue umfasst rund 125 ha und erstreckt sich von Süd nach Nord. Auf der orographisch linken Seite begrenzt die Steilwand der Engelhörner die räumliche Ausdehnung der Aue, auf der rechten Seite befinden sich mehrere hundert Meter breite Weideflächen. Geologisch ist das Gebiet hauptsächlich durch Kalkstein geprägt, im Oberlauf kommt auch kristallines Gestein vor (Labhart 2007). Das Abflussregime des Urbachwassers lässt sich als glazionival beschreiben, mit höchsten Abflussmengen zur Schnee- und Gletscherschmelze im Sommer (mittlerer Jahresabfluss zwischen 1 und 2 m^3/s). Starkregenereignisse treten fast ausschliesslich im Sommerhalbjahr auf und lösen regelmässig Überflutungen aus (mittleres jährliches Hochwasser (HQ_1) ~16 m^3/s), die zu einer ausgeprägten Expansions- und Kontraktionsdynamik des Systems führen. In der Aue kommen alle für Auenlandschaft typischen aquatischen und terrestrischen Habitate vor, insbesondere verschiedene Gerinneläufe, Seitenarme, Zuflüsse, Inseln, Auenwälder und Schotterbänke mit und ohne Pioniervegetation.

Allerdings ist die heutige Situation der Aue durch hydrologische und morphologische Eingriffe beeinträchtigt. Im Jahr 1950 wurde etwa sechs Kilometer oberhalb des Auengebietes auf 1875 m ü.M. der Mattenalpsee mit einem Fassungsvermögen von rund zwei Mio m^3 durch die Kraftwerke Oberhasli AG errichtet errichtet. Das hier gefasste Wasser wird unterirdisch in das Aaretal abgeleitet und zur Stromproduktion in den Kraftwerken Handeck und Innertkirchen genutzt. Dadurch fliessen heute nur noch rund 70% des natürlichen Abflusses durch die Sandey-Aue.

Im Rahmen der Restwassersanierung der Gewässer im Oberhasli wurde die Bedeutung des Restwasserregimes für die Sandey-Aue genauer untersucht

(Schweizer et al. 2010, Doering et al. 2012). Das relativ grosse Zwischeneinzugsgebiet zwischen Mattenalpsee und der Sandey-Aue, das regelmässige Auftreten von Überlaufsituationen am Mattenalpsee sowie häufige Starkniederschlagsereignisse in dieser Region gewährleisten eine relativ naturnahe Hochwasser- und Geschiebedynamik. Am 1. Januar 2013 wurde die Restwassersanierung im Oberhasli umgesetzt. Dabei wird aus den oben genannten Gründen auf künstliche Hochwasserdotierungen ab Mattenalpsee verzichtet und nur eine geringe saisonale Erhöhung der Restwassermengen ab Mattenalpsee festgelegt (Schweizer & Zeh Weissmann 2011).

Aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung und verschiedener Hochwasserereignisse wurden in den 1950er- und insbesondere in den 1990er-Jahren zahlreiche Längsverbauungen zum Überflutungsschutz in den aktiven Teil der Aue eingesetzt.

Diese oben beschriebenen hydrologischen und insbesondere morphologischen Einschränkungen in Form von Längsverbauungen haben eine starke Einschränkung der Auendynamik zur Folge und zu einem Flächenverlust von auentypischen Habitaten beigetragen (Doering et al. 2012; *Bild 1*).

2.2 Das Forschungsprojekt

Aufgrund der oben genannten Bedingungen bezüglich Habitatvielfalt und Nutzungseingriffen bietet die Sandey-Aue ideale Voraussetzungen, um Ansätze hinsichtlich eines integrativen und nachhaltigen Gewässermanagements zu entwickeln. Dazu vereint das interdisziplinäre Forschungsprojekt «Hydroökologie und nachhaltiges Auenmanagement» insgesamt drei Schwerpunkte:

- *Indikatorenbildung*, um Zusammenhänge zwischen Einflüssen und Auswirkungen zu erkennen, sowie qualitativ und quantitativ zu beschreiben,
- *Modellierungen*, um diese Zusammenhänge vorherzusagen, zu quantifizieren und Revitalisierungsmassnahmen effizient unter Berücksichtigung des Hochwasserschutzes zu planen und
- ein umfassendes *Monitoring*, um Veränderungen durch potenzielle Revitalisierungsmassnahmen zu bewerten und gegebenenfalls anzupassen.

Hierzu werden verschiedene Methoden wie Feldarbeit, Modellierung, Raumanalyse und Fernerkundung kombiniert und auf nationaler und internationaler Ebene verschiedene Akteure und Referenzsysteme miteinbezogen *(Tabelle 1)*. Dadurch haben die in diesem Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse und Methoden das Potenzial, auch auf andere Auensysteme übertragen und angewendet zu werden. Des Weiteren erlaubt der Einsatz von Raumanalyse mittels Geographischer Informationssysteme (GIS) und Fernerkundung die Ergebnisse auf Landschaftsebene zu erfassen und zu quantifizieren, um somit Aussagen auf der Ebene eines ganzen Ökosystems treffen zu können. Ziel des Gesamtprojektes ist es, allgemeingültige Management- und Entscheidungshilfen zu entwickeln, die den Planungsprozess, aber auch die Bewertung von Revitalisierungsmassnahmen effektiv unterstützen. Darüber hinaus können mit den Forschungsresultaten wichtige Grundlagen für den Dialog zwischen verschiedenen Akteuren sowie eine partizipative und transparente Entscheidungsfindung geschaffen werden, um so zu einem möglichst nachhaltigen und integrativen Auenmanagement zu gelangen *(Bild 2)*.

2.2.1 Indikatoren – Verknüpfung von Struktur und Funktion

Vielfältige Habitatstrukturen gelten allgemein als eine der wichtigsten Voraussetzungen zur Entwicklung und Erhaltung der Biodiversität. Daher ist es sowohl aus wissenschaftlicher als auch aus praktischer Sicht bedeutend, strukturelle Indikatoren zu finden, die zum einen eng mit den ökologischen Funktionen verknüpft sind und zum anderen auch auf Modifikationen des natürlichen Abflussregimes und/oder auf morphologische Eingriffe sensitiv reagieren. Ausserdem sollten diese Indikatoren mit einem vertretbaren Aufwand in der Praxis angewendet werden können. Für komplexe Auenlandschaften, die nicht nur aus aquatischen sondern auch aus terrestrischen Habitaten bestehen, sind bisher nur wenig entsprechende Indikatoren entwickelt worden (Turner 2010, Tockner et al. 2010). Ein vielversprechender Ansatz für die Entwicklung der entsprechenden Indikatoren besteht darin, die ökologischen Funktionen über die strukturellen Veränderungen zu erfassen (Doering et al. 2011, Shugart, 1998, Turner 2010). Dieser Ansatz erlaubt ein relativ einfaches Vorgehen, bei dem typische Auenstrukturen sowie ihre zeitliche und räumliche Veränderung mittels Modellierung (Kapitel 2.2.2) für künftige Zustände prognostiziert werden oder mit Hilfe historischer und aktueller Fernerkundungsdaten ohne grösseren Aufwand rekonstruiert und quantifiziert werden können (Kapitel 2.3).

In der Sandey-Aue unterscheiden sich die räumlich eng beieinander liegenden aquatischen und terrestrischen Habitate deutlich in ihren biotischen und abiotischen Eigenschaften wie Hydrochemie, Temperatur, Gehalt an organischem Material oder Korngrössenverteilung. So sind Schotterflächen im Allgemeinen sehr «harsche» Habitattypen, die durch hohe Temperaturschwankungen, einem geringen Gehalt an organischem Material und stän-

Bild 2. Konzept zu einem nachhaltigen Fluss- und Auenmanagement: Mit Hilfe interdisziplinärer Forschung, verschiedenen Referenzsystemen und Partnern aus Wissenschaft und Praxis werden Indikatoren entwickelt und mit Modellen verknüpft. Ein Monitoring ist nötig, um die ökologischen Zusammenhänge und Entwicklungen zu untersuchen.

dig wechselnden hydrologischen Bedingungen (Überflutung und Trockenfallen) gekennzeichnet sind. Inseln und Auenwälder weisen hingegen eher ausgeglichene Bedingungen sowie einen relativ hohen Gehalt an organischem Material auf (Bodmer 2011; Doering et al. 2011; Tonolla et al. 2010). Diese Unterschiede in der Struktur der einzelnen Habitate spiegeln sich sowohl in der Besiedlung durch Invertebraten (Wirbellose) im aquatischen als auch in der Umsetzung von organischem Material im aquatischen und terrestrischen Bereich wieder. So unterscheidet sich das Makrozoobenthos deutlich in Arten- und Individuenzahl sowie Biomasse zwischen dem Hauptgerinne, temporären und permanenten Zuflüssen (Robinson und Doering 2012; *Bild 3*).

