Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 99 (2007)
Heft: 3

Artikel: Flussbauliches Monitoring am Flaz : Ziele und Methoden
Autor: Janisch, Tanja
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940132

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: 13.07.2025

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

Flussbauliches Monitoring am Flaz – Ziele und Methoden

■ Tanja Janisch

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes «Hochwasserschutz Samedan 2002–2006» erfolgte im April 2004 erstmals seit über 80 Jahren die Verlegung eines grösseren Fliessgewässers in der Schweiz. Dabei wurde für den Flaz im Kanton Graubünden ein neues, rund 4 km langes Umleitungsgerinne konzipiert, welches zwischen Punt Muragl und Gravatscha verläuft. Hintergrund für die Laufverlegung war die massive Gefährdung Samedans durch Hochwasserereignisse am Flaz und Inn, da das Flazgerinne oberhalb des Dorfes in den Inn einmündete. Der neue Flaz wird nun am Dorf Samedan vorbei, durch die Champagna-Ebene zwischen dem Bergmassiv Muottas Muragl und dem Flugplatz entlang geführt und mündet neu am Ende des Dorfes in den Inn. Im Rahmen eines interdisziplinären Monitoring-Programms werden die Veränderungen im neuen Flazgerinne von unterschiedlichen Institutionen verfolgt. Dabei werden flussbauliche, ökologische, sozioökonomische, das Grundwasser sowie den Bodenschutz betreffende Aspekte untersucht. Die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) bearbeitet im Rahmen dieses interdisziplinären Monitorings den flussbaulichen Teil. Der vorliegende Artikel beschäftigt sich hauptsächlich mit den Zielen und Methoden, die zur Bearbeitung der einzelnen Themenbereiche des flussbaulichen Monitorings angewendet werden.

1. Einleitung

Das Projektgebiet für das flussbauliche Monitoring umfasst das gesamte Flazgerinne, beginnend vom Zusammenfluss des Roseg- und Berninabaches bis zum neuen Mündungsbereich des Flazes in den Inn unterhalb des Dorfes Samedan. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde der Flaz in einen «alten» und «neuen» Abschnitt eingeteilt. Dabei bezeichnet der «alte» Flaz das ursprüngliche Gerinne, der «neue» Flaz umfasst hingegen den neu gebauten Abschnitt. Der Schwerpunkt der flussbaulichen Untersuchungen liegt hinsichtlich der nachfolgend formulierten Ziele auf der rund 4 km langen Neubaustrecke, die in sieben unterschiedliche Teilabschnitte eingeteilt wurde *(Bild 1)*.

Im Vordergrund der flussbaulichen Untersuchungen im Rahmen dieses Monitoring-Programms steht die Erfassung, Zusammenstellung und Dokumentation flussbaulich relevanter Naturdaten im Projektgebiet. Diese Daten stellen die Grundlage zur Überprüfung gängiger Berechnungsansätze dar, welche hauptsächlich auf Untersuchungen im physikalischen Modell basieren. Zusätzlich ermöglichen diese Naturdaten, das Verständnis der fluvialen Prozesse zu verbessern. Im Weiteren wird die Datensammlung zur Validierung von numerischen Programmen verwendet. Die gesammelten Daten sollen aber nicht nur den flussbaulichen Untersuchungen dienen, sondern auch den anderen Monitoring-Beteiligten fächerübergreifend im Rahmen einer Datenbank zugänglich gemacht und ausgetauscht werden (Grünenfelder et al. 2005).

Nachfolgend werden die Ziele des flussbaulichen Monitorings genauer beschrieben, und abschliessend wird für das Themengebiet Hydraulik ein erstes Teilresultat vorgestellt.

2. Ziele des flussbaulichen Monitorings

Das flussbauliche Monitoring hat als übergeordnetes Ziel, die Entwicklung des neu gebauten Gerinnes hin zu einem natürlichen Zustand zu beobachten und zu dokumentieren. Dabei werden folgende Themenbereiche unterschieden: das flussbauliche Monitoring umfasst Untersuchungen zur Kornverteilung des Sohlenmaterials, zu Abpflästerungs- und Sortierprozessen in der Gerinnesohle, zur Hydraulik, zum Geschiebetransport und zur Sohlenmorphologie. Zusätzlich werden Indikatoren, die den ökologischen Zustand des Gewässers beschreiben sollen, entlang des gesamten neuen Flazgerinnes aufgenommen. Für jeden dieser Themenbereiche werden entsprechende Daten aufgenommen und in einer Flussbau-Datenbank gesammelt.

