

Numerische Modellierungen zur Bestimmung der Habitatvielfalt an einem mäandrierenden wasserkraftbeeinträchtigten Fließgewässer

Severin Stähly, Pierre Bourqui, Christopher T. Robinson, Anton J. Schleiss

Zusammenfassung

Die Sanierung von Schwall/Sunk- als auch Restwasserstrecken in Fließgewässern in den vergangenen Jahren eine erhöhte Priorität in der Schweiz nicht zuletzt im Rahmen der Revision des Gewässerschutzgesetzes. Dabei wird unter anderem auf die Reaktivierung der Sedimentdynamik unterhalb von Speicherkraftwerken geachtet. Eine vielfältige Gewässermorphologie ist unabdingbar für die aquatische und terrestrische Ökologie. Die Präsenz unterschiedlicher Flusshabitats bietet Lebensräume, welche sowohl für Juvenile als auch laichende Fische essentiell sind. Im Rahmen einer interdisziplinären Forschungsarbeit, wird die Saane im Kanton Fribourg, eine mäandrierende Restwasserstrecke, welche als Auenebene nationaler Bedeutung geschützt ist, geomorphologisch und gewässerökologisch untersucht. Gewässermorphologie respektive die Habitatvielfalt wird mit dem Hydromorphologischen Index der Variabilität (HMID) quantitativ bewertet. Dafür wurden Fließgeschwindigkeit und Abflusstiefe mittels ADCP und ADV sehr detailliert gemessen. Die Resultate des HMID ergeben einen naturnahen Gewässerabschnitt. Da der HMID eine Momentaufnahme repräsentiert, ist seine Aussage betreffend der Sedimentdynamik begrenzt. Der HMID ist jedoch ein einfaches Instrument, mit welchem sich in Kombination mit einem numerischen Modell, nicht nur die aktuelle Situation beurteilen, sondern auch den Effekt von Hochwasserereignissen oder Revitalisierungsmaßnahmen objektiv quantifizieren lässt. Ein Ausblick auf ein künstliches Hochwasser zeigt die Überflutung von trockengelegten Flussabschnitten, deren Auswirkungen in zukünftigen Analysen zu untersuchen sind.

1 Einführung

Mehr als die Hälfte des Schweizer Stroms wird durch Wasserkraft produziert. Bedingt durch die Katastrophe in Fukushima, fällten Bundesrat und Parlament im 2011 die Energiestrategie 2050. Diese sieht den Ausstieg aus der Kernenergieerzeugung (heute ca. 40% der Stromproduktion) per 2050 vor. Diese Lücke soll teilweise mit Wasserkraft geschlossen werden. Die negativen Auswirkungen von Wasserkraftbauwerken auf die Durchgängigkeit, die Hydrologie und die Natur sind unbestritten. In der Revision des Gewässerschutzgesetzes (GschG) in Jahre 2011 werden die Kantone verpflichtet, mit den Wasserkraftbetreibern die Sanierung von Schwall und Sunk, Geschiebehaushalt und die Durchgängigkeit für Fische auszuarbeiten und bis 2030 umzusetzen (GschG, 1991).

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprojekt 70 (NFP 70) wurde das Projekt „Sustainable Floodplain Management“ ermöglicht. Forscher aus den Bereichen Gewässerökologie, Wasserbau und Fernerkundung erhielten den Auftrag Instrumente um Restwasser- und Schwall-Sunk betroffene Flussabschnitte aufzuwerten. Das Labor für Wasserbau (LCH) an der Eidgenössisch Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) befasst sich dabei mit den hydraulischen 2D Modellen und dem Sediment Transport. Damit wurde in einem ersten Schritt der Ist-Zustand der Geomorphologie untersucht.