Entsprechende Unterschiede finden sich auch hinsichtlich der Respirationsraten. Respiration, gemessen als CO_2 Produktion pro m^2 Bodenfläche, ist ein Schlüsselprozess im Kohlenstoffkreislauf. Mit diesem Prozess lässt sich der Umsatz von organischem Material bzw. des Kohlenstoffs, einer wichtigen Energiequelle in aquatischen und terrestrischen Ökosystemen, und auch die mikrobielle Aktivität abschätzen (Uehlinger et al. 1995). Respirationsraten reagieren sehr sensitiv auf Umweltveränderungen und können somit gut als Indikator herangezogen werden. Die Respirationsraten unterscheiden sich signifikant in den einzelnen Habitattypen. Hohe Respirationsleistungen finden sich in Habitaten mit einem hohen Anteil an organischem Material und relativ konstanten Umweltbedingungen (Inseln und Auenwald). Dagegen treten niedrige Respirationsleistungen in Habitaten mit stark wechselnden Umweltbedingungen (Schotter und Gerinne) und geringeren Anteilen an organischem Material auf. Beim Vergleich der Ergebnisse mit Messungen in den relativ natürlichen Auen des Tagliamento in Italien, einem der letzten grossen natürlichen Wildflüsse Europas, und der Soća (Triglav Nationalpark, Slowenien) wurde jeweils der gleiche Trend gefunden. Dieser Umstand lässt eine gewisse Generalisierung zwischen verschiedenen Auensystemen zu (Bodmer 2011; *Bild 4*).

Ausserdem ist es bemerkenswert, dass die Respirationsraten in diesen Auensystemen auf kleinsten Raum Werte aufweisen, die fast die gesamte Bandbreite der weltweiten Biome (Grosslebensräume) umfassen. So entsprechen die Respirationsraten, die auf den Schotterflächen gemessen wurden, denen, wie sie in der arktischen Tundra vorkommen (~0.1 kg Kohlenstoff pro m^2 und Jahr), während auf den bewaldeten Inseln gemessene Werte denen in tropischen Regenwäldern gleichen (~1.1 kg Kohlenstoff pro m^2 und Jahr; Doering et al. 2011).

Diese Ergebnisse aus den Untersuchungen zum Makrozoobenthos und der Respiration zeigen deutlich den engen Zusammenhang zwischen Habitatstruktur und Habitatfunktionen auf. Eine heterogene Habitatstruktur sowie eine naturnahe Verteilung der verschiedenen Habitatty-

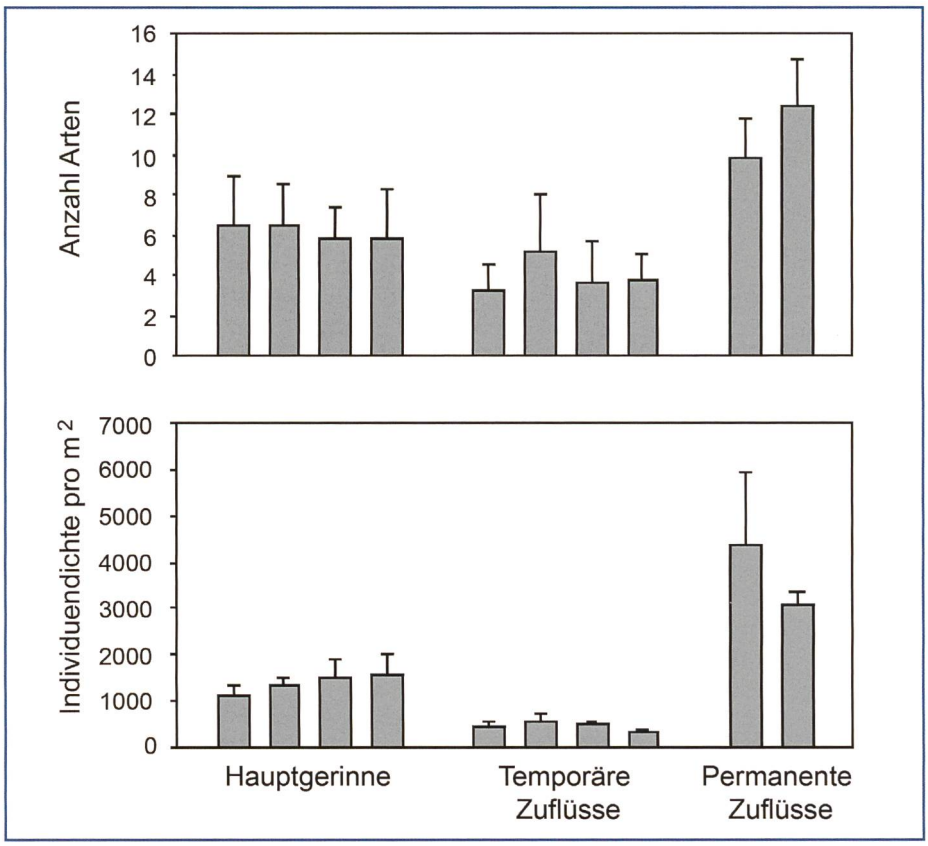


Bild 3. Sowohl die Artenanzahl (oben) als auch die Individuendichte (unten) von Wirbellosen in den verschiedenen aquatischen Habitaten der Sandey-Aue zeigen deutliche Unterschiede. Die Daten zeigen die Mittelwerte und Standartabweichung aus einem monatlichen Monitoring in 2009 und 2010 in vier Bereichen entlang des Hauptgerinnes, sowie in ausgewählten temporären und permanenten Zuflüssen.

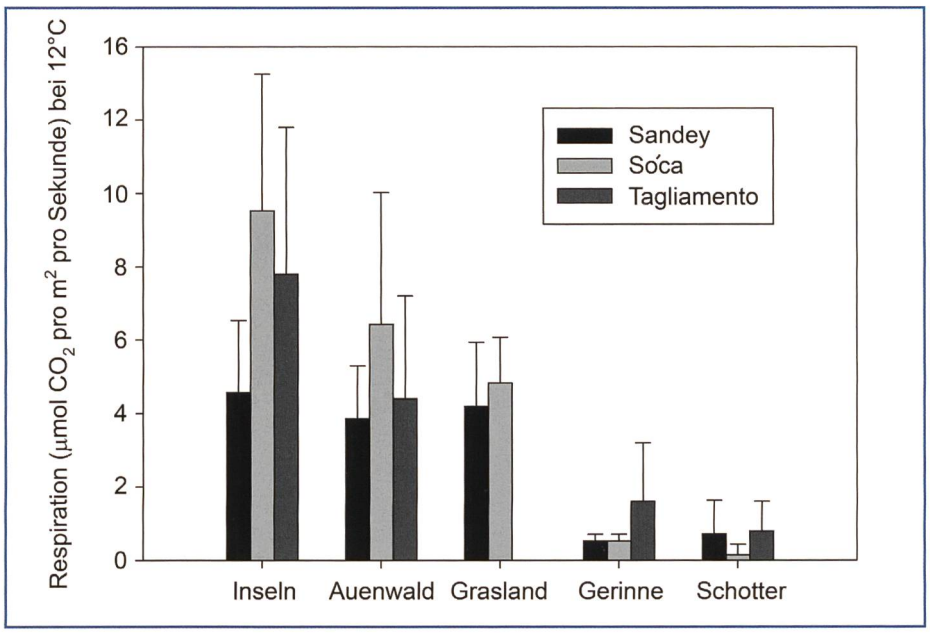


Bild 4. Die Respirationsraten (µmol CO_2 pro m^2 pro Sekunde standardisiert auf 12 °C; Mittelwerte und Standartabweichungen) der Auen der Sandey, der Soća (Slowenien) und des Tagliamento (Italien) zeigen deutlich ein gemeinsames Muster, was eine gewisse Vergleichbarkeit zwischen den Auensystemen in Mitteleuropa zulässt.

pen sind somit die Grundvoraussetzung für eine hohe Bio- und Prozessdiversität. Dabei ist zu beachten, dass die verschiedenen Habitate einer hohen Dynamik in ihrer räumlichen Lage unterworfen sind. Dies ist hauptsächlich auf die immer wiederkehrende Abfolge von Hoch- und Niedrigwasserereignissen zurückzuführen. In natürlichen Auensystemen bleiben trotz dieser hohen Dynamik die relativen Anteile der einzelnen Habitattypen aber weitestgehend konstant. Dieses Phänomen wird in der wissenschaftlichen Literatur als das sogenannte «Shifting Habitat Steady State Concept» bezeichnet (Stanford et al. 2005).