Die für die Bearbeitung notwendigen Daten stammen dabei aus unterschiedlichen Quellen. Daten der Themenbereiche Kornverteilung des Sohlenmaterials, Abpflästerungs- und Sortierprozesse in der Gerinnesohle wurden mit Hilfe entsprechender Beprobungsmethoden von der VAW selbst gesammelt. Dies gilt ebenso für die Daten zur Beurteilung der Indikatoren, die den ökologischen Zustand des Gewässers beschreiben sollen. Zur Beurteilung der Sohlenmorphologie wurde eigens eine Web-Kamera montiert, die täglich den morphologisch interessanten Teilabschnitt «Aufweitung» *(Bild 1)* fotografiert. Die für die Bearbeitung des Themenbereichs Hydraulik benötigten Abflussdaten werden mit Hilfe der beiden Messstationen der Landeshydrologie an der Ova da Bernina und der Ova da Roseg bestimmt. Zusätzlich wurden an drei Brückenquerschnitten Radarsonden eingerichtet, die eine kontinuierliche Aufnahme der lokalen Wasserspiegellagen ermöglichen. Sämtliche topografische Daten, wie z.B. die Sohlenlagen sowie die Geometrie der Querprofile, wurden im Rahmen von durchgeführten Messkampagnen aufgenommen und der VAW zur Verfügung gestellt (Grünenfelder et al. 2005).

Nachfolgend werden die im Rahmen des flussbaulichen Monitorings festgelegten Ziele für die einzelnen Themenbereiche näher erläutert.

2.1 Flussbau-Datenbank

In dieser Datenbank werden alle Daten über den Flaz, die im Rahmen des flussbaulichen Monitoring-Programms im Zeitraum von Frühling 2004 bis Frühling 2007 aufgenommen wurden, gesammelt und verwaltet. Die Datenbank ist in fünf Bereiche gegliedert, wobei jedem Bereich bestimmte Datengruppen zugeordnet sind.

Der erste Bereich beinhaltet allge-

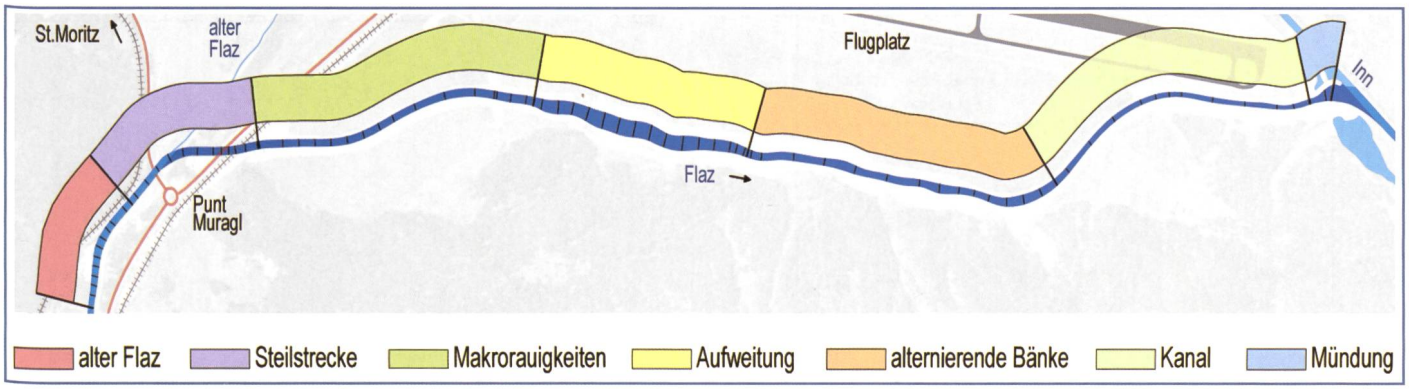

Bild 1. Übersicht der Einteilung des neuen Flazgerinnes in sieben Teilabschnitte für die Untersuchungen im Rahmen des flussbaulichen Monitorings.

meine Daten über den Flaz. Dazu gehört ein Übersichtsplan, in dem die neue Kilometrierung, die Lage der Querprofile und der verschiedenen Beprobungsstandorte eingezeichnet sind. Im Weiteren gehören zu dieser Datengruppe entsprechende Datenfiles, die tabellarisch die Zeitpunkte und die Art der Probenentnahme beinhalten.

Der zweite Bereich beinhaltet sämtliche topographischen Daten. Dazu zählen einerseits die Koordinatenangaben der aufgenommenen Querprofile in tabellarischer Form und andererseits die zeichnerische Darstellung der Quer- und Längsprofile.

Die dritte Datengruppe umfasst eine Fotodokumentation des Flazes. Dazu gehören sowohl Bilder, die den allgemeinen Zustand des Flazes zu den verschiedenen Beprobungszeitpunkten dokumentieren, als auch Bilder, die laufend von der Web-Kamera aufgenommen werden. Zusätzlich sind in separaten Untergruppen Bilder zu den Geschiebeproben, der Morphologie und den ökologischen Indikatoren aufgelistet.

Der vierte Bereich umfasst die Originaldaten der einzelnen Probenentnahmen des Sohlenmaterials. Der fünfte und letzte Bereich besteht aus mehreren Teilgruppen. Hierin werden einerseits die Originaldaten der Wasserspiegellagen der drei Radarsonden verwaltet, andererseits werden sämtliche Abflussdaten jener Ereignisse mit bettbildenden Abflüssen gesammelt.

2.2 Kornverteilung des Sohlenmaterials

Die Kenntnis der Zusammensetzung des Sohlenmaterials ist eine wichtige Grundlage für alle weiteren, im Rahmen des flussbaulichen Monitorings durchgeführten Untersuchungen. Dabei muss bei den Betrachtungen zum Sohlenmaterial zwischen den Kornverteilungen der Deckschicht sowie des Untergrundmaterials unterschieden werden. Neben dieser vertikalen räumlichen Variabilität sind die horizontale räumliche Variabilität der Zusammensetzung des Sohlenmaterials entlang des Fliessweges sowie eine zeitliche Variabilität in Abhängigkeit der aufgetretenen Abflüsse zu beachten.

Für flussbauliche Berechnungen ist häufig als Referenz die Kornverteilung des Untergrundmaterials massgebend. Diese wird durch zwei unterschiedliche Methoden bestimmt. Bei der ersten Methode wird die Unterschicht direkt durch die Entnahme einer Volumenprobe ermittelt. Bei der zweiten Methode kann indirekt durch die Beprobung der Deckschicht mittels geeigneter Umrechnungsverfahren auf die Zusammensetzung der Unterschicht geschlossen werden. Für die Beprobung der Deckschicht wurden oberflächenbezogene Verfahren angewendet. Dazu gehören die Linienzahlanalyse nach Fehr (1987), die Gitterzahlanalyse nach Kellerhals & Bray (1971), der Random Walk nach Wolman (1954) und die automatische Objekterkennung mittels Fotografie nach Weichert et al. (2004).

Das erste Ziel ist die Untersuchung der verschiedenen Beprobungsmethoden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in der Praxis. Zusätzlich ist ein Vergleich der einzelnen Methoden untereinander von Interesse. Zu diesem Zweck werden alle oberflächenbezogenen Beprobungsmethoden in eine Kornverteilung der Unterschicht umgerechnet und mit der Referenz verglichen. Als Referenz dient dabei die Kornverteilung der Unterschicht aus der Volumenprobe. Aufgrund der Variabilität des Untergrundmaterials entlang des Fliessweges ist der Vergleich nur an ausgewählten Standorten möglich. Zusätzlich ist bei der Umrechnung der oberflächenbezogenen Proben zu beachten, ob in Abhängigkeit des Entnahmezeitpunktes eine Deckschicht vorhanden war oder nicht. Dies ermöglicht zusätzlich die Überprüfung der entsprechenden Umrechnungsverfahren.

Ein weiteres Ziel ist, infolge des obigen Vergleichs, die Bestimmung einer Bandbreite der charakteristischen Korndurchmesser in Abhängigkeit der Probenmethode, des Probenstandortes und des Probenzeitpunktes.

2.3 Abpflästerungs- und Sortierprozesse

Die Kenntnis der Sortier- und Abpflästerungsprozesse im Gerinne ist vor allem für die hydraulische Berechnung wichtig. Als erstes Untersuchungsziel gilt es, die Veränderung des Sohlenmaterials infolge hydraulischer Belastung entlang des neuen Fliessweges von Punt Muragl bis Gravatscha zu ermitteln. Ausgangszustand dafür ist die nach dem Bau vorhandene mehr oder weniger homogen durchmischte Flusssohle. Aufgrund der hydraulischen Belastung werden zunächst die Feinkomponenten an der Oberfläche der Flusssohle erodiert. Infolge der stattfindenden Sortierprozesse wird sich an der Sohlenoberfläche eine vergröberte Pflästerungsschicht, die so genannte Deckschicht, ausbilden. Bei zunehmender hydraulischer Belastung verändert sich die Kornzusammensetzung dieser Deckschicht. Dieser Vorgang konnte anhand der Beprobungen der Deckschicht zu verschiedenen Zeitpunkten am Flaz verfolgt werden. Die erhobenen Daten ermöglichen somit einen Vergleich mit bestehenden Berechnungsansätzen, mit denen sich die Kornverteilung der Deckschicht in Abhängigkeit der hydraulischen Belastung nach Gessler (1965) bzw. die Kornverteilung der grobmöglichsten Deckschicht nach Fehr (1987) und Günter (1971) bestimmen lassen.

Ausserdem ist durch die Sortier- und Abpflästerungsprozesse eine Verfeinerung des eingebauten Sohlenmaterials entlang des Fliessweges am neuen Flaz zu erwarten. Dies kann mit den Sohlenbe-

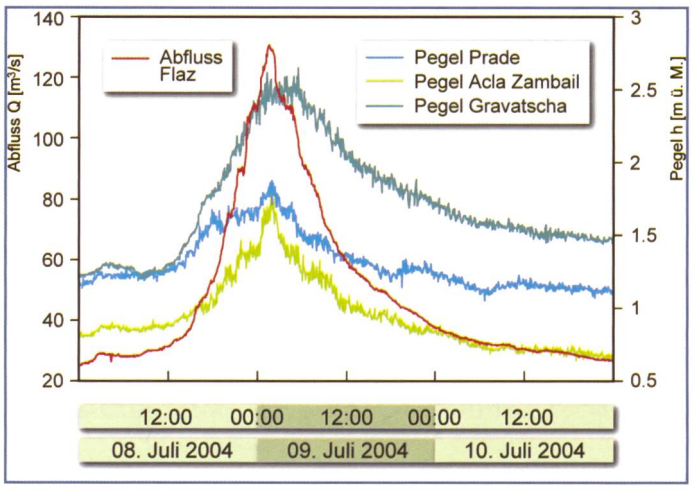

Bild 2. Abflussganglinie des Flazes und der lokalen gemessenen Abflusstiefen für die Standorte Pradé, Acla Zambail und Gravatscha für das Hochwasserereignis vom 8./9. Juli 2004. Die Abflusstiefen beziehen sich dabei auf die Sohlenlage vor dem Hochwasserereignis.

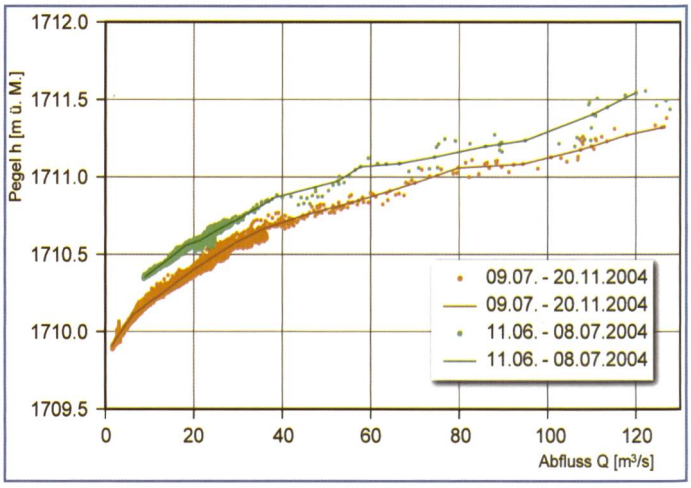

Bild 3. Pegel-Abflussrelation für den Brückenstandort Acla Zambail, ermittelt aus den gemessenen Wasserspiegellagen der Radarsonde, dargestellt sind die Wasserspiegellagen vor und nach dem Hochwasserereignis.

probungen zu verschiedenen Zeitpunkten eruiert werden. So kann beispielsweise festgestellt werden, ob im oberen Teil mobilisiertes grobes Material in den unteren Abschnitten anzutreffen ist.

Zusätzlich wird das Ziel verfolgt, durch einen Vergleich der Radarmessung mit den aufgetretenen Abflussspitzen Aussagen über den Abpflästerungsvorgang zu erhalten. Hierbei ist der Zeitraum zwischen der Erstbelastung der Sohle im April 2004 bis zum ersten aufgetretenen Hochwasserereignis im Juni 2004 von Interesse. Dabei können zu den Zeitpunkten der jeweiligen maximalen Abflüsse die Veränderungen in den Pegelmessungen in Zusammenhang mit der bei einer Abpflästerung auftretenden Sohleneintiefung gebracht werden.

Abschliessend soll die in der Natur beobachtete Sortierung vergleichend mittels numerischer Simulation nachgebildet werden.

2.4 Hydraulik

Die Kenntnis der Wasserspiegellagen in Abhängigkeit vom Abfluss ist für die Bearbeitung in diesem Projekt eine wesentliche Grundlage. Ein Teilziel für diesen Themenbereich ist die Ermittlung einer Pegel-Abflussrelation. Dazu werden die gemessenen Abflussdaten und die Daten der Wasserspiegellagen der Radarsonden an den drei Brückenstandorten Pradé, Acla Zambail und Gravatscha herangezogen. Dabei muss auch die sich verändernde Sohlenlage an den drei Standorten miteinbezogen werden. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass die Zeitpunkte der Abflussmessungen aufgrund der örtlichen Trennung nicht mit den Zeitpunkten der Pegelmessungen der Radarsonden übereinstimmen. Zunächst werden mit Hilfe von bestehenden Ansätzen zur Bestimmung des Fliesswiderstandes Pegel-Abflussrelationen berechnet. Diese werden dann mit den gemessenen Pegel-Abflussrelationen an den drei Brückenstandorten verglichen. Die im Rahmen dieses Projektes verwendeten Fliesswiderstandsansätze sind das logarithmische Widerstandsgesetz nach Keulegan (1938) und dessen Modifikationen nach Thompson und Campbell (1979), nach Jäggi (1983) und nach Bezzola (2002). Im Weiteren wird das Potenzgesetz nach Strickler (1923) und für den Abschnitt Pradé bis Acla Zambail das Blockmodell nach Whittaker et al. (1988) zu einem Vergleich mit den gemessenen Pegel-Abflussrelationen herangezogen.

Ein weiteres Ziel ist es, die gewonnenen Pegel-Abflussrelationen aus den Naturmessungen an den drei Brückenstandorten mit den aus numerischen Simulationsprogrammen (HEC-RAS, Basement 1D und 2D) ermittelten Wasserspiegellagen zu vergleichen. Für jene Hochwasserereignisse, bei denen die Hochwasserspur aufgenommen wurde, ist zusätzlich ein Vergleich zwischen den Ergebnissen aus der Natur und den Ergebnissen der Simulationen entlang des gesamten Gerinnes möglich. Zusätzlich kann im numerischen Programm ein Vergleich der Wasserspiegellagen mit und ohne bewegliche Sohle erfolgen.

2.5 Morphologie

Dieser Themenbereich beschäftigt sich mit der Entwicklung der Flussmorphologie entlang des gesamten neuen Gerinnes ausgehend von einer nahezu ebenen Sohle, nach dem Bau, hin zu einem natürlichen Zustand. Die unterschiedlichen Gefälle- und Breitenverhältnisse entlang des neuen Flazes bewirken, dass in gewissen Abschnitten mit der Ausbildung von Sohlenstrukturen zu rechnen ist. Anhand von verschiedenen Abgrenzungskriterien lassen sich flussmorphologische Strukturen prognostizieren. Die angewendeten Abgrenzungskriterien sind das Kriterium nach Anderson, Parker und Wood (1975), das Kriterium nach Jäggi (1983) und das Kriterium nach Da Silva (1991). Im Rahmen dieses Projektes wird ein Vergleich zwischen diesen Kriterien und den sich tatsächlich ausgebildeten Morphologien entlang des gesamten Gerinnes angestrebt. Zusätzlich sollen für den Teilabschnitt «Aufweitung» *(Bild 1)* die morphologischen Auswirkungen eines aufgeweiteten Fliessgewässers nach dem Bemessungsansatz von Hunzinger (1998) berechnet werden. Für die Anwendung dieses Ansatzes ist zu berücksichtigen, ob sich der Fluss in einem Gleichgewichts-, Erosions- oder Auflandungszustand befindet. Dafür werden die Parameter Sohlenversatz in der Aufweitung, Anhebung der Sohle im Oberwasser, Kolktiefe in der Aufweitung und im Verengungstrichter für den Vergleich herangezogen. Diese Ergebnisse aus den Berechnungen werden mit den Naturdaten verglichen.

Im Teilabschnitt «Alternierende Bänke» *(Bild 1)* ist aufgrund der gegebenen geometrischen Randbedingungen ebenfalls mit morphologischen Strukturen zu rechnen. Bei grösseren Abflussereignissen unterliegen diese morphologischen Strukturen (Geschiebebänke) einer dynamischen Veränderung. Die Bewegung der

Geschiebebänke wird mit Hilfe von Fotos und Aufnahmen im Feld beobachtet, dokumentiert und qualitativ erfasst.

2.6 Geschiebetransport

Für das Hochwasserereignis vom 8./9. Juli 2004 soll anhand der aus den Querprofilen ermittelten Differenzen der Sohlenlagen eine Volumenbilanz aufgestellt werden. Diese Bilanz wird dann mit den Berechnungen der numerischen Modelle sowie den Abschätzungen der Transportkapazität in den verschiedenen Teilabschnitten verglichen.

Anhand der gemessenen Naturdaten dieses Hochwasserereignisses können die verschiedenen numerischen Modelle geeicht werden. Dies bildet die Basis, um weitere Ereignisse mit bettbildenden Abflüssen nachzurechnen und die Ergebnisse der verschiedenen numerischen Simulationen miteinander zu vergleichen.

2.7 Ökologische Indikatoren

Im Rahmen des Rhone-Thur-Projektes wurde von der EAWAG im Dezember 2005 das Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen publiziert (Woolsey et al. 2005). Darin enthalten sind neben möglichen Revitalisierungsmassnahmen auch eine Vielzahl an flussmorphologischen Indikatoren, die der Erfolgskontrolle von Revitalisierungsprojekten dienen sollen. Da die Anwendung dieser Indikatoren bisher in der Praxis hinsichtlich ihrer Praktikabilität und Gültigkeit noch nicht überprüft wurde, erfolgte die Aufnahme der flussbaulich relevanten Erfolgsindikatoren in das flussbauliche Monitoring-Programm. Dabei soll die von der EAWAG vorgeschlagene Vorgehensweise zur Aufnahme der Indikatoren auf ihre praktikable Umsetzung überprüft werden. Die Überprüfung ist für die Indikatorengruppen Sohle, Ufer und Geschiebe vorgesehen. Dazu werden einerseits die Struktur der einzelnen Indikatoren und andererseits deren Entwicklung über die Zeit bestimmt. Der Indikator Geschiebe erfordert die Ermittlung und Bestimmung des Geschiebehaushalts. Bei jedem Indikator wird die Vorgehensweise des vorgeschlagenen Aufnahmeverfahrens überprüft. Zusätzlich wir die dafür benötigte Zeitdauer mit der veranschlagten verglichen und die Vollständigkeit der benötigten Hilfsmittel kontrolliert. Der zweite Schritt beinhaltet die Auswertung der aufgenommenen Daten der einzelnen Indikatoren gemäss dem «Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen» (Woolsey et al. 2005). Dies ermöglicht, die Aussagekraft jedes flussbaulich relevanten ökologischen Indikators anhand des Flaz-Projektes zu beurteilen.

3. Erstes Teilresultat

Anhand eines Beispiels aus dem Themenbereich Hydraulik soll ein erstes Teilresultat gezeigt werden. Als Grundlage für die Ermittlung einer Pegel-Abflussrelation dienen die Daten der Wasserspiegellagen der Radarsonden an den drei Brückenstandorten Pradé, Acla Zambail und Gravatscha und die gemessenen Abflussdaten. Diese für den Flaz massgebenden Abflussdaten ergeben sich aus der Summe der von der Landeshydrologie am Roseg- und Berninabach gemessenen Abflüsse. Die beiden Messstationen befinden sich knapp oberhalb des Zusammenflusses der beiden Bäche. Die Ermittlung der Pegel- Abflussrelationen erfolgt dabei für jeden der drei Brückenstandorte. Für diese Betrachtung werden die Abflussdaten vor und nach dem Hochwasserereignis im Zeitraum vom Mai 2004 (vor dem Hochwasserereignis) bis November 2004 (nach dem Hochwasserereignis) herangezogen. Ebenso werden die lokal gemessenen variablen Sohlenlagen an den drei Standorten miteinbezogen. *Bild 2* zeigt einen kleinen Ausschnitt der Abflussganglinien dieses Betrachtungszeitraums. Neben der Abflussganglinie für das Hochwasserereignis vom 8./9. Juli 2004 sind auch die lokal gemessenen Abflusstiefen an den drei Standorten dargestellt. Die Abflusstiefen beziehen sich dabei auf die Sohlenlagen vor dem Hochwasserereignis.

Anhand des Standorts Acla Zambail soll die Ermittlung einer Pegel-Abflussrelation kurz erläutert werden. Zu Beginn werden die Distanzen der gemessenen Wasserspiegellagen der Radarsonde in Wassertiefen umgerechnet. Die Wassertiefen werden als absolute Höhen in Abhängigkeit des Abflusses dargestellt. *Bild 3* zeigt den so ermittelten Punktehaufen für den Zeitraum vor (Punkte vom 11.6–8.07.2004) und nach (Punkte vom 9.7.–20.11.2004) dem Hochwasserereignis. Die beiden eingezeichneten Kurven stellen das diskrete Mittel dieser Punktehaufen für die beiden Zeiträume dar. Jene Kurve für den Zeitraum vor dem Hochwasserereignis (grün dargestellt) liegt um rund 0,1 m bis 0,16 m höher als jene für den Zeitraum nach dem Ereignis (orange dargestellt). Dies lässt vermuten, dass sich die Lage der zu Beginn eingebauten homogenen Sohle infolge der Belastung während des Ereignisses eintiefte. Der Vergleich der Sohlenlagen mit den Messdaten der Querprofile am Standort Acla Zambail vor und nach dem Ereignis bestätigt diese Vermutung. Die Vermessungen zeigen, dass das Hochwasserereignis zu einer Eintiefung der Sohle um rund 0,15 m führte.

Als nächster Schritt erfolgt ein Vergleich der Pegel-Abflussrelation aus den gemessenen Daten mit jenen, die sich aus den unterschiedlichen Berechnungsmodellen für die Ermittlung des Fliesswiderstandes ergeben. Für die vergleichende Betrachtung wird die aus den gemessenen Naturdaten bestimmte Pegel-Abflussrelation für den Zeitraum nach dem Hochwasserereignis herangezogen. Rechnerisch werden die Pegel-Abflussrelationen für

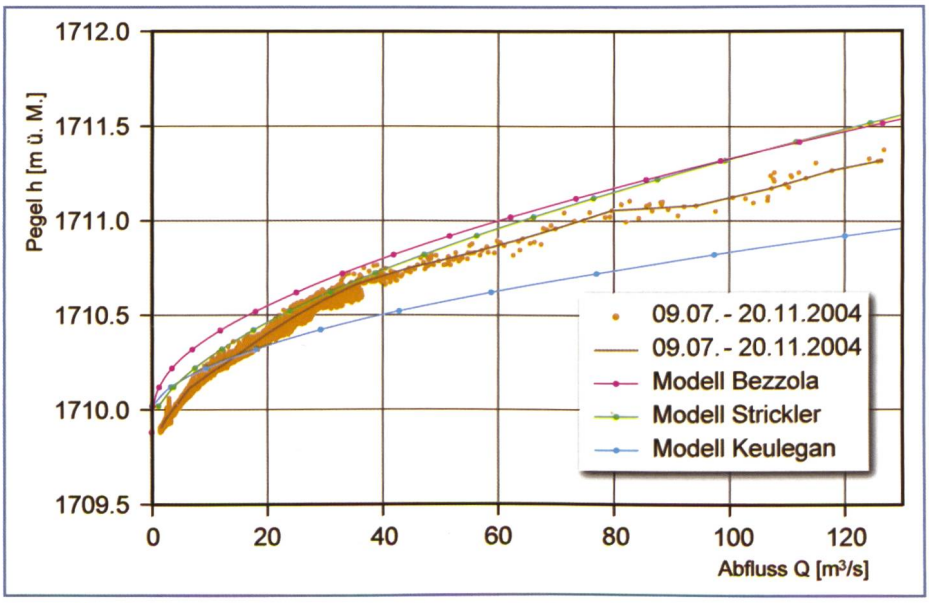

Bild 4. Vergleich der Pegel-Abflussrelation, ermittelt aus den gemessenen Wasserspiegellagen der Radarsonde für den Brückenstandort Acla Zambail (nach dem Hochwasserereignis), mit den berechneten Kurven nach den Berechnungsansätzen für den Fliesswiderstand nach Strickler (1923), Keulegan (1938) und Bezzola (2002).

diesen Standort mit Hilfe des logarithmischen Widerstandsgesetzes nach Keulegan (1938), dem modifizierten logarithmischen Widerstandsgesetz nach Bezzola (2002) und dem Potenzansatz nach Strickler (1923) ermittelt. *Bild 4* zeigt neben der Pegel-Abflussrelation, die sich aus dem Punktehaufen der Naturdaten ergibt, auch jene Relationen, die sich aus den Berechnungen mit den drei vorher genannten Berechnungsansätzen ergeben. Bei den dargestellten Abflusstiefen handelt es sich um absolute Höhen in Abhängigkeit der gemessenen Abflüsse. Es ist erkennbar, das jene Kurve, die sich aus dem logarithmischen Widerstandsgesetz nach Keulegan (1938) ergibt, ab einem Abfluss von rund 30 m^3/s deutlich unter den anderen Kurven liegt. Würde für weitere Betrachtungen diese Pegel-Abflussrelation herangezogen, so wird die Abflusstiefe deutlich unterschätzt. Die beiden anderen Kurven folgen dem Kurvenverlauf der Naturdaten bis zu einem Abfluss von rund 80 m^3/s recht gut, für höhere Abflüsse werden die Abflusstiefen jedoch etwas überschätzt. Die bisherigen Auswertungen zeigen, dass in Abhängigkeit des gewählten Berechnungsansatzes mit Abweichungen zwischen Natur- und Berechnungsgrössen – insbesondere bei höheren Abflüssen – zu rechnen ist.

Die in *Bild 4* gezeigten Auswertungen zeigen deutlich, dass sich je nach Wahl des Fliesswiderstandsansatzes unterschiedliche Pegel-Abflussrelationen ergeben. Diese Erkenntnis bedeutet für die Umsetzung in die Praxis, dass eine Unterschätzung der Abflusstiefen einerseits zu einer Verringerung der Sicherheit des Hochwasserschutzes an diesem Standort, eine Überschätzung der Abflusstiefen aber andererseits zu überdimensionierten Dämmen und somit zu einer Kostenerhöhung führen kann.

4. Ausblick

Das flussbauliche Monitoring am Flaz bietet die einmalige Gelegenheit, vorhandene theoretische Ansätze aus unterschiedlichen Themenbereichen des Flussbaus mit Daten aus Naturmessungen zu überprüfen. Da jedoch die meisten flussbaulich relevanten Prozesse im engen Zusammenhang mit dem im Mittel alle 2 bis 5 Jahre auftretenden bettbildenden Abflüssen stehen, gestalten sich die Datenaufnahmen als zeitintensiv. Da bisher nur ein entsprechendes Hochwasserereignis im Betrachtungszeitraum auftrat, fehlen für einzelne Themenbereiche Datensätze, um gültige Aussagen treffen zu können. Weitere Hochwasserereignisse mit bettbildenden Abflüssen oder ein längerer Betrachtungszeitraum würden die Aussagekraft der bearbeiteten Themenbereiche des flussbaulichen Monitorings erheblich erhöhen. Im Moment laufen die Auswertungsarbeiten zu den Themenbereichen Hydraulik und Kornverteilung des Sohlenmaterials. Mit den daraus gewonnenen Kenntnissen können im Anschluss die weiteren Themenbereiche ausgewertet werden.

Literatur

Anderson, A.G., Parker, G., Wood, A. (1975): «The Flow and Stability characteristics of Alluvial River Channels», Project Report No. 161, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, Minneapolis, Minnesota, USA.

Bezzola, G.R. (2002): «Fliesswiderstand und Sohlenstabilität natürlicher Gerinne unter Berücksichtigung des Einflusses der relativen Überdeckung», Mitteilung 173, H.-E. Minor, ed., Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich.

Da Silva, A.M.A.F. (1991): «Alternate Bars and Related Alluvial Processes», Thesis of Master of Science, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.

Grünenfelder, J., Weichert, R., Rey, P. (2005): «Interdisziplinäres Monitoringprogramm», Wasser, Energie, Luft – 97, Heft 3/4, 96–1001.

Fehr, R. (1987): «Geschiebeanalysen in Gebirgsflüssen», VAW-Mitteilung 92, Vischer, D., ed., Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich.

Gessler, J. (1965): «Der Geschiebetriebbeginn bei Mischungen untersucht an natürlichen Abpflästerungserscheinungen in Kanälen», Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau, ETH Zürich, Heft 69, 1965

Günter, A. (1971): «Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischungen unter Berücksichtigung der Deckschichtbildung und der turbulenzbedingten Sohlenschubspannungen», VAW-Mitteilung 3, Vischer, D., ed., Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich.

Hunzinger, L.M.. (1998): «Flussaufweitungen – Morphologie, Geschiebehaushalt und Grundsätze zur Bemessung», Mitteilung 159, H.-E. Minor, ed., Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich.

Jäggi, M.N.R. (1983): «Alternierende Kiesbänke», VAW-Mitteilung 62, Vischer, D., ed., Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich.

Kellerhals, R. ; Bray, D.I. (1971): «Sampling procedures for coarse fluvial sediments», Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 97, No HY8,1165–1180.

Keulegan, G.H. (1938). «Laws of Turbulent Flow in Open Channels,» Journal of Research of the National Bureau of Standards, 21 (Research Paper RP1151), 707–741.

Strickler, A.. (1923): «Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauhigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen», Mitteilung Nr.16 des Amtes für Wasserwirtschaft, Eidgenössisches Departement des Innern, Bern 1923.

Thompson, S.M., Campbell, P.L. (1979): «Hydraulics of a Large Channel Paved With Boulders», IAHR, J. Hydr. Res., 17 (4), 341–354.

Weichert, R.; Wickenhäuser, M.; Bezzola, G.R.; Minor, H.E. (2004): «Grain size analysis for coarse river beds using digital imagery processing», ed. Greco, M.; Carravetta, A.; Della Morte, R., Taylor & Francis Group, London, River Flow 2004, Napoli, Vol. 1, 753–760.

Whittaker, J.G., Hickman W.E., Croad R.N. (1988): «Riverbed Stabilisation With Placed Blocks», Central Laboratories Report, 3–88/3, Hydraulics Section, Laboratories Works Corporation, Lower Hutt, New Zealand (unveröffentlichter Versuchsbericht).

Wolman, M.G. (1954): «A method of sampling coarse river-bed material», Transactions of the American Geophysical Union, Vol. 35, No. 6.

Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Roulier, C., Schweizer, S., Tiegs, S., Tockner, K., Peter, A. (2005): «Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen», Publikation des Rohne-Thur-Projektes, Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ. 112pp.

Anschrift der Verfasserin:
Tanja Janisch
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich,
CH-8092 Zürich, janisch@vaw.baug.ethz.ch