

# Hochwasserschutzprojekt Samedan – Aspekte und Effekte der ökologischen Begleitplanung

■ Peter Rey, Jakob Grünenfelder, Pio Pitsch, Andri Bischoff

## 1. Einleitung

### 1.1 Der Systemzustand vor den Massnahmen

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde mit der Eindämmung der Hauptgewässer En und Flaz begonnen und so die Voraussetzung geschaffen, den Talboden von Samedan zu besiedeln und zu nutzen. Die Dimensionierung dieser Massnahmen erfolgte auf dem damals als maximal erachteten Hochwasserabfluss. Sowohl En als auch Flaz wurden als geradlinige Kanäle mit Hochwasserschutzdämmen ausgebaut. Hochwasserereignisse mit Überflutungen dieser Dämme erforderten in der Folge aber noch ein paar Mal Anpassungen in der Verbauung durch Profilvergrößerung und -verstärkungen. Grosse Überschwemmungen in Folge zahlreicher Dammbürche 1951, 1954, 1955 und 1957 waren Anlass zu einem völligen Neuaufbau des gesamten kanalisiertes Flusslaufes von En und Flaz. Dennoch entging Samedan auch beim letzten grösseren Hochwasserereignis im Juli 1987 nur knapp einer verheerenden Überflutung. Das Gefahrenpotenzial für den Siedlungsraum Samedan unterhalb des Zusammenflusses von En und Flaz blieb also vorerst sehr hoch.

### 1.2 Das Hochwasserschutzprojekt (HWS) Samedan

In Samedan fiel im Jahr 2000 der Entscheid für eine Massnahme, mit der diese Hochwassergefahr endgültig beseitigt werden sollte. Bei der gewählten Variante sollte moderner, ökologisch nachhaltiger Wasserbau zum Tragen kommen. Der Flaz wurde hierfür auf die östliche Seite des Talbodens verlegt und erst wieder unterhalb von Samedan mit dem En zusammengeführt. Auf diese Weise sollte nur noch der En selbst durch Samedan fliessen; dessen Wasser- und Geschiebefracht wird durch die Oberengadiner Seen abgepuffert. Die Auflageplanung enthielt bereits folgende landschaftspflegerischen Elemente:

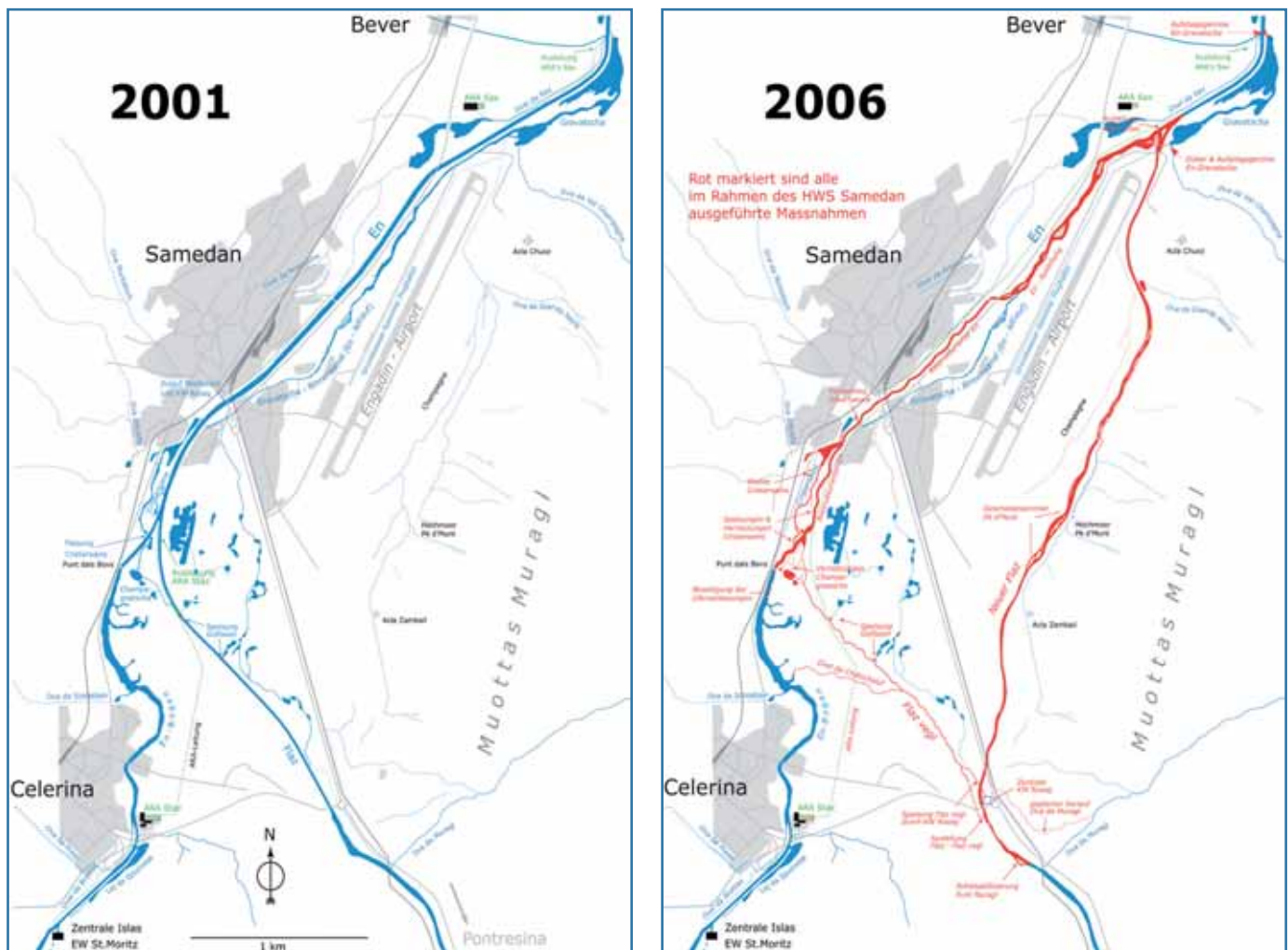
- die Gestaltung eines neuen Flazgerinnes von 4,1 km Länge;
- der Rückbau und die Neugestaltung des Flazgerinnes zwischen Punt Muragl und der bisherigen Mündung in den En (unterhalb Punt dals Bovs);
- die Neugestaltung des En innerhalb der Gemeindegrenzen von Samedan.

Der positive Entscheid für die gewählte Variante wurde seitens der Regierung Graubündens und des DVS (Departements für Volkswirtschaft und Soziales) mit Auflagen verbunden. Für die Bereiche Landschafts- und Gewässerökologie waren dies:

- Die geplanten Massnahmen zum Schutze der Umwelt sind, soweit sie



**Bild 1.** Durch die Flussverlegung des Flaz konnte eine umfassende Restrukturierung der Gewässer in der Ebene von Samedan umgesetzt werden.



**Bild 1a.** Durch die Flussverlegung des Flaz konnte eine umfassende Restrukturierung der Gewässer in der Ebene von Samedan umgesetzt werden. Insgesamt wurden rund 13 km Fließstrecken und dazugehörige Uferflächen neu gestaltet (rot markierte Abschnitte).

nicht durch ökologisch optimierte Massnahmen ersetzt werden, zu realisieren.

- Die Detailprojektierung der Massnahmen muss in enger Zusammenarbeit und im Einvernehmen mit den zuständigen kantonalen Fachstellen (ANU, AJF) und unter Beizug einer ausgewiesenen Fachperson im Bereich Ökologie erfolgen.

Die Resultate der Untersuchungen sind in einem Bericht zusammenzufassen, und die sich daraus ergebenden Massnahmen sind in einem landschaftspflegerischen Begleitplan (LBP) darzustellen. Soweit die Massnahmen kostenneutral realisiert werden können, sind sie ins Bauprojekt aufzunehmen und zu realisieren. Resultieren aus den Massnahmen wesentliche Mehrkosten für das Projekt, entscheidet die zuständige Behörde über die Zumutbarkeit.

Die Bauausführung muss durch eine anerkannte Fachperson in den Bereichen Gewässerökologie sowie Natur- und Bodenschutz begleitet werden (Umwelt-Baubegleitung). Dieser stehen die

kantonalen Fachstellen beratend zur Seite. Für die Umweltbaubegleitung ist ein Pflichtheft zu erstellen.

## 2. Landschaftspflegerische Begleitplanung

Der landschaftspflegerische Begleitplan (LBP) wurde in Form einer rollenden Planung als prozesshafte Weiterentwicklung des Projekts bearbeitet. Grundsätze für die ökologischen Entwicklungsziele und Handlungserfordernisse des LBP waren:

- Die bestehende biologische Vielfalt ist zu erhalten und zu entwickeln.
- Landschaftsteile, die für einen ausgewogenen Naturhaushalt erforderlich sind oder sich durch ihre Schönheit, Eigenart, Seltenheit oder ihren Erholungswert auszeichnen, sollen von einer negativen Beeinflussung durch die Massnahmen geschützt werden.
- Die Baumassnahme soll sich Natur und Landschaft anpassen. Einrichtungen sollen landschaftsgerecht angelegt und gestaltet werden.
- Bei Ausbau und Unterhalt des Ge-

wässersystems sollen schutzwürdige Lebensräume für Pflanzen und Tiere und damit geeignete Teile von Natur und Landschaft erhalten bzw. aufgewertet werden oder neu entstehen. Je nach Lage, Grösse und Beschaffenheit der Biotope sollte der Austausch zwischen verschiedenen Tier- und Pflanzenpopulationen und deren Ausbreitung gemäss ihren artspezifischen Bedürfnissen ermöglicht werden. Lebensräume sollen mit anderen bedeutsamen Elementen und Lebensräumen vernetzt werden.

- Auenwälder, Moore, die natürliche oder naturnahe Bodenvegetation sowie andere bedeutende und gebirgstypische Gewässer begleitende und vernetzende Landschaftselemente sind zu schützen, zu erhalten, neu zu schaffen und, soweit erforderlich und möglich, wiederherzustellen.
- Die Öffentlichkeitsarbeit sowie eine naturschutzbezogene Bildungsarbeit ist zu fördern und konsequent zu planen.

- Die Landschaft und ihre Naturgüter sind im Zuge und nach Beendigung der Massnahme so zu nutzen, dass sie nachhaltig (den Bedürfnissen kom-mender Generationen und Lebensge-meinschaften entsprechend) zur Ver-fügung stehen.
- Der Erfolg der Massnahmen ist zu prü-fen und die Entwicklung der Lebens-räume in geeigneter Form zu beobach-ten.

### 3. Die Arbeit der ökologischen Planungskommission

Im Rahmen der HWS-Massnahmen wur-den riesige Mengen Roherde, Humus und Steine umgelagert, Rodungen und Auffor-stungen getätigt, Wege und Leitungen ver-legt, Brücken gebaut und rund 13 km Fliessgewässerstrecken in ihrem Lauf, ihrer Struktur und ihrer Wasserführung verändert. All dies sollte im Sinne ökolo-gischer Nachhaltigkeit geschehen.

Um diese umfassende Aufgabe zu bewältigen, wurde von der Gesamtpro-jektleitung (Tiefbauamt GR) ab 2001 eine Ökologische Planungskommission (ÖPK) eingesetzt. Sie war für die «ökologische Optimierung» der Massnahmen gegen-über dem Auflageprojekt verantwortlich und deshalb mit besonderen Kompeten-zen ausgestattet.

In der ÖPK arbeiteten 5 Jahre lang Vertreter kantonaler Fachstellen, invol-vierter Naturschutzverbände, Gemein-devertreter und Gewässerökologen eng zusammen. Die ÖPK hatte die Aufgabe, die Formulierung ökologischer Ziele und Handlungserfordernisse sowie alle An-regungen, Forderungen und Beschlüsse zunächst in Protokollen festzuhalten und nach Prüfung ihrer Umsetzbarkeit im LBP niederzuschreiben. Um zu verhindern, dass Änderungsvorschläge gegenüber der Auflagenplanung den Ablauf der Mass-nahmen behinderten, wurden sie vorgän-gig an die verantwortlichen Bauplaner weitergegeben, dort auf ihre Machbarkeit überprüft und frühzeitig in die technische Planung übernommen.

### 4. Planungsinstrumente und -prinzipien

Um das Auflageprojekt ökologisch beur-teilen und gegebenenfalls Veränderungen vorschlagen zu können, orientierte sich die ÖPK an übergeordneten Gewässerschutz- und Gewässerentwicklungsprinzipien. Al-lein zur Gewährleistung der Hochwasser-sicherheit der Gemeinde Samedan war nur die Verlegung des Flaz von Bedeu-tung. Alle anderen Massnahmen dienten



**Bild 2.** Die Ova da Bernina ist der noch weitgehend natürlich verlaufende obere Abschnitt des Flaz. Die hier typischen Strukturmerkmale wurden als Referenz für die Entwicklung des Flaz vegl (Bild unten) herangezogen.



**Bild 3.** Von der Ova da Bernina übernom-mene Strukturmerkmale im Flaz vegl: Linienführung, Horizontal-, Vertikal- struktur, Ufer-Gerinne-Verzahnung, Substratkörnung, -mosaik und -material, Strömungsstörungen, Ausprägung von Böschungsfuss und Ufer.



**Bild 4.** Visualisierungen wurden an die technische Planung weitergereicht und dienten als Basis für die Plangrundlagen des Detailprojekts sowie als Vorlage für die Massnah-menumsetzung. Links: der Flazkanal (2002) vor der Massnahme. Rechts: die Visualisie-rung des Flaz vegl.