In der Regel verändern sich in anthropogen beeinträchtigten Auenlandschaften die relativen Anteile und Flächen der verschiedenen Habitattypen und damit auch, wie oben beschrieben, wichtige Habitatfunktionen. Inseln z.B. sind einer der ersten Habitattypen, die im Zuge von hydrologischen und/oder morphologischen Veränderungen aus Auensystemen verschwinden (Gurnell et al. 2001), während eine Störung des natürlichen Geschiebehaushalts mit einer Reduktion an Schotterflächen und Kiesbänken einhergehen kann. Daher eignet sich die Veränderung der Anteile der verschiedenen Habitattypen sehr gut für eine relativ einfache Grundbewertung des ökologischen Zustands einer Aue. Liegen zusätzlich historische Luftbilder vor, lässt sich mit dieser Methode auch die ökologische Entwicklung einer Aue beschreiben (Kapitel 2.3). Wird ein digitales Geländemodell mit einem hydraulischen und hydrologischen Modell kombiniert und sind Niedrig-, Mittel- und Hochwasserabflüsse bekannt, lassen sich künftige Eingriffe oder Aufwertungsmassnahmen im Auensystem mit diesem Ansatz objektiv abschätzen (Kapitel 2.2.2).

2.2.2 Modellierung – Vorhersage von Habitatstrukturen und Hochwasserschutz

Eine der aktuellen Forschungsthemen in der Ökologie ist wie sich verschiedene hydrologische und morphologische Faktoren und insbesondere deren Wechselwirkungen auf die Struktur und Funktion in Ökosystemen auswirken (Turner 2010). Gleichzeitig hat diese Fragestellung auch eine grosse Bedeutung in Bezug auf Revitalisierungsmassnahmen von Flüssen und deren Auenlandschaften: In der Praxis stellt sich häufig die Frage, ob es aus ökologischer Sicht effektiver ist, hydrologische oder morphologische Anpassung vorzunehmen oder ob beide Aspekte verbessert werden müssen, um einen Fluss und sein Auensystem wirksam aufzuwerten.

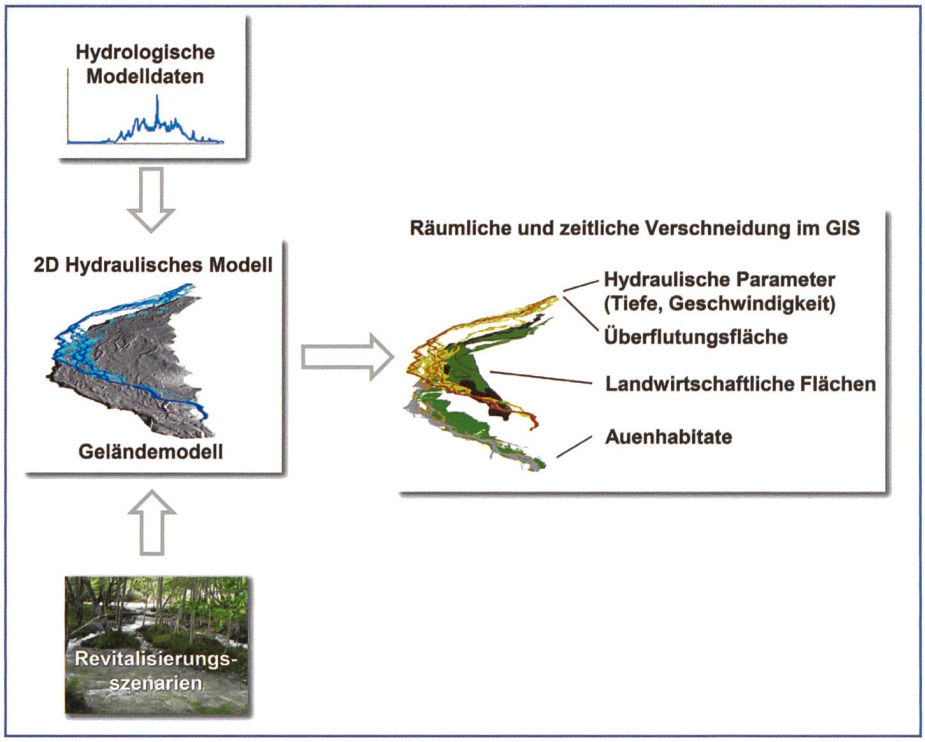


Bild 5. Schematische Darstellung der Modellierung mit anschliessender Datenanalyse im Geographischen Informationssystem (GIS).

In der Praxis können die ökologischen Anliegen allerdings nur erreicht werden, wenn gleichzeitig auch der Hochwasserschutz gewährleistet ist. Im Sinne eines integrativen Einzugsgebietsmanagements bedarf es daher, dass sowohl die Schutz- als auch Nutzungsinteressen in die Planungen miteinbezogen werden (BAFU 2012). In intensiv genutzten Auenlandschaften ist dies in der Regel ein komplexes Vorhaben. Deshalb müssen die künftigen Auswirkungen von Aufwertungsmassnahmen auf den Hochwasserschutz und auf die Auenökologie mit einem möglichst objektiven Bewertungssystem getroffen werden. Ein integrativer Ansatz, um die Auswirkungen von Revitalisierungsvorhaben auf beide Aspekte abzuschätzen, ist die Modellierung auf Landschaftsebene.

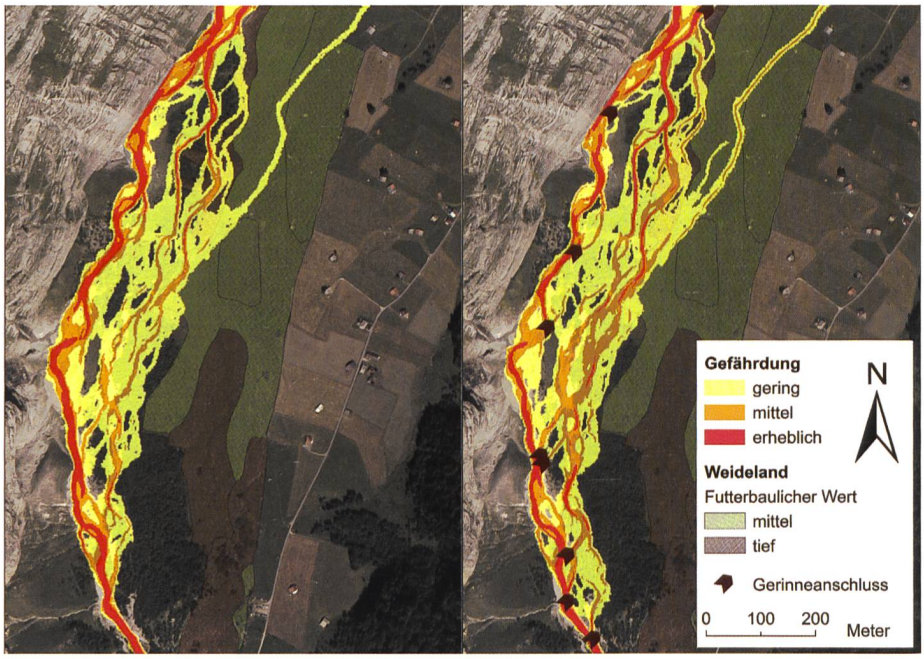


Bild 6.1. Erste Modellergebnisse der Gefährdung der Landwirtschaftsflächen durch Hochwasser mit einer Wiederkehrdauer von 30 Jahren (HQ_{30}) ohne (links) und mit ausgewählten simulierten Aufwertungsmassnahmen (Gerinneanschluss durch Dammentfernung; rechts) zeigen nur geringfügige Unterschiede.