2 Methodik

2.1 Die untersuchte Restwasserstrecke an der Saane

Die Saane hat Ihren Ursprung im Kanton Wallis, durchfließt das Berner Oberland, den Kanton Freiburg und mündet unterhalb von Bern in die Aare. Auf Ihren 124 km wurden sechs Dämme für die Stromproduktion gebaut. Der Flussabschnitt im Kanton Fribourg zwischen Rossens und Hauterive ist seit dem Bau des Dammes in Rossens eine 13 km lange Restwasserstrecke und hat aktuell eine mittlere Sohneigung von 0.3 %. Normalerweise fließen dort $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$, in den Monaten Juni bis September $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$. In der anschließenden Schwall-/Sunkstrecke zwischen Hauterive und dem Pérolles-See (Freiburg) werden bis zu $75 \text{ m}^3/\text{s}$ turbinert. Die Saane mäandriert stark in der untersuchten Restwasserstrecke und hat sich im verglichen mit dem Umland um ca. 150 m eingetieft. Aus diesem Grund ist der Einfluss des Menschen relativ klein und Hochwasserschutzmaßnahmen wurden in diesem Abschnitt nie getätigt. Das führte zum Ausbleiben von Hochwasserereignissen zu einer Ausbreitung der Vegetation (siehe Abb. 1).



Abb. 1 Mäander der Restwasserstrecke der Saane zwischen Rossens und Hauterive von 1943 (links) und 2012 (rechts). Die Konstruktion des Dammes in Rossens 1948 begünstigte die Ausbreitung der Vegetation. Fließrichtung von unten nach oben. Fotoquelle: www.map.geo.admin.ch (swisstopo)

Ein weiteres Indiz ist die Rückhaltung des Geschiebes im oberhalb Rossens liegenden Greyerzersee, welches ein verstärktes Eintiefen des Flussbetts seit 1948 bewirkte. Die Flusssohle verläuft oft insbesondere in geraden Flussabschnitten direkt auf dem anstehenden Molassefels. In Flusskurven findet man – zumindest longitudinal betrachtet – eine vielfältige Morphologie mit einer Kaskade von Riffel und Becken, Kiesbänken, Inseln und Totwasser.

2.2 Datenerhebung im Untersuchungsperimeter

Für die Erhebung des Ist-Zustandes und die anschließende hydraulische Modellierung, wurde ein für das Gewässer repräsentativer Flussabschnitt ausgewählt, wo der Zugang ermöglicht ist. Es handelt sich dabei um ein Mäander in der Nähe des Klosters Hauterive (siehe Abb.2, CH1903+/LV95: 2'575'263.55, 1'179'292.60).

In diesem Mäander wurden 27 Profile mit jeweils ca. 75 m Abstand vermessen. Gewässertiefe und Fließgeschwindigkeit wurden mittels SonTek Flowtracker® und bei starker Strömung oder großer Fliesstiefe mit einem SonTek Riversurveyor® aufgenommen. Im 20-30 m breiten Fluss wurde mit regelmäßigen Abständen (Flowtracker 1 m, Riversurveyor 30 cm) die mittlere Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit (auf 60% der Wassertiefe) gemessen. Die Messgeräte

messen beide mit akustischen Signalen und sind in Abb. 3 ersichtlich. Aus den Profilen und den Terrain Daten eines LiDAR Fluges, wurde ein Höhenmodell für die 2D Modellierungen erstellt. Die Software BASEMENT wurde für die numerischen Simulationen benutzt. BASEMENT ist eine kostenlose Software, welche für verschiedenste Anwendungen an Fließgewässern benutzt werden kann (Vetsch, 2011; Berchtold, 2015) und für umfangreichere Simulationen im Verlaufe des Forschungsprojektes dienen wird.

