

Umweltdepartement

Amt für Wasserbau

Sanierung Geschiebehaushalt Muota

Studie über Art und Umfang von Massnahmen



Steinen, 15. November 2018

beffa tognacca gmbh

Wasserwirtschaft & Flussbau
Bahnhofstrasse 13 A, CH-6422 Steinen
T 041 810 07 35

Inhaltsverzeichnis

0 Zusammenfassung.....	3
1 Einleitung.....	4
1.1 Situation und Aufgabenstellung.....	4
1.2 Perimeter.....	4
1.3 Verwendete Grundlagen.....	4
2 Ist- und Referenzzustand des Gewässers.....	6
2.1 Begriffe.....	6
2.2 Morphologie und Geschiebehaushalt.....	7
2.3 Geschiebefrachten und -bilanzen.....	10
2.4 Einfluss der Anlagen.....	12
2.5 Anlage Selgis.....	14
3 Zielformulierung.....	15
3.1 Ziele für das Gewässer.....	15
3.2 Erforderliche Geschiebefrachten.....	16
3.3 Sanierungsziele für Anlagen.....	21
4 Massnahmenplanung und Variantenstudium.....	23
4.1 Anlage Sahlí.....	25
4.2 Anlage Riedblätz.....	35
4.3 Anlage Ibach.....	42
4.4 Geschiebesammler Stalden.....	46
4.5 Geschiebesammler Rättschalerbach.....	50
4.6 Koordination.....	52
5 Erfolgskontrolle.....	54
5.1 Umsetzungskontrolle.....	54
5.2 Wirkungskontrolle - Grundsätze.....	54
5.3 Wirkungskontrolle - Umsetzung.....	57
5.4 Simulationsmodell.....	62
6 Beilagen.....	64
6.1 Geschiebeentnahmen.....	64
6.2 Längenprofil der Sohlenveränderungen.....	65
6.3 Kostenschätzungen.....	66
6.4 Gerinneformen nach Ahmari & Da Silva (2011).....	70

Titelbild: Kiesdepot beim Sahlísee (Aufnahme: Mai 2017)

0 Zusammenfassung

In der strategischen Planung zum Geschiebehaushalt ist die Sanierungspflicht für verschiedene Anlagen an der Muota ermittelt worden. In der vorliegenden Studie werden die Sanierungsziele für das Gewässer und die sanierungspflichtigen Anlagen aufgrund von morphologischen Analysen enger gefasst. Anhand der bekannten Geschiebeentnahmen und der berechneten Einträge aus den Einzugsgebieten wird ein Längenprofil der Geschiebefrachten für den aktuellen Zustand und den Referenzzustand (ohne Entnahmen) über die gesamte Muota vom Sahli bis zur Mündung in den Vierwaldstättersee generiert. Auf der Grundlage der Vollzugshilfe (VZH, V12) sind die erforderlichen Frachten bestimmt worden, welche für eine Beseitigung der Geschiebedefizite notwendig sind. Aus diesen Analysen werden die Art und der Umfang der anzuordnenden Massnahmen festgelegt.

Die Untersuchung kommt zu folgenden Ergebnissen und Empfehlungen:

- (1) Im Referenzzustand finden sich wenige Muotaabschnitte mit verzweigter Gerinneform. Diese Flächen werden heute durch anthropogene Nutzungen belegt. Für eine vollständige Erreichung der Sanierungsziele müssten diese Nutzungen aufgegeben werden.
- (2) Um die erforderliche Fracht gemäss VZH zu erreichen, sind Anpassungen an verschiedenen Anlagen notwendig.
- (3) Auf der Grundlage eines Variantenstudiums werden folgende Massnahmen zur Ausführung empfohlen:

Anlage	Massnahmen
Stauhaltung Sahli	Erstellen eines Geschiebeumleitstollens zur Durchleitung des Geschiebes bei Abflüssen, welche die Kraftwerksleistung übersteigen. Alternative Lösung ist eine kontrollierte Geschiebebeschickung unterhalb des Stauwehres.
Fassung Riedblätz	Stauziel anpassen in Abhängigkeit der Geschiebeablagerungen im Stauraum.
Fassung Ibach	Querschwelle bei der Fassung rückbauen.
GS Stalden	Auslaufsperrre rückbauen und Geschiebeentnahmen auf zirka 50% reduzieren.
GS Rätchtalerbach	Durchlässigkeit der Auslaufsperrre erhöhen.

Die Investitionskosten für die baulichen Anpassungen betragen rund 2.0 Mio CHF, wovon 75% auf den Geschiebeumleitstollen Sahli entfallen. Bei den übrigen untersuchten Anlagen ist eine Sanierung zur Gewährleistung der erforderlichen Fracht nicht notwendig.

1 Einleitung

1.1 Situation und Aufgabenstellung

Gemäss Art. 43a Abs. 1 GSchG sind Inhaber von Anlagen verpflichtet, durch Massnahmen eine wesentliche Beeinträchtigung des Gewässers durch einen veränderten Geschiebehaushalt zu verhindern. Eine wesentliche Beeinträchtigung der einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräumen durch einen veränderten Geschiebehaushalt liegt vor, wenn Anlagen wie Wasserkraftwerke, Kiesentnahmen, Geschiebesammler oder Gewässerverbauungen die morphologischen Strukturen oder die morphologische Dynamik des Gewässers nachteilig verändern (Art. 42a GSchV). Für kommerzielle Kiesentnahmen gilt die bereits bestehende Spezialregelung von Art. 44 GSchG. Von der Pflicht betroffen sind sowohl Inhaber von Neuanlagen als auch Inhaber bestehender Anlagen (/1/).

In der strategischen Planung zum Geschiebehaushalt (/2/) ist die Sanierungspflicht für verschiedene Anlagen an der Muota untersucht worden (/3/, /4/). Bei zehn Anlagen besteht Sanierungsbedarf, wovon drei einen direkten Bezug zur Wasserkraftnutzung haben (übrige sind Geschiebesammler).

Der Kanton erstellt für Anlagen, die Massnahmen treffen müssen, eine Studie über die Art und den Umfang der notwendigen Massnahmen mit ökologischer und wirtschaftlicher Beurteilung der Massnahmen (Art. 42c Abs. 1 GSchV). Gestützt auf diese Studie ordnet die kantonale Behörde die erforderliche Massnahme zur Sanierungen und die Frist für deren Planung und Umsetzung an. Dabei muss bei Wasserkraftwerken das Geschiebe soweit möglich durch die Anlage durchgeleitet werden (Art. 42c Abs. 2 GSchV).

Grundlage für diese Abklärungen bildet die Vollzugshilfe (VZH) zur Massnahmenplanung, welche im Entwurf vorliegt (/1/).

1.2 Perimeter

Muota von Sahli bis Vierwaldstättersee (Länge 26 km) mit den wesentlichen Zuflüssen

1.3 Verwendete Grundlagen

- /1/ Sanierung Geschiebehaushalt – Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer **Version 12** – 27.06.2017. Bundesamt für Umwelt BAFU.
- /2/ Sanierung Geschiebehaushalt - Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2012.
- /3/ Sanierung Geschiebehaushalt. Einzugsgebiet der Muota. Schlussbericht. 1.12.2014.
- /4/ Sanierung Geschiebehaushalt. Einzugsgebiet der Muota. Zwischenbericht. 1.07.2014.

- /5/ BAFU und EAWAG (Hrsg.) (2006): Ökomorphologie Stufe S. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer gemäss dem Modul-Stufen-Konzept. Entwurf. Bundesamt für Umwelt, Bern, 72 S.
- /6/ Integrale Naturgefahrenkarte Los Muotathal. ARGE Oeko-B / Jäckli / Hunziker, Zarn & Partner, 2011.
- /7/ geo.admin.ch
- /8/ Airborne Hydromapping (AHM), Aufnahmen 2012.
- /9/ Parker G. 1990. Surface-based bedload transport relation for gravel rivers. J. Hydraul. Res., 28, 417-436.
- /10/ Kraftwerk Neu – Wernisberg. Bauprojekt 1962. Technischer Bericht. K. J. Fetz, beratender Ingenieur, Zürich.
- /11/ Abschätzung der mittleren jährlichen Geschiebelieferung in Vorfluter. Praxishilfe. Hunziker, Zarn & Partner, Lehmann Hydrologie-Wasserbau, belop gmbh, Juli 2014.
- /12/ Ahmari A., da Silva A. M. F., 2001. Regions of bars, meandering and braiding in da Silva and Yalin's plan. J. Hydr. Res., 49:6.
- /13/ Tel. Auskunft Herr Steinegger 19. April 2018, Arnold & Co AG, Flüelen.
- /14/ Bezzola G. R. 2003. Flussbau. Vorlesungsmanuskript, ETH Zürich.
- /15/ Babaeyan-Koopaei K. 2012. Discussion of „Regions of bars, meandering and braiding in da Silva and Yalin's plan“. J. Hydr. Res. 50:5.
- /16/ Jäggi M. 1983. Alternierende Kiesbänke. VAW Mitteilung Nr. 62, ETH Zürich.
- /17/ Muota Neukonzession, Ausgleichsmassnahmen. Flussbauliche Analysen, Arbeitspapier v3.1, Beffa Tognacca GmbH, Januar 2018.
- /18/ Yalin M. S., Da Silva A. M. F., 2001. Fluvial Processes. Monograph IAHR.

2 Ist- und Referenzzustand des Gewässers

(aus VZH /1/)

Mit diesem Arbeitsschritt sollen Kenntnisse über die Morphologie und den Geschiebehaushalt des Gewässers im Referenzzustand und im Ist-Zustand gewonnen werden, so dass daraus die Defizite in der Geschiebeführung abgeleitet werden können.

Als Ergebnisse des Arbeitsschrittes werden erwartet:

- eine Beschreibung der Morphologie (Gerinneform, Sohlenform und Substrat) des Gewässers im Referenzzustand und im Ist-Zustand,
- eine Liste der Anlagen, welche die Geschiebefracht im Ist-Zustand gegenüber der Fracht im Referenzzustand beeinflussen mit Angaben darüber, um welches Mass die Geschiebefracht von den Anlagen reduziert wird.
- ein Längsprofil der Geschiebefracht im Referenzzustand und im Ist- Zustand
- eine Beschreibung des Defizits in der Geschiebeführung im Ist-Zustand gegenüber der Geschiebeführung im Referenzzustand

Wurden diese Grundlagen bereits in der strategischen Planung oder in einem anderen Zusammenhang erarbeitet, können diese Ergebnisse verwendet werden.

2.1 Begriffe

(aus /1/)

Der Naturzustand entspricht dem Zustand des Gewässers ohne anthropogene Eingriffe. Breite, Gerinneform und Verlauf des Gewässers im Naturzustand sind näherungsweise in historischen Karten dargestellt. Im Naturzustand ist der Geschiebehaushalt nicht anthropogen beeinflusst.

Der Referenzzustand ist ein Zustand nahe am Naturzustand. Es ist ein Zustand der sich einstellen würde, wenn sämtliche menschlichen Nutzungen im unmittelbaren Umfeld des Gewässers aufgegeben würden. Er schliesst jedoch grossräumige und irreversible Landschaftsveränderungen, wie beispielsweise grossflächige Waldrodungen und Siedlungen mit ein (/5/).

Der Ist-Zustand beschreibt den aktuellen Zustand der Gewässer mit allen Anlagen und Gewässerverbauungen. Im Ist-Zustand ist der Geschiebehaushalt des Gewässers gegebenenfalls durch Wasserkraftanlagen, Geschiebesammler, Gewässerverbauungen, Kiesentnahmen und andere Anlagen verändert.

Das Defizit ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Referenz- und dem Ist-Zustand. Im Rahmen der Sanierung des Geschiebehaushaltes interessieren in erster Linie die Defizite in Bezug auf den Geschiebehaushalt, d.h. die Unterschiede in der Geschiebeführung zwischen dem Referenzzustand und dem Ist-Zustand. Defizite in der Morphologie sind oft auch durch die Begradigung und Einengung der Gewässer entstanden.