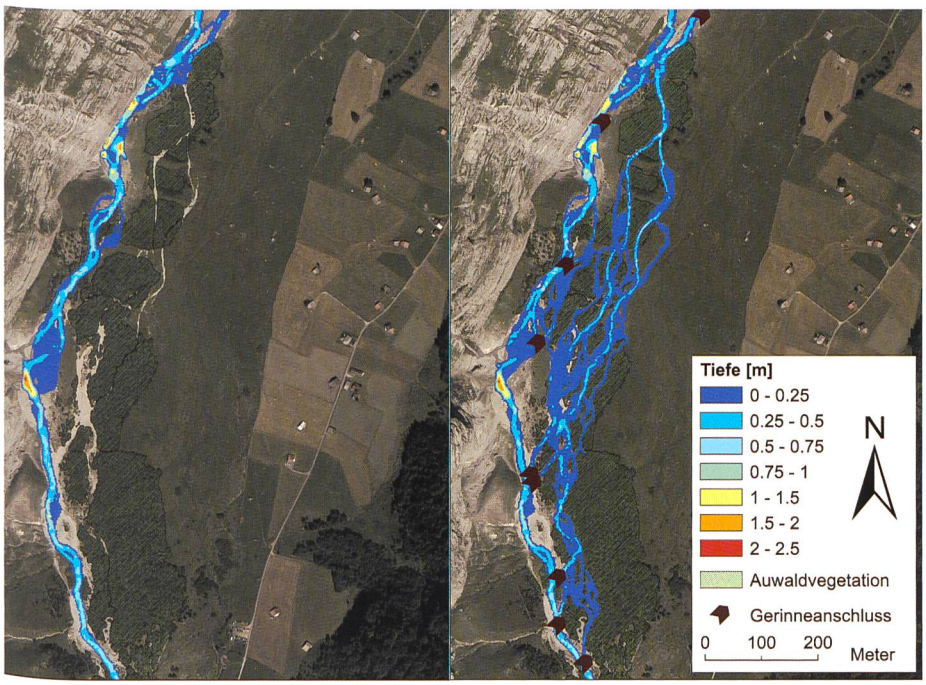


Bild 6.2. Erste Modellergebnisse für ein Hochwasser mit einer Wiederkehrdauer von einem Jahr (HQ_1) ohne (links) und mit ausgewählten simulierten Aufwertungsmassnahmen (Gerinneanschluss durch Dammentfernung; rechts) zeigen deutlich positive Auswirkung auf die temporäre Anbindung von Gerinnen und auf die ökologisch bedeutsame Überflutung des Auenwaldes.

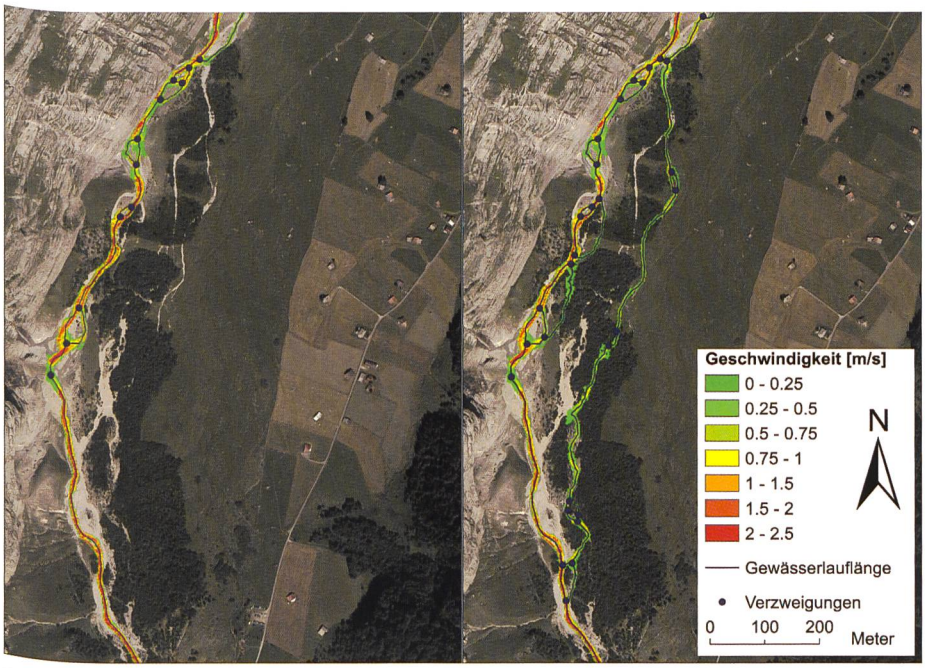


Bild 6.3. Erste Modellergebnisse bei mittlerem sommerlichen Abfluss (MQs) ohne (links) und mit ausgewählten simulierten Aufwertungsmassnahmen (Gerinneanschluss durch Dammentfernung; rechts) zeigen, dass einzelne Gerinne dauerhaft angebunden werden. Hierdurch entstehen neue Gewässerverzweigungen und Habitate mit unterschiedlichen Eigenschaften (hier gezeigt als Unterschiede in der Fliessgeschwindigkeit) mit ökologischer Bedeutung für die Biodiversität.

Um den hier beschriebenen Ansatz in einem möglichst realistischen Kontext anzuwenden, wurde die Sandey-Aue als Fallbeispiel gewählt (Kap. 2.1). In Zusammenarbeit mit der EPF Lausanne wurde ein digitales Geländemodell (DGM; Genauigkeit: ~5 cm vertikal, ~10 cm horizontal) aus einer LiDaR (Light Detection and Ranging) Befliegung mit einem hydrologischen (Software Routing System, Dubois 2005; Garcia Hernandez et al. 2007) und hydraulischen Modell (zweidimensionales Modell, Software Aquaveo und Basement, Faeh et al. 2011) kombiniert (Bieri 2011; Oppliger 2012). Sowohl das hydrologische als auch das hydraulische Modell wurden bereits in anderen praktischen Fragestellungen erfolgreich angewendet (z.B. Jordan 2007, Garcia Hernandez 2011). Um die Modellberechnungen in einem zeitlich vertretbaren Rahmen durchzuführen, wurde beim DGM eine Auflösung von 2 m verwendet. Die Kombination dieser Modelle erlaubt es, Änderungen der hydrologischen (z.B. Anpassung der Restwassermenge oder der Hochwasserdynamik) und der morphologischen Gegebenheiten (z.B. sukzessiver Rückbau oder Verlegung von Dämmen), einzeln oder in Kombination zu betrachten, und deren Auswirkung auf wichtige Habitateigenschaften und Strukturen abzuschätzen (z.B. Verteilung der Wassertiefen, Fliessgeschwindigkeiten, Uferlängen, Gerinneverzweigungen, Überflutungshäufigkeiten). Die Modellergebnisse können anschliessend mittels GIS analysiert und mit weiteren räumlichen Daten wie Landnutzung und -qualität verschnitten werden *(Bild 5)*. Zum einen lassen sich damit für künftige Zustände detaillierte Gefahrenkarten erstellen, da mit der Modellierung maximale Wassertiefen und maximale Fliessgeschwindigkeiten berechnet und so künftige Schwachpunkte bezüglich Hochwasserschutz aufgezeigt werden können. Zum Anderen lassen sich auch die ökologischen Auswirkungen abschätzen, z.B. ab welchen Hochwasserabflüssen eine Fläche überflutet wird und wie sich oben genannte Habitateigenschaften und Strukturen im Zuge von Aufwertungsmassnahmen verändern (Blaurock 2012; Oppliger 2012; *Bilder 6.1–6.3*).

Diese Kombination aus ökologischer Bewertung und hydraulischer und hydrologischer Modellierung ermöglicht es, eine objektive Evaluation von Revitalisierungsmassnahmen unter Abwägung verschiedener sozioökonomischer und ökologischer Interessen vorzunehmen.

2.2.3 Monitoring – Erfolgskontrolle und adaptives Management

Ein Langzeitmonitoring dient in der Praxis und in der Forschung dazu, historische und künftige Veränderungen in Ökosystemen zu dokumentieren. Generell wird ein Monitoring bei Flussrevitalisierungen empfohlen, damit die ökologischen Auswirkungen erfasst, bewertet und bei Bedarf Anpassungen vorgenommen werden können (Robinson et al. 2011; Woolsey et al. 2002, 2006). Ökologische und morphologische Reaktionen auf Eingriffe oder Revitalisierungen können aber unter Umständen mehrere Jahre in Anspruch nehmen. Daher ist in diesen Fällen ein Langzeitmonitoring nötig. Diese Langzeitdaten liefern

der angewandten Forschung wertvolle Erkenntnisse über die Veränderung von Ökosystemen und bilden die Grundlage für die Entwicklung von Indikatoren und Leitbildern für eine objektive Erfolgskontrolle und bei Bedarf für eine Anpassung von Aufwertungsmassnahmen – im Sinne eines adaptiven Managements.