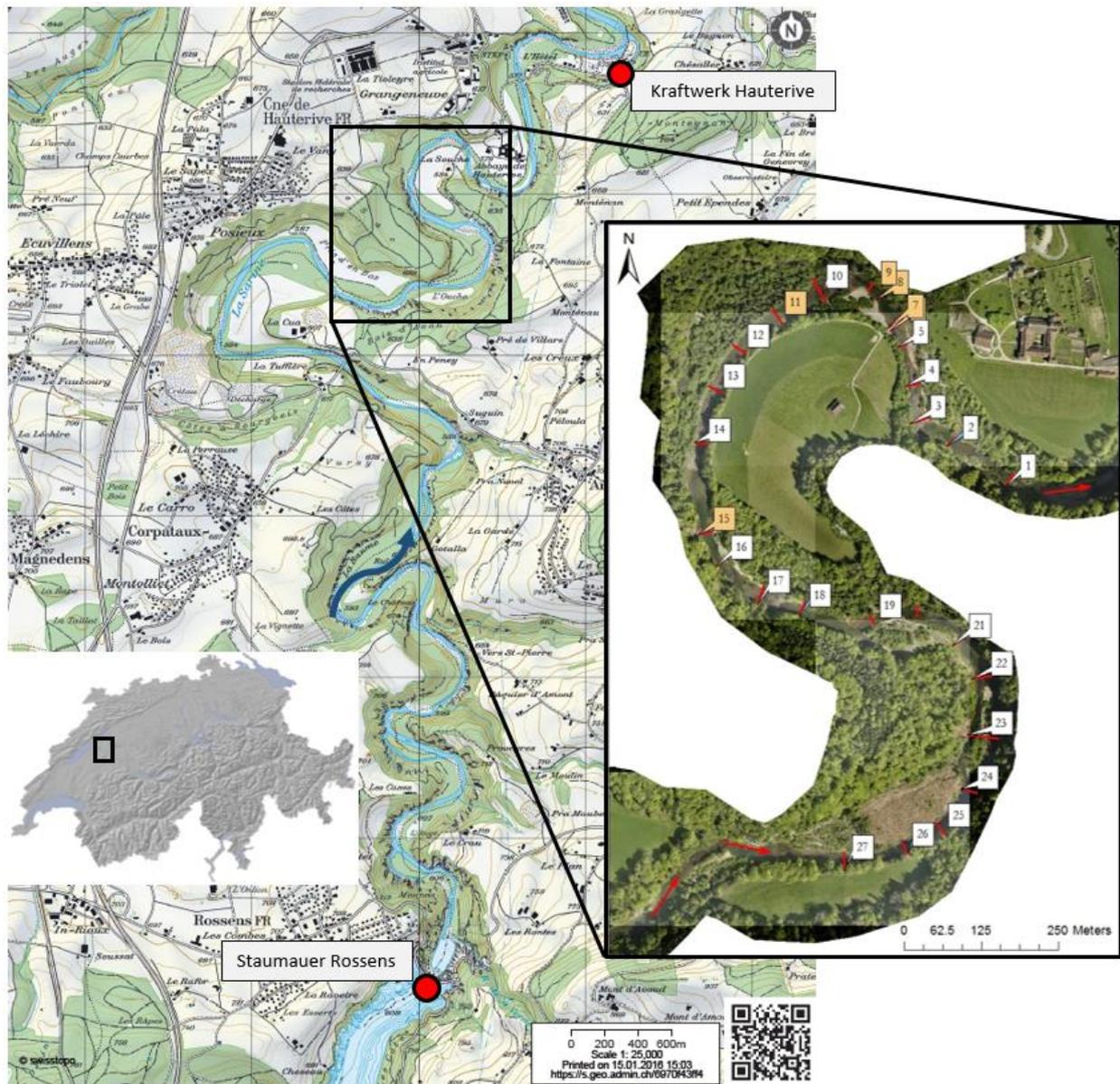


Abb. 2 Auf der Karte ist die gesamte 13 km lange Restwasserstrecke zu sehen. Der Untersuchungsperimeter beim Kloster Hauterive ist mit einem gelben Rechteck markiert. Fliessrichtung von Süden nach Norden. In der Graphik rechts, ist die Profilnummerierung, welche mit dem SonTek Riversurveyor® aufgenommen wurden orange eingefärbt. Kartenquelle: swisstopo

Die Korngrößenverteilung wurde auf den Inseln und Kiesbänken sowohl mit der Linienzahl Analyse nach Fehr (1987) als auch mittels BASEGRAIN (Detert und Weitbrecht, 2012; Detert und Weitbrecht 2013) erhoben. Es resultierte ein Durchmesser von $d_{90} = 11.3$ cm. Daraus berechnet sich nach Strickler (1923) eine Rauigkeit K_{St} von:

$$K_{St} = 21.1/(d_{90})^{1/6} = 30.4 \text{ m}^{1/3}/\text{s} \quad [1]$$

Die Kalibration des Modelles resultierte in einem Strickler-Wert von $K_{St} = 10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Dies ist mit der Beziehung [1] zwischen maßgebendem Korndurchmesser und Rauigkeitsbeiwert nicht erklärbar. Mit dem Einfluss von Kontraktion und Expansion bei ausgeprägten Riffel und Becken Sequenzen und der teilweise großen Makrorauheiten (Verhältnis Wassertiefe über Korngröße $h/d < 1$, insbesondere in Riffel-Abschnitten), können diesen Wert für geringe Abflüsse erklären (Millar, 1999; Berchtold, 2015). Für den Restwasserabfluss $Q = 2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ wurde deshalb $K_{St} = 10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ und für das Flutereignis $Q = 255 \text{ m}^3/\text{s}$ wurde $K_{St} = 30.4 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ verwendet (Informationen zum Flutereignis in Abschnitt 2.4). Das Modell wurde ausschließlich auf den Restwasserabfluss $Q = 2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ kalibriert, weil keine anderen Messdaten bekannt sind.