2.2 Morphologie und Geschiebehaushalt

(aus VZH /1/)

Die Gerinneform ist das Erscheinungsbild des Gewässers aus der Vogelperspektive. Es werden fünf Gerinneformen unterschieden:

- (1) In einem verzweigten Gerinne mit mehr als zwei Teilgerinnen teilt sich der Lauf des Gewässers bei Niedrig- und Mittelwasser in mehrere Arme auf. Dazwischen liegen Kiesbänke ohne Gehölz. Die Kiesbänke werden bei Hochwasser überflutet und ihre Lage ändert sich mit jedem Hochwasserereignis. Das Flussbett ist breit und die mittlere Abflusstiefe auch bei Hochwasser relativ gering.
- (2) Das verzweigte Gerinne mit zwei Teilgerinnen ist der oben beschriebenen Gerinneform sehr ähnlich. Der Unterschied besteht in der Anzahl Teilgerinne. Das Flussbett ist im Verhältnis zum verzweigten Gerinne mit mehr als 2 Teilgerinnen etwas weniger breit.
- (3) Auch ein gewundenes Gerinne mit Inseln und Bänken hat zwei oder mehr Teilgerinne. Diese sind mit bewachsenen Inseln voneinander getrennt, welche nur bei grossen Hochwasserereignissen umgelagert werden. Kiesbänke begleiten die Inseln oder bilden sich entlang der Ufer.
- (4) In gewundenen Gerinnen mit Bänken bilden sich die Bänke in strömungsberuhigten Zonen entlang des Ufers oder bei lokalen Verbreiterungen. Sie werden bei Hochwasser überflutet und sind, mit wenigen Ausnahmen, nicht mit Gehölz bewachsen. Diese Gerinneform kann auch als mäandrierendes Gerinne mit Geschiebeführung bezeichnet werden.
- (5) Im mäandrierenden Gerinne ohne Geschiebeführung fliessen Hoch- und Niedrigwasser in einem und demselben Gerinne ab. Diese Gerinneform ist in der Schweiz selten. Die Aare in Grenchen z. B. ist ein solches Gerinne. Ihre Sohle besteht aus Sand.

Die Gerinneformen im Referenzzustand können aus historischen Karten oder Luftbildern abgeleitet werden, die Gerinneformen im Ist-Zustand aus aktuellen Karten oder Luftbildern.

Kiesbänke bilden sich bei allen Gerinneformen mit Geschiebetransport in hydraulisch geeigneten Sohlenbereichen. Aufgrund der Lage und Anordnung können folgende Typen von Kiesbänken unterschieden werden:

- (1) Kiesbank am Gleitufer einer Krümmung (stationäre Kiesbank; bei Migration des Gewässers beschränkt mobil).
- (2) Kiesbank als Insel in einer Aufweitung oder in einem verzweigten Gewässer (stationäre oder mobile Kiesbank).
- (3) An den Ufern alternierend angeordnete Kiesbänke in gestreckten Gewässerabschnitten (stationäre oder mobile Kiesbank).
- (4) Kiesbänke hinter Hindernissen (stationäre Kiesbank).

Anwendung auf die Muota

Die Gerinneform im Referenzzustand lässt sich aus der Siegfriedkarte (div. Zeitstände) ableiten. Die noch ältere Dufourkarte ist hinsichtlich der Gerinneform wenig aussagekräftig. Die Karten zeigen mehrheitlich ein gewundenes Gerinne mit einzelnen Bänken. Verzweigte Abschnitte finden sich auf wenigen Abschnitten (vgl. Abbildungen unten).

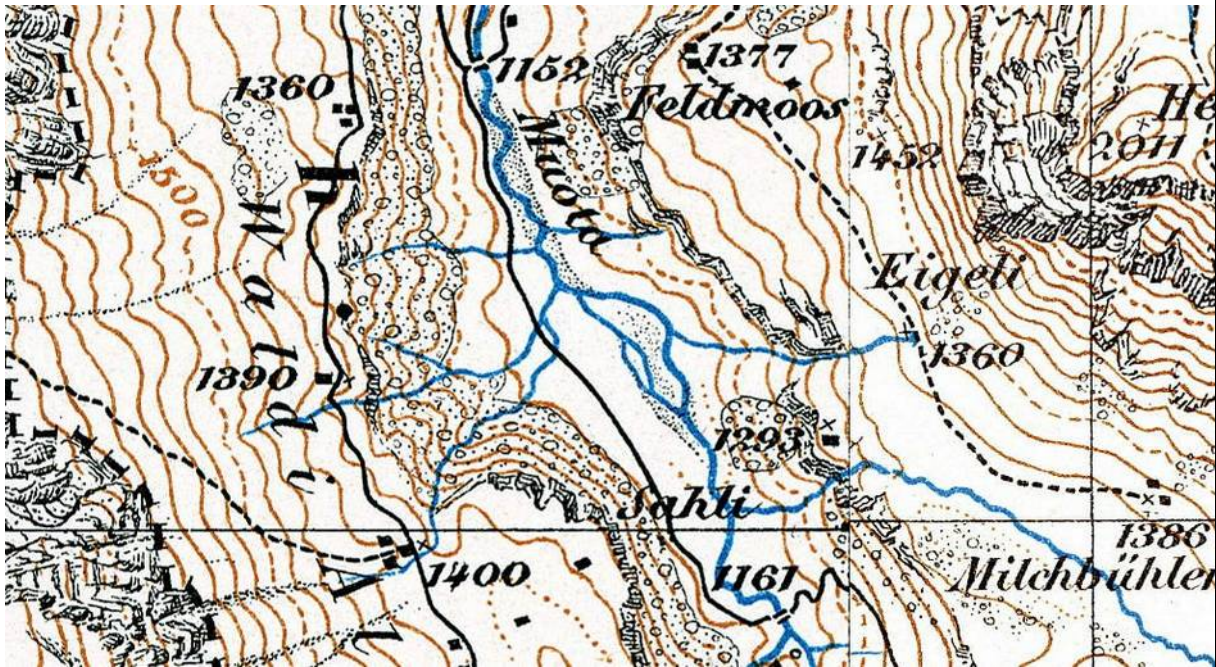


Abbildung 1: Verzweigtes Gerinne im Gebiet Sahli (Siegfriedkarte 1906)



Abbildung 2: Verzweigte Gerinne im Gebiet Selgis (Siegfriedkarte 1882)

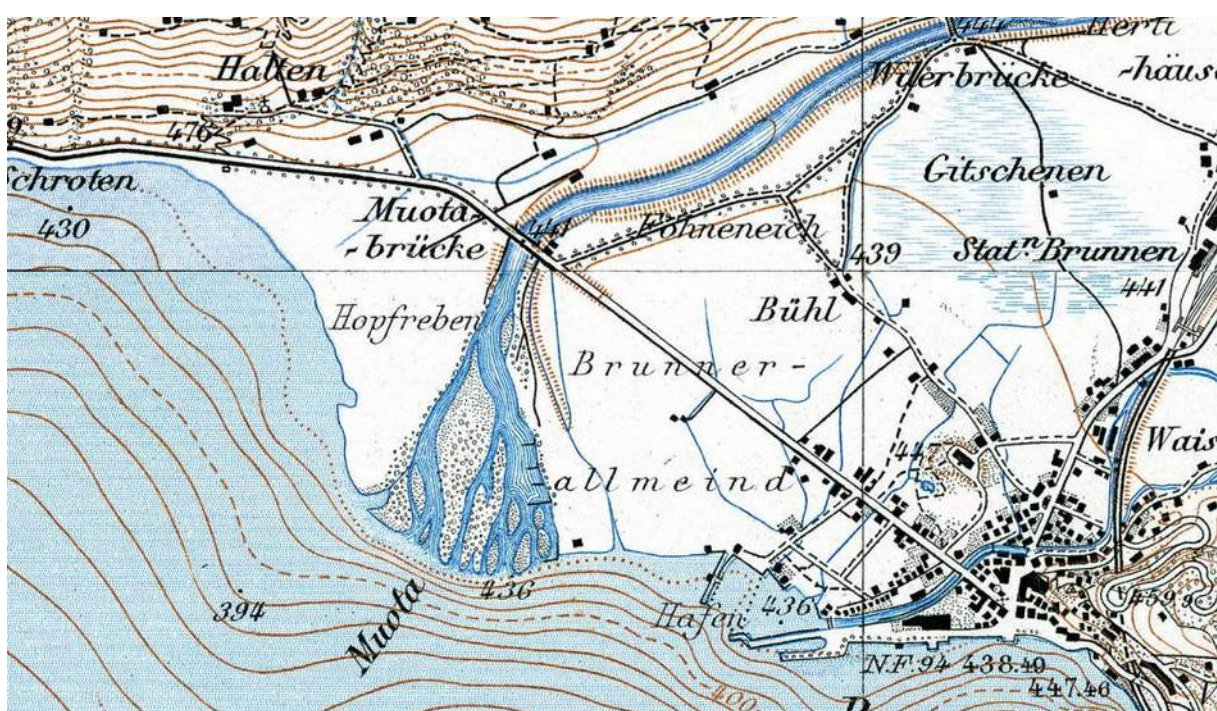


Abbildung 3: Verzweigte Gerinne in der Muotamündung (Siegfriedkarte 1915)

Unterhalb Ibach wies das Gerinne gemäss Siegfriedkarte mehrere Mittelbänke auf (Abbildung 4). Es handelt sich dabei um Kiesbänke ohne Bewuchs. Gemäss VZH /1/ entspricht dies dem Gerinnetyp 4 (gewundenes Gerinne mit Bänken).



Abbildung 4: unbewachsene Kiesbänke unterhalb Ibach (Siegfriedkarte 1893)

Die Auswertung der Siegfriedkarten ergibt für die Gerinneformen folgende Ergebnisse:

Typ	Beschrieb	Abschnitt
1	Verzweigtes Gerinne mit mehr als zwei Flussästen	Balm (Länge 700 m); Hopfreen (400 m)
2	Verzweigtes Gerinne mit zwei Flussästen	Sahli (Länge 400 m); Selgis (1'400 m)
3	gewundenes Gerinne mit bewachsenen Inseln	-
4	gewundenes Gerinne mit Geschiebeführung (Bänken)	übrige Abschnitte (Länge 23'000 m)
5	gewundenes Gerinne ohne Geschiebeführung	-

Tabelle 1: Historische Gerinneformen der Muota (aus Siegfriedkarten)

Auf der Gesamtstrecke zwischen Sahli und Vierwaldstättersee (Länge 28 km) sind zirka 13% dem verzweigten Gerinnetyp zuzuordnen. Dabei ist die Abgrenzung zwischen zwei und mehr Flussästen nicht eindeutig. Die übrigen Abschnitte sind dem gewundenen Gerinnetyp (mit Kiesbänken, aber ohne Bewuchs) zuzuordnen.

Die Abschnitte mit ursprünglich verzweigtem Lauf werden heute intensiv genutzt:

- Sahli und Selgis dienen als Ausgleichsbecken für die Energienutzung.
- Im Gebiet Balm befindet sich der Geschiebesammler „Höch Murä“, welcher nach dem grossen Hochwasser 1910 errichtet wurde.
- Im Gebiet Hopfräben befinden sich rechtsufrig ein Campingplatz und linksufrig Wohngebäude.

Die morphologisch wertvollsten Abschnitte sind somit für das Gewässer nicht mehr verfügbar oder hydraulisch verändert (eingestaut resp. begradigt und verbaut).

2.3 Geschiebefrachten und -bilanzen

Im Rahmen der strategischen Planung wurden die Geschiebeentnahmen in der Muota und deren Seitengewässer für die Jahre 2006 bis 2011 erhoben. Die mittlere jährliche Entnahme betrug rund 10'000 m³ (Abbildung 5).

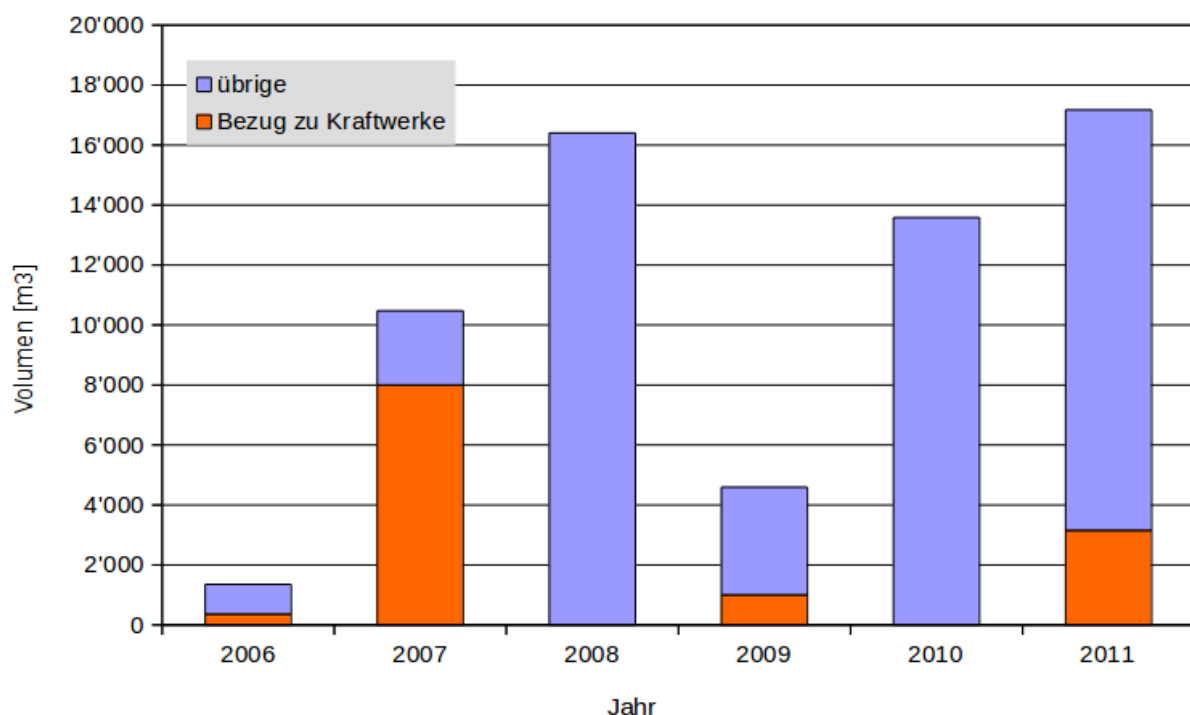


Abbildung 5: Geschiebeentnahmen aus der Muota inkl. Seitengewässer (ohne Mündung)

Der Anteil der Entnahmen aus der Starzlen (Sammler Stalden) machen dabei rund 50% aus. Nicht berücksichtigt sind dabei die Baggerungen aus dem Mündungsdelta der Muota im Vierwaldstättersee. Die Deltabaggerungen betragen im Mittel zirka 7400 m³/a (Zeitraum 1980 – 2016). Gemäss Auskunft des Konzessionärs setzt sich das Geschiebe aus ungefähr 2/3 Kies und 1/3 Sand zusammen /13/.