Die Komplexität von Auenlandschaften sowie die geplanten umfangreichen Revitalisierungsmassnahmen der nächsten 80 Jahre erfordern ein effektives Monitoring zur Erfolgskontrolle. Bisher wurden Erfolgskontrollen nur vereinzelt durchgeführt und stützen sich in der Regel auf umfangreiche und zeitintensive Feldaufnahmen. Das hier beschriebene Forschungsprojekt untersucht, inwieweit Fernerkundungsmethoden in Verbindung mit denen in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Indikatoren basierend auf Veränderungen in der Habitatstruktur die biologischen und ökomorphologischen Untersuchungen künftig ergänzen oder zum Teil ersetzen könnten. Moderne Fernerkundungsmethoden (Hyper- und Multispektral, LiDaR, thermisches Infrarot) erlauben, eine Vielzahl von strukturellen und funktionellen Parametern wie z.B. Habitatveränderungen und -verteilungen, Vegetationseinheiten oder Temperaturverteilungen in einer sehr hohen Informationsdichte auf Landschaftsebene zu erfassen und dabei den Zeit- und Personalaufwand, sowie den Eingriff in das Ökosystem gering zu halten. Zusätzlich können ökologische Untersuchungen im Feld mit den Fernerkundungsdaten verglichen und kombiniert werden. Für die Sandey-Aue wurden zunächst gewöhnliche historische Luftbilder ausgewertet und mit Feldmessungen (Kapitel 2.2.1) verschnitten. Diese mit einem relativ geringen Aufwand verbundene Kombination bildet eine wichtige Grundlage für die ökologische Bewertung der historischen Auenentwicklungen, des Ist-Zustands und für die Vorhersage der Auswirkungen von künftigen Revitalisierungsmassnahmen (Kapitel 2.3).

2.3 Anwendung erster Forschungsergebnisse

In einem ersten Schritt wurde die räumliche und zeitliche Entwicklung der Verteilung der einzelnen Habitate in der Sandey-Aue von ihrem relativ natürlichen Zustand im Jahr 1940 bis ins Jahr 2007 mit Hilfe einer Serie lagegenauer und entzerrter historischer Luftbilder rekonstruiert. Alle Bilder wurden im Zeitraum von Ende Juli bis Mitte September bei ähnlichen Abflussbedingungen aufgenommen. Aus dieser historischen Analyse der Habitatverteilung geht hervor, dass die relative Abundanz der Habitatflächen von 1940 bis 2007 in der Sandey Aue stark schwankt, was in natürlichen Auensystemen normalerweise nicht der Fall ist («shifting habitat steady state concept»; Kapitel 2.2.1). Insbesondere bei Habitaten, die wesentlich von der hydrologischen Dynamik abhängig sind (z. B. bewachsene Schotterflächen, Inseln), lassen sich deutliche Veränderungen verzeichnen. Heute liegt die Abundanz der einzelnen auentypischen Habitate deutlich mit bis zu 78% unter dem Niveau von 1940. Dagegen nahm der Anteil von Grasland um 28% zu (*Bild 7*; *Tabelle 2*).

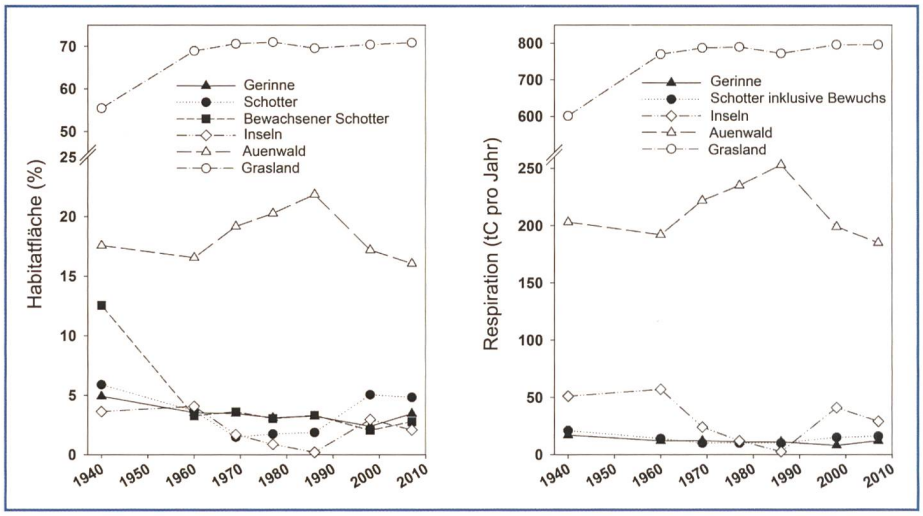


Bild 7. Die Fläche (%) der einzelnen Habitate abgeleitet aus historischen Luftbildern (links; siehe auch Bild 1; Quelle: Swisstopo) ändert sich deutlich zwischen 1940 und 2007 und hat Veränderungen im Kohlenstoffumsatz zur Folge (tC pro Jahr, berechnet aus den entsprechenden Respirationsraten; rechts).

Änderung der Habitatflächen (%)		Änderung der Respiration (tC pro Jahr)	
Gerinne	-30	Gerinne	-1
Schotter	-18	Schotter (inklusive Bewuchs)	-3
Bewachsener Schotter	-78		
Inseln	-43	Inseln	-10
Auenwald	-9	Auenwald	-26
Grasland	+28	Grasland	+208
		Gesamtrespiration 2007:	**1005 (+~20%)**

Tabelle 2. Die Änderung der Habitatanteile von 1940 bis 2007 zeigen, dass generell alle Flächen der einzelnen Habitattypen abnehmen mit Ausnahme der des Graslandes. Das Grasland wiederum trägt wesentlich zur Erhöhung der Gesamtrespiration, hier umgerechnet in Tonnen Kohlenstoff pro Jahr (tC pro Jahr), im System bei.

Diese räumlichen Daten der historischen Habitatverteilung wurden mit den habitatspezifischen Respirationsdaten (Kapitel 2.2.1) verschnitten. Das erlaubt eine Rekonstruktion der historischen Umsatzraten von Kohlenstoff in einzelnen Habitattypen, aber auch für die gesamte Aue. Entsprechend der Flächenreduktion der auentypischen Habitate nehmen die dortigen Umsatzraten an Kohlenstoff von 1940 bis 2007 gesamthaft ab. Das Grasland hingegen als eher untypischer Habitattyp für eine Aue weist im Allgemeinen eine relativ hohe Respirationsrate auf und trägt daher in Verbindung mit seiner Flächenzunahme im untersuchten Auenperimeter zwischen 1940 und 2007 wesentlich zu der Erhöhung des Gesamtumsatzes an Kohlenstoff von ~20% auf 1005 t pro Jahr bei (*Bild 7*; *Tabelle 2*). Im Gegensatz zur Umsatzrate weist Grasland aber eine relativ niedrige Produktionsrate an Biomasse (Kohlenstoff) auf. Dadurch kann es insgesamt zu einer Verschiebung zwischen natürlichem Abbau und Produktion von Kohlenstoff im System kommen. Diese Untersuchungen in der Sandey-Aue zeigen, dass die Anteile der Habitatstrukturen und die damit verbundene Prozessdiversität, innerhalb ökologischer Zeiträume betrachtet, relativ schnell und sensitiv auf Eingriffe in das Auensystem reagieren (Doering et al., 2012). Neben der Wasserentnahme schränken vor allem die Längsverbauungen in und am Rand der Aue die natürliche Dynamik der Auenlandschaft ein und fördern gemeinsam mit der landwirtschaftlichen Nutzung stabile Lebensräume (Hartholzaue und Weideflächen).