Abb. 3 Die verwendeten Messgeräte. Links der SonTek Flowtracker®, rechts der SonTek Riversurveyor®.

2.3 Analyseinstrument

Um die Geomorphologie zu quantifizieren wurde der Hydromorphologische Index der Diversität (HMID) verwendet (Schleiss, 2005; Gostner, 2012). Dieser Index berechnet sich aus den statistischen Eigenschaften der Wassertiefe und der Fließgeschwindigkeit. Basierend auf der Annahme, dass sich eine große Variabilität dieser hydraulischen Eigenschaften positiv auf die Vielfalt der Mesohabitate auswirkt (Newson und Newson, 2000), gibt dieser Index Auskunft über die Strukturvielfalt des Gewässerabschnittes. Der große Vorteil verglichen mit anderen Habitatindizes besteht darin (Barbour et al., 1999), dass er das ganze objektiv betrachtet und keine visuelle Experteneinschätzung benötigt. Der HMID wurde sowohl mit der numerischen Simulation für einen Abfluss von $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ als auch mit den Messdaten berechnet.

$$HMID = (1 + \sigma_v / \mu_v)^2 (1 + \sigma_h / \mu_h)^2 \quad [2]$$

σ = Standardabweichung

μ = Mittelwert

Index v = Fließgeschwindigkeit

Index h = Wassertiefe

Die Skala wurde an verzweigten Gerinnen entwickelt und unterteilt die Werte in drei Klassen:

- **HMID < 5** : Kanalisierter respektive stark beeinträchtigter Gewässerabschnitt mit homogenen Querprofilen und minimaler morphologischer Abwechslung.
- **5 < HMID < 9** : Gewässerabschnitt mit limitierter Variabilität und bis beinahe natürlicher Morphologie. Intakte natürliche Strukturen haben sich noch nicht entwickelt.
- **HMID > 9** : Referenzgewässer mit weitreichender Dynamik, in welchem ein breites Spektrum an morphologischen Habitaten vorkommt.

2.4 Geplantes künstliches Hochwasser 2016

Für die gesetzlich vorgeschriebene Sanierung des Geschiebehaushaltes und der Sedimentdynamik, ist ein künstliches Hochwasser in der untersuchten Restwasserstrecke der Saane geplant. Die provisorische Abflussganglinie hat eine Abflussspitze von 255 m³/s, was einem 3-4 jährlichen Hochwasser und einem Volumen, das einem 30-40 jährlichen Hochwasser entspricht. Da sich in unmittelbarer Nähe des Flusses eine Deponie mit Gefahrgut befindet, darf die Spitze 255 m³/s nicht überschreiten. Die Deckschicht bricht erwartungsgemäß bei einem Abfluss von ca. 150 m³/s auf, weshalb während ca. 8 Stunden Sedimenttransport erwartet wird. Das voraussichtliche Hochwasser wird 36 Stunden dauern (Abb. 4).