Entwicklungsziele	Anforderungen
Naturnahe Linienführung und Morphologie, die derjenigen natürlicher Gebirgsgewässer nahe kommt	Variable Wasserspiegelbreiten, variable Wassertiefen (Vertikalstruktur), variable Horizontalstrukturen und Umlandverzahnungen. Dem Gefälle angepasste Linienführung
Förderung einer natürlichen Weiterentwicklung (Reifung) und Eigenstrukturierung durch möglichst grosszügige Gerinnebreiten	Gerinneaufweitung in dem Masse, das zur Eigenstrukturierung benötigt wird. Wo es aus wasserbaulicher Sicht möglich ist, Aufweitung in 5-6-facher Breite der bei Normalwasserstand benetzten Gerinnefläche (Pendelband)
Entwicklung einer authentischen (der Region und Höhenlage entsprechenden) Flusslandschaft	Einzubringendes Material soll dem lokalen geologischen Horizont (ortstypisch) entstammen. Die Korngrössen sollen denen der Referenzgewässer entsprechen. Die neuen Ufer der Fliessgewässer sind terrassiert auszugestalten. Wegenetz darf nicht störend wirken
Vermeidung sichtbarer Uferverbauungen und Sicherungsbauwerke (z.B. Dämme). Wo dies nicht möglich ist, sind diese in naturnaher Form dem Landschaftscharakter anzupassen.	Allfällige Dammaufschüttungen durch naturnahe Ufer-Gerinne-Verzahnung, Gestaltung und Böschungsneigung der Flusslandschaft angleichen. Allfällige Verbauungen mit geeigneten ortstypischem Gestein oder Rohboden abdecken. Sohlablockerung durch Naturblöcke einem Uferverbau vorziehen
Förderung gewässertypspezifischer Geschiebedynamik	Ausformung oder Entwicklung eines Flussbettes variabler Breite mit geeignetem Gefälle und ggf. Sohlstreinen
Wegenetz zur Erhöhung des Naherholungswertes	Wege müssen in ihrer Form und Funktion den ökologischen Erfordernissen und dem Landschaftsbild angepasst sein
Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung im Gewässer-System darf die Qualität des neuen Lebensraums nicht negativ beeinflussen	Eine intensive Bewirtschaftung sollte in so grossem Abstand von den Gewässern stattfinden, dass nicht nur den gesetzlichen Auflagen entsprochen wird, sondern auch der diffuse Nährstoffeintrag weitestgehend vermieden werden kann.
Die Durchgängigkeit im System ist sowohl für Fische als auch für andere Tiere des Gerinnes und des Uferbereichs zu gewährleisten	Niveaugleiche Anbindung von Nebengewässern und vom Flaz an den En. Beseitigung/Vermeidung von künstlichen Ausbreitungsbarrieren. Gewährleistung ausreichender Wassertiefen für die Fischwanderung
Entlang der Gewässer soll sich sukzessive eine standortgerechte Ufervegetation entwickeln können	An den Ufern der neu gestalteten/geschaffenen Gewässer sollen ausreichend grosse Gewässerrandflächen zur Eigenentwicklung ausgeschieden werden. Bepflanzungskonzept erarbeiten
Genutzte und umgelagerte Böden sind entsprechend ihrer Bedeutung zu behandeln und fallweise zu schützen	Für den Umgang mit den Böden im Rahmen des HWS muss ein separates Bodenschutzkonzept erstellt und umgesetzt werden

**Tabelle 1.** Die wichtigsten ökologischen Entwicklungsziele des HWS Samedan und die daraus abgeleiteten Anforderungen für die Planung und Umsetzung.



Bild 5. Ökologische Baubegleitung: Der ökologische Baubegleiter ist am Bau mit weitreichenden Befugnissen ausgestattet. So gibt er der Bauleitung und dem Baggerführer konkrete Anweisungen zur Massnahmenumsetzung. In den hier vorgestellten Beispielen bespricht der ökologische Baubegleiter die richtige Positionierung von Sohlblöcken als Stabilisierungs- und Strukturierungselemente im Neuen Flaz.

vor allem der Wiederbelebung der Gewässerlebensräume und der landschaftlichen Aufwertung des Systems.

Das Prinzip der ökologischen Nachhaltigkeit gibt vor, dass keine der aktuellen Massnahmen eine künftige ökologische Aufwertung des Systems oder angrenzender Bereiche behindern oder verhindern darf. So gab die ÖPK beispielsweise den Anstoss dafür, dass die neuen Abwasserleitungen zwischen Samedan

und Schanf künftig entlang bestehender Infrastruktur (Kantonsstrasse, Bahntrasse), also gewässerfern, verlaufen. Sie werden künftigen Aufwertungsmaßnahmen am En – auch ausserhalb des aktuellen Projektperimeters – also nicht mehr im Wege sein.

#### 4.1 Referenzen

Die Entwicklung der Gewässer und ihrer Ufer im Projektgebiet sollte dem jewei-

ligen Gewässertyp entsprechen und so naturnah wie möglich erfolgen. Um dies zu erreichen, wurde das Aussehen und die Funktionen natürlicher Gewässer der Region als Referenz (Vorbild) für die Planung herangezogen.

Referenzen waren die Leitbilder, an denen sich die möglichen Entwicklungsziele orientierten. Die strukturellen, hydrologischen und ökologischen Merkmale wurden für die Formulierung des angestrebten Zustands herangezogen. Die ÖPK verdeutlichte diesen angestrebten Systemzustand mithilfe so genannter Visualisierungen.

Durch diese Vorgehensweise wurde gewährleistet, dass sich die neuen und umgestalteten Gewässerläufe harmonisch in das Landschaftsbild einfügen und spätere Unterhaltsmassnahmen weitgehend überflüssig machen.

Die Massnahmen sollten auch einen Zugewinn an Landschaftsästhetik bringen und dadurch dem Erholungsbedürfnis der Menschen entgegenkommen. Als unabhängiger Massstab dafür ist die Natürlichkeit und Vielfalt einer für die Region typischen Gewässerlandschaft anzusehen. Diese wird erreicht, wenn die neu gestalteten Gewässer, Ufer und Auen in Form und Funktion den angesprochenen Referenzen nahe kommen.

Um Erlebnis- und Erholungswert zu steigern, musste dafür gesorgt werden, dass neu gestaltete Gewässerlandschaften durch ein in Form und Funktion passendes Wegenetz erschlossen wurden. Dabei sollten schützenswerte Lebensräume, z.B. bedeutende Vogelbrutgebiete und -rastplätze, weitestgehend störungsfrei bleiben.

#### 5. Beispielhafte Entwicklungsziele

Die Tabelle 1 enthält eine Auswahl der im LBP formulierten Entwicklungsziele und

Objekte	Gewässerökologisch begründete Massnahmen
<b>Neuer Flaz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dem Gefälle angepasste Linienführung und Strömungslenkung</li> <li>• Kaschierung von Fremdmaterial durch Ortsmaterial und Rohböden</li> <li>• Variationen in Böschungsneigung und Uferlinie (Damm-Innenseite links)</li> <li>• Geländeangleichung und -vernetzung des rechten Uferbereichs</li> <li>• Einbringen gewässertypischer Blöcke und Tothölzer</li> <li>• Bepflanzungskonzept zur Entwicklung einer standortgerechten Ufervegetation</li> </ul>
<b>Flaz vegl</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verschiedene Punkte wie bei Neuem Flaz</li> <li>• Beseitigung der alten Flazdämme, naturnah gestalteter Wanderweg</li> <li>• grosszügig bemessenes Pendelband und Raum zur Eigenentwicklung</li> <li>• Niveaugleiche Anbindung an Champagnatscha</li> <li>• Neue Verbindung zum En-Bogen (Ovel da Chatschaluf)</li> </ul>
<b>Neue Flazmündung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anbindung an En mit grösstmöglichem Übergangsbereich</li> <li>• Möglichkeit zur Bildung von Flussinseln</li> <li>• Hochwasserschutzdämme gegenüber Gravatscha auf HQ<sub>100</sub> reduziert</li> <li>• Verbindung En-Gravatscha mittels fischgängigem Düker</li> </ul>
<b>Champagnatscha</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveaugleiche Anbindung von Flaz vegl und En in der Champagnatscha</li> <li>• Auflösung der bisherigen künstlichen Grenzen zum En</li> <li>• Neuvernetzung der Champagnatschagewässer untereinander</li> <li>• Wiederflutung ehemaliger Geländerrinnen</li> <li>• Schutzprogramm für standorttypische Pflanzenarten und Amphibien</li> </ul>
<b>En-Kanal vor Samedan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verschiedene Punkte wie bei Neuem Flaz</li> <li>• Absenkung der alten Schutzdämme und Geländeangleichung</li> <li>• Ausbildung ausgeprägter Gefällevariationen</li> <li>• Der Gewässerlandschaft angepasster, naturnaher Wanderweg</li> <li>• Neuanbindung an Aue Cristansains (dreistufig, abflussabhängig)</li> </ul>
<b>En-Kanal unterhalb Samedan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En-Ausleitung in das Bett des Gravatscha-Binnenkanals</li> <li>• Reaktivierung alter Auenbereiche</li> <li>• Beibehalten der Uferlinie rechts (Altlauf), variierende neue Uferlinie links</li> <li>• Ausbildung von Flussinseln (neu oder durch Erhalt bestockter Strukturen)</li> <li>• Substratsortierung (Laichsubstrat für Bachforellen und Äschen)</li> </ul>
<b>Aue Cristansains</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neue Anbindung an En durch naturnahes Gerinne (oberer Zufluss)</li> <li>• Zusätzliche abflussabhängige Anbindungen an En (unten niveaugleich)</li> <li>• Reaktivierung alter Auengerinne und Flutmulden</li> <li>• Amphibiendurchlässe zum Bereich "Ariefa"</li> </ul>
<b>Sonstige Objekte und Schutzansprüche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neuer Fischaufstieg am unteren Ende von Gravatscha zum En</li> <li>• Beseitigung von Blocksatz am rechten Ufer En-Bogen</li> <li>• Schutzdamm und Auslassbauwerk für Hochmoor Pé d'Munt</li> <li>• Schutzmassnahmen zur ungestörten Entwicklung der Avifauna</li> <li>• Vernetzung alter En-Lauf und Cristansains, Fischaufstieg Düker "Seerose"</li> </ul>

Tabelle 2. Spezifikation der wichtigsten ökologisch begründeten Massnahmen des HWS Samedan.

die daraus abgeleiteten Anforderungen für die technische Planung. Aufgeführt sind nur übergeordnete Aspekte, die für eine naturnahe, der Region und Höhenlage des Oberengadins entsprechende Gewässer- und Umlandentwicklung stehen.

### 6. Ökologische Baubegleitung

Nicht jedes Detail, welches als Anforderung oder Empfehlung formuliert wurde, konnte auch auf dem Papier geplant werden. Ein von der ÖPK benannter Ökologischer Baubegleiter griff deshalb ab 2002 in entscheidendem Masse in die Massnahmenumsetzung des HWS Samedan ein. Unter die Verantwortung des Baubegleiters fielen die Durchführungen aller ökologisch begründeten Massnahmen des Projekts. Bei der Gestaltung der neuen oder der zu restrukturierenden Gewässerläufe zeigte sich, dass wichtige Aspekte in der Planung nicht berücksichtigt werden konnten, dass sich andererseits aber auch einige geplante Details bei der Umsetzung erübrigten. Auch stellte sich oft erst im Verlauf der Bauarbeiten heraus, wie ein Gewässer auf gegebene Impulse wie eine neue Wasserspeisung, eine Laufveränderung oder Uferstrukturierung reagiert. Hier musste fallweise ein improvisierter, lenkender Eingriff während der Bauausführung möglich sein.

Um die Ausführung der Massnahmen im Rahmen zuvor vereinbarter Grenzen lenken zu können, wurden dem Baubegleiter weitreichende Befugnisse eingeräumt.

### 7. Ökologisch begründete Massnahmen

Die ins Projekt mit einbezogenen Gewässer mussten – unterschiedlich wie sie waren – auch als individuelle Objekte behandelt werden. Bevor ökologisch begründete Massnahmen visualisiert und/oder durch die ökologische Baubegleitung veranlasst wurden, mussten sie von der ökologischen Planungskommission noch einmal genauer bzw. spezifischer formuliert werden.

### 8. Ergebnisse des Projekts

Durch die enge Zusammenarbeit zwischen der ÖPK und der technischen Planungsgruppe konnten nahezu alle Möglichkeiten einer ökologischen Optimierung des HWS Samedan ausgeschöpft werden. Dennoch gelang es nicht, alle in den Entwicklungszielen formulierten und visualisierten Systemverbesserungen auch im Detail umzusetzen. Naturräumliche Grenzen hierfür waren z.B. dafür ungeeignete Gelände-



**Bild 6. En-Kanal in Samedan (Blick vom Eisplatz Samedan En-abwärts in nördlicher Richtung):** Durch die Restrukturierung des En hat sich das Landschaftsbild im Ortsbereich von Samedan stark verändert. Durch eine aufgelockerte Wegeführung im Gewässerraum ist die neue Landschaft auch intensiver erlebbar. Durch Samedan fliesst nur noch das Wasser von En und Flaz vegl. Überflutungen des Siedlungsraums, wie sie früher periodisch vorkamen, sind heute nicht mehr zu erwarten. Linkes Bild: 2003, direkt vor, rechtes Bild: 2005 direkt nach der Massnahme.



**Bild 7. Linke Bildleiste: En-Kanal in Samedan (Blick von Quadratscha En-aufwärts in südlicher Richtung):** Die stark reduzierte Wasserführung des En in Samedan erlaubte es, die Hochwasserdämme massiv abzusenken und damit ausreichenden Raum für Restrukturierungsmassnahmen im alten Kanalgerinne zu schaffen. Das Entwicklungspotenzial für die Massnahme erwies sich letztlich grösser, als noch bei der Formulierung und Visualisierung der Entwicklungsziele erwartet werden konnte.

**Bild 8. Rechte Bildleiste: Neue Flazmündung (Blick von Gravatscha En-aufwärts in südlicher Richtung):** Die neue Flazmündung unterhalb von Samedan stellt eine technische Lösung mit naturnahen Elementen dar. Damit das Wasser von Gravatscha nicht durch Flazwasser, welches häufig Gletschermilch enthält, getrübt wird, wird der See durch einen Düker unter dem Flaz hindurch mit Enwasser gespeist. Der auf der linken Flazseite in die Mündung vorgezogene Sporn wurde zwischenzeitlich stark abgetragen.



**Bild 9. Linke Bildleiste:** Alte Flazmündung, heute Zusammenfluss von Flaz vegl und En (Blick von Cristansains über Champagnatscha in südöstlicher Richtung): Im Bereich der alten Flazmündung fanden umfangreiche Revitalisierungsmassnahmen statt. Die ehemaligen Auenbereiche von Champagnatscha und Cristansains konnten als echte, periodisch durch den En überflutete Auen reaktiviert und wieder miteinander vernetzt werden. Bei diesem Objekt konnten alle visualisierten Entwicklungsziele umgesetzt werden. (Einige Massnahmen sind auf dem Situationsbild von 2005 noch nicht sichtbar.)