Erste Resultate der aktuellen Modellierung verschiedener Revitalisierungsmassnahmen zeigen, dass das Entfernen von Dämmen und das Öffnen zusätzlicher Seitenarme innerhalb des Auenwalds das Überschwemmungsrisiko generell nicht wesentlich erhöhen und zugleich die Habitatvielfalt und Struktur positiv beeinflussen können *(Bilder 6.1–6.3)*. Bei Verhandlungen zwischen den verschiedenen Betroffenen und Beteiligten (z.B. Landeigentümer, Kantonale Ämter, Bundesamt für Umwelt, Gemeinde, Kraftwerke Oberhasli AG, NGOs) können die Modellierungen objektive und entscheidende Argumente liefern, um ökologisch effektive Revitalisierungsmassnahmen auszuwählen, die auch den Hochwasserschutz ausreichend berücksichtigen. Daher ist der hydraulisch-hydrologische Modellansatz (Kapitel 2.2.2) eine sehr gute Grundlage, um einen partizipativen Prozess effektiv zu steuern. Dabei werden die verschiedenen Anliegen berücksichtigt, wodurch die Akzeptanz und das Vertrauen der einzelnen Akteure untereinander gefördert werden kann.

3. Diskussion

Die Anforderungen an ein nachhaltiges Auenmanagement sind komplex, da eine Vielzahl von ökologischen und sozioökonomischen Interessen berücksichtigt werden müssen. Daher bedarf es integrativer und interdisziplinärer Lösungsansätze. Das hier vorgestellte Projekt an der Sandey-Aue zeigt exemplarisch einen Ansatz auf, wie diese Konflikte empirisch und praktisch, unter Einbindung verschiedener ökologischer und sozioökonomischer Interessen untersucht, abgewogen und kommuniziert werden können. Dabei hat sich die integrative Anwendung bestehend aus Indikatorenbildung, Modellierung und Monitoring auf Landschaftsebene bereits bewährt. Die ersten evaluierten aquatischen und terrestrischen Indikatoren zeigen deutlich den Zusammenhang zwischen Habitatstruktur und Funktion in Auenlandschaften (*Bilder 3* und *4*). Das unterstreicht das Potenzial dieses Ansatzes, allein aus strukturellen Veränderungen der Habitate einfache und aussagekräftige Indikatoren abzuleiten, um den ökologischen Zustand einer Aue oder deren räumliche und zeitliche Veränderung zu bewerten. Der Vorteil liegt darin, dass sich Strukturen wie z.B. verschiedene Habitattypen, Uferlängen oder Gerinneverzweigungen relativ einfach über Feldbegehung oder Fernerkundung erfassen lassen. Liegen historische Luftbilder vor, lässt sich mit dieser Methode auch die historische Entwicklung einer Aue rekonstruieren, um daraus Leitbilder für geplante Revitalisierungen herzuleiten (*Bild 7*; *Tabelle 2*). Ausserdem lassen sich diese Indikatoren gut in räumliche Modelle integrieren. Die hier angewandte Kombination aus einem detaillierten digitalen Geländemodell mit einem hydraulischen und hydrologischen Modell erlaubt es, die strukturellen Auswirkungen künftiger Eingriffe oder Aufwertungsmassnahmen im Auensystem zu prognostizieren. Dieser Modellansatz ermöglicht sowohl eine detaillierte Beurteilung des Ist-Zustandes als auch den Einfluss von hydrologischen und morphologischen Einschränkungen oder Eingriffen getrennt und in Kombination zu betrachteten. So können künftige Aufwertungsmassnahmen wie z.B. die Entfernung von Dämmen oder die Anpassung des Abflussregimes mit den entwickelten Indikatoren simuliert und bewertet werden. Auf diese Weise werden ökologische und sozioökonomische Aspekte berücksichtigt und die Auswirkungen auf den Hochwasserschutz abgeschätzt *(Bilder 6.1–6.3)*. Somit können komplexe ökologische und sozioökonomische Ansprüche verschiedener Interessengruppen objektiv bewertet und im Rahmen der Entscheidungsfindung besser formalisiert werden (Hostmann et al. 2005; Reichert et al. 2007), um gezielte Aufwertungsmassnahmen zu planen. Als Gegenstand weiterer Forschung ist geplant, soweit möglich den Sedimenttransport im System zu berücksichtigen. Das würde erlauben, die morphologischen Auswirkungen geschiebeführender Hochwasser auf die Bildung oder Erosion spezifischer Habitate wie z.B. Gerinne, Inseln oder Schotterflächen genauer vorherzusagen.

Für die Bewertung von konkreten Aufwertungsmassnahmen bedarf es umfassender Langzeitdaten. Solche Datengrundlagen sind innerhalb eines integrativen Flussgebietsmanagement allerdings nur vereinzelt zu finden. Wie wichtig aber solche Langzeitdaten für ein erfolgreiches Flussgebietsmanagement sind, zeigt sich am Beispiel des Gebirgsbaches Spöl im Schweizer Nationalpark, dessen Wasser im Speichersee Livigno für die Stromproduktion genutzt wird. Hier werden seit über 11 Jahren experimentelle Flutungen zur Verbesserung der Hochwasserdynamik durchgeführt und deren Auswirkungen, auf die Struktur und Funktion im Gewässer untersucht (Robinson & Uehlinger 2008; Robinson 2012). Über ein intensives Langzeitmonitoring konnten die positiven Auswirkungen dieser Flutungen detailliert dokumentiert und optimiert werden. Dies führte dazu, dass diese ökologischen Flutungen in die regulatorischen Bestimmungen des Flussmanagements am Spöl übernommen wurden. Zudem hat das Projekt vergleichbare Vorhaben auf internationaler Ebene initiiert. Im Zuge des revidierten Gewässerschutzgesetzes und der geplanten umfassenden Flussrevitalisierungen in den nächsten 80 Jahren werden Langzeitdaten ein wichtiges Instrument zur Erfolgskontrolle darstellen. Nur so ist es möglich aus unvorhergesehenen Entwicklungen im Sinne eines adaptiven Managements zu lernen. Ein effektives Monitoringprogramm wird daher künftig unerlässlich.

Die zunehmende Komplexität in landschaftsökologischer Forschung, dem Management und Monitoring von Ökosystemen, erfordert effiziente Methoden zur Datenerfassung. Traditionelle Datenerfassungen im Feld sind in der Regel zeit- und kostenintensiv und in ihrer Aussagekraft hinsichtlich landschaftsökologischer Fragestellungen beschränkt, da in der Regel nur ein Ausschnitt des Ökosystems betrachtet wird. Moderne Fernerkundungsmethoden ermöglichen, den Zeit- und Personalaufwand sowie den Eingriff in das Ökosystem minimal zu halten, dabei aber Daten in einer sehr hohen Informationsdichte auf Landschaftsebene zu erfassen. (Whited et al. 2003). Die erste Anwendung von historischen Fernerkundungsdaten in Verbindung mit Indikatoren konnte in der Sandey-Aue bereits erfolgreich angewendet werden (Kapitel 2.2.3 und 2.3) und unterstreicht das Potenzial eines auf Fernerkundung basierten Monitoringprogramms, das im Rahmen dieses Projektes entwickelt werden soll. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse und Daten können wiederum zur Bildung neuer Indikatoren sowie zur Kalibrierung der Modelle herangezogen werden.

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt «Hydroökologie und nachhaltiges Auenmanagement» legt grossen Wert auf die Übertragbarkeit auf andere Auensysteme. Um dies zu gewährleisten, werden Vergleichsuntersuchungen in anderen Auensystemen herangezogen und Akteure auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene eingebunden.

4. Bedeutung der Ergebnisse für die Praxis

Die in diesem Forschungsprojekt gewonnenen Ergebnisse haben neben den wissenschaftlichen Erkenntnissen eine sehr hohe Relevanz für zahlreiche praktische Fragestellungen, die sowohl die Schweizer Wasserkraftbetreiber als auch Bund und

Kantone sowie Umweltschutzorganisationen betreffen.

Die hier entwickelten Ansätze und gewonnenen Forschungsresultate können wichtige Grundlagen liefern, wenn im Rahmen der Restwassersanierung nach GSchG Art. 80ff. oder bei einer Neukonzessionierung nach GSchG Art. 31ff. das Restwasserregime festgelegt werden soll. Ausserdem können die Erkenntnisse verwendet werden, um im Rahmen einer Schutz- und Nutzungsplanung (GSchG Art. 32c) Auenrevitalisierungen effektiv zu planen, zu bewerten und zu priorisieren.