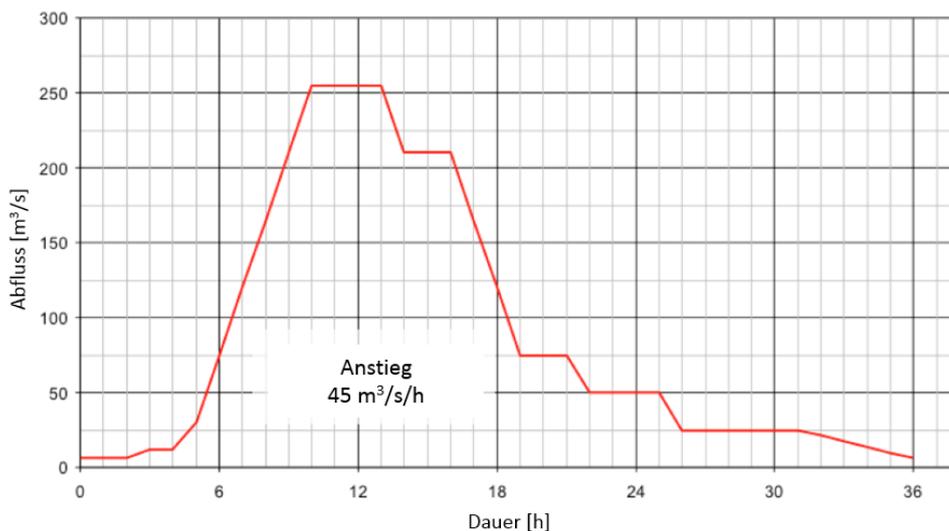


Abb. 4 Geplante Abflussganglinie des künstlichen Hochwassers in der Saane Restwasserstrecke.

3 Resultate

3.1 Restwasserabfluss $Q = 2.5 \text{ m}^3/\text{s}$

In der Simulation des aktuellen Zustands sind die Riffel und Becken Sequenzen gut ersichtlich (siehe Abb. 5). Im Abschnitt zu Beginn des Mäanders Wurden Wassertiefen von über 2 m simuliert, was sich mit den Feldmessungen deckte. Der HMID liegt – berechnet mit dem hydraulischen Modell – bei 8.4, was einer naturnahen Morphologie entspricht. Werden die im Feld gemessenen Werte verwendet, resultiert ein HMID von 9.4. Dieser Wert entspricht gemäß Gostner (2012) morphologisch gesehen einem natürlichen Referenzgewässer mit weitreichender Dynamik.

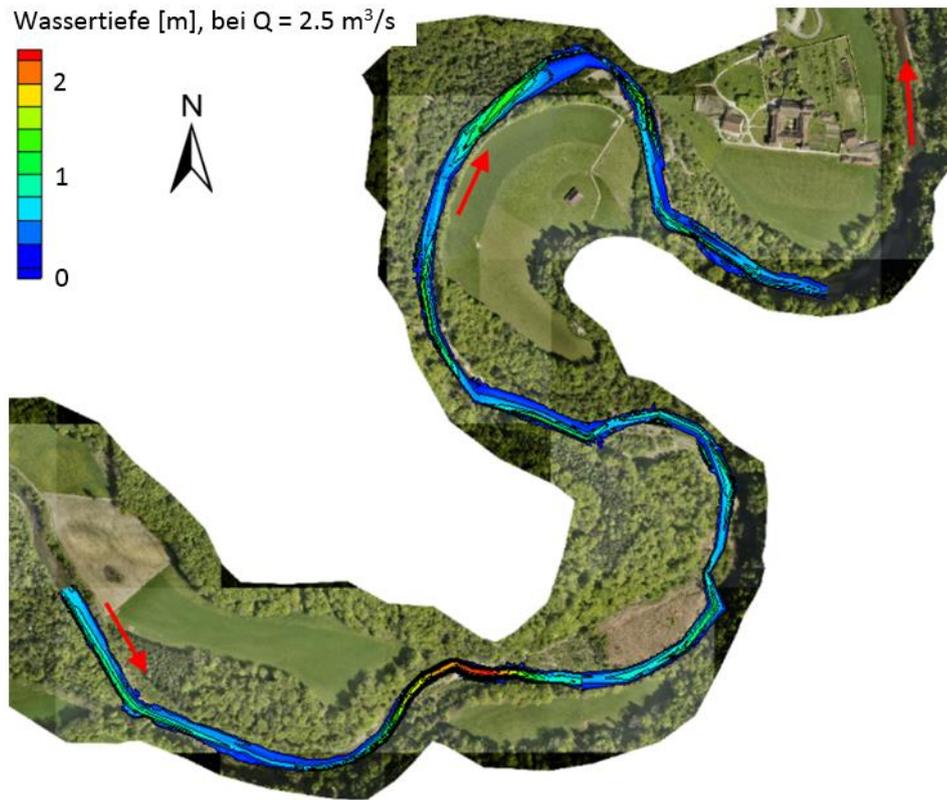


Abb. 5 Wassertiefe beim Restwasserabfluss der Saane beim Kloster Hauterive.