**Bild 10. Rechte Bildleiste:** Die En-Ausleitung (Blick En-aufwärts in südlicher Richtung): Die Ausleitung des En in das Gerinne des En-Altlaufs unterhalb Samedan war das Herzstück der gewässerökologischen Aufwertungen im System. Einige der in der Zwischenzeit durchgeführten Massnahmen sind auf dem Situationsbild von 2005 noch nicht sichtbar (z.B. Gestaltung des linken Ufers der Ausleitung; Auffüllung und Bepflanzung des alten Kanalgerinnes).



**Bild 11. Zusammenfluss von Flaz vegl und En (Blick von Champagnatscha En-abwärts in nördlicher Richtung):** Die auffälligste Veränderung im Bereich der alten Flazmündung ist die nun veränderte Wasserführung. Während 2003 En (von links) und der durch Gletschermilch getrübt Flaz (von rechts) noch weitgehend unvermischt durch Samedan flossen, enthält das nun restrukturierte En-Gerinne seit 2005 nur noch Wasser aus En und Flaz vegl.

niveaus oder benachbarte Nutzflächen (Siedlungs- / Weideflächen, Flugplatzareal u.a). Auf der anderen Seite konnten durch die permanente Baubegleitung Möglichkeiten zur ökologischen Verbesserung ergriffen werden, die zuvor nicht erkennbar waren. An ausgewählten Objekten des HWS Samedan sollen im Folgenden die wichtigsten Verbesserungen für den Hochwasserschutz, das Landschaftsbild und die Gewässer- und Uferlebensräume vorgestellt werden.

### 9. Konkrete künftige Massnahmen und Anforderungen

Mit Beendigung des HWS Samedan sind auch die menschlichen Eingriffe in das Gewässersystem weitgehend abgeschlossen. Was nun folgt, sind Prozesse der Eigenentwicklung in und an den umgestalteten Gewässern. Auch künftig gelten die für die Landschaftspflegerische Planung aufgestellten Grundsätze (vgl. S.4) weiter. Die natürliche Reifung des Systems darf nun durch erneutes Eingreifen nicht mehr gestört werden. Alle Massnahmen, welche die verbesserte ökologische Funktionsfähigkeit oder landschaftsästhetische Verbesserungen des Systems beeinträchtigen könnten, müssen unterlassen werden. Andere Massnahmen müssen beginnen oder weitergeführt werden. Verbindliche Vorgaben für den künftigen Umgang mit der Gewässerlandschaft in der Ebene von Samedan sind:

#### Erschliessung und Besucherlenkung (verantwortlich: Gemeinde Samedan)

- Der alte Wanderweg am rechten Ufer des neuen Flaz wurde zum Schutz vor übermässiger Störung von Lebensräumen für die Zukunft aufgehoben.
- Ans Wasser sollen künftig keine neuen Wanderwege führen. Auch sollen keine gewässernahen neuen Freizeitbeschäftigungen erschlossen werden. Das verträgliche Mass im HWS-Perimeter ist bereits ausgeschöpft.
- Das Fuss- und Radwegenetz entlang der Gewässer darf, mit Ausnahme des Radweges Celerina-Samedan, nicht mit Hartbelägen versehen werden.
- Der linke Damweg des Neuen Flaz ist von der Zufahrtsrampe (Kiesentnahme) abwärts auf Fusswegbreite zu reduzieren und weitgehend einwachsen zu lassen. Ein absolutes Fahrverbot ist durchzusetzen.

#### Unterhalt und Schutzmassnahmen

- Die Schutzvorrichtung des Hochmoors Pè d'Munt muss bei drohender Gefahr von Hochwasser (Rückstau) geschlossen werden (verantwortlich: Fischereiaufsicht).

- Geschiebeentnahmen aus der Ablagerungszone Pè d'Munt dürfen den Entwicklungszielen nicht entgegenlaufen. Zuständig ist die Gemeinde, Zeitpunkt, Standort und Ausmass der Entnahmen sind in einem Unterhaltsplan geregelt.

#### Wasserspeisungen

(verantwortlich Haupt-Fischereiaufsicht des AJF)

- Das turbinerte Wasser aus dem KW Roseg speist in erster Priorität den Flaz vegl. Vom 15. April bis Ende Oktober werden davon maximal 60 l/s für die Bewässerung des Golfplatzes zur Verfügung gestellt. Weitere 120 l/s Wasser können die Golfplatzbetreiber während dieser Zeit über die Ausleitvorrichtungen aus dem Flaz vegl beziehen, vorausgesetzt, dass die Einspeisung von Flazwasser gewährleistet ist.
- Der Abzweiger Chatschaluf in Richtung Celerina soll nur dann Wasser führen, wenn die Einspeisung mit Flazwasser in den Flaz vegl gewährleistet ist.
- Sämtliche Reguliermassnahmen, die Wasserspeisung des Flaz vegl (durch KW- und Flazwasser), die der beiden Düker Seerose und Gravatscha bzw. die Wasserentnahme für den Golfplatz, haben unter der Aufsicht des Hauptfischereiaufsehers zu erfolgen. Ausführung: Bauamt Samedan.
- Unterhaltsarbeiten oder Störfälle im Betrieb des KW Roseg, welche Auswirkungen auf die Wasserversorgung des Flaz vegl haben könnten, müssen bei Unterhaltsarbeiten 15 Tage im Voraus und bei Störfällen unverzüglich dem Hauptfischereiaufseher gemeldet werden (Meldepflicht: EW).

#### Amphibiendurchlässe Cristansains-Ariefa

(verantwortlich: Gemeinde, Fischereiaufsicht)

- Die Stauvorrichtungen müssen bis spätestens 15. April entfernt und spätestens Ende Mai wieder montiert werden. Beim Öffnen der Amphibiendurchlässe ist gleichzeitig das Amphibienleitwerk auf der gesamten Länge auf seine Funktionstüchtigkeit zu prüfen. Vorhandene «Brücken» (Schnee, Holz, dürres Gras) sind allenfalls zu entfernen.

#### Generelle Nutzungsbeschränkungen

(verantwortlich: Gemeinden Samedan, Celerina)

Unterlassen werden sollen:

- eine erneute gewässernahe Nutzung



**Bild 12.** Auch die landschaftliche Aufwertung kommt in diesem Projektabschnitt besonders deutlich zur Geltung. Aus einem Zusammenfluss zweier kanalisierter Flüsse wurde eine Gewässerlandschaft, die den ursprünglichen Charakter und die ökologische Funktionsfähigkeit einer Gebirgsaue aufweist.



**Bild 13.** Flaz vegl (Blick bachabwärts in westlicher Richtung): Im ehemaligen Flazkanal fliesst heute der renaturierte Lauf des Flaz vegl mit noch maximal 1,5 Kubikmeter Wasser pro Sekunde. Die alten Flazdämme konnten zurückgebaut werden, die Vegetation schliesst langsam die «Wunden» in der Landschaft. Der rund 2,5 km lange Lauf des Gebirgsbachs hat sich bereits zu einem beliebten Naherholungsgebiet entwickelt.



**Bild 14.** Der Neue Flaz: Wo 2001 noch eine Rinderweide von kleinen Drainagekanälen durchzogen wurde (Bilder rechts), fliesst heute ein von Menschenhand geschaffener, rund 4 km langer Gebirgsfluss, der Neue Flaz (linkes Bild).

- bereits extensivierter Flächen;
- Veränderungen der gewässernahen Bodenbeschaffenheit und des Bodenprofils;
- der Bau gewässernah liegender Anlagen, Bauten und Erschliessungen ohne erneute Prüfung ihrer ökologischen Verträglichkeit;
- eine Veränderung des im Rahmen des HWS angelegten Wegenetzes (in Umfang, Funktion und Qualität);
- eine Neubestockung/Neuansamung von Vegetation ausserhalb des Bepflanzungskonzeptes.



**Bild 15.** Die Aue Cristansains: Die bis 2005 vom En weitestgehend getrennte Aue Cristansains (oberes Bild) wurde wieder an vier Stellen an das System angebunden. Die Aue besitzt nun einen permanenten Durchfluss und ist oben wie unten niveaugleich mit dem En verbunden. Daneben kann sie mittels zweier weiterer Senkmulden im En-Damm periodisch überflutet werden.



**Bild 16.** Die En-Ausleitung: Die neue Gestalt des En unterhalb von Samedan: a) Verlauf der En-Ausleitung von Fussgängerbrücke bis Kantonsstrassenbrücke (nach der Flutung, Nov. 2005); b) Moment der En-Ausleitung am 22. September 2005; c) leerer ehemaliger En-Kanal nach Ausleitung; d) eines der als Insel erhaltenen Uferstücke des ehemaligen En-Altlaufs; e) rechtes, erhaltenes Ufer des ehemaligen En-Altlaufs.

### Generelle Verpflichtungen

Durchgeführt werden sollen:

- die ökologische Erfolgskontrolle im Rahmen eines Monitoring-Programms (ANU);
- kleinere bauliche Korrekturen, wenn bei der Erfolgskontrolle noch ökologisch relevante Defizite nachgewiesen werden (Gemeinde, ANU);
- Instandhaltung und Unterhalt von abfluss- oder geschieberelevanten Objekten sowie von Fischauf- und Fischabstiegshilfen (Gemeinde, AJF);
- Schutz- und Fördermassnahmen regional bedeutender und/oder gefährdeter Lebensräume und Arten (Auenvegetation, Überwinterungs-, Rast- und Brutgebiete für Vögel, Äschenpopulation u.a.) (Gemeinde, AJF, ANU).

### 10. Fazit, Erkenntnisse und Erfahrungen

Im Rahmen des HWS Samedan wurde nach vielen Jahrzehnten in der Schweiz wieder eine Flussverlegung als schutzwasserbauliche Massnahme umgesetzt. Im Gegensatz zum damals praktizierten konventionellen Wasserbau wurde beim HWS Samedan der aktuelle «Integrale Ansatz» umgesetzt, der den Schutz vor dem Wasser sowie den Schutz und die Nutzung der Gewässer gleichermaßen berücksichtigt.

Vor diesem theoretischen Hintergrund wurden im Rahmen des Projekts die Anforderungen aller gewässerrelevanten Rechtsgrundlagen der Schweiz (Gewässerschutzgesetz, Wasserbaugesetz, Wasserrechtsgesetz, Fischereigesetz, Umweltschutzgesetz, Natur- und Heimatschutzgesetz sowie deren Verordnungen) erfüllt. Ebenfalls mit Leben erfüllt wurde das 2003 von BUWAL und BWG\* entwickelte «Leitbild Fliessgewässer Schweiz».

Die vorbildhafte Zusammenarbeit von Wasserbau und Gewässerschutz im Rahmen des Projekts sowie seine früh erkennbaren Erfolge führten dazu, dass der Kanton Graubünden und die Gemeinde Samedan als Bauherr im Jahr 2005 den Schweizerischen Wasserpreis entgegennehmen durften.

Aus Erfolgen, Fehlern und Reaktionen konnten wichtige Erkenntnisse für künftige Projekte gewonnen werden. Einige davon sind:

- Eine Ökologische Planungskommission und Baubegleitung ist bei einer grossräumig angelegten Hochwasserschutz- und/oder Wasserbaumassnahme unverzichtbar.
- In der Bevölkerung und bei den Nut-



**Bild 17.** Das En-Flaz-System bekam im Verlauf der Massnahmen viel Raum zur Eigenentwicklung. Links: Flaz vegl im Herbst 2006; links der En unterhalb Samedan im Dezember 2006.



**Bild 18.** Neues Panorama des Ens oberhalb Samedan mit Anbindung an das Auengebiet Champagnatscha. Links der Muottas Muragl, rechts im Hintergrund Celerina.

zern gewässernaher Flächen gibt es oft noch tief verwurzelte Klischees gegenüber neuen Ansätzen in Gewässerschutz und Wasserbau. Diese können nur durch frühzeitige, umfassende Öffentlichkeitsarbeit und ehrliche Information über künftige Entwicklungen abgebaut werden.

- Die Anforderungen an die Gewässerqualität (Gewässerschutzverordnung, *Anh. 1*) decken sich heute weitestgehend mit dem landschaftsästhetischen Empfinden in der Bevölkerung. Je höher der Grad der Natürlichkeit einer Gewässerlandschaft, desto schöner und erholsamer wirkt sie auf den Betrachter.
- Aus denselben Empfindungen heraus entsteht der Wunsch, dass die durch Baumassnahmen entstehenden «Wunden» im Landschaftsbild schnell verschwinden. Wenn dies nicht aktiv erfolgt, sondern man dem System Zeit für Eigenentwicklungen zugestehen will, dann muss hierfür Verständnis bei der Bevölkerung eingeholt werden.
- In diesem Zusammenhang sind die Informationen über die Systementwicklung (laufende Erfolgskontrollen und Monitoringprogramm) und das aktive Einbeziehen der Öffentlichkeit entscheidend. Die Gemeinde beschreitet

mit den – erstmals am 21. und 22. September 2007 stattfindenden «Samedaner Wassertagen» diesbezüglich einen wichtigen Weg.

(<http://www.wassertage.ch>)

Was in vielen anderen Schweizer Gemeinden noch unvorstellbar ist, gelang in Samedan. Durch mutige (rollende) Planung, vorbildhafte Zusammenarbeit der Fachbereiche und engagierte Öffentlichkeitsarbeit seitens der Gemeinde und des Kantons konnte – trotz höheren Kosten – eine Mehrheit der Bevölkerung für das Konzept «Flazverlegung» und ökologische Aufwertung des Gewässersystems gewonnen werden.

Das Hochwasserschutzprojekt Samedan ist damit vorbildhaft für eine moderne, nachhaltige Gewässerschutz- und Wasserbaupraxis in der Schweiz. Einige Erfolge sind direkt nach Beendigung des Projekts bereits offensichtlich – deutlich verbesserter Hochwasserschutz und eine zurückgewonnene ökologische Funktionsfähigkeit. Die durch das Projekt geschlagenen «Wunden» in der Landschaft werden dagegen noch einige Jahre sichtbar bleiben. Die weitere Landschafts- und Gewässerentwicklung wird weitestgehend der Natur überlassen. Nur so kann sich eine ortstypische und natürliche Landschaftsästhetik entwickeln.