Prinzipiell kann der Modellansatz mit einer Kombination von einem digitalem Geländemodell und hydraulisch und hydrologischer Modellierung auch für Fragestellungen beim Thema Schwall/Sunk herangezogen werden. Darüber hinaus dürften diese Forschungsergebnisse im Zuge der umfassenden geplanten Revitalisierungsmassnahmen in den nächsten 80 Jahren (GSchG Art. 38a; Göggel 2012) wichtige Hilfsmittel, nicht nur bei der strategischen Planung sondern auch bei der konkreten Umsetzung von Auenrevitalisierungen und bei der Durchführung einer Erfolgskontrolle darstellen.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Ziel des Gesamtprojektes (Kapitel 2; *Bild 2*) ist es, allgemeingültige Managementstrategien und Entscheidungshilfen zu geben, die den Planungsprozess aber auch die Bewertung von Revitalisierungsmassnahmen effektiv unterstützen. Darüber hinaus sollen damit Grundlagen für den Dialog zwischen verschiedenen Akteuren sowie für eine partizipative und transparente Entscheidungsfindung geschaffen werden. Die Gegebenheiten an der Sandey-Aue ermöglichen es, die hierzu nötigen wissenschaftlichen Grundlagen zur Auenökologie mit praktischen Managementansätzen zu verbinden. In diesem Sinn kann die Sandey-Aue als Modellökosystem gesehen werden, an dem sich übergreifende Konzepte für ein integratives und nachhaltiges Auenmanagement erarbeiten lassen. Die im bisherigen Projektverlauf erarbeiteten Daten lieferten bereits wichtige Grundlagen in Bezug auf die Restwasserproblematik, insbesondere für die Restwassersanierung (GSchG Art. 80ff.) im Oberhasli und für die Ausgleichsmassnahmen im Rahmen der KWO plus Ausbauprojekte (Schweizer & Zeh Weissmann 2011, Schweizer et al. 2012).

Die Untersuchungen werden mit dem mittelfristigen Ziel fortgeführt, konkrete Revitalisierungsmassnahmen in der Sandey-Aue zu verwirklichen. Hierbei werden die verschiedenen Anliegen aller Beteiligten berücksichtigt. Die Ergebnisse aus den momentan laufenden Modellierungen (Kapitel 2.2.2) werden sämtlichen «Stakeholdern» vorgestellt und insbesondere mit den kantonalen Ämtern und den Landeigentümern diskutiert. Wenn sich alle Beteiligten auf bestimmte Aufwertungsmassnahmen einigen können, werden die entsprechenden Dämme abgetragen und in einem Monitoringprogramm die ökologischen Veränderungen und die Hochwassersituation untersucht. Als experimentelle Auenlandschaft könnte die Sandey-Aue so langfristige Daten über strukturelle und funktionelle Veränderungen liefern, die wiederum die Grundlagen bilden, um im Rahmen eines nachhaltigen Auenmanagements bestimmte Anpassungen vorzunehmen und bei Bedarf weitere Massnahmen zu planen. Darüber hinaus könnten diese langfristig erhobenen Daten künftig auf nationaler aber auch internationaler Ebene Referenzdaten von hoher Qualität liefern und so die Grundlage für die Beantwortung aktueller wissenschaftlicher und praktischer Fragen liefern.

Um die Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse auf andere Auensysteme zu verbessern, sind weitere Ausweitungen der Untersuchungen auch auf andere Auengebiete geplant. Generell ist die Studie offen strukturiert und kann jederzeit um Forschungsthemen oder Praxisbedürfnisse zur nachhaltigen Entwicklung von Auenlandschaften verschiedener Interessengruppen erweitert werden.

6. Danksagung

Ein grosser Dank geht an zahlreiche Personen, die aktiv am Projekt mitarbeiten, es fachlich und finanziell unterstützen und/oder das Manuskript kritisch durchgelesen haben. Hier sind zu nennen:
Marc Baumgartner (BAFU), Simone Blaser (Eawag), Pascal Bodmer (IGB Berlin), Bayani Cardenas (University of Texas, USA), Tom Gonser (Eawag), Markus Graf (ANF Bern), Christian Hossli (ETHZ), Christa Jolidon (Eawag), Manfred Kummer (BAFU), Franziska von Lerber (ANF Bern), Mark Lorang (University of Montana, USA), Stephan Lussi (BAFU), Matthias Meyer (KWO), Natasa Mori (NIB, Slowenien), Christian Roulier (Service conseil Zones alluviales – Auenberatungsstelle), Anton Schleiss (EPFL), Sandro Schläppi (KWO), Craig Thompson (Western Wyoming Community College, USA), Diego Tonolla (BAFU).

Literatur

BAFU (Hrsg.) (2012): Einzugsgebietsmanagement. Anleitung für die Praxis zur integralen Bewirtschaftung des Wassers in der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1204.

Bieri M. P. (2012): Operation of complex hydropower schemes and its impact on the flow regime in the downstream river system under changing scenarios. Thesis 5433, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Blaurock, M. (2012): Revitalisierungsszenarien in der Sandey-Aue (Urbachtal): GIS-basierte Aufwertungsszenarien als Entscheidungshilfe für eine nachhaltige Auenentwicklung. Masterarbeit Eawag.

Bodmer, P. (2011): Habitat heterogeneity, respiration and microbial dynamics: the Alpine floodplain of the Urbach. Masterarbeit Eawag.

Doering M., Uehlinger U., Ackermann T., Woodtli M., Tockner K. (2011): Spatiotemporal heterogeneity of soil and sediment respiration in a river-floodplain mosaic (Tagliamento, NE Italy). Freshwater Biology 56: 1297–1311.

Doering M., Blaurock M., Robinson C. T. (2012): Landscape transformation of an Alpine floodplain influenced by humans: historical analyses from aerial images. Hydrological Processes 26: 3319–3326.

Dubois J. (2005): Simulation des systèmes hydrauliques et hydrologiques complexe: Routing System II. In: Schleiss, eds., Nouveaux développements dans la gestion des crues – Conférence sur la recherche appliquée en relation avec la troisième correction du Rhône, Martigny, Switzerland: 133–147, (in French).

Faeh R., Mueller R., Rousselot P., Vetsch D., Volz C., Vonwiller L., Veprek R., Farshi D. (2011): System Manuals of BASEMENT, Version 2.2. Laboratory of Hydraulics, Glaciology and Hydrology (VAW), ETH Zürich.

García Hernández J., Jordan F., Dubois J. and Boillat J.-L. (2007): Routing System II – Flow modelling in hydraulic systems. Communication 32 du Laboratoire de Constructions Hydrauliques, LCH - EPFL, Lausanne, Switzerland.

García Hernández J. (2011): Flood management in a complex river basin with a realtime decision support system based on hydrological forecasts. Thesis 5093, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Göggel W. (2012): Revitalisierung Fliessgewässer. Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1208: 42 S.

Gurnell A. M., Petts G. E., Hannah D. M., Smith B. P. G., Edwards P. J., Kollmann J., Ward J. V., Tockner K. (2001): Riparian vegetation and island formation along the gravel-bed Fiume Tagliamento, Italy. Earth Surface Processes and Landforms 26 (1): 31–62.

Hohenwallner D., Saulnier G. M., Castaings W., Astengo A., Brenčič M., Bruno C., Carolli M., Chenut J., De Bona A., Doering M., Dutto E., Freundl G., Harum T., Holzeis F., Jamsek A., Klemenčič-Kosi S., Kopeinig C., Kozel R., Klug H., Lascours S., Maiolini B., Mignone N., Neuwirth J., Paccard P., Pascariello A., Pergher P., Poltnig W., Pušenjak M., Rampazzo R., Reszler C., Robinson C., Rollando A., Rosso M., Salvaro M., Schlamberger J., Scussel R., Siligardi M., Suette G., Valentar V., Varolo E., Vecellio C., Wagner K., Zadravec D., Zalavari P., Zessar H., Zolezzi G. (2011): Water Management in a Changing Environment: Strategies against Water Scarcity in the Alps Project Outcomes and Recommendations. www.alpwaterscarce.eu.

Hostmann M., Buchecker M., Ejderyan O., Geiser U., Junker B., Schweizer S., Truffer B., Zaugg Stern M. (2005): Wasserbauprojekte gemeinsam planen. Handbuch für die Partizipation und Entscheidungsfindung bei Wasserbauprojekten. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ.

Jordan F. (2007): Modèle de prévision et de gestion des crues: Optimisation des opérations des aménagements hydroélectriques à accumulation pour la réduction des débits de crue. Thesis 3711, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Labhard, T. (2007): Granitland Grimsel. Ott Verlag, Bern.

Lachat T., Pauli D., Gonseth Y., Klaus G., Scheidegger C., Vittoz P., Walter T. (2010): Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht? Zürich, Bristol-Stiftung.

Oppliger S. (2012): Restoration analyses of the Sandey floodplain using 2D hydraulic modeling. Masterarbeit EPFL.

Reichert P., Borsuk M., Hostmann M., Schweizer S., Spörri C., Tockner K., Truffer B. (2007): Concepts of decision support for river rehabilitation. Environmental Modelling and Software 22: 188–201.

Robinson C. T. (2012): Longterm changes in community assembly, resistance and resilience following experimental floods. Ecological Applications. Online.

Robinson C. T., Doering M. (2012). Spatial patterns in macroinvertebrate assemblages in surface-flowing waters of a glacially-influenced floodplain. Aquatic Sciences. Online.

Robinson C. T., Doering M., Seelen L. (2011): Use of protected areas for freshwater biomonitoring – case studies in Switzerland. Eco.Mont 3 (2): 13–22.

Robinson C. T., U. Uehlinger (2008): Experimental floods cause ecosystem regime shift in a regulated river. Ecological Applications 18 (2): 511–526.

Rust-Duebié C., Schneider K., Walter T. (2006): Fauna der Schweizer Auen – Eine Datenbank für Praxis und Wissenschaft. Zürich, Bristol-Stiftung.

Schweizer S., Meyer M., Heuberger N., Brechbühl S., Ursin M. (2010): Zahlreiche gewässerökologische Untersuchungen im Oberhasli. Wichtige Unterstützung des partizipativen Begleitprozesses von KWO plus. «Wasser Energie Luft» 2010 (4): 289–300.

Schweizer S., Zeh Weissmann H. (2011): Restwassersanierung der genutzten Gewässer im Oberhasli. «Wasser Energie Luft» 2011 (1): 25–30.

Schweizer S., Meyer M., Wagner T., Zeh Weissmann H. (2012): Gewässerökologische Aufwertungen im Rahmen der Restwassersanierung und der Ausbauvorhaben an der Grimsel. «Wasser Energie Luft» 2012 (1): 30–39.

Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL) und *Hydrologische Kommission (CHy) (Hrsg.)* (2011): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung – Synthesebericht. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 38, 28 S., Bern.

Shugart H. H. (1998). Terrestrial Ecosystems in Changing Environments. Cambridge University Press: Cambridge, UK.

Stanford J. A., Lorang M. S., Hauer F. R. (2005): The shifting habitat mosaic of river ecosystems. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie 29: 123–136.

Tockner K., Lorang M. S., Stanford, J. A. (2010): River flood plains are model ecosystems to test general hydrogeomorphic and ecological concepts. River Research and Applications, 26: 76–86.

Tonolla D., Acuña V., Uehlinger U., Frank T., Tockner K. (2010): Thermal heterogeneity in river floodplains. Ecosystems 13: 727–740.

Turner M. G. (2010): Disturbance and landscape dynamics in a changing world. Ecology 91(10): 2833–2849.

Uehlinger U., Nägli M. W., Meyer E. I. (1995): Schlüsselprozesse im Energiehaushalt von Fliessgewässern: Primärproduktion und Respiration. GAIA 4 (3): 166–173.

Whited D. C., Stanford J. A., Kimball J. S. (2003): Application of airborne multispectral digital imagery to characterize the riverine habitat. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie 28: 1373–1380.

Woolsey S., Capelli F., Gonser T., Hoehn E., Hostmann M., Junker B., Paetzold A., Roulier C., Schweizer S., Tiegs S. D., Tockner K., Weber C., Peter A. (2006): Assessing river restoration: indicator selection based on project objectives. Freshwater Biology 52 (4): 752–769.

Woolsey S., Weber C., Capelli F., Gonser T., Hoehn E., Hostmann M., Junker B., Peatzold A., Roulier, C., Schweizer S., Tiegs S., Tockner K., Peter A. (2005): Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen. Publikation des Rhone-Thur Projekts. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ, 112 Seiten.

Anschrift der Verfasser
Dr. *Michael Doering*, Aquatische Ökologie
Eawag, Überlandstrasse 133
Postfach 611, CH-8600 Dübendorf
michael.doering@eawag.ch

Dr. *Steffen Schweizer*, Gewässerökologe
Kraftwerke Oberhasli AG, Postfach 63
CH-3862 Innertkirchen
sste@kwo.ch

STIFTUNG LOMBARDI INGENIEURWESEN
Ausschreibung

Die Stiftung **Lombardi Ingenieurwesen** unterstützt Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bauwesen insbesondere in den Gebieten Untertagbau und Wasserbau.

Für das Jahr 2013 hat der Stiftungsrat beschlossen vorzugsweise Projekte im Zusammenhang mit:

- Langzeit Material Verhalten bei Stahlbetonbauwerken und wasserbaulichen Anlagen,
- Anwendung von hochfesten Betonen im Tunnelbau,
- Neuentwicklungen für den Ausbau der Wasserkraft,
- Unterhalt von Brücken und Talsperren zu unterstützen.

Für das Jahr 2013 stellt die Stiftung etwa CHF 15'000-20'000 pro Projekt zur Verfügung.

Die Bewerbungen sind **bis zum Dienstag den 30. April 2013** an die angegebene Adresse mit folgenden Unterlagen zu schicken:

- Personalien des Bewerbers,
- Ziel und Abwicklung des Forschungsprojektes,
- Miteinbezogene Ämter oder Institute,
- gewünschte finanzielle Unterstützung.

Weitere Angaben zur vorliegenden Ausschreibung sind auf der Website **www.lombardi.ch** ersichtlich.

STIFTUNG LOMBARDI INGENIEURWESEN
c/o Lombardi AG - Via R. Simen 19 - 6648 Minusio

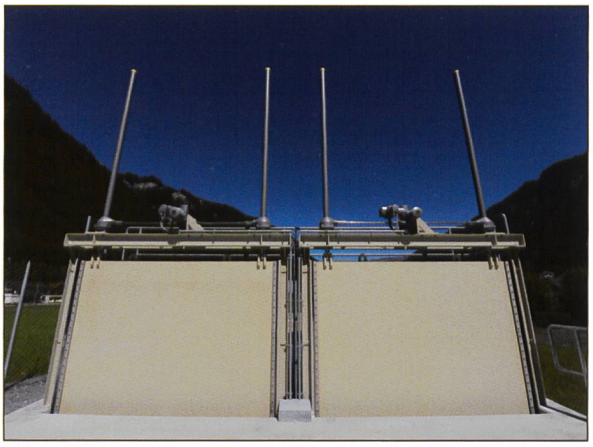
H. ERNE METALLBAU AG

VERTRAUEN IN STAHL

www.h-erne.ch info@h-erne.ch

Steiächerweg 12
CH-5316 Leuggern

Engineering, Fertigung und Montage

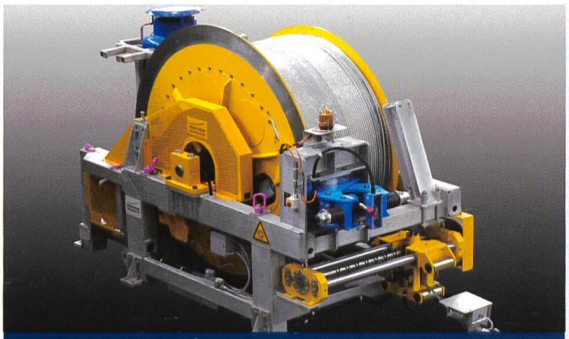


- Tafel-, Segment- und Rollschützen
- Drucktore / -türen
- Stauklappen
- Fein- und Grobrechen
- Dammbalken
- Druckrohrleitungen in Stahl
- Panzerungen in Stahl
- Revisionen an Stahlwasserbauteilen

STAHLWASSERBAU - UMWELTTECHNIK - STAHL-/METALLBAU

Ihre Seilschaft

Grosse, herausfordernde und professionelle Leistungen werden im Team erzielt. Wir sind Ihre Seilschaft von der Projektierung, Fabrikation, Montage bis zur Servicearbeit. Kundenwünsche sind unser Metier.



Seilwinden

Personen- und Materialseilbahnen

Stahlwasserbau

Kabelverlegesysteme

INAUEN SCHÄTTI

Tschachen 1
CH-8762 Schwanden
+41 55 647 48 68
info@seilbahnen.ch
www.seilbahnen.ch