3.2 Künstliches Hochwasser $Q = 255 \text{ m}^3/\text{s}$

Die Simulation des künstlichen Hochwassers wurde mit einem Stricker Rauigkeitsbeiwert von $K_{st} = 30.4 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ berechnet. Die Modellierung erfolgte rein hydraulisch und ohne Sedimenttransport. Beim künstlichen Hochwasser werden mehrere – beim aktuellen Zustand abgetrennte - Seitenarme geflutet (siehe Abb. 6). Überflutungen sind in bewaldeten Gebieten in den Mäanderkurven am stärksten ausgeprägt. Die Überflutungsfläche ist jedoch aufgrund der starken Eintiefung des Flusses begrenzt. Die maximale Wassertiefe beträgt im betrachteten Abschnitt ca. 5 m und liegt im Oberstrom der ersten Mäanderkurve.

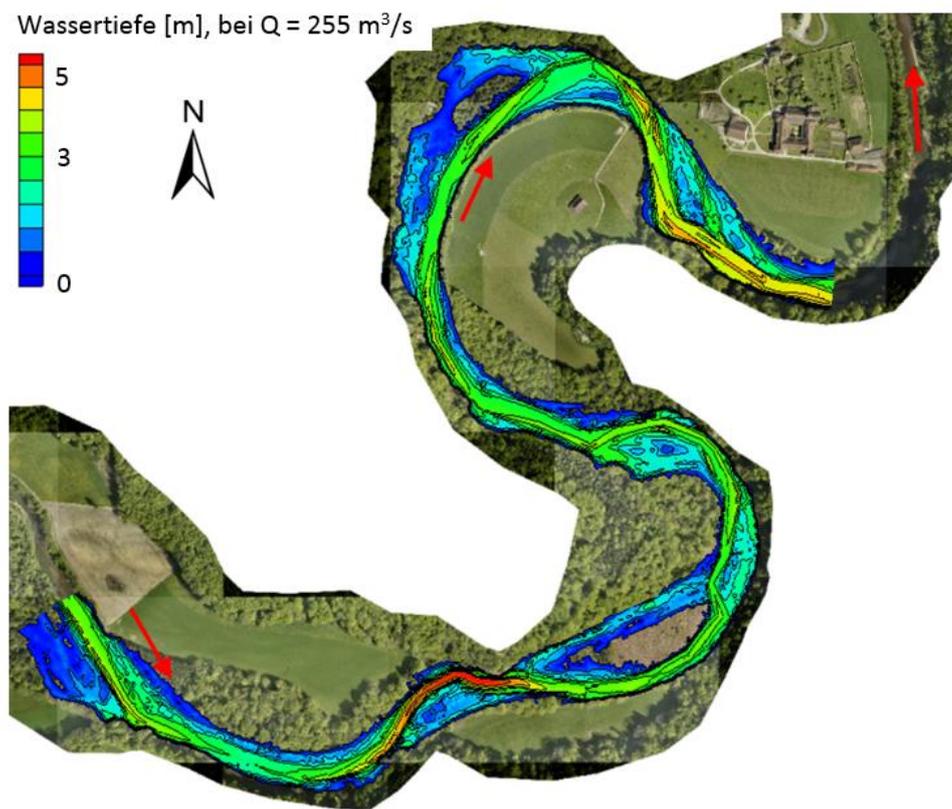


Abb. 6 Wassertiefe während des künstlichen Hochwassers in der Saane beim Kloster Hauterive.

4 Synthese und Schlussfolgerung

Der HMID ergibt bei den aktuellen Bedingungen einen hohen Wert und klassifiziert den Gewässerabschnitt zwischen beinahe natürlich bis Referenzgewässer. Die vielfältige und abwechslungsreiche Morphologie im Gewässer wurde auch bei der Feldbegehung festgehalten. Der höhere Wert, des mit den Feldmessungen berechneten HMID kann mit zwei Ursachen begründet werden. Erstens, wurde die Distanz zwischen den Punkten im Höhenmodell im Flusskorridor ein Abstand von 2 m gewählt. Dies führte zu einer Reduktion der Berechnungszeit und zu einem Glätten der Flusssohle. Zweitens, repräsentiert der HMID der Messdaten detailliert die Variabilität der hydraulischen Größen in der Breite des Flusses, damit dem Flowtracker® jeden Meter und mit dem Riversurveyor® alle ca. 30 cm ein Wert aufgenommen wurde. Die numerische Simulation hingegen hat die Werte aus mehreren 10'000 Simulationspunkten, welche jedoch mehrheitlich auf die Länge verteilt sind. Mit einer konstanten Distanz zwischen den vermessenen Querprofilen, wollte man repräsentativ den Gewässerabschnitt aufnehmen. Diese Vorgabe wird damit bestätigt, dass der HMID der Simulation als auch der Messwerte im selben Bereich (+/- 9) liegen.

Der HMID beschreibt die Sedimentdynamik nicht vollständig. Jedoch kann er den Ist-Zustand präzise und objektiv beschreiben. In Kombination mit numerischen Modellen dient er auch bei stark mäandrierenden Fließgewässern, als anwenderfreundliches Planungsinstrument. Die Auswirkungen auf die Flusshabitats von Revitalisierungsmaßnahmen oder von Hochwasser können in einem Vorher-/Nachhervergleich mit dem HMID quantifiziert werden. Dies ist im Rahmen dieses Projektes in Vorbereitung auf das künstliche Hochwasser als nächster Schritt

geplant. Dabei soll das Hochwasser mit Sedimenttransport simuliert werden um zu beurteilen, ob in den überfluteten Seitenarmen des Gerinnes Sedimenttransport zu erwarten ist.

Danksagung

Die Forschungsarbeit wird durch den Schweizerischen Nationalfonds im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes 70 (NRP 70), Energiewende finanziert. Ein besonderer Dank geht an Dr. Diego Tonolla, für seine Unterstützung bei der Erfassung der Felddaten.

Literatur

- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D., Stribling, J.B. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.
- Berchtold, T. (2015). Numerische Modellierung von Flussaufweitungen. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich. VAW Mitteilung 231.
- Detert, M. & Weitbrecht, V. (2012). Automatic object detection to analyze the geometry of gravel grains - a free stand-alone tool. River Flow 2012, R.M. Muños (Ed.), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-62129-8, 595–600.
- Detert, M. & Weitbrecht, V. (2013). User guide to gravelometric image analysis by BASEGRAIN. Advances in Science and Research, S. Fukuoka, H. Nakagawa, T. Sumi, H. Zhang (Eds.), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00062-9, 1789–1795.
- Fehr, R. (1987a). Geschiebeanalysen in Gebirgsflüssen. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich, Schweiz. Mitteilung Nr. 92.
- Gostner W. (2012). The Hydro-Morphological Index of Diversity: a planning tool for river restoration projects. LCH Communication, 51.
- GschG, Gewässerschutzgesetz (1991). Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer. Art. 83a, Sanierungsmassnahmen, 32 [https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19910022/201509080000/814.20.pdf].
- Millar, R. G. (1999). Grain and form resistance in gravel-bed rivers Résistances de grain et de forme dans les rivières à graviers. Journal of Hydraulic Research, 37(3), 303-312.
- Newson, M. D. & Newson, C. L. (2000). Geomorphology, ecology and river channel habitat: mesoscale approaches to basin-scale challenges. Progress in Physical Geography, 24(2), 195-217.
- Schleiss, A.J. (2005). Flussbauliche Hochwasserschutzmaßnahmen und Verbesserung der Gewässerökologie – Vorschlag eines hydraulisch – morphologischen Vielfältigkeitsindexes. Wasser, Energie, Jg. 97, Heft 7/8: 195-199.
- Strickler, A. (1923): Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen, Mitteilung Nr.16 des Amtes für Wasserwirtschaft, Eidgenössisches Departement des Innern, Bern 1923.
- Vetsch, D., Rousselot, P. and Faeh, R. (2011) Flussgebietsmodellierung mit der Simulationssoftware BASEMENT, Wasser Energie Luft , 103(4), 313-319.

Anschrift der Verfasser

M.Sc. Severin Stähly, M.Sc. Pierre Bourqui, Prof. Dr. Anton J. Schleiss
Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
Station 18, CH-1015 Lausanne
severin.staehly@epfl.ch
pierre.bourqui@gmail.com
anton.schleiss@epfl.ch

PD Dr. Christopher T. Robinson
Eawag
Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf
christopher.robinson@eawag.ch