Anschrift der Verfasser:

*Peter Rey*  
HYDRA-Büro, Fürstenbergstr. 25  
D-78467 Konstanz  
Tel. +49 7531 924 000  
[p.rey@hydra-institute.com](mailto:p.rey@hydra-institute.com)

*Jakob Grünenfelder,*  
ecowert GmbH, Denter Tumas 6  
CH-7013 Domat/Ems, Tel. +41 81 250 62 62  
[fokus@ecowert.ch](mailto:fokus@ecowert.ch)

*Pio Pitsch,* Fischereiaufsicht Amt für Jagd und Fischerei Graubünden, Plaz Grond  
CH-7537 Müstair, Tel. +41(0)81 858 50 54  
[p.pitsch@ajf.gr.ch](mailto:p.pitsch@ajf.gr.ch)

*Andri Bischoff*  
Tiefbauamt Graubünden, Abteilung Wasserbau, Grabenstr. 30, CH-7001 Chur  
Tel. +41 (0)81 257 38 47  
[andri.bischoff@tba.gr.ch](mailto:andri.bischoff@tba.gr.ch)

Fotos und Fotomontagen P. Rey  
Bild 14, M. Michel.

# 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 Champagne-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 Wei-

teren 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 Teilergebn 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 Abpflasterungs- 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.

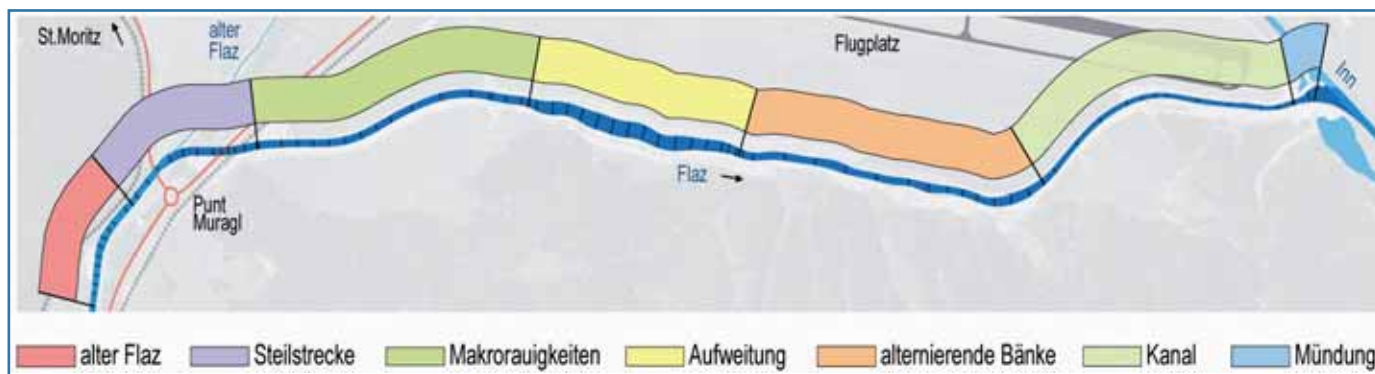
Die für die Bearbeitung notwendigen Daten stammen dabei aus unterschiedlichen Quellen. Daten der Themenbereiche Kornverteilung des Sohlenmaterials, Abpflasterungs- und Sortierprozesse in der Gerinnesohle wurden mit Hilfe entsprechender Beprobungsmethoden von der VAW selbst gesammelt. Dies gilt ebenso 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 Dateien, 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 Geschiebeprobe, 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

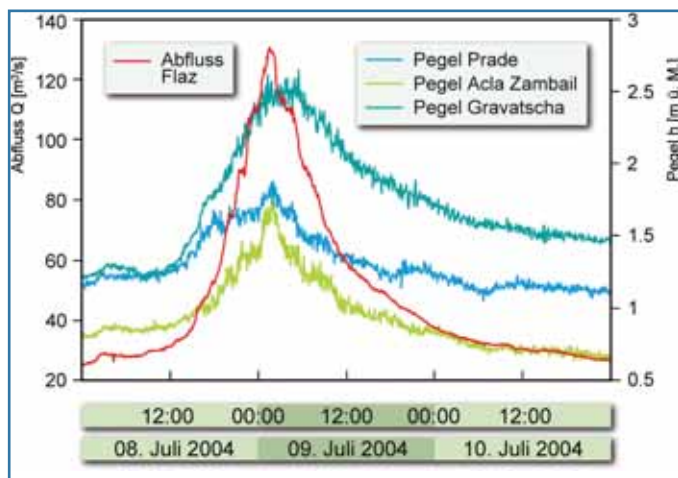
der entsprechenden Umrechnungsverfahren.

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

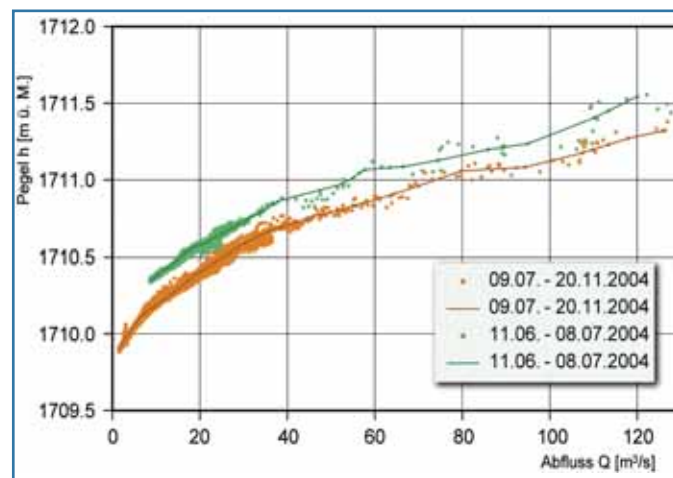
## 2.3 Abpflasterungs- und Sortierprozesse

Die Kenntnis der Sortier- und Abpflasterungsprozesse 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 Grava-tscha 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 vergrößerte Pflasterungsschicht, die sogenannte 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 grobmöglichst Deckschicht nach Fehr (1987) und Günter (1971) bestimmen lassen.

Ausserdem ist durch die Sortier- und Abpflasterungsprozesse 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 Bezola (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 Hochwasserspuren 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 (Geschiebebanke) einer dynamischen Veränderung. Die Bewegung der

Geschiebebanke 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 wird 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 Aussage-

kraft jedes flussbaulich relevanten ökologischen Indikators anhand des Flaz-Projektes zu beurteilen.

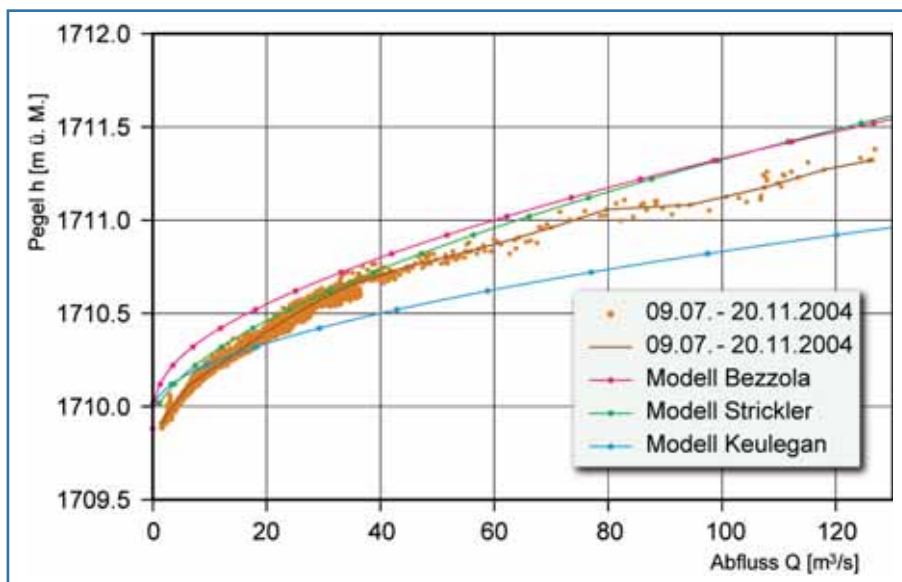
## 3. Erstes Teilresultat

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 Punkthafen 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, dass jene Kurve, die sich aus dem logarithmischen Widerstandsgesetz nach Keulegan (1938) ergibt, ab einem Abfluss von rund  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  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  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  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 Abpflasterungserscheinungen 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, Geschiebehalt 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 Rauheitszahlen 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., Tieggs, 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

# Hochwasserschutzprojekt Samedan: Grundwasser-Monitoring

■ Jakob Grünenfelder

## 1. Einleitung

Der Lockergesteins-Grundwasserleiter im Raum Samedan stellt eine wichtige lokale Grundwasserressource dar. Zudem befinden sich im Gebiet wichtige Infrastrukturanlagen der Gemeinde Samedan (Flugplatzareal, Güterumschlagzentrum «Cho d'Punt», Gewerbezone «Champagna»), welche einen geringen Flurabstand zum Grundwasserspiegel aufweisen. Um mögliche Auswirkungen des Hochwasserschutzprojektes auf die Grundwasserverhältnisse zu überprüfen, beobachtet ein Modul des Flaz-Monitorings seit Projektbeginn an verschiedenen Orten die Grundwasserverhältnisse (Grünenfelder et al. 2005).

## 2. Ausgangslage

Der mittlere Flurabstand des Grundwasserspiegels beträgt in der Ebene von Samedan teilweise nur wenige Meter bis einige Dezimeter. Die Fliessrichtung des Grundwassers ist entlang der Talachse nach Nordosten gerichtet. Die Fliessgeschwindigkeiten sind mit weniger als 10 m/Tag insgesamt gering (Sieber, Cassina + Handke AG, 2000). Der Grundwasserleiter steht in engem Kontakt mit den Oberflächengewässern Inn und Flaz. Im oberen Projektperimeter bei Celerina konnten bedeutende Infiltrationen des Inn in den Grundwasserkörper beobachtet werden. Demgegenüber treten ausgangs der Siedlung von Samedan starke Exfiltrationen aus dem Grundwasser auf (ANU, 2002).

Im Rahmen des Hochwasserschutzprojektes Samedan erfolgten grossräumige Verlegungen und Umgestaltungen von Oberflächengewässern (Neuer Flaz, Flaz Vegl, Revitalisierung Inn).

Bei der Planung der Flazverlegung wurde die Veränderung der Grundwasserstände mit einem zweidimensionalen Grundwassermodell prognostiziert. Aus dem Modell resultierten insgesamt geringe Veränderungen der Grundwasserverhältnisse aufgrund des Hochwasserschutzprojektes. Bei Annahme einer sehr grossen Durchlässigkeit des neuen Flazgerinnes, welche in den ersten Jahren auftreten könnte, wurde ein geringer bis mässiger Grundwasseranstieg erwartet, welcher sich lokal hauptsächlich im Bereich des Gewerbegebietes von Samedan

etwas stärker auswirken können (Sieber, Cassina + Hantke AG, 1999 und 2000).

## 3. Durchgeführte Erhebungen

### 3.1 Grundwasserqualität

Um die Auswirkungen der Flazverlegung auf die Grundwasserqualität zu untersuchen, führte das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Sektion Hydrogeologie (heute Bundesamt für Umwelt, BAFU) verschiedene Abklärungen durch (BWG, 2005). Die Messkampagne dauerte vom 22. März 2004 bis 4. November 2004, also in der Zeit der ersten Flutung des neuen Flaz (24. April 2004). Da der Bund in Samedan seit Jahren eine entsprechende Messstelle unterhält, waren die Abklärungen eng mit dem nationalen Grundwasserprogramm NABESS (Nationales Netz zur Beobachtung von Grundwasserständen und Quellschüttungen) und NAQUA (Nationales Netz zur Qualitätsbeobachtung des Grundwassers) koordiniert. Im Mittelpunkt der Erhebungen standen die möglichen hydrochemischen Auswirkungen der flussbaulichen Massnahmen. Das Programm zur Überwachung der Grundwasserqualität umfasste sechs Messstellen (siehe Bild 1), an denen während der Messperiode im zweiwöchigen bzw. monatlichen Rhythmus insgesamt 61 Proben entnommen und analysiert wurden. Die Untersuchung erfolgte in 3 Phasen: vor der Flazverlegung (März 2004), direkt nach der ersten Flutung des Flaz (24. April bis Ende Juni 2004) und nach der Flazverlegung (Juli bis November 2004). Die chemischen Analysen wurden nach den Vorgaben des NAQUA<sub>TREND</sub>-PRO-

grammes vorgenommen (<http://www.bafu.admin.ch/hydrologie>). Diese umfassten zunächst die Bestimmung hydrochemischer Kennwerte und die Analyse der Hauptionen sowie der Schwermetalle.

Während der Messperiode wurden zudem an den sechs Messstellen die stabilen Isotope Sauerstoff-18 und Deuterium sowie das radioaktive Tritium monatlich bestimmt. Diese Analysen konnten mit der nahe liegenden, langjährigen Messstelle des nationalen Netzes zur Beobachtung der Isotope im Wasserkreislauf (NISOT) in Pontresina koordiniert werden.

### 3.2 Grundwasserstände

Anhand kontinuierlicher Aufzeichnungen mit Pegelschreibern und periodischer Handmessungen werden seit 2001 die Auswirkungen des Hochwasserschutzprojektes Samedan auf die Grundwasserstände rund um Samedan überwacht und aufgezeichnet. In Bild 1 ist die Lage der Messstellen zur Überwachung der Grundwasserstände dargestellt. Die projektbezogenen Messstellen werden mit den langjährigen Messstellen des Bundes

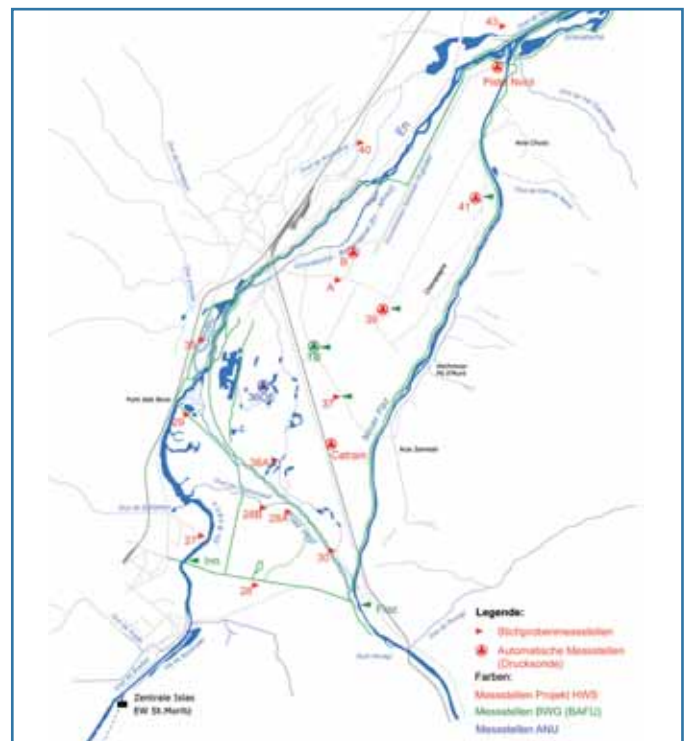
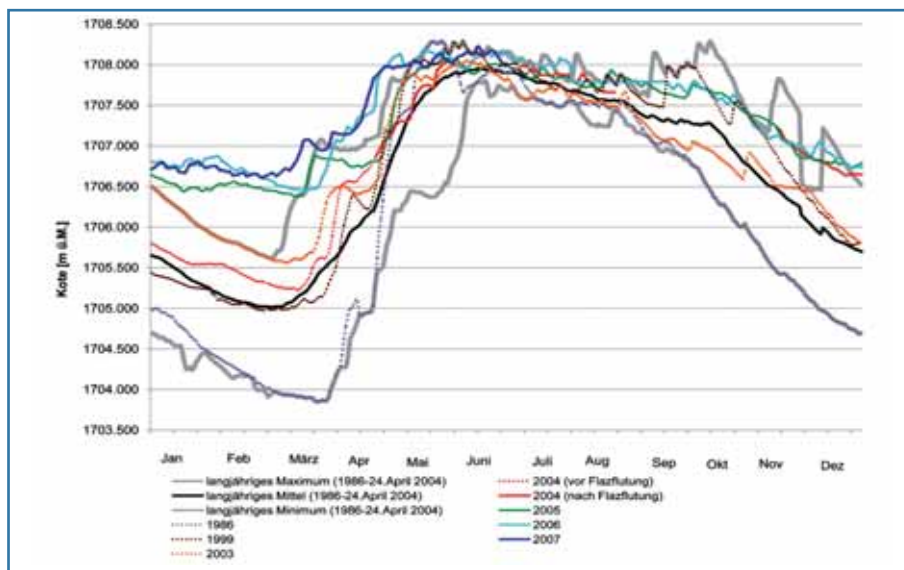


Bild 1. Lage der diversen Messstellen des Monitoringprogrammes Grundwasser.



**Bild 2. Jahresganglinien der Grundwasserstände an der Messstelle 36OE: Die dargestellten langjährigen Messwerte (Maximal, Mittel- und Minimalwerte) entsprechen den Daten vor der 1. Flazflutung (1986 bis 24. April 2004). Auf der Grafik ist gut erkennbar, dass seit der Flazflutung die Winterwasserstände höher sind als früher. Die Sommerwasserstände hingegen haben sich nur leicht erhöht und liegen im Bereich der früheren maximalen Grundwasserstände (Daten: Amt für Natur und Umwelt, 2007).**

(BAFU, Messstelle TB, siehe Bild 1) und des Kantons (Amt für Natur und Umwelt, ANU: Messstelle 36OE, siehe Bild 1) ergänzt. Das Grundwassermonitoring dient der vorsorglichen Beweissicherung sowie der Durchführung und Überwachung von Massnahmen zur Verhinderung von unerwünschten Auswirkungen des Projektes auf das Grundwasser.

Besonders empfindliche Gebiete sind das Flugplatzareal, das neu Güterumschlagzentrum «Cho d'Punt» (ehemalige Lagerhalle Catram) sowie die Gewerbezone «Champagna» der Gemeinde Samedan, wo die bestehenden Bauten auf die ursprünglichen Grundwasserhochstände ausgerichtet worden sind.

#### 4. Resultate

##### 4.1 Grundwasserqualität

Langjährige Datenreihen aus dem Naquatrend-Messprogramm zeigen, dass im Bereich Samedan die Grundwasserstände und -chemie zeitlich verzögert und abgedämpft den Gang der Oberflächengewässer widerspiegeln. Die Ergebnisse der Isotopenanalyse bestätigen, dass das Grundwasser in diesem Gebiet hauptsächlich durch Wasserinfiltrationen vom Inn angereichert wird. Zudem kann es vor allem im Frühjahr zu signifikanter Grundwasserneubildung durch Niederschlag und/oder Flusswasser des Flaz kommen.

Die kurzfristigen hydrochemischen und isotopischen Untersuchungen vor, während und nach der Flazverlegung zeigen, dass die direkten Auswirkungen der flussbaulichen Massnahmen auf die Zusammensetzung des

Grundwassers sehr gering waren. Nachhaltige Veränderungen des Grundwasser-Fließregimes bzw. der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers konnten nicht beobachtet werden.

Die entsprechenden Ergebnisse sind im Detail in einem separaten Bericht zusammengefasst worden (BWG, 2005).

##### 4.2 Grundwasserstände

Die Resultate der bisherigen Messungen zeigen, dass sich der Grundwasserspiegel beim Güterumschlagzentrum Catram, der Gewerbezone und auf dem Flughafengelände leicht verändert hat. Die Jahresmaxima sind in diesem Gebiet seit 2004 um einige Dezimeter angestiegen. Die nach den Sommerhochständen jahreszeitlich bedingte Absenkung des Grundwasserspiegels setzt in diesem Gebiet seit 2004 zeitlich verzögert ein. Während den Wintermonaten weisen diese Messstellen gegenüber den Vorjahren zudem um einige Dezimeter bis 1,5 m höhere Grundwasserstände auf. Diese höheren Grundwasserstände werden auf die verstärkte Infiltration der neuen Flussgerinne zurückgeführt. Das Ausmass des Grundwasseranstiegs nimmt mit zunehmender Entfernung vom neuen Bachbett und in Fließrichtung ab.

Das Bild 2 zeigt zur Illustration die Jahresganglinien des Grundwasserspiegels an der Messstelle 36OE.

In den übrigen Gebieten oberhalb und unterhalb der Gewerbezone bewegen sich die Grundwasserspiegel unverändert im Schwankungsbereich der früheren Jahre.

#### 5. Fazit/Ausblick

Weiterführende Datenreihen werden Informationen über längerfristige Auswirkungen des Projektes auf die Grundwasserqualität liefern. Dazu werden die aktuellen und zukünftig im Rahmen von Naquatrend gewonnenen Daten herangezogen.

Die Beobachtungen der Grundwasserstände stimmen gut mit den Berechnungen des prognostizierten Grundwassermodells überein. Nach dem Bau des neuen Gerinnes sind die Flussbette des Flaz, Flaz Vegl und Inn derzeit noch wenig mit Feinstoffen kolmatiert und deshalb stark durchlässig. Es wird erwartet, dass im Verlauf der Jahre die Gewässer-sohlen zunehmend kolmatieren werden und die Infiltration ins Grundwasser abnehmen wird.

##### Literatur:

Amt für Natur und Umwelt, ANU (2002): «Messungen der Oberflächengewässer im Raum Celerina/Samedan», unveröffentlicht, Chur 2002.

Bundesamt für Wasser und Geologie, BWG (2005) [heute Bundesamt für Umwelt, BAFU]: «Monitoring Flazverlegung, Samedan, GR; Ergebnisse der Beobachtung der Grundwasserqualität», Bern November 2005.

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

Sieber, Cassina + Handke AG (1999): «Hochwasserschutzprojekt Samedan, Aquifersimulation Variante Flazverlegung», im Auftrag des Tiefbauamtes Graubünden, Chur 1999.

Sieber, Cassina + Handke AG (2000): «Hochwasserschutzprojekt Samedan, Aquifersimulation zur vertieften Projektstudie Flazverlegung», im Auftrag des Tiefbauamtes Graubünden, Chur 2000.

Sieber, Cassina + Handke AG (2004): «Hochwasserschutzprojekt Samedan, Grundwasser-Monitoring, Periode Oktober 2001 bis Juli 2003», im Auftrag des Tiefbauamtes Graubünden, Chur 12. Januar 2004.

Sieber, Cassina + Handke AG (2005): «Hochwasserschutzprojekt Samedan, Grundwasser-Monitoring, Periode Oktober 2001 bis Dezember 2004», im Auftrag des Tiefbauamtes Graubünden, Chur 29. März 2005.

Sieber, Cassina + Handke AG (2006): «Hochwasserschutzprojekt Samedan, Grundwasser-Monitoring, Periode Januar 2005 bis April 2006», im Auftrag des Tiefbauamtes Graubünden, Chur 22. Mai 2006.

Sieber, Cassina + Handke AG (2007): «Hochwasserschutzprojekt Samedan, Grundwasser-Monitoring, Periode April 2006 bis März 2007», im Auftrag des Tiefbauamtes Graubünden, Chur 1. Juni 2007.

##### Anschrift des Verfassers:

Jakob Grünenfelder, ecowert gmbh  
Denter Tumas 6, CH-7013 Domat/Ems  
Tel. 081 250 62 62, fokus@ecowert.ch

■ Andreas Becker, Peter Rey, Uta Mürle, Johannes Ortlepp, Marcel Michel, Pascale Steiner, Reto Gritti

## Zusammenfassung

Nach der Umsetzung des Hochwasserschutzprojekts Samedan (HWS) waren im Jahr 2006 rund 13 km Fliessgewässerstrecke naturnah restrukturiert oder neu geschaffen. Sowohl die hydromorphologischen als auch die damit verbundenen biologischen Veränderungen wurden im Rahmen eines Langzeit-Monitoringprogrammes verfolgt (vgl. WEL 3/4, 2005, S. 96-101). Zur gewässerökologischen Erfolgskontrolle wurden mehrere abiotische und biotische Indikatoren herangezogen. An dieser Stelle können erste Ergebnisse über die Entwicklungen der Fischbestände und der Benthosbesiedlung im Projektgebiet vorgestellt werden.

## 1. Fische

### 1.1 Fischarten und Fischlebensräume

Das Projektgebiet (vgl. dieses Heft, «Aspekte und Effekte der ökologischen Begleitplanung» Seite 199) umschliesst unterschiedliche Gewässertypen, die zu meist auch als Lebensraum für Fische in Frage kommen. Hierzu gehören Fliessgewässer der Typen Bergbach, Gebirgsfluss, Giessen- und Wiesenbach sowie Stillgewässer unterschiedlichen Charakters. In ihnen leben und reproduzieren sich drei typische Fischarten (Bild 1): die Bachforelle (*Salmo trutta fario*), die Äsche (*Thymallus thymallus*) und die Elritze (*Phoxinus phoxinus*).

Die hohen Abstürze der En-Schlucht nahe Ardez haben eine natürliche Einwanderung von Äschen in oberhalb liegende En-Abschnitte wahrscheinlich schon immer verhindert. Deshalb geht der Äschenbestand im Oberengadin auf Besatzmassnahmen zu Beginn des 20. Jahrhunderts zurück (Fatio, 1880; Lorenz, 1898, Steinmann, 1928). Bachforellen und Elritzen waren im Oberengadin schon immer heimisch.

Dennoch gelten auch Äschen im Oberengadin als standortgerechte Fisch-

art. Sie haben sich so gut etabliert, dass zwischen Celerina und La Punt eine der ergiebigsten Äschenstrecken der ganzen Schweiz liegt und diese Äschenpopulation das Prädikat «Population von nationaler Bedeutung» (BUWAL 2002) bekommen hat. Die nach heutigem Kenntnisstand auch höchstgelegene Äschen-Population Europas (>1700 m ü.M) ist aufgrund ihres relativ kleinen Reproduktionsgebiets aber besonders sensibel. Bis 2006 befanden sich Laichflächen nur im schwallbeeinflussten En-Bogen vor Celerina und dann erst wieder in und zwischen den für aufsteigende Fische nicht erreichbaren Oberengadiner Seen. Hunderte Äschen nahmen alljährlich lange und gefährliche Wanderungen aus dem Unterengadin in Kauf, um im En-Bogen ablaichen zu können (Amt für Jagd und Fischerei Graubünden, Äschenmarkierungsprogramm 2003–2007).

Auch die Bachforellenpopulation war bereits vor den HWS-Massnahmen individuenreich und gut konditioniert; allerdings waren En und Flaz, die grössten Gewässer im Gebiet, als Reproduktionsräume für Bachforellen eher ungeeignet.

Durch die Flazverlegung, die Restrukturierung des früheren En-Kanals vor Samedan und die Ausleitung (Zurückverlegung) des Ens in den eigentlichen Talweg

(ehemaliger En-Altlauf) sollten sich die Bedingungen für Fische deutlich verbessern. Voraussetzung für diese erhofften Verbesserungen war,

- dass durch strukturelle Aufwertungen eine grosse Zahl zusätzlicher Fischstandorte geschaffen wurde;
- dass durch die Flazverlegung ein völlig neuer Flussabschnitt und damit potenziell neuer Lebensraum von mehr als 3,5 km Länge geschaffen wurde;
- dass im En vor Samedan die Flussstrecke, die von klarerem Wasser aus dem St. Moritzer-See durchflossen wird, um mehr als 2 km verlängert wurde;
- dass durch die Ausleitung des Ens in ein natürliches Flussbett und durch die Gestaltung der neuen Flazmündung Fischlebensräume von hoher Qualität geschaffen wurden, wie sie zuvor nur der En-Bogen aufweisen konnte;
- dass sich die Vernetzung der verschiedenen Gewässerlebensräume deutlich verbessert hat. Die Fischgängigkeit des Fliessgewässersystems ist nicht mehr eingeschränkt.

Von vornherein konnte davon ausgegangen werden, dass der neue Flaz und der als kleiner Bergbach gestaltete Flaz vegl von Fischen nicht so stark besiedelt werden können wie der restrukturierte En. Der für Fische «ungemütliche» Charakter des Flazwassers, dessen Anteil an Schmelz- und Gletscherwasser in den Sommermonaten im Vergleich zum En sehr hoch ist, konnte und sollte durch Renaturierungsmassnahmen auch nicht verändert werden. Für die folgenden Vergleiche wurde daher schwerpunktmässig der fischreiche En zwischen En-Bogen



Bild 1. Die drei Fischarten in den Gewässern um Samedan: Äsche, Bachforelle und Elritze (v.l.n.r.).

Fotos: Rey, Unger.

und der neuen Flazmündung herangezogen, weil hier die fischbiologischen Veränderungen am deutlichsten dokumentiert werden konnten.

## 1.2 Fischdichten und -verteilung

Obwohl die Untersuchung noch nicht vollständig abgeschlossen ist, zeichnen sich schon jetzt deutliche Bestandesveränderungen infolge der Massnahmen ab. Bezüglich der Hektar-Biomasse können allerdings noch keine endgültigen Aussagen gemacht werden.

### 1.2.1 Kleinräumige Verteilungsmuster

Am Beispiel des Ens vor Samedan lässt sich zeigen, wie sehr die Fischarten Äsche und Bachforelle auf ein verändertes Angebot an Mesohabitaten (Einzelstrukturen und Strukturkomplexen) reagiert haben (Bild 2). Im alten En-Kanal korrelierten hohe Äschendichten stets mit Sohl-schwellen-Pools oder mit wenigen tieferen Prallhang-Strukturen; ufernaher Blocksatz wurde nicht genutzt. Der restrukturierte En besitzt jetzt – trotz deutlich reduzierten Abflüssen nach der Flazverlegung – wieder eine Vielzahl an Flussstrukturen, die als typische Äschen-Habitate gelten. Die Fische sind nun in grösseren Schwärmen assoziiert über den gesamten Flusslauf verteilt. Grosse Äschen halten sich in den tiefen, gut durchströmten Rinnen, Jungäschen vermehrt in den flachen Übergangsbereichen von Kiesflächen zur Hauptströmung auf.

Bachforellen als stark strukturgebundene Fische hatten auch schon vor der

Restrukturierung den teilweise lückigen ufernahen Blocksatz der inneren En-Dämme genutzt; dabei hatten sich die verschiedenen Altersklassen je nach Grösse des vorhandenen Unterstandes sortiert. Im neuen En ist zwar das Standortangebot für die Bachforellen nicht in demselben Masse wie dasjenige für die Äschen angewachsen; die Bachforellen können jetzt jedoch vermehrt auch uferferne Strukturen als Unterstand nutzen (Bild 2).

Die Beobachtungen im restrukturierten En gelten in unterschiedlichem Masse auch für die anderen im Rahmen des HWS Samedan strukturell aufgewerteten Fliessgewässer. Vergleicht man beispielsweise den neuen Flaz mit dem zuvor andernorts verlaufenen Flazkanal, so zeigen sich dieselben Verteilungstendenzen der Fische wie im En, nur dass der Flaz erheblich geringere Fischdichten aufweist.

### 1.2.3 Grossräumige Verteilungsmuster

Für die Darstellung der grossräumigen Verteilungsmuster wurden Informationen unterschiedlicher Qualität herangezogen. Den Angaben innerhalb des Projektperimeters liegen flächenbezogene Elektrofangergebnisse und zusätzliche Beobachtungen/Zählungen zugrunde. Für andere, wegen ihrer Wassertiefe nicht befischbare Abschnitte (z.B. Seen, Teiche und tiefe Bereiche des En-Bogens) gibt es lediglich Beobachtungen.

Selbst im grossen Betrachtungs-Massstab wird deutlich, wie sehr ehemalige Strukturmonotonie und die Sohl-schwellen im En die Verteilung der Äschen

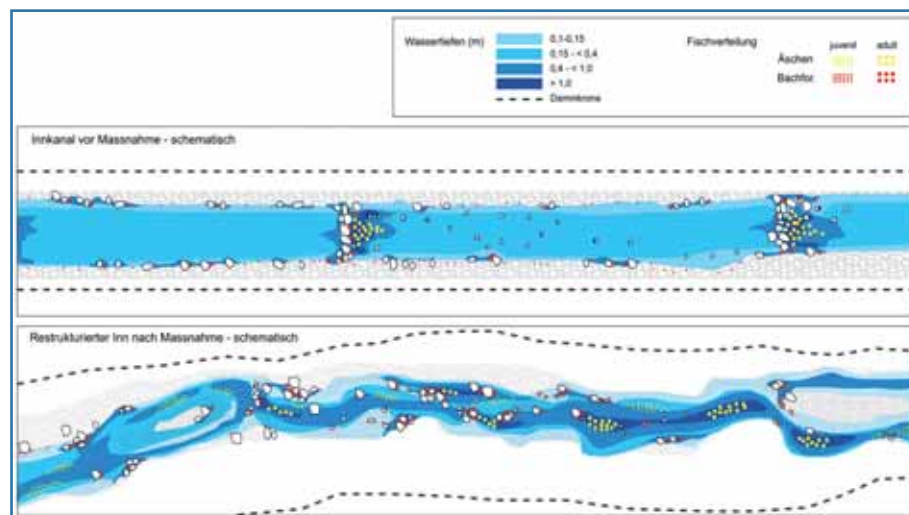
in der oben beschriebenen Form beeinflusst hatten (Bild 3). Inzwischen kommen Äschen in fast allen betrachteten Gewässern des Projektperimeters regelmässig vor. Dichten von über 1000 Individuen pro Hektar wurden im ausgeleiteten En und in der dem En wieder angebondenen Aue Cristansains nachgewiesen. Während der Laichzeit nehmen diese Zahlen lokal noch um die eingewanderten Tiere aus den unterhalb liegenden En-Abschnitten zu. Im Mai 2007 konnten nicht nur am bekannten Laichplatz oberhalb des En-Bogens bei Celerina, sondern jetzt auch auf den neu entstandenen Kiesflächen der En-Ausleitung Laichschwärme von über 700 Äschen pro 100 m Flussstrecke gezählt werden (siehe Bild 7 rechts).

Bachforellen kamen bereits vor den Massnahmen in nahezu allen betrachteten Gewässern vor (Bild 4). Hohe Dichten wurden insbesondere in der Aue Cristansains und im En-Altlauf nachgewiesen. Selbst im strukturell verarmten En-Kanal zeigten Bachforellen mittlere Häufigkeiten. Durch die Restrukturierungs-Massnahmen haben sich die Bedingungen auch für sie deutlich verbessert.

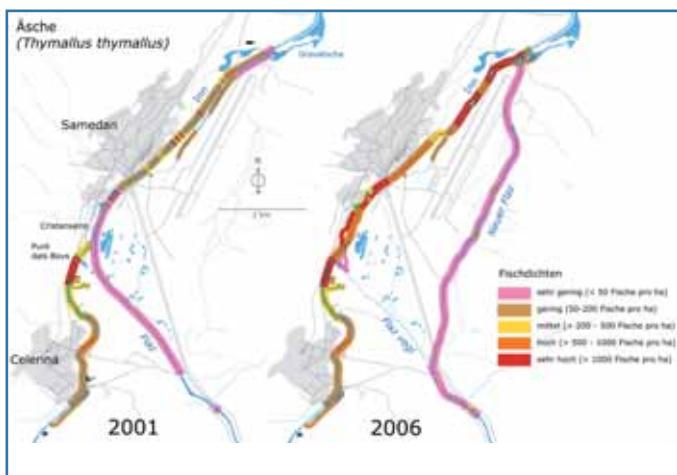
Elritzen haben als einzige Fischart durch das Hochwasserschutzprojekt zunächst ehemaligen Lebensraum verloren. Der Flazumleitung fielen 2002 die meisten der kleinen Wiesenbäche und Entwässerungskanäle in der Champagna (östlich Airport Samedan) zum Opfer. In diesen Kleingewässern lebten Elritzen in mittleren Dichten. Durch die Umgestaltung der Fliessgewässer und die verbesserten Vernetzungen zwischen dem En-Flaz-System, den Teichen und Weihern der Ebene sowie den Auenbereichen Cristansains und Champagnatscha konnte dieser Verlust jedoch kompensiert werden und sich die Art seit 2004 wieder weiter ausbreiten (Bild 5).

## 1.3 Reproduktion

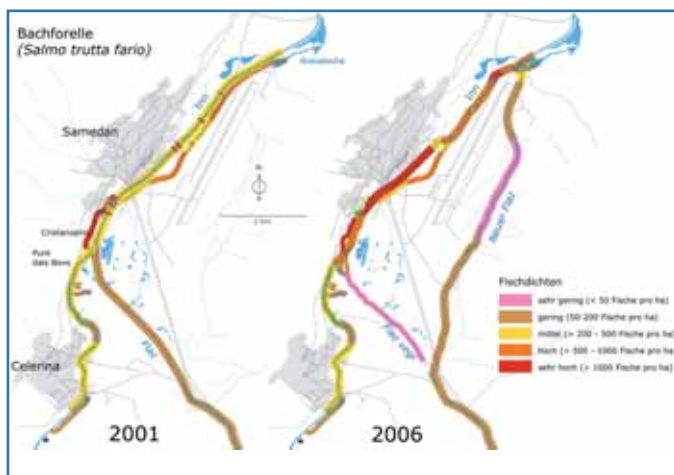
Eine gesunde, sich selbst erhaltende Äschenpopulation ist auf Flussabschnitte mit klarem Wasser angewiesen. Flaz und En unterhalb von Samedan führten bisher zur Zeit der Brüttings- und Jungfischentwicklung viel Schmelzwasser (vgl. dieses Heft, Seite 204 «Aspekte und Effekte der ökologischen Begleitplanung», Bild 11 links) und konnten daher weder ausreichende Entwicklungstemperaturen noch ein geeignetes Nahrungsangebot für Äschen bieten. Eine Reproduktion der Äsche wurde in diesen Flussabschnitten niemals beobachtet. Teile des En-Bogens vor Celerina und einige kleinere



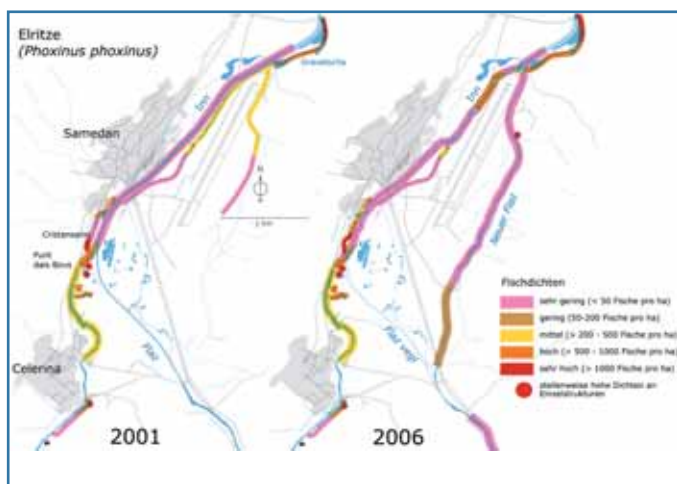
**Bild 2. En bei Samedan: schematische Darstellung der grundsätzlichen hydromorphologischen Veränderungen und der damit einhergehenden Umverteilung und Vermehrung geeigneter Fischstandorte. Darstellung abgeleitet aus Ergebnissen der strukturbezogenen Abfischungen und Beobachtungen der Jahre 2001, 2004, 2005 und 2006. Anm: im Zuge der Flazverlegung haben die sommerlichen Abflüsse in dem dargestellten En-Abschnitt um bis zu zwei Drittel abgenommen.**



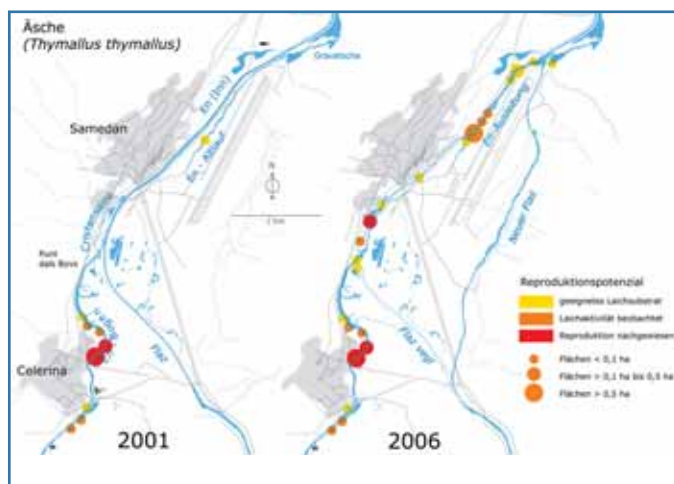
**Bild 3.** Anhand von Elektro-Befischungen vom März 2001 (links), Befischungen zwischen 2004 und November 2006 (rechts) und standortbezogenen Beobachtungen/Zählungen abgeschätzten Bestandesdichten der Äschen (*Thymallus thymallus*). Dichteklassen abgeleitet von Schager & Peter (2004). Angaben für den En-Bogen oberhalb Punt dals Bovs beruhen überwiegend auf Beobachtungen.



**Bild 4.** Anhand von Elektro-Befischungen vom März 2001 (links), Befischungen zwischen 2004 und November 2006 (rechts) und standortbezogenen Beobachtungen/Zählungen abgeschätzten Bestandesdichten der Bachforellen (*Salmo trutta fario*). Dichteklassen abgeleitet von Schager & Peter (2004). Angaben für den En-Bogen oberhalb Punt dals Bovs beruhen überwiegend auf Beobachtungen.



**Bild 5.** Anhand von Elektro-Befischungen vom März 2001 (links), Befischungen zwischen 2004 und November 2006 (rechts) und standortbezogenen Beobachtungen/Zählungen abgeschätzten Bestandesdichten der Elritzen (*Phoxinus phoxinus*). Dichteklassen abgeleitet von Schager & Peter (2004). Angaben für den En-Bogen oberhalb Punt dals Bovs beruhen überwiegend auf Beobachtungen.



**Bild 6.** Nachgewiesene und vermutete Reproduktionsareale für Äschen im Gewässernetz zwischen Celerina und der neuen Flazmündung. Vergleich der Beobachtungen und Untersuchungen 2001 mit den Jahren 2005 und 2006.

oberhalb liegende Flächen (z.B. der Zu-  
lauf zum Lej da Spuondas) stellten 2001  
wahrscheinlich das gesamte Reprodukti-  
onsareal für eine En-Strecke von mehr als  
30 km Länge dar (Bild 6). Da die für das  
Laichgeschäft in Frage kommenden Flä-  
chen vor Celerina räumlich benachbart,  
relativ klein (insgesamt <3 ha) und da-  
rüber hinaus durch den Betrieb des KW  
St. Moritz schwallbeeinflusst sind, war das  
Überleben der Äschen-Population bisher  
keineswegs gesichert.

Nach Umsetzung der HWS-Mass-  
nahmen hat sich diese Situation deutlich  
verbessert; die für Äschen geeigneten  
Laichflächen haben sich mehr als verdop-

pelt (Bild 6), alte Reproduktionsräume blie-  
ben von den Massnahmen unbeeinflusst.  
Die Flazmündung wurde verlegt und im  
En dadurch mehr als 2 km Fließstrecke  
hinzugewonnen, die mit ihrem aus den  
Oberengadiner Seen kommenden klaren  
En-Wasser die Voraussetzung für eine  
ungestörte Äschenentwicklung erfüllt.  
Äschen reproduzieren sich nun nachweis-  
lich auch in der Aue Cristansains (Bild 6,  
Bild 8) sowie mit hoher Wahrscheinlich-  
keit und in grösserem Umfang im ausge-  
leiteten En unterhalb von Samedan (Bild 6,  
Bild 7).

Die für die Reproduktion der Bach-  
forellen am besten geeigneten Gewässer-

abschnitte lagen früher im En-Altlauf und  
seinem Übergang zum Gravatscha-See,  
innerhalb des En-Bogens, im Giessen der  
Aue Cristansains sowie im Promulins- und  
im Saxbach. Wegen ihrer teilweise kolma-  
tierten Sohlen waren En und Flaz in die-  
sem Gebiet als Reproduktionsräume für  
die Bachforellen eher ungeeignet.

Schon in der ersten Laichperiode  
nach der Verlegung des Ens im Herbst  
2005 hatte sich das Hauptlaichgebiet der  
Bachforellen in den neuen En-Abschnitt  
unterhalb der Kantonsstrassen-Unterque-  
rung verlagert. Auf rund 1 km Fließstrecke  
wurden bereits 75 Forellenlaichgruben  
gezählt. Im folgenden Jahr kamen Repro-



Bild 7. Links: Elektro-Abfischung im Bereich der En-Ausleitung unterhalb Samedan; rechts: laichreife Äschen auf den neuen Kiesflächen in demselben Bereich. Fotos: Körner, Rey



Bild 8. Links: Die reaktivierten Giessenbäche der Aue Cristansain sind ein neues Laichgebiet und Jungfischhabitat für Äschen; rechts: Äschen-Sömmerlinge aus Cristansains. Fotos: Rey

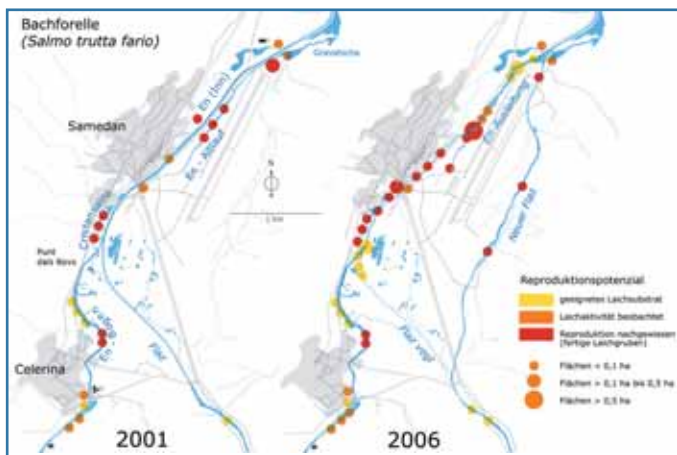


Bild 9. Nachgewiesene und vermutete Reproduktionsareale für Bachforellen im Gewässernetz zwischen Celerina und der neuen Flazmündung. Vergleich der Beobachtungen und Untersuchungen 2001 mit den Jahren 2005 und 2006.

Bild 10. Laichgruben im En nahe der neuen Mündung des En-Altlaufs nur 5 Wochen nach der En-Ausleitung. Foto: Rey

duktionsnachweise im restrukturierten En-Kanal in Samedan, aber auch im neuen Flaz hinzu (Bilder 9 und 10).

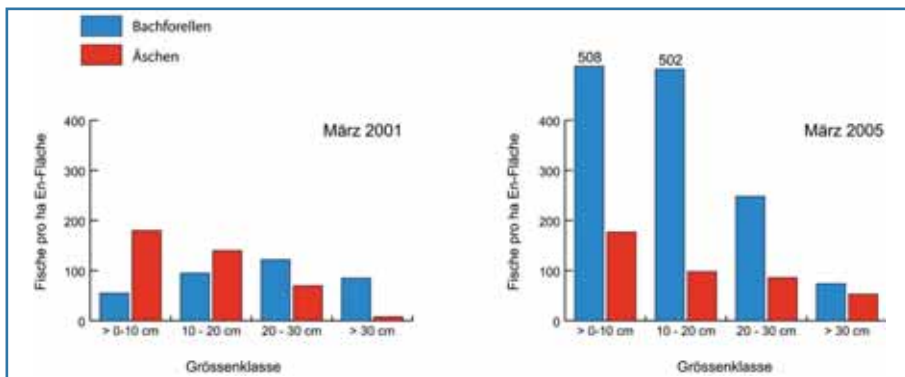
#### 1.4 Jungfischhabitate

Eine wesentliche Verbesserung der fischbiologischen Verhältnisse stellt die Zunahme der Jungfischhabitate für Bachforellen und insbesondere für Äschen dar. Im Jahr der ersten Voruntersuchungen (2001) konnten sich frisch geschlüpfte Äschen lediglich im mittleren Teil des En-Bogens und

in drei seiner Seitenarme entwickeln. Der En vor Samedan war zur Entwicklungszeit der Äschen nicht nur durch den hohen Anteil kalten, trüben Flazwassers, sondern auch durch das Fehlen strömungsberuhigter Zonen als Jungfischhabitat ungeeignet. Entgegen älterer Beobachtungen konnten im Jahr 2001 auch im Fließgerinne der Aue Cristansains keine Äschenjungfische nachgewiesen werden.

Nach der Verlegung der Flazmündung flussabwärts – noch vor der Restruk-

turierung des Ens – nahm die Zahl der im En vor Samedan beobachteten Äschenjungfische stark zu (Bild 11). Dies deutet darauf hin, dass der physikalisch-chemische Charakter des Schmelzwassers aus dem Flaz tatsächlich ein entscheidendes Verbreitungshindernis für Jungäschen darstellte. Die Altersklassenverteilung, die zuvor von grossen, laichreifen Äschen im Frühjahr dominiert war, zeigte nun eine für naturverlichte Äschenpopulationen nahezu typische Kurve. Nach der En-Aus-



**Bild 11.** Geschätzte Hektarbestände für Äschen und Bachforellen im En bei Samedan (oberhalb En-Ausleitung), aufgeteilt nach Grössenklassen. Links die Situation im März 2001 (Vorzustand), rechts die Situation im März 2005 (nach Flazumleitung, aber noch vor der Restrukturierung des En).

leitung und der Anbindung der Aue Crist-ansains an den En nahmen die für Äschen als Jungfischhabitat geeigneten Gewässerbereiche weiter zu.

Auch für die Bachforellen-Jungfische haben sich die Habitatangebote im gesamten Projektperimeter verbessert. Durch die naturnahe Gestaltung des Gewässernetzes kam es zu einer mosaikartigen Verteilung geeigneter Mesohabitate über den gesamten Projektperimeter (vgl.

Bild 2). Der Bestand an jungen Bachforellen hat sich vor allem im neuen En-Abschnitt unterhalb Samedan deutlich vergrössert.

## 2. Makrozoobenthos

Als Makrozoobenthos oder Makroinvertebraten bezeichnet man die wirbellosen Kleintiere der Gewässersohle, die mit blossen Auge sichtbar und damit in der Regel über 1 mm gross sind. Makroinvertebraten sind als Indikatoren des Gewässerzu-

standes besonders geeignet, weil sie

- aufgrund ihrer überschaubaren Entwicklungszeiten (<1 Jahr bis ca. 4 Jahre) sehr schnell auf Veränderungen im Gewässerzustand reagieren (Verschwinden, Erscheinen, Veränderung in der Besiedlungsdichte),
- relativ ortsgebunden sind und daher den jeweils herrschenden Gewässerzustand und dessen Veränderung räumlich eingrenzbar machen.

Makroinvertebraten reagieren dabei sowohl auf Veränderungen der Wasserqualität (als Saprobie-Zeiger), des Nährstoffangebotes (als Trophie-Zeiger), als auch in besonderem Masse auf hydromorphologische Veränderungen.

### 2.1 Populationsdynamik der Besiedlung und typische Arten

#### 2.1.1 Wasserinsekten dominieren die alpinen Gewässer

Die Lebensgemeinschaften der Makroinvertebraten in alpinen Lagen sind von Wasserinsekten geprägt (Bild 12), deren Lebenszyklus als Larve im Wasser beginnt



**Bild 12.** Ausgewählte und für das Gewässersystem typische wirbellose Kleintiere (Makroinvertebraten). Fotos: Mürle, Werner, Rey.



Bild 13. Links: dicht mit fädigen Kieselalgen bewachsene, monotone Sohle des En vor der Verlegung der Vorflut der ARA Staz (März 2001) und der Restrukturierung (2005). Rechts: heutige En-Sohle (März 2006). Fotos: Rey.

und als flugfähige Imago (erwachsenes Insekt) an Land endet. Neben diesen sogenannten hemilimnischen (nur teilweise auf Wasser angewiesenen) Arten findet man im betrachteten Projektgebiet aber auch hololimnische, ständig im Wasser lebende Kleintiere wie Würmer, Schnecken und Flohkrebse. Diese sind auf stabile Wasserführung angewiesen und im Gebirge vor allem in Auenbereichen und Stillgewässern zu finden.

Je lebensfeindlicher und von der Wasserführung her unsicherer der Lebensraum für Kleinlebewesen ist, desto höher ist sein Anteil an spezialisierten, in diesem Falle an hemilimnischen und vagilen (frei beweglichen) Wasserinsekten. Sie können dem hydraulischen Stress widerstehen, wechselnden Wasserständen schnell folgen und als Imagines zwischen verschiedenen Gewässern Kompensationsflüge durchführen. Generalisten, zwar sehr produktive, aber bezüglich ihres Lebensraumes anspruchslosere Arten, sind in strukturell monotonen Gewässern häufig, haben aber in den typischen Extremlebensräumen der Alpen keine Chancen, gegen Spezialisten zu konkurrieren.

## 2.2 Grundsätzliche Veränderungen im Lebensraum des Makrozoobenthos

### 2.2.1 Veränderungen im En

Wie die Fische, so wurden auch die Makroinvertebraten von der Verlegung und Umgestaltung des En und Flaz beeinflusst. Darüber hinaus veränderte sich die Nährstoffsituation im En durch die Verlegung der Einleitung von vorgeklärtem Abwasser aus der ARA Staz (Celerina) zunächst bis zur neuen Flazmündung und letztlich in die geplante Grosskläranlage Schanf.

Der En im Projektgebiet zeigte bei

den Voruntersuchungen des Jahres 2001, aber auch noch 2004 zwei für Benthosorganismen entscheidende und für einen natürlichen Gebirgsfluss untypische Charaktereigenschaften (Bild 13). Er besass

- eine relativ monotone, teilweise kolmantierte Sohle;
- das ganze Jahr über einen dichten Bewuchs an fädigen Kiesel- und Grünalgen.

Nach der Umstrukturierung und der Verlegung der ARA-Vorflut hatte sich der En vor Samedan zu einem typischen, sehr struktureichen Gebirgs-gewässer gewandelt (Bild 13). Er wird zwar wie ein Seeabfluss von Wasser des St. Moritzer-Sees gespeist; dessen Nährstoffeintrag ist jedoch gering. Der Schwallbetrieb des KW St. Moritz führt darüber hinaus zu täglichen Wasserstandsschwankungen, die zusätzlichen hydraulischen Stress verursachen.

### 2.2.2 Veränderungen im Flaz

Die Veränderungen im Flaz sind noch grundsätzlicherer Art. Das alte, strukturell

monotone Kanalgerinne wurde zum kleinen Bergbach Flaz vegl umgewandelt und mit dem Neuen Flaz wurde ein völlig neues, gebirgsflusstypisches Gewässer geschaffen. Wie beim En, so entstanden auch im Neuen Flaz und im Flaz vegl durch die Umlagerung von Substraten anstelle gleichförmiger Stein- und Schotterflächen Mosaik verschiedener Choriotope (Kleinlebensräume unterschiedlichen Charakters).

### 2.2.3 Veränderungen der anderen Gewässer im Projektgebiet

Auch die strukturellen Veränderungen in den restlichen Gewässern des Projektgebietes, z.B. der Stillgewässer und der Aue Cristansains, haben zu einer Neusortierung der Kleinlebensräume geführt. Vor allem von der Auenreaktivierung und der verbesserten Gewässervernetzung im System wird erwartet, dass nach und nach weitere aquatische Lebensraumtypen entstehen, die sich wiederum durch ein besonderes Spektrum von Kleintieren auszeichnen.

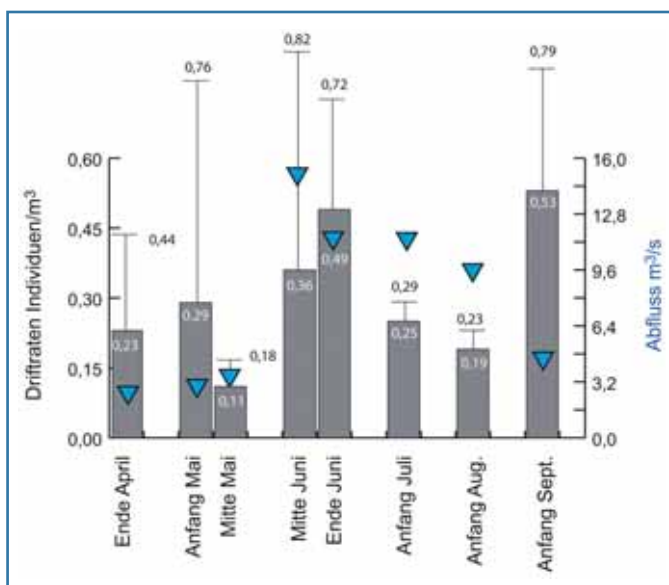


Bild 14. Eindrift-Raten von Zoobenthosorganismen in den neuen Flaz nach seiner Flutung Ende April 2004, Individuen/ m<sup>3</sup>, Mittel (graue Säulen) und Tagesmaxima (Strichbalken). Blaue Dreiecke: Abfluss (Pegel Berninabach), Tagesmittel der Driftmesstage.

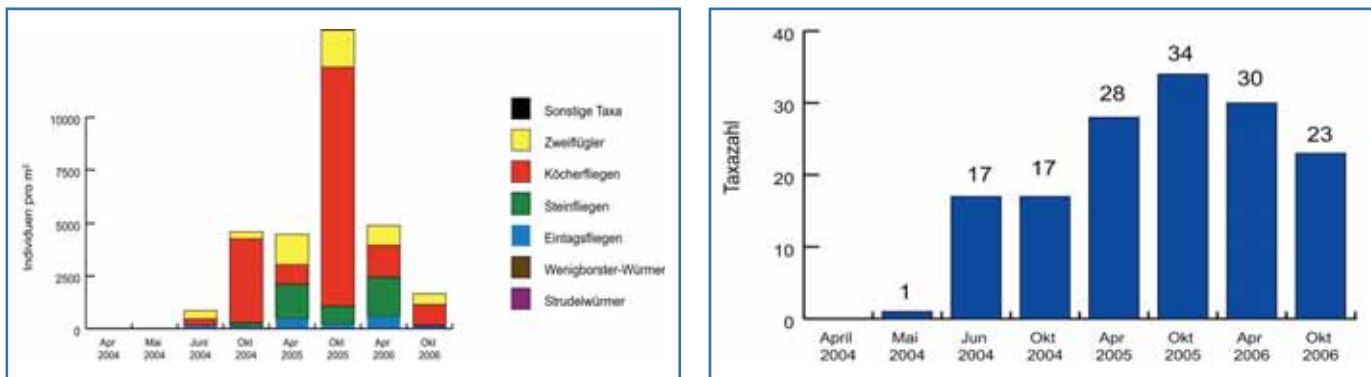


Bild 15. Makrozoobenthosbesiedlung im Neuen Flaz, Individuendichte (links), Anzahl Taxa (rechts).

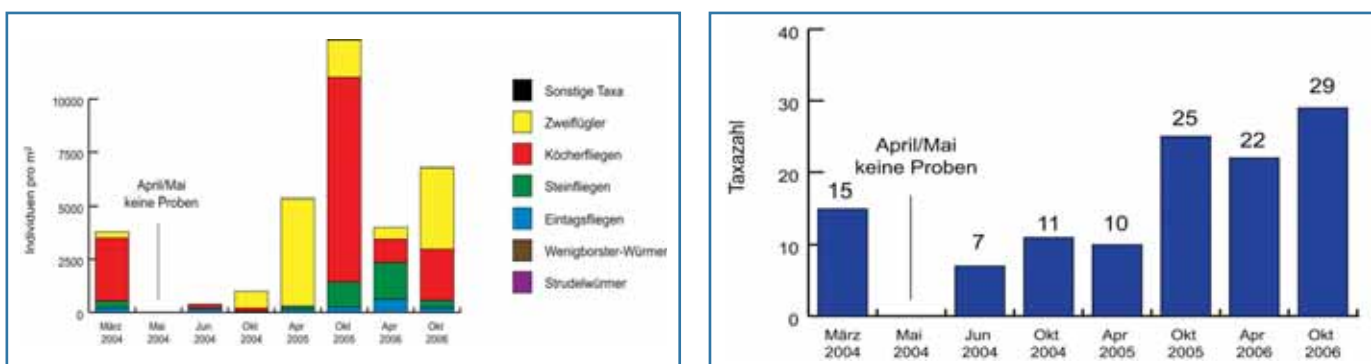


Bild 16. Makrozoobenthosbesiedlung im Flaz vegl, Individuendichte (links), Anzahl Taxa (rechts).

### 2.3 Reaktionen des Makrozoobenthos

Die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften in den Gewässern des Projektgebietes unterliegt starken jahreszeitlichen Schwankungen mit zeitweilig massenhaftem Auftreten einzelner Arten. Von diesem Phänomen überdeckt spiegelt die Wirbellosenfauna der Gewässersohle aber sehr gut die jeweiligen morphologischen Verhältnisse in den unterschiedlichen Gewässern wider.

Die Lebensgemeinschaften in En und Flaz waren vor der Umgestaltung der Gewässer ähnlich zusammengesetzt. In ihnen lebten fast ausschliesslich Insektenlarven. Im En wurden die Biozönosen dabei stärker von weniger spezialisierten Arten, hauptsächlich Zuckmücken, geprägt, die in den dichten Algenwatten ideale Nahrungsverhältnisse und guten Strömungsschutz fanden. Im Flazkanal waren die Anteile von Eintags-, Stein- und Köcherfliegenlarven höher.

Die Gewässer der Aue Cristansains und der Champagnatscha warteten mit speziellen Artenzusammensetzungen auf. Hier und im naturnahen En-Altlauf hatte sich als Besonderheit auch eine Molluskenfauna ausgebildet. Weitere Stillwasserarten, u.a. Grosslibellen wie die Torf-Mosaikjungfer, leben im Hochmoor am Pé d’Munt.

In der Folge der Strukturierungsmassnahmen hat sich im En und Flaz eine

Vielfalt von Mesohabitaten ausgebildet, die grösstenteils bergbach-/gebirgsflusstypischen Charakter besitzen. Diese Habitate werden nun in beiden Gewässern in vergleichbarer Zusammensetzung und Dichte von typischen Bergbacharten dominiert. Durch die Reduktion der Algenwatten gingen auch die früheren Massentwicklungen von Zuckmückenlarven im En zurück.

### 2.4 Beispielhafte Besiedlungsentwicklung

Für die vergleichenden Betrachtungen der Makrozoobenthos-Besiedlung wurden exemplarisch die Besiedlungsentwicklungen im Neuen Flaz und im Flaz vegl herangezogen. Für diese beiden Fliessgewässer liegen die bisher umfangreichsten Untersuchungsergebnisse vor.

#### 2.4.1 Zoobenthosdrift als Besiedlungsquelle

Am Neuen Flaz konnte die Besiedlung eines zuvor nicht existierenden Fliessgewässers verfolgt werden – beginnend mit der ersten Flutung Ende April 2004. Erste wirbellose Kleintiere, vor allem Köcherfliegen- und Zuckmückenlarven (Bild 12 h, j, k), drifteten bereits innerhalb der ersten Stunden aus oberhalb liegenden Abschnitten in das neue Flaz-Gerinne ein (WEL 3/4 2005, S. 96 ff.). Weil die Driftraten während der zunächst herrschenden niedrigen Abflüsse sehr gering waren, hatte sich auch

fünf Wochen nach der Flutung noch keine stabile Makrozoobenthos-Fauna auf der Sohle des Neuen Flaz etabliert (Besiedlungsdichten von 1 bis 15 Individuen/m<sup>2</sup>).

Mit Zunahme der Abflussmengen von <1 m<sup>3</sup>/s auf über 15 m<sup>3</sup>/s Anfang Juni 2004 stiegen die mittleren Eindriftzahlen auf maximal 0,82 Ind./m<sup>3</sup> (Mittel 0,36 Ind./m<sup>3</sup>) (Bild 14, Probe Mitte Juni). Dieser vergleichsweise geringe Wert entspricht aber immerhin rund 36 000 eindriftenden Organismen pro Stunde. Die endgültige Kolonisierung des Neuen Flaz erfolgte danach innerhalb von nur 3 Tagen (6.6. bis 9.6.04).

#### 2.4.2 Besiedlungsdichten und Taxazahlen

Schon bald hatten sich die Makroinvertebraten auf der Flusssohle des Neuen Flaz auf mittlere Individuendichten von ca. 4500–5000 Ind./m<sup>2</sup> eingependelt (Bild 15). Die extrem hohen Zoobenthosdichten vom Herbst 2005 (an einzelnen Probestellen >18000 Ind./m<sup>2</sup>) zeigten früh, welches Potenzial an Biomasse der Neue Flaz besitzt. Im Oktober 2005, also etwa 1½ Jahre nach der Flutung, war das bisherige Maximum an unterschiedlichen Arten erreicht (34 Arten, Bild 15). Das neu entstandene Gewässer unterscheidet sich seither weder in seinem Artenspektrum noch in seinen Besiedlungsdichten mehr von einem natürlichen Gebirgsfluss derselben Höhenstufe. Der Flaz vegl hat während seiner Umgestaltung immer Wasser

geführt und war daher auch durchgehend besiedelt, wenn auch bisweilen sehr spärlich (*Bild 16*). Im Gegensatz zum Neuen Flaz drifteten in den kleinen Bergbach, der aus dem ehemaligen Flazkanal entstanden ist, kaum Organismen ein, weil seine Speisung unterirdisch erfolgt und der Maximalabfluss 1,5 m<sup>3</sup>/s nicht übersteigt. Man muss also davon ausgehen, dass die entscheidenden Besiedlungs-Impulse und Wiederbesiedlungsprozesse vor allem durch Wasserinsekten gesetzt werden, die zur Eiablage einfliegen. Dennoch hat sich auch im Flaz vegl eine typische Benthosbiozönose eines Bergbachs etabliert, obwohl dieser Prozess etwas länger gedauert hat als im Neuen Flaz. Auch im Flaz vegl wurden bereits im Oktober 2005 aussergewöhnlich hohe Besiedlungsdichten erreicht und eine Zusammensetzung der Biozönose, die stark derjenigen im Neuen Flaz ähnelt.

### 3. Vorläufiges Fazit

Die Massnahmen des HWS Samedan wurden von Anfang an durch eine ökologische Planungskommission begleitet (vgl. Hauptartikel Evaluation Flaz, (vgl. dieses Heft, Seite 199 «Aspekte und Effekte der ökologischen Begleitplanung» sowie WEL 3/4, 2005, S. 96–101). So wurde im vorgegebenen Rahmen nicht nur das technische, sondern auch das ökologische Verbesserungspotenzial des Projektes ausgenutzt.

#### 3.1 Fische

Für die Fische haben sich die Lebensraumverhältnisse schnell und im gesamten Gewässersystem verbessert. Schon jetzt ist sicher, dass sich im Vergleich zum Vorzustand die Bestandesdichten von Äschen, Bachforellen und Elritzen deutlich erhöht und ihre Reproduktionsmöglichkeiten wesentlich verbessert haben. Die Alterszusammensetzung der Populationen nähert sich zusehends einem natürlichen Zustand an, ein gutes Indiz für eine funktionierende, stabile Naturverlaichung. Fischbiologisch kann die Erfolgskontrolle des Projektes somit – im positiven Sinne – als abgeschlossen betrachtet werden. Die bisher umfangreichen jährlichen Untersuchungen werden ab Frühjahr 2008 in ein

Langzeit-Monitoringprogramm des Amtes für Jagd und Fischerei überführt.

#### 3.2 Makrozoobenthos

Die bisher beobachteten Veränderungen in der Zusammensetzung des Makrozoobenthos ausgewählter Gewässer lassen zwei zentrale Aussagen zu:

- die wasserbaulichen Massnahmen des HWS Samedan haben zu einer Wiederbelebung (Revitalisierung) des noch vorhandenen biologischen Potenzials geführt;
- auch die Lebensgemeinschaften der Wirbellosen in den Gewässern des Projektgebietes nähern sich immer mehr einem natürlichen Referenzzustand (Biozönosen ungestörter Gebirgs Gewässer).

Ausschlaggebend für diese positive Entwicklung ist, dass an vielen zuvor monotonen Gewässerabschnitten nun verschiedenartige Lebensräume entstanden sind. In ihnen kann sich ein ebenso verschiedenartiges Artenspektrum etablieren.

Da die hydromorphologische Entwicklung innerhalb der umgestalteten Gewässer und die Lebensraumvernetzung noch lange nicht abgeschlossen sind, ist auch mit weiteren dynamischen Veränderungen bei den Makrozoobenthos-Biozönosen zu rechnen. Durch die allmählich einsetzende Entwicklung der Ufervegetation werden sich auch die Bedingungen für die Adultstadien (Imagines) und für die Fortpflanzung der Wasserinsekten zusehends verbessern, was weiteren Arten die Zuwanderung ermöglichen kann bzw. einen höheren Reproduktionserfolg ermöglicht.

Die hier vorgestellten exemplarischen Ergebnisse des gewässerökologischen Monitorings an Flaz und En vermitteln einen ersten Eindruck von den biologischen Veränderungen im Rahmen eines der grössten Hochwasserschutzprojekte der Schweiz in den letzten Jahrzehnten. Sie zeigen, dass das Hochwasserschutzprojekt Samedan ökologische Verbesserungen für die Gewässerfauna des Projektgebietes und darüber hinaus für das gesamte Gewässersystem bewirkt hat.

Literatur:

BUWAL (2002). Äschenpopulationen von nationaler Bedeutung. Bearbeitung: Kirchhofer, A., Breitenstein, M. & Guthruf, J.. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Mitteilungen zur Fischerei Nr. 70. ca. 120 Seiten.

Fatio, V. (1880). Faune des Vertébrés de la Suisse, Vol. V. Histoire naturelle des poissons, II<sup>ème</sup> partie. 576 pages

Lorenz, P. (1898). Die Fische des Kantons Graubünden. Jahresbericht der naturforschenden Gesellschaft Graubünden 41: Seite 120

Schager, E. & Peter, A. (2004). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer–Fische Stufe F (flächendeckend). Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 44. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). 63 Seiten

Steinmann, P. (1928). Fischereiliches aus dem Engadin. Schweiz. FischereiZ. 36: 289–293

Anschriften der Verfasser:

Andreas Becker, HYDRA, Gartenstr. 79  
D-69168 Wiesloch  
Tel. +49 6222 939 939  
a.becker@hydra-institute.com

Peter Rey, HYDRA, Fürstenbergstr. 25  
D-78467 Konstanz  
Tel. +49 7531 924 000  
p.rey@hydra-institute.com

Uta Mürle und Johannes Ortlepp, HYDRA  
Mühlweg 17, D-75223 Öschelbronn  
Tel. +49 7233 81495  
u.muerle@hydra-institute.com  
j.ortlepp@hydra-institute.com

Dr. Pascale Steiner, Pèsch viv, Büro für Fischereifragen und Gewässerökologie  
Via Sogn Paul 1, CH-7403 Rhäzüns  
steinerpa@aol.com

Dr. Marcel Michel, Amt für Jagd und Fischerei Graubünden, Loëstr. 14, CH-7001 Chur  
Tel. 081 257 38 94, marcel.michel@ajf.gr.ch

Reto Gritti, Amt für Jagd und Fischerei Graubünden, Fischereiaufsicht - Fischzucht  
CH-7500 St. Moritz  
Tel. 081 833 67 52, reto.gritti@ajf.gr.ch