Aus diesen Angaben lassen sich die jährlichen Geschiebefrachten in der Muota grob bilanzieren. Im Längenprofil berücksichtigt sind die Geschiebequellen (Einträge aus Seitenbächen), die bekannten Geschiebeentnahmen und der Abrieb (Abbildung 6).

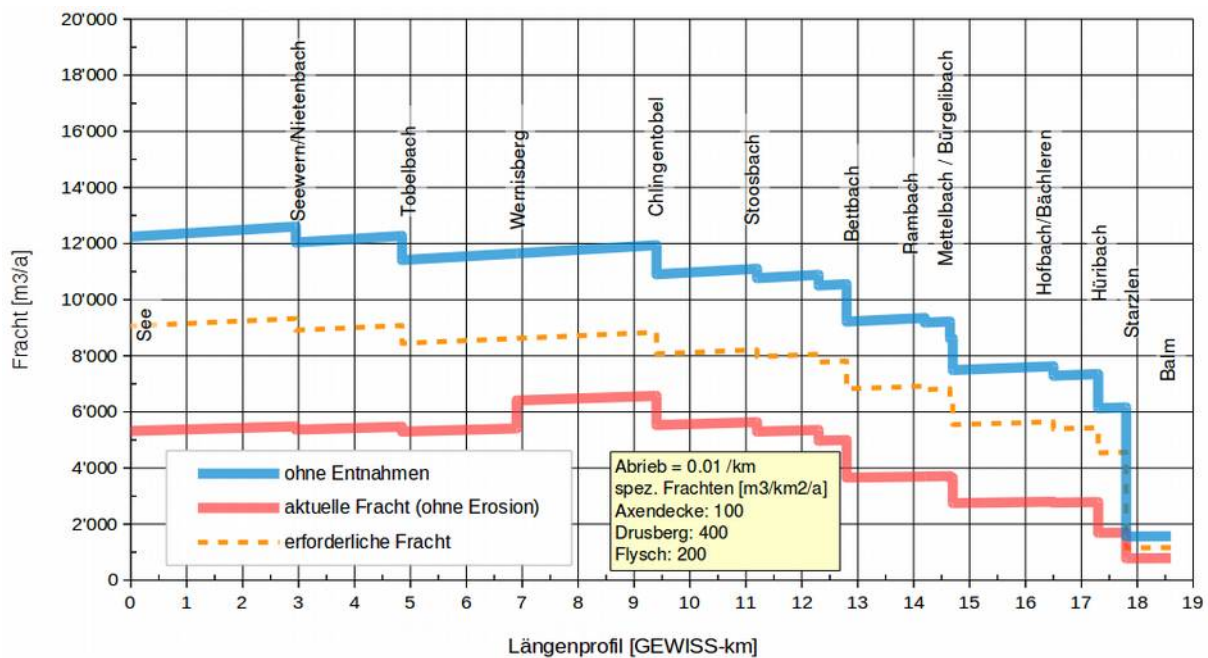


Abbildung 6: Geschiebefrachten der Muota von See bis Balm

Die spezifischen mittleren jährlichen Feststofflieferungen aus gebirgigen Einzugsgebieten liegen typischerweise zwischen 100 und 800 m³ pro Quadratkilometer (/11/). Die Einträge aus den Seitenbächen sind anhand der spezifischen Frachten unter Berücksichtigung der geologischen Formationen abgeschätzt worden. Am unteren Ende der Geschiebelierung liegt die Axendecke (kompakter Fels; wenig Schutt) und am oberen Ende die Drusbergkette (stark geklüftet; grosse Schutfächer).

Die bilanzierten Geschiebefrachten im Mündungsbereich betragen rund 5'000 m³/a und liegen damit unter den langjährigen Beobachtungen. Dieser Unterschied kann auf folgende Effekte zurückgeführt werden: Die Sohle der Muota weist eine Erosionstendenz auf (vgl. Kapitel 6.2). Der Geschiebeeintrag aus der Flusssohle betrug im langjährigen Mittel zirka 1'000 m³/a. Weiter sind die Entnahmen beim KW Wernisberg (ebenfalls zirka 1'000 m³/a) berücksichtigt, welche erst seit dem Jahr 2006 erfolgen und damit in der langjährigen Bilanz fehlen.

Im Referenzzustand, d.h. ohne Entnahmen, wären die Geschiebefrachten rund doppelt so hoch. Zur Ermittlung der erforderlichen Frachten sei auf das nachfolgende Kapitel verwiesen.

Das Längenprofil der Geschiebefrachten kann auch für den Muotaabschnitt im Bisisthal ermittelt werden (Abbildung 7).¹

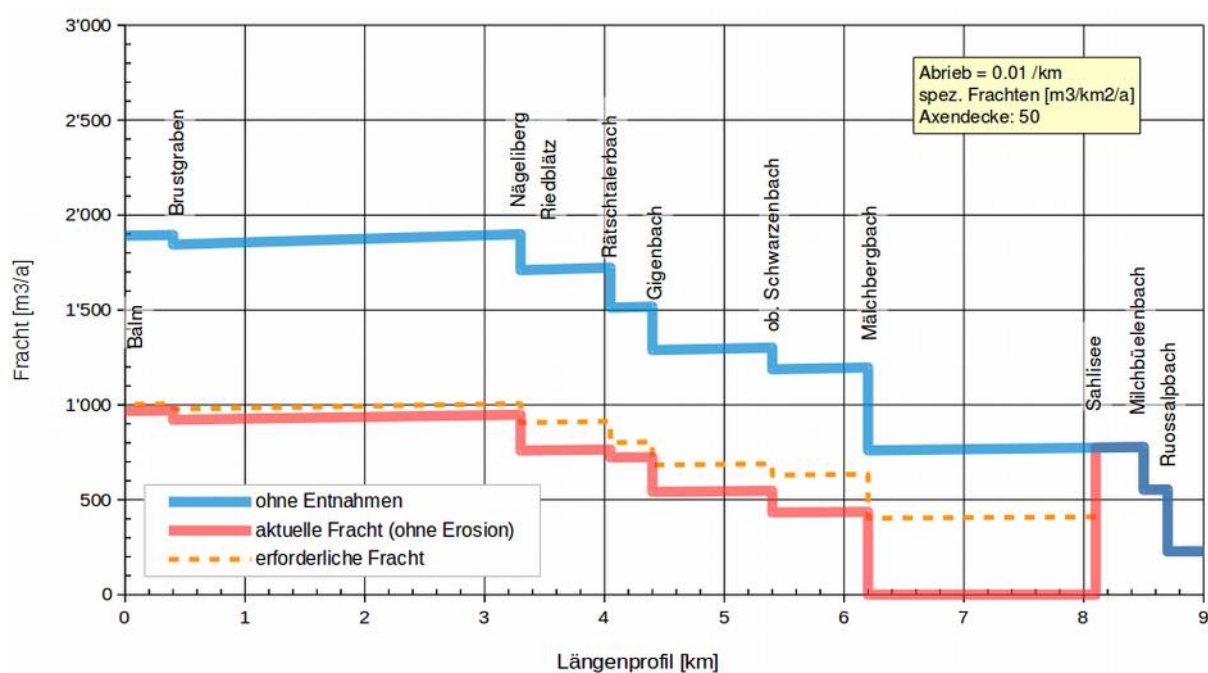


Abbildung 7: Geschiebefrachten der Muota Bisisthal (Sahli bis Balm)

Die Geschiebebilanz wird wesentlich durch den Sahlisee geprägt, der das Geschiebe aus dem Oberlauf vollständig zurückhält. Der Geschiebeeintrag in den Sammler Balm wird aktuell auf zirka 1'000 m³/a geschätzt. Ohne Geschieberückhalt würde der Geschiebeanfall im Sammler Balm rund doppelt so hoch ausfallen.

2.4 Einfluss der Anlagen

Der Einfluss der Anlagen auf den Geschiebehaushalt lässt sich anhand der ausgewiesenen Bagge- rungsvolumen abschätzen (Tabelle 2).

¹Aus den bekannten Geschiebebaggerungen im Sahlisee ergibt sich eine spezifische Fracht von 50 m³/km²/a für die Muota im Sahli (Axendecke im Bisisthal).

	Anlage	Geschieberückhalt	Anteil
1	Ausgleichsbecken Sahli	Anlage hält Geschiebe vollständig zurück.	100%
2	Fassung Riedblätz	Geschieberückhalt bisher gering (nur seltene Baggerungen notwendig); mit Zunahme der Geschiebeeinträge (nach Sanierung der Anlage Sahli) sind erhöhte Ablagerungen wahrscheinlich.	< 10%
3	Fassung Ibach ²	Seit 2006 sind bei der Kraftwerksanlage Wernisberg Geschiebeentnahmen im Umfang von 1'000 m ³ /a notwendig.	~ 25%
4	GS Balm	Geschiebeentnahmen seit längerer Zeit eingestellt	0%
5	GS Stalden	Geschieberückhalt ist stark abhängig vom Füllgrad des (unteren) Sammlers.	50 – 80%
6	GS Seeberg	hohe Rückhalteleistung, sofern regelmässig geleert	~ 80%
7	GS Räschtalerbach	hohe Rückhalteleistung, sofern regelmässig geleert	~ 80%
8	GS Hofbach	hohe Rückhalteleistung, sofern regelmässig geleert	~ 80%
9	GS Bächleren	hohe Rückhalteleistung, sofern regelmässig geleert	~ 80%
10	GS Rambach	hohe Rückhalteleistung, sofern regelmässig geleert	~ 80%

Tabelle 2: Geschieberückhalt durch Kraftwerksanlagen und Geschiebesammler (GS)

² Im Sanierungsbericht /3/ wird die Sanierung der Anlage Wernisberg zugewiesen. Die Geschiebeablagerungen sind jedoch eine indirekte Folge des Rückstaus durch die Fassung für das Kraftwerk Ibach.

2.5 Anlage Selgis

Das Ausgleichsbecken des Kraftwerks Wernisberg ist im Rahmen der strategischen Planung als nicht sanierungspflichtig ausgeschieden worden. Diese Einstufung hat seitens BAFU Fragen aufgeworfen und wird im Folgenden näher begründet.

Die Stauanlage Selgis wurde im Jahr 1962 realisiert /10/. Für die Untersuchung der Geschiebedurchleitung wurde an der Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich eigens ein physikalisches Modell im Massstab 1:40 erstellt (Abbildung 8). Diese Versuche dienten dazu, ein Seereglement zu entwickeln, „bei dessen Anwendung eine Auflandung des Stauraumes und des Oberlaufes durch Kies und Sand nicht zu befürchten ist. Entsprechend den Ermittlungen der Versuchsanstalt für Wasserbau beträgt der Geschiebetransport der Muota durch das Ausgleichsbecken Selgis im Mitteljahr etwa 125'000 m³“ (/10/). Die theoretische Geschiebetransportkapazität ist somit um einen Faktor 10 höher als die zukünftige (erforderliche) Fracht.

Die Praxis hat die Ergebnisse der Versuche aus dem Jahre 1961 bestätigt. Das anfallende Geschiebe wird vollständig durchgeleitet und muss nicht entnommen werden. Ein Sanierungsbedarf besteht weder für die Durchleitung der aktuellen Fracht



Abbildung 8: Modell Stauraum Selgis an der VAW 1961

noch für die Durchleitung der erforderlichen Fracht.

3 Zielformulierung

3.1 Ziele für das Gewässer

(aus VZH /1/)

Das Ziel bei der Geschiebesanierung ist die Beseitigung der wesentlichen Beeinträchtigung von Tieren und Pflanzen, deren Lebensräume, des Grundwasserhaushalt und des Hochwasserschutz durch Anlagen, die den Geschiebehaushalt verändern. Dies betrifft in erster Linie morphologische Strukturen. Die Gerinneform, die Ausdehnung von Kiesbänken und das Substrat sollen nicht wesentlich anders sein, als sie im Referenzzustand wären. Mit einem solchen Zielzustand sind auch die in Art. 4, Abs. 1 Auenverordnung definierten Schutzziele für Auengebiete nationaler Bedeutung erfüllt. Im Weiteren sollen im Zielzustand der Hochwasserschutz und der Grundwasserhaushalt nicht wesentlich beeinträchtigt sein.

Der oben genannte Zielzustand wird anhand von fünf spezifischen Zielen präzisiert:

- Ziel 1 für die Gerinneform: Die im Referenzzustand vorhandene Gerinneform soll annähernd erreicht werden.
- Ziel 2 für die Sohlenformen: Kiesbänke sollen eine ähnliche Ausdehnung und Mächtigkeit haben wie im Referenzzustand. Als ähnlich wird eine Ausdehnung betrachtet, wenn sie nicht mehr als 20 % von der Ausdehnung im Referenzzustand abweicht.
- Ziel 3 für das Substrat: Die örtliche Verteilung der Korngrößen des Substrats soll anteilmässig ähnlich sein wie im Referenzzustand. Die Geschiebeablagerungen müssen mehr als einmal im Jahr erneuert werden können.
- Ziel 4 für den Hochwasserschutz: In Gewässerabschnitten ohne Einschränkung der Sohlenbreite soll es zu keinen Sohlenerosionen mit einer Absenkung des Längsgefälles unter das Talgefälle bzw. unter das Gefälle im Referenzzustand kommen.
- Ziel 5 für den Grundwasserhaushalt: Der Grundwasserhaushalt soll durch Sohlenerosionen nicht so weit verändert werden, dass das nutzbare Grundwasservorkommen beeinträchtigt wird. In Auengebieten soll eine Sohlenerosion nicht dazu führen, dass der Grundwasserspiegel absinkt und Feuchtgebiete und Giessen trocken fallen.

Zwischen Geschiebeführung und morphologischen Strukturen besteht ein enger Zusammenhang. Die Mittel, um die o.g. Ziele zu erreichen sind deshalb erstens die Erhöhung der mittleren jährlichen Geschiebefracht und zweitens – insbesondere in Auengebieten – die Gewährleistung von ausreichenden Hochwasserereignissen, damit das Geschiebe auch umgelagert wird.

3.2 Erforderliche Geschiebefrachten

Sind Ist-Zustand und Referenzzustand bestimmt, kann basierend auf der VZH /1/ (Anhang E.3) die erforderliche Fracht bestimmt werden. Im Vordergrund steht deshalb die Gerinneform (Ziel 1). Dazu werden exemplarisch folgende Abschnitte untersucht:

	Muotaabschnitt	Beschrieb
(1)	Langsteg (Ingenbohl)	Gerinneaufweitung in Planung (Ausgleichsmassnahme Neukonzeption)
(2)	Frauenkloster (Muotathal)	Muotaabschnitt mit Aufwertungspotential
(3)	Lauibrücke (Bisisthal)	Gerinneaufweitung in Planung (Ausgleichsmassnahme Neukonzeption)

Die Parameter für die zu bestimmenden Zustände sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Der Reibungsbeiwert zur Ermittlung der Fliesstiefen wird gemäss Vorschlag von Strickler ($k_{st} = 21 / d_{90}^{1/6}$) bestimmt.

Parameter		(1) Langsteg	(2) F'kloster	(3) Lauibrücke
Gefälle S		0.35%	1.0%	0.60%
Korndurchmesser Dm	cm	7	12	15
Korndurchmesser D90	cm	14	28	28
HQ5	m ³ /s	210	127	77
BGist	m	25	25	16
Referenzzustand				
Gerinnebreite BG	m	55 (Karte)	40 (Regime)	32 (Regime)
BG Parker	m	52	40	32
Fliesstiefe h	m	1.7	1.2	1.2
h/Dm	-	24	10	8
BG/h	-	32	33	27
ohne Geschiebe				
BG	m	21	16	13
h	m	3.5	2.6	3.0
h/Dm	-	50	22	20
BG/h	-	6	6	4.5
erforderlich				
BG/h	-	24	25	20
BG	m	46	30	23
Geschiebefracht ³	%	74%	58%	53%

Tabelle 3: Parameter zur Ermittlung der erforderlichen Geschiebefracht gemäss VZH /1/

Die Gerinnebreite für den Referenzzustand konnte für den Abschnitt (1) aus den historischen Karten bestimmt werden (Siegfriedkarte 1893, Abschnitt Ibach, Obere Studenmatt). Für die Abschnitte (2)

³ im Verhältnis zum Referenzzustand

und (3) lassen die vorhandenen Unterlagen keine geeignete Schätzung zu. Die Gerinnebreite für den Referenzzustand wurde mit der Regimebreite gemäss Parker (in $1/l$) gleichgesetzt und mit dem Ansatz von Yalin & Da Silva $/18/$ validiert. Der Wert für das 5jährige Hochwasser (HQ5) für den Abschnitt Langsteg basiert auf der Hochwasserstatistik der BAFU-Messstation Muota Ingenbohl (1924-2015). Für die beiden übrigen Standorte ist das HQ5 entsprechend der beitragenden Einzugsgebietsfläche abgemindert worden (mit Exponent $2/3$). Die Zuordnung der Gerinnetypen erfolgt gemäss VZH mit Hilfe des modifizierten Diagramms von Ahmari & Da Silva (Abbildung 9).

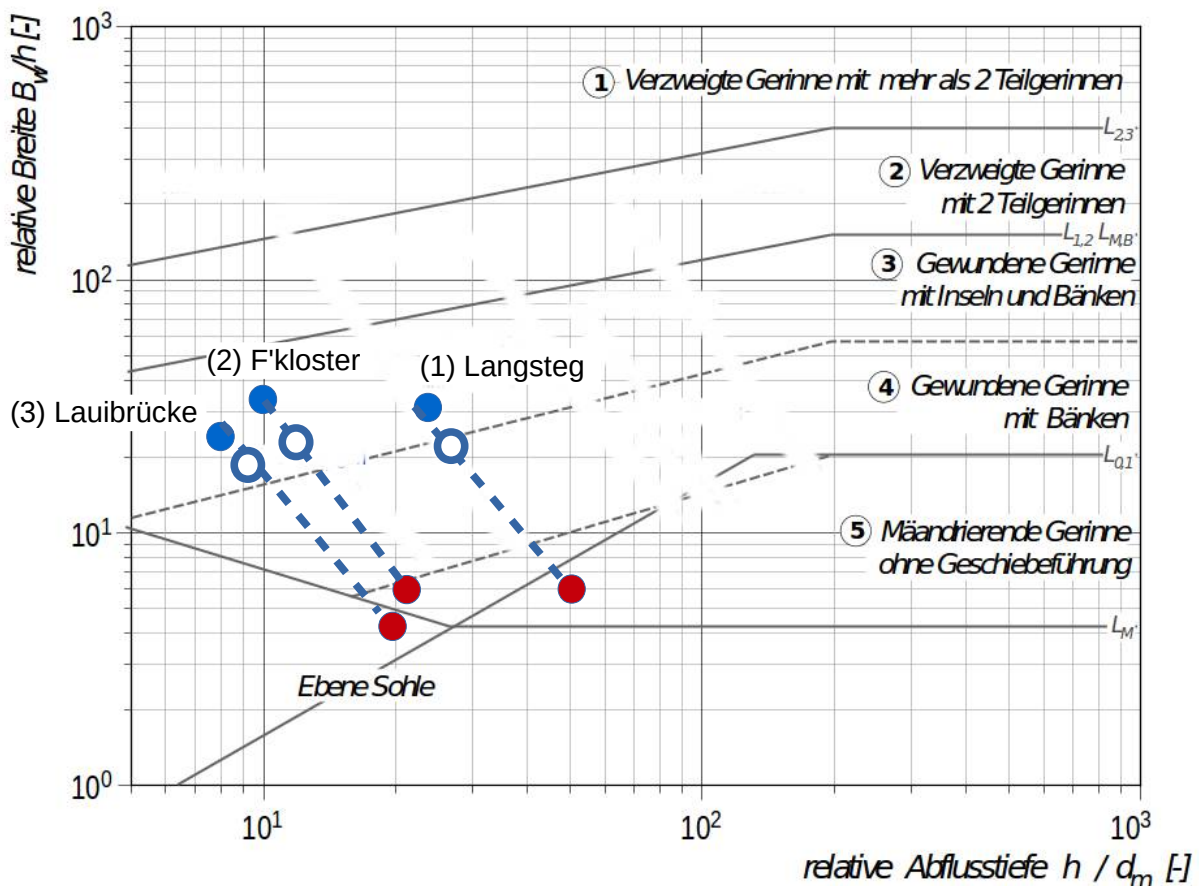


Abbildung 9: Kritischer Pfad der Veränderung der Gerinneform zwischen Referenzzustand (blaue Punkte) und dem Zustand bei fehlender Geschiebeführung (rote Punkte), sowie die erforderliche Geschiebefracht (blaue Kreise) in Anwendung der VZH $/1/$ (Diagrammvorlage aus VZH)

Die Gerinneform im Referenzzustand (resp. Regimezustand) entspricht dem Typ 3 (gewundene Gerinne mit Inseln und Bänken). Ohne Geschiebe würden die Gerinne dem Typ 5 (mäandrierende Gerinne ohne Geschiebeführung) entsprechen.⁴

⁴Die Gerinneform hängt von einer Vielzahl von Parametern ab und kann auch spontan ändern, z.B. während grossen Hochwasser. Die Unterscheidung zwischen den verschiedenen Gerinneformen ist deshalb nur näherungsweise möglich. In der Originalpublikation $/12/$ (vgl. Abbildung 29, S. 70) wird der Bereich zwischen den Linien $L_{0,1}$ und $L_{1,2}$ dem Gerinnetyp A & M (alternate bars & meandering rivers) zugeordnet. Die Gerinneform im Referenzzustand entspricht somit einem mäandrierenden Fluss (ohne Bänke) oder einem Fluss mit alternierenden Bänken.

Die erforderlichen Geschiebefrachten in den untersuchten Gerinneabschnitten betragen im Verhältnis zum Referenzzustand: Langsteg 74%, Frauenkloster 58% und Lauibrücke 53%. Übertragen auf die gesamte Strecke der Muota erhält man die erforderlichen Geschiebefrachten im Längenprofil gemäss Abbildung 6 resp. Abbildung 7.

Der (nicht vernachlässigbare) Einfluss der Gerinnebreite auf das Sohlengefälle ist für die geplante Aufweitung im Abschnitt Langsteg untersucht worden (/17/). Die Ausgleichsmassnahme sieht eine Verbreiterung der Gerinnebreite von bisher 25 m auf 50 m vor (Variante A). Das Gleichgewichtsgefälle der Sohle (c.p.) erhöht sich dadurch von 0.35% auf 0.45%. Bei gleichem Abfluss nimmt dadurch die Fliesstiefe h ab; der Punkt im Yalin-DaSilva-Diagramm verschiebt sich gegen Nordwesten (Abbildung 10).

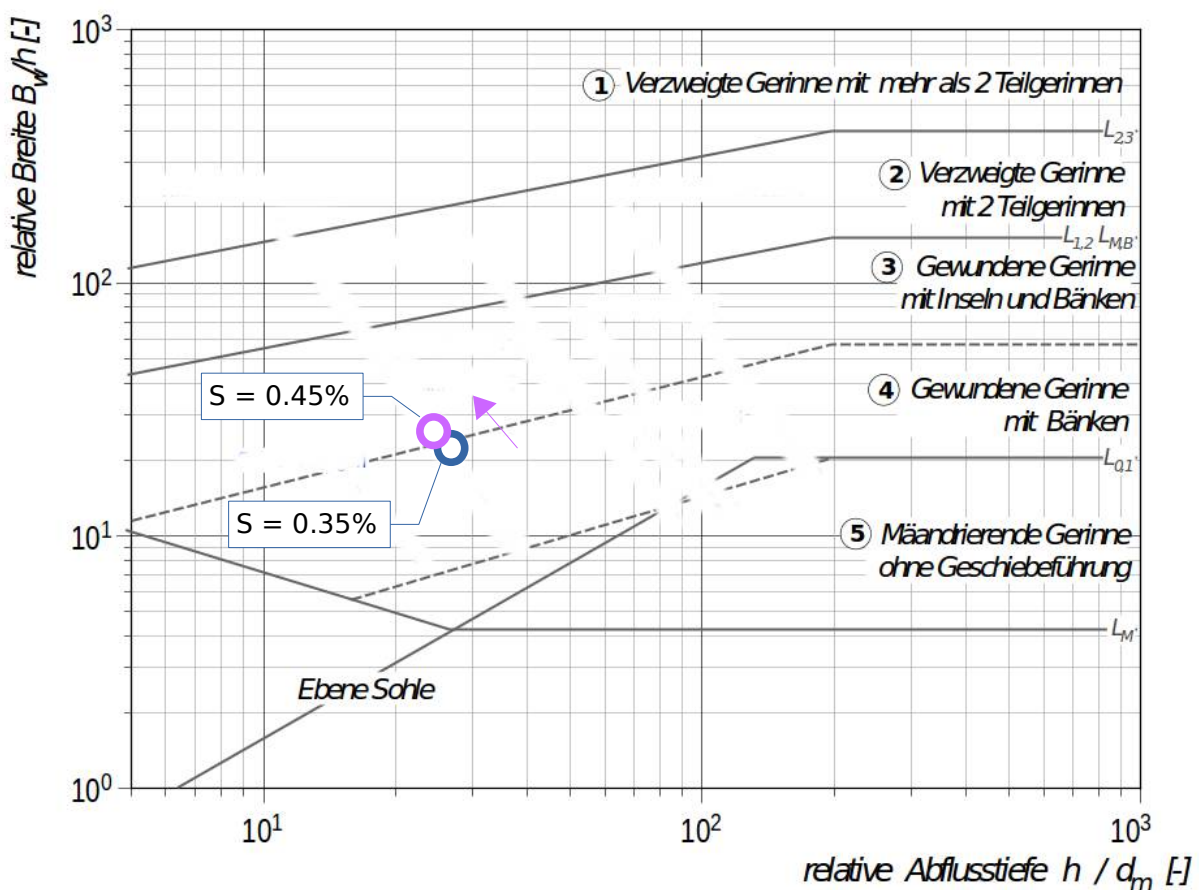


Abbildung 10: Veränderung der Gerinneform infolge Anpassung des Sohlengefalles am Beispiel Langsteg (Zustand: Erforderliche Fracht)

Die erforderlichen Frachten für die Sohlenformen (Ziel 2) sind im Rahmen der strategischen Planung ermittelt worden mit der damals gültigen Methode der Kiesbankflächen. Sie werden von der aktuellen Fracht übertroffen.

Die Anforderungen an das Substrat (Ziel 3) werden qualitativ formuliert. Die Präsenz der einzelnen Fraktionen lässt sich anhand der vorhandenen Linienzahlproben beurteilen. Dazu wird die Häufigkeit des Auftretens der Kornfraktionen auf 100% skaliert und als Liniendiagramm dargestellt. Zur besseren

Übersicht werden die einzelnen Proben gestapelt (Abbildung 11). Die Beschriftung der Abszisse (X-Achse) entspricht dabei der jeweiligen Klassenobergrenze.

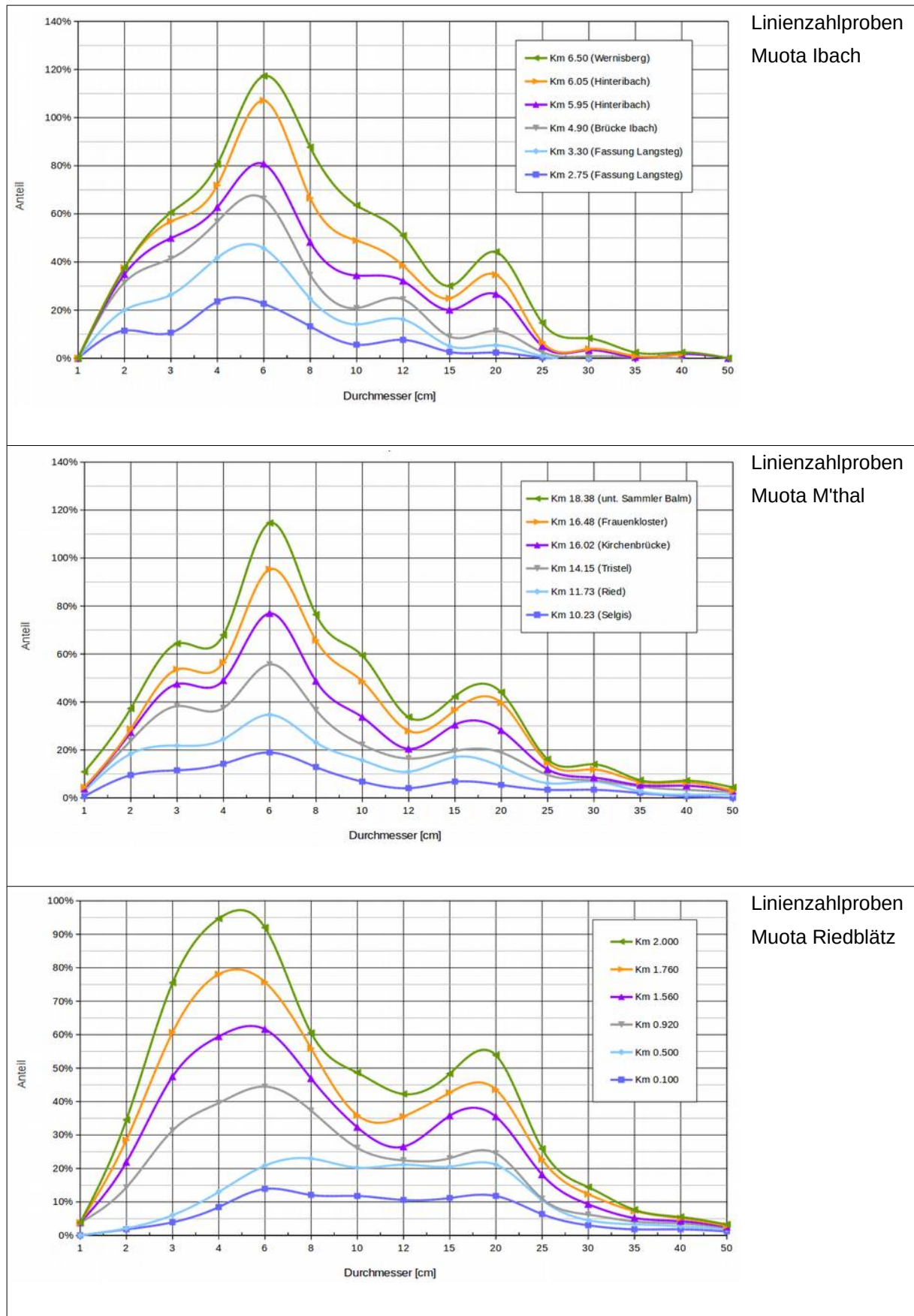


Abbildung 11: Linienzahlproben der Deckschicht, Anteile (nach Anzahl) gestapelt

Der Kurvenverlauf für die drei Muotabschnitte (Ibach, Muotathal und Riedblätz) zeigt keine Auffälligkeiten oder Hinweise auf fehlende Fraktionen.

Die Kolmation der Sohle wurde nicht spezifisch untersucht. Die hydraulische Belastung der Gerinnesohle ist jedoch während Hochwasser ausreichend hoch für eine Umlagerung der Sohlenkörner.

3.3 Sanierungsziele für Anlagen

(aus VZH /1/)

Mit diesem Arbeitsschritt sollen aus den Zielen für die Gewässer und der entsprechenden erforderlichen Geschiebefracht konkrete Sanierungsziele für eine Anlage abgeleitet werden. Als Ergebnis des Arbeitsschritts wird erwartet:

- Eine konkrete Vorgabe zur Geschiebefracht im Unterwasser einer Anlage für die Projektierung von Massnahmen.

Das Sanierungsziel für eine Anlage kann quantifiziert werden mit:

- m^3 Geschiebe pro Jahr, welches unterhalb der Anlage dem Gewässer zur Verfügung steht,
- prozentualer Anteil des herangeführten Geschiebes, welches unterhalb der Anlage weiter transportiert wird, oder
- Anzahl Ereignisse pro Jahr, an denen im Unterwasser der Anlage Geschiebe transportiert wird.

Aufgrund von unmittelbar bevorstehenden oder geplanten Massnahmen im Einzugsgebiet einer Anlage (z.B. Massnahmen zur Revitalisierung oder zum Hochwasserschutz) kann sich die Geschiebeführung im Ist-Zustand ändern. Diese vorhersehbaren Änderungen sind bei der Festlegung der Sanierungsziele für die Anlagen zu berücksichtigen.

Besteht an einem Fliessgewässer nur eine sanierungspflichtige Anlage, entspricht das Sanierungsziel für die Anlage dem Entwicklungsziel des Gewässers. Sind in einem Gewässersystem mehrere Anlagen vorhanden, welche den Geschiebehaushalt verändern, muss das Sanierungsziel für die einzelnen Anlagen individuell festgelegt werden.

Umsetzung Muota

Im Rahmen der strategischen Planung sind drei Kraftwerksanlagen und sieben Geschiebesammler als sanierungspflichtig ausgeschieden worden. Unter Anwendung der VZH /1/ und Festlegung der erforderlichen Frachten lassen sich die Sanierungsziele präzisieren. Aus der Differenz zwischen der erforderlichen und der aktuellen Fracht (vgl. Abbildung 6 und Abbildung 7) ergeben sich folgende Erfordernisse:

	Anlage	Sanierungsziel
1	Ausgleichsbecken Sahli	Durchleiten von zirka 50% des Geschiebes (+350 m ³ /a)
2	Fassung Riedblätz	Durchleiten des anfallenden Geschiebes (+350 m ³ /a)
3	Fassung Ibach	Durchleiten des anfallenden Geschiebes (+4000 m ³ /a)
4	GS Balm	entfällt
5	GS Stalden	Durchleiten von zirka 50% des Geschiebes (+3'000 m ³ /a)
6	GS Seeberg	entfällt
7	GS Rätstalerbach	Durchleiten erhöhen
8	GS Hofbach	entfällt
9	GS Bächleren	entfällt
10	GS Rambach	entfällt

Tabelle 4: Sanierungsziele für Kraftwerksanlagen und Geschiebesammler (GS)

Die Fassung Riedblätz liegt 4 km unterhalb des Ausgleichsbeckens Sahli. Wird das anfallende Geschiebe bei der Anlage Sahli durchgeleitet, wird der Geschiebeanfall bei der Fassung Riedblätz um den gleichen Betrag (abzgl. Abtrieb) zunehmen.

Der Geschiebedurchgang bei der Fassung Ibach sollte um die bisherige Entnahmemenge (seit dem Hochwasser 2005 zirka 1'000 m³/a) und den erhöhten Eintrag durch die Starzlen gesteigert werden.

Sanierungsmassnahmen können nur angeordnet werden, wenn eine wesentliche Beeinträchtigung aufgrund eines veränderten Geschiebehaushaltes vorliegt. Für die Erreichung der erforderlichen Geschiebefracht in der Muota ist die Sanierung des Geschiebesammler Stalden notwendig. Der GS am Rätstalerbach führt zu einer wesentlichen Beeinträchtigung des Zielgewässers (Gerinneabschnitt unterhalb GS bis zur Einmündung in die Muota) und ist deshalb ebenfalls sanierungspflichtig.

Für die übrigen GS ist der Nachweis einer wesentlichen Beeinträchtigung aufgrund eines veränderten Geschiebehaushaltes unter Anwendung der VZH nicht möglich. Die Anlagen sind somit nicht sanierungspflichtig. Die Untersuchungen weisen jedoch auf ein Optimierungspotential hin betreffend die Durchleitung von Feinsedimenten.

4 Massnahmenplanung und Variantenstudium

Die Punktebewertung im Variantenstudium erfolgt gemäss Version 8 der VZH /1/. Die Bedeutungen der Punktwerte wird in den folgenden Tabellen erläutert.

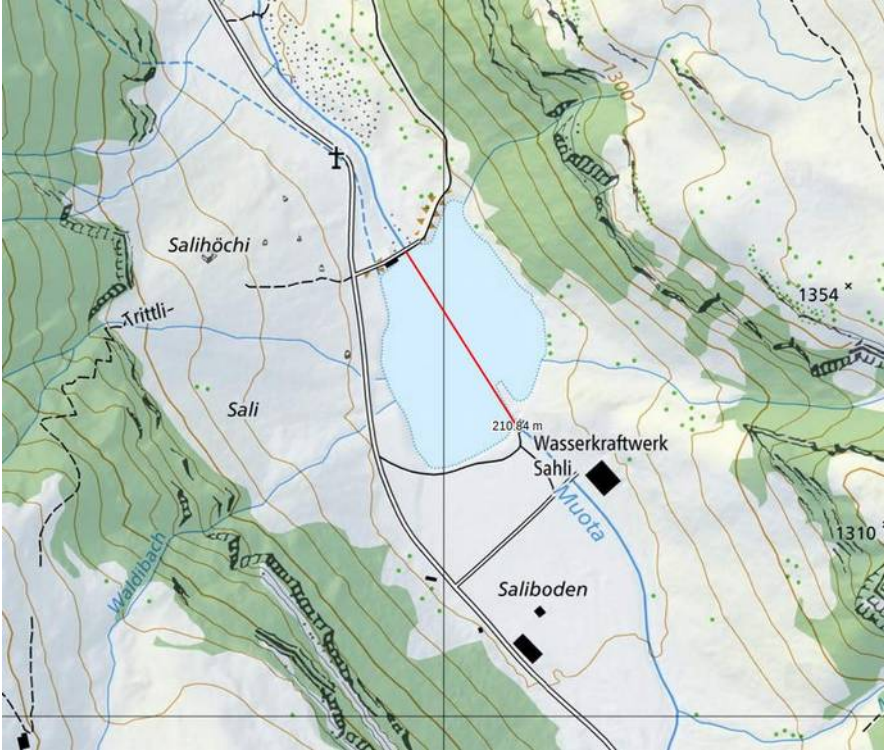
Geschiebefracht und Dynamik	
3	Die Geschiebefracht erreicht das Niveau der Fracht im Referenzzustand oder alles Geschiebe wird durch die Anlage durchgeleitet.
2	Die Geschiebefracht erreicht das Niveau der erforderlichen Fracht.
1	Die Geschiebefracht wird gegenüber heute erhöht, die erforderliche Fracht wird aber nicht erreicht.
0	Die Geschiebefracht wird nicht erhöht oder die Dynamik im Gewässer wird durch begleitende Massnahmen (z.B. Massnahmen zum Hochwasserschutz) eingedämmt.
Grösse des Gewässers mit verbesserter Geschiebeführung	
3	Das Gewässer mit verbessertem Geschiebehaushalt ist ein grosser Fluss.
2	Das Gewässer mit verbessertem Geschiebehaushalt ist ein mittleres oder grosses Gewässer.
1	Das Gewässer mit verbessertem Geschiebehaushalt ist ein kleines Gewässer.
Länge des Gewässerabschnittes mit verbessertem Geschiebehaushalt	
3	Der Geschiebehaushalt wird auf einer langen Gewässerstrecke verbessert.
2	Der Geschiebehaushalt wird auf einer Gewässerstrecke mittlerer Länge verbessert.
1	Der Geschiebehaushalt wird auf einer kurzen Gewässerstrecke verbessert.
0	Der Geschiebehaushalt wird nur auf einer sehr kurzen Strecke verbessert.
Beeinträchtigung der Geschiebeführung im Ist-Zustand	
3	Der Grad der Beeinträchtigung im Ist-Zustand ist sehr stark.
2	Der Grad der Beeinträchtigung im Ist-Zustand ist stark.
1	Der Grad der Beeinträchtigung im Ist-Zustand ist wesentlich.
Ökologisches Potenzial des Gewässers mit verbesserter Geschiebeführung	
3	Das Gewässer liegt in einem Auengebiet von nationaler Bedeutung.
2	Das Gewässer ist ökomorphologisch wenig beeinträchtigt oder naturnah oder eine Revitalisierung bringt einen grossen Nutzen für Natur und Landschaft.
1	Das Gewässer ist ökomorphologisch stark beeinträchtigt oder naturfremd und eine Revitalisierung bringt einen mittleren Nutzen für Natur und Landschaft.
0	Das Gewässer ist ökomorphologisch stark beeinträchtigt oder naturfremd und es besteht kein Nutzen für Natur und Landschaft einer Revitalisierung.

Tabelle 5: Kriterien der positiven Wirkungen von Massnahmen (VZH, Version 8)

CO 2 -Emissionen und Lärmbelastung bei betrieblichen Massnahmen	
0	Keine Kiestransporte mit LKW.
-1	Kies wird mit LKWs über eine kurze Distanz transportiert.
-2	Kies wird mit LKWs über eine längere Distanz transportiert.
Landbedarf für bauliche Massnahmen	
0	Kein oder nur geringer Landbedarf.
-1	Grosser Landbedarf für bauliche Anlagen in besiedeltem Gebiet.
-2	Grosser Landbedarf für bauliche Anlagen oder neue permanente Zufahrten in unbesiedeltem Gebiet.
-3	Grosser Landbedarf für bauliche Anlagen oder neue permanente Zufahren in Schutzgebieten (Auengebieten, Naturschutzgebieten etc.)
Beeinträchtigung der Hochwassersicherheit (sofern nicht durch begleitende Massnahmen abgewendet)	
0	Die Abflusskapazität im Gerinne wird nicht oder nur unwesentlich verändert und es werden keine Hochwasserschutzziele verletzt.
-1	Die Hochwasserschutzziele für die Objektkategorie 2.2 (unbewohnte Gebäude [Remisen, Weidescheunen u. a.], Verkehrswege von kommunaler Bedeutung, Wald mit Schutzfunktion, landw. genutztes Land) werden mit der Massnahme verletzt.
-2	Die Hochwasserschutzziele für die Objektkategorie 2.3 (zweitweise oder dauernd bewohnte Einzelgebäude und Weiler, Ställe, Verkehrswege von kantonaler oder grosser kommunaler Bedeutung, Wald mit Schutzfunktion für geschlossene Siedlungen) und 3.1 (Verkehrswege von nationaler oder grosser kantonaler Bedeutung, Ski- und Sessellifte) werden mit der Massnahme verletzt.
-3	Die Hochwasserschutzziele für die Objektkategorien 3.2 (geschlossene Siedlungen, Gewerbe und Industrie, Bauzonen, Campingplätze, Freizeit- und Sportanlagen) und 3.3 (Sonderrisiken bzw. besondere Schadenanfälligkeit oder Sekundärschäden) werden mit der Massnahme verletzt.
Beeinträchtigung der Produktion erneuerbarer Energie	
0	Die Stromproduktion der Wasserkraftanlage wird nicht tangiert.
-1	Die Stromproduktion der Wasserkraftanlage wird nur unwesentlich vermindert.
-2	Die Stromproduktion der Wasserkraftanlage wird wesentlich vermindert.
-3	Die Stromproduktion der Wasserkraftanlage wird verunmöglicht.

Tabelle 6: Kriterien für negative Auswirkungen von Massnahmen (VZH, Version 8)

4.1 Anlage Sahli

Anlagentyp	Ausleitkraftwerk							
Einzugsgebiet	31 km ²							
Flussordnungszahl	4							
Beschrieb	<p>Die Anlage dient als Fassung und Ausgleichsbecken für das Kraftwerk Bisisthal (Produktion 57 GWh/a). Das Speicherbecken (Inhalt 50'000 m³) ist im Hauptschluss angeordnet. Neben der Muota (EZG 28 km²; Gefälle 1.8%) münden weitere kleinere Bäche (EZG total 3 km²) in das Becken.</p>  <p>Das eingetragene Geschiebe wird vollständig zurückgehalten. Im Zeitraum 2011-2016 wurden 4150 m³ Geschiebe ausgebaggert und abgeführt (Angaben Betreiber). Dies entspricht einer jährlichen Fracht von zirka 700 m³.</p>							
Sanierungsziel	Das anfallende Geschiebe ist mindestens zu 50% in den Unterlauf weiterzuleiten.							
Massnahmenkatalog	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Massnahme</th> <th>Bemerkung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Erstellen eines Geschiebeumleitstollens</td> <td>Die Länge des Stollens würde rund 220 m betragen bei einem Gefälle von 2%. Er fasst das Geschiebe der Muota. Der Stollen kann unter dem bestehenden Speicherbecken realisiert werden (kein Landbedarf).</td> </tr> <tr> <td>Umbau des Grundablasses</td> <td>Hydraulisch unwirksam</td> </tr> </tbody> </table>	Massnahme	Bemerkung	Erstellen eines Geschiebeumleitstollens	Die Länge des Stollens würde rund 220 m betragen bei einem Gefälle von 2%. Er fasst das Geschiebe der Muota. Der Stollen kann unter dem bestehenden Speicherbecken realisiert werden (kein Landbedarf).	Umbau des Grundablasses	Hydraulisch unwirksam	
Massnahme	Bemerkung							
Erstellen eines Geschiebeumleitstollens	Die Länge des Stollens würde rund 220 m betragen bei einem Gefälle von 2%. Er fasst das Geschiebe der Muota. Der Stollen kann unter dem bestehenden Speicherbecken realisiert werden (kein Landbedarf).							
Umbau des Grundablasses	Hydraulisch unwirksam							

	Stauraumspülungen	Eine Durchleitung des Geschiebes während Hochwasser erfordert die Entleerung des Beckens und die Erstellung eines Leitgerinnes im Becken (Gefälle 2%)		
	Geschiebezugabe im Unterwasser	Das ausgebaggerte Geschiebe kann direkt unterhalb der Stauanlage wieder im Gerinne deponiert werden. Dazu ist eine dauerhafte Zufahrt bei der Zugabestelle zu erstellen. Die Deponiefläche beträgt zirka 350 m ² .		
	künstliche Hochwasser zur Umlagerung von vorhandenem Geschiebe	nur sinnvoll in Kombination mit Geschiebezugabe		
Varianten u. Bewertung	Von den fünf untersuchten Massnahmen werden bewertet:			
	<ul style="list-style-type: none"> • Variante 1: Erstellen Geschiebeumleitstollen • Variante 2: Stauraumspülung mit Leitgerinne im Speicherbecken • Variante 3: Geschiebezugabe im Unterwasser 			
	Kriterium	Var 1	Var 2	Var 3
	Bewertung der positiven Wirkung			
	Geschiebefracht und Dynamik	3	3	2
	Grösse des Gewässers	2	2	2
	Länge des Gewässerabschnittes	2	2	2
	Beeinträchtigung der Geschiebeführung im Ist-Zustand	3	3	3
	ökologisches Potential des Gewässers	2	2	2
	Total positive Wirkung	12	12	11
	Bewertung der negativen Wirkung			
	CO ₂ -Emmissionen und Lärmbelastung	0	0	-1
	Landbedarf	0	0	0
	Beeinträchtigung Hochwassersicherheit	0	0	0
Beeinträchtigung der Produktion erneuerbarer Energie	-1	-2	-1	
Total negative Wirkung	-1	-2	-2	
Gesamtpunktzahl Wirkung	11	10	9	
Kosten				
Investitionskosten [Mio CHF] (vgl. Beilage)	1.5	1.5	0.17	
Jährliche Kosten der Investition [1'000 CHF/a]	45	45	5	
Betriebskosten [1'000 CHF/a]	10	10	20	
Unterhaltskosten [1'000 CHF/a]	10	10	1	
Ertragseinbussen [1'000 CHF/a]	5	500	5	
Total jährliche Kosten [1'000 CHF/a]	70	565	31	

	Rang	1	3	1
Koordination	Eine Koordination mit Massnahmen zur Revitalisierung der Muota ist sinnvoll.			
Ertragseinbusse	Bei einer Einschränkung der Produktion ist mit einer Einbusse von zirka 10 Rp./m ³ zu rechnen (Druckhöhe bis KW = 347 m; Angaben EBS).			
Bestvariante	<p>Für die Variante 1 (Geschiebeumleitstollen) sprechen die bessere Geschiebedynamik (Geschiebe wird ohne Zwischenlagerung direkt weiter transportiert) und betriebliche Vorteile (keine Transporte nötig). Für die Variante 3 (Geschiebezugabe) sprechen die geringeren Kosten. Die notwendigen regelmässigen Eingriffe in das Gewässer stellen eine zusätzliche Belastung des Ökosystems dar. Beide Varianten werden auf den ersten Rang gesetzt und sollten für die Detailplanung weiterverfolgt werden.</p> <p>Für die Realisierung der Variante 2 (Stauraumspülung) muss mit ähnlich hohen Investitionskosten wie für den Geschiebeumleitstollen gerechnet werden. Damit das eingetragene Geschiebe sich nicht ausserhalb des Leitgerinnes ablagert, wo es gebaggert werden muss, ist vor Hochwasser eine frühzeitige Entleerung des Speicherbeckens nötig. Jede Entleerung des Speicherbeckens führt zu einer Produktionseinbusse von 5'000 CHF. Während rund 3% der Dauer (10 Tage pro Jahr) muss die Energieproduktion komplett eingestellt werden. Die Einbusse gegenüber Vollbetrieb (5 m³/s) beträgt 43'000 CHF pro Tag, resp. 430'000 CHF pro Jahr.</p>			

Zusatzinformationen zur Geschiebebeschickung

Die Rückgabe des Geschiebes kann direkt unterhalb der Stauanlage erfolgen. Der Standort ist für die Geschiebezugabe gut zugänglich und erlaubt eine flächige Sedimentzugabe.⁵ Die Gerinnebreite beträgt lokal bis 25 m und weist eine Fläche von zirka 1'000 m² auf (Abbildung 12).

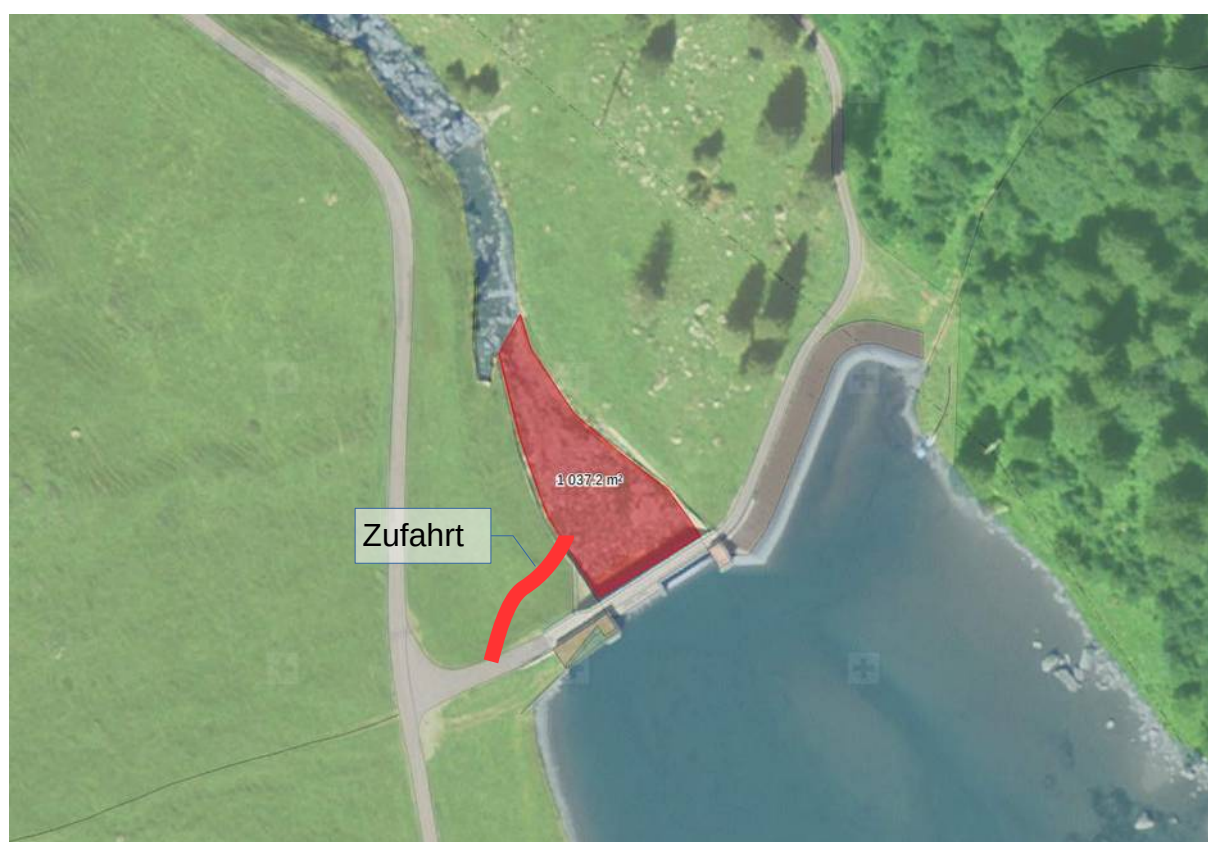


Abbildung 12: Stauwehr Sahli mit geeignetem Rückgabestandort

Die Stauanlage besteht aus zwei mechanisch gesteuerten Stauklappen. Die Seefläche misst 30'000 m² und die Stauhöhe 4.0 m. In das Becken münden ausser der Muota die Rückgaben der Kraftwerke Ruosalp (Vollast 2.0 m³) und Glattalp (Vollast 1.5 m³/s). Die Ausbauwassermenge für das Kraftwerk Bisisthal beträgt 5 m³/s. Während der Schneeschmelze läuft nur das KW Ruosalp.

Die Stellung der Wehrklappen wird erst seit dem Jahr 2016 aufgezeichnet. Die vorhandenen Daten lassen keine verlässliche Abschätzung des Überlaufs zu. Für den Zeitraum 2002 - 2017 liegen Daten vor zum Zufluss der Muota in den Sahlisee und zur Fassung Ruosalp in den Waldisee. Die Auswertung der Daten als Dauerkurve ist in Abbildung 13 dargestellt.

⁵Eine „Schüttung über die Böschung“ (Vorschlag BAFU) ist aus mehreren Gründen nachteilig. (1) Um eine ausreichende Schüttfläche zu erschliessen müsste entlang des Gerinnes über eine Strecke von mehreren hundert Meter eine Fahrpiste erstellt werden, was mit dem Landschaftsschutz nicht vereinbar ist. (2) Bei einer seitlichen Schüttung ist die Geschiebemobilisierung wesentlich geringer als bei einem flächigen Einbau im Gerinne. (3) Die „künstlichen“ Schüttungen würden den Landschaftscharakter in diesem sensiblen Gebiet mit grossem Erholungspotential dauerhaft beeinträchtigen.

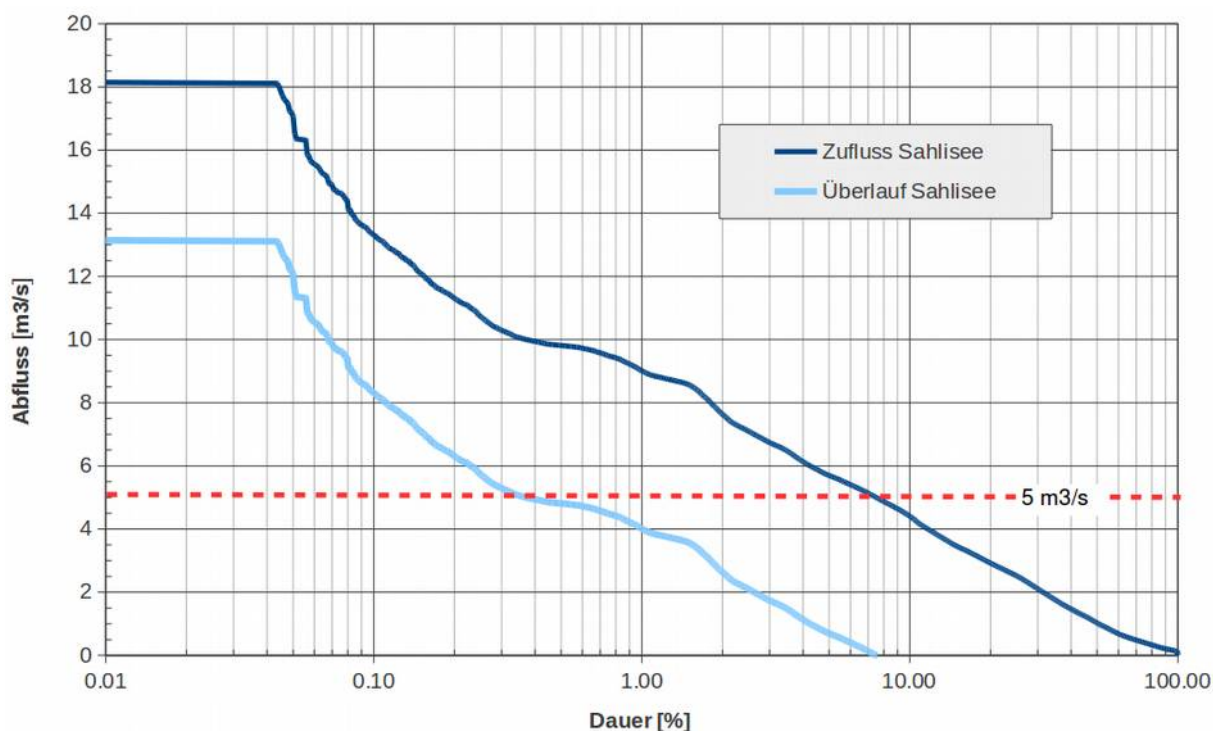


Abbildung 13: Dauercurve der Zuflüsse in den Sahlisee (Zeitraum 2002 – 2017)

Der Zufluss in den Sahlisee entspricht dem Abfluss der Muota plus dem Beitrag aus dem Waldisee (maximal 2.0 m³/s des Zuflusses zur Fassung Ruosalp). Die Ausbauleistung des KW Bisisthal (5 m³/s) wird demnach während zirka 8% der Dauer (entspricht zirka 30 Tagen pro Jahr) überschritten.⁶ Der Überlauf aus dem Sahlisee entspricht näherungsweise dem Zufluss abzüglich der Ausbauleistung des KW Bisisthal.

Die Geschiebeeinträge in den Sahlisee werden durch den Zufluss der Muota bestimmt. Das mittlere Gefälle beträgt 2.5%, bei einer Sohlenbreite von rund 10 m. Aufgrund der beim Sahlisee angetroffenen Kiesdepots wird der Korndurchmesser für das laufende Material auf 5 cm geschätzt (vgl. Titelbild). Das Transportvermögen lässt sich mit der Geschiebeformel von Meyer-Peter/Müller (MPM, in /14/) abschätzen (Abbildung 14).

⁶Das Plateau von 16 m³/s beim Zufluss Muota ist messtechnisch bedingt. Die tatsächlichen Abflüsse waren höher.

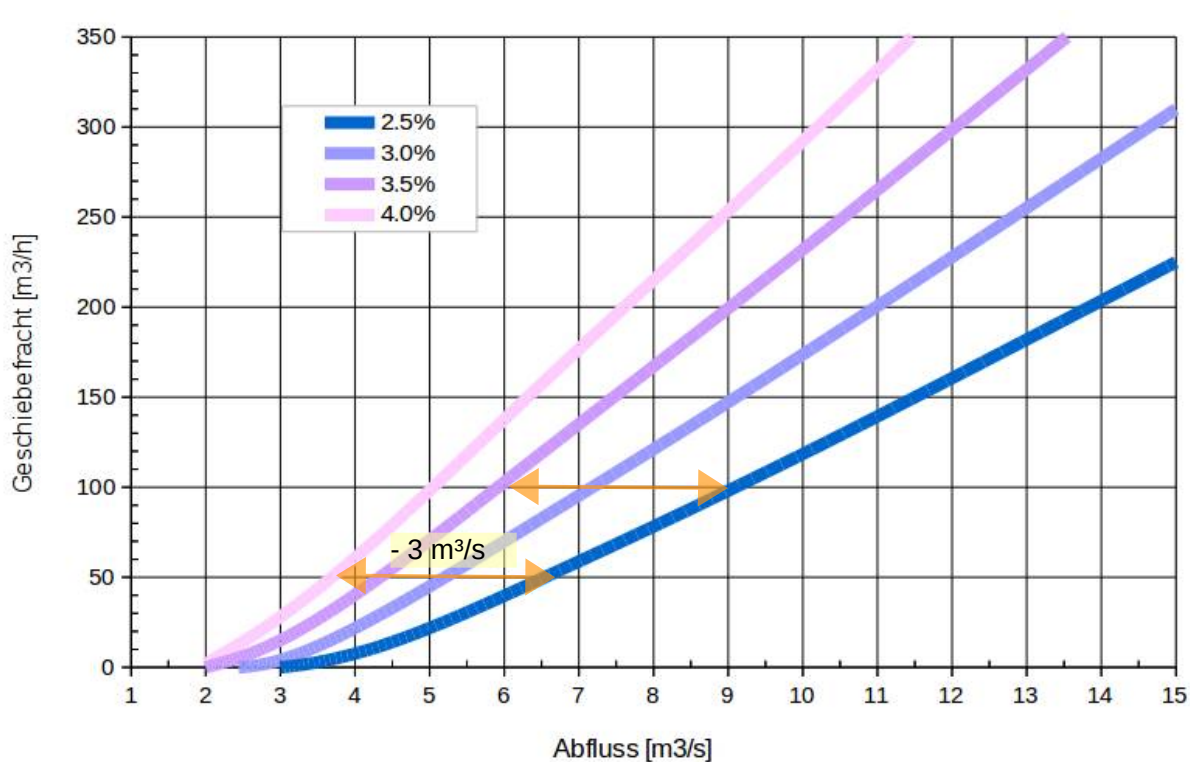


Abbildung 14: Geschiebefracht für Gerinnebreite 10 m und $D_m = 5$ cm (MPM-Formel)

Während der Schneeschmelze ist der Überlauf rund $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$ geringer als der Zufluss der Muota (KW Bisisthal minus Zufluss KW Ruosalp). Um eine vergleichbare Transportleistung wie beim Zulauf zu erreichen, sollte das Sohlengefälle in der Geschiebebeschickung zirka 4% betragen. Trägt auch das KW Glattalp zum Abfluss bei, ist der Unterschied geringer und es genügt bereits ein Sohlengefälle von 3%.

Das Bruttogefälle der Muota unterhalb des Sahlisees liegt bei 3%. Das aktuelle Gefälle der Beschickungsstrecke (Länge 50 m) beträgt ebenfalls 3%. Die Sohle ist flächig mit grossen Blöcken belegt (Abbildung 15).



Abbildung 15: Unterlauf KW Sahli (Aufnahme Mai 2017)

Bei einer Anhebung der Sohle um 2 m wird das Gefälle von 3% auf 7% erhöht. Das hydraulische Potential für die Mobilisierung des Geschiebes ist somit vorhanden. Die Gestaltung der Beschickungsstrecke und die Art der Zugabe sind für den Abtrag des Materials entscheidend, um ein Channeling (Bildung einer schmalen Erosionsrinne) zu vermeiden. Die zeitliche Trennung von Hochwasserabfluss und Beschickung erfordert zudem die Möglichkeit, Geschiebematerial zwischenzulagern und die Beschickung an das Regime des Überlaufes anzupassen.

Zur Förderung der Geschiebemobilisierung bleibt die Möglichkeit, das Stauziel des Sahlisees temporär abzusenken und dadurch den Überlauf zu erhöhen. Beispiel: Durch eine Absenkung der Stauklappen um 0.35 m kann ein Abfluss von 10 m³/s generiert werden. Wird dieser Abfluss während einer Stunde realisiert, so können zirka 300 m³ Geschiebe mobilisiert werden (Abbildung 14, Gefälle 4%). Dafür wird ein Wasservolumen von 36'000 m³ benötigt. Der Sahlisee müsste dazu ohne Nettozufluss um 1.2 m abgesenkt werden. Wird gleichzeitig die Turbinierung eingestellt, so beträgt die Absenkung noch 0.6 m. Die Abflusserhöhung ist umso wirkungsvoller, je höher das Sohlengefälle im Unterlauf ist.

Im Unterlauf bis zur Rückgabe des KW Bisisthal (Fließdistanz 4'000 m) beträgt das Bruttogefälle 8% (Abbildung 16).

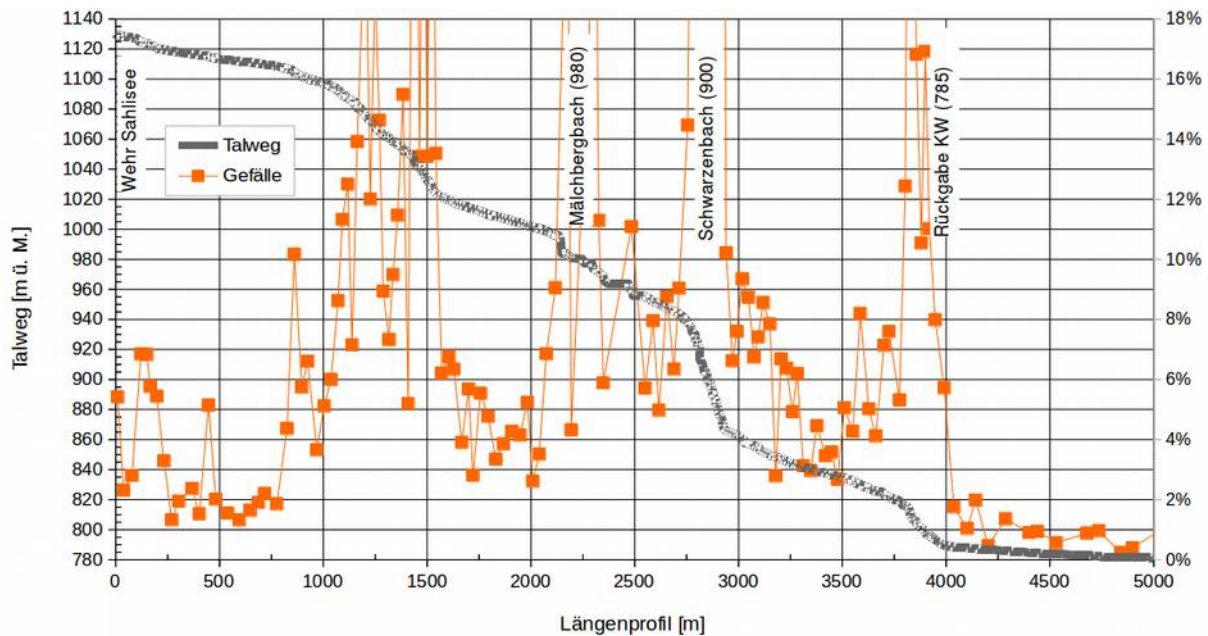


Abbildung 16: Längenprofil und Gefälle zwischen Sahli und Riedblätz (aus DTM-AV-Daten)

Gerinneabschnitte mit Sohlengefälle unter 2% finden sich im Sahli und zwischen der Rückgabe des KW Bisisthal bis zur Fassung Riedblätz. In diesen Abschnitten werden die Kiesfraktionen vermehrt abgelagert. Auch in den übrigen, steileren Abschnitten können sich lokal Kiesbänke bilden, beispielsweise im Strömungsschatten von Residualblöcken oder in Gerinnekrümmungen. Gegenüber dem Ausgangszustand wird der Anteil der feinen Kiesfraktionen deutlich erhöht. Auf der gesamten Restwasserstrecke wird sich wieder eine weitgehend natürliche Gerinnemorphologie (Sohlenformen; Substrat) entwickeln können.

Die Transportkapazität im Gerinne unterhalb des Sahlisees kann anhand der Abflussdauerkurve (Abbildung 13) abgeschätzt werden. Unter Verwendung der Geschiebetransportformel von Meyer-Peter & Müller ergeben sich folgende Jahresfrachten in Abhängigkeit der Fassungsmenge (Turbinierung) und der Korngrösse des Geschiebematerials:

Turbinierung	5 m ³ /s	7.5 m ³ /s
Dm [cm]	Fracht [m ³ /a]	
4.0	3'200	1'300
5.0	1'150	700
6.0	600	330

Tabelle 7: Berechnete Geschiebefrachten im Gerinne unterhalb Sahlisee (Gerinnebreite 8 m; Gefälle 1.5%; Kiesohle K-Strickler 32 m^{1/3}/s)

Mit der bisherigen Turbinierung beträgt die Fracht auch bei grobem Geschiebe (Dm = 6 cm) über 600 m³/a und übertrifft damit die erforderliche Fracht von 350 m³/a. Bei einem Ausbau des Kraftwerks nehmen die berechneten Frachten ab. Ist das beschickte Geschiebe eher grob, könnte die Transportkapazität unter den erforderlichen Wert fallen. In diesem Fall müsste die Turbinierung temporär reduziert werden.

Zusatzinformationen zum Geschiebeumleitstollen

Eine mögliche Linienführung für den Geschiebeumleitstollen ist in Abbildung 17 ersichtlich. Bei einem allfälligen Umbau der Wehranlage wäre auch eine Integration des Stollens in die Wehranlage möglich.

Zweck des Stollens ist die möglichst effiziente Durchleitung des Geschiebes. Dazu sind die Stollenabmessungen auf eine maximale Geschiebetransportleistung auszulegen. Aus der Dauerkurve lässt sich entnehmen, dass der Abfluss durch den Stollen während rund 90% der Betriebsdauer einen Abfluss unter $5 \text{ m}^3/\text{s}$ aufweist.

Die geeignete Stollenbreite lässt sich daraus anhand der Geschiebefracht bestimmen (Abbildung 18).



Abbildung 17: Mögliche Linienführung für Geschiebeumleitstollen

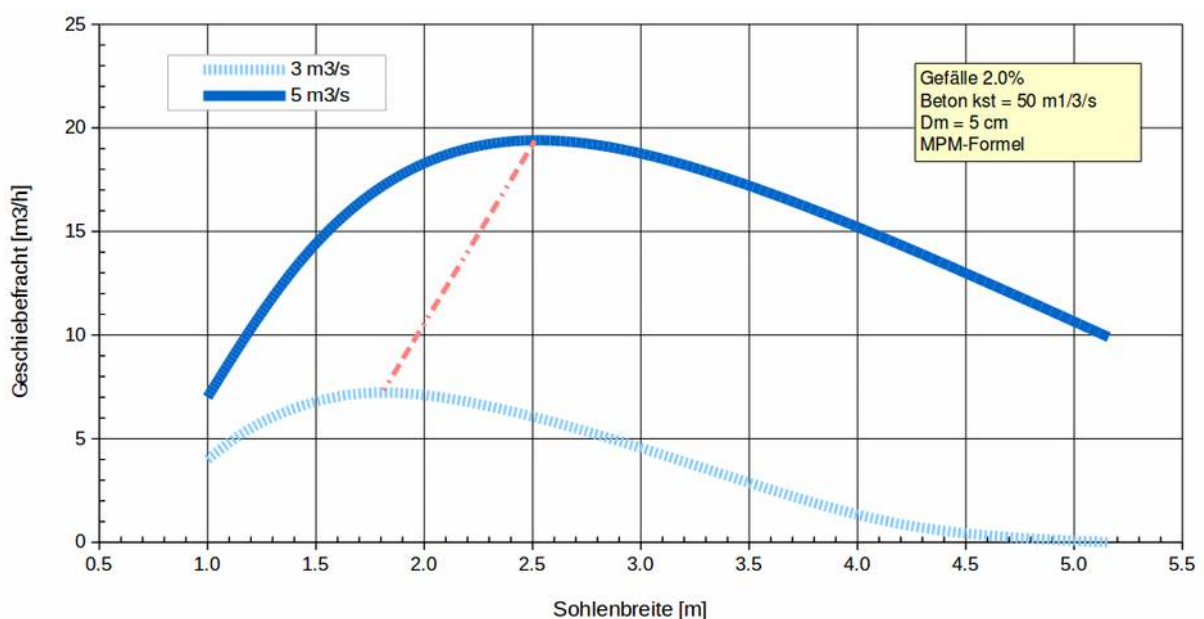


Abbildung 18: Geschiebetransportleistung in Funktion der Stollenbreite

Die optimale Stollenbreite beträgt demnach zwischen 1.7 und 2.5 m. Für die Bemessung wird eine lichte Breite von 2.0 m angenommen. Für den Unterhalt (Begehbarkeit) ist eine Stollenhöhe von 2.0 m sinnvoll; hydraulisch würde auch eine Höhe von 1.0 m ausreichen. Die Beschickung des Stollens kann über einen Grundrechen (Tirolerwehr) erfolgen. Bei Normalbetrieb fällt das Wasser durch den Wehrrechen und fliesst in den Sahlisee. Bei höherem Abfluss wird der Überschuss zusammen mit dem Geschiebe über den Rechen in den Geschiebeumleitstollen geführt. Die Dimensionen der Rechenstäbe und deren Neigung ist entsprechend dem Wasser- und Geschiebeanfall zu bemessen.

Die Transportkapazität des Geschiebeumleitstollens kann anhand der Abflussdauerkurve (Abbildung 13) abgeschätzt werden. Unter Verwendung der Geschiebetransportformel von Meyer-Peter & Müller (in /14/) und unter Annahme einer maximalen Abflusskapazität des Stollens von 5 m³/s ergeben sich folgende Jahresfrachten in Abhängigkeit der Fassungsmenge (Turbinierung) und der Korngrösse des Geschiebematerials:

Turbinierung	5 m ³ /s	7.5 m ³ /s
Dm [cm]	Fracht [m ³ /a]	
4.0	4'500	1'200
5.0	2'900	500
6.0	1'500	220

Tabelle 8: Berechnete Geschiebefrachten für Geschiebeumleitstollen Sahli (Stollenbreite 2.0 m; Gefälle 1.5%; Kiessohle K-Strickler 34 m^{1/3}/s)

Mit der bisherigen Turbinierung beträgt die Fracht auch bei grobem Geschiebe (Dm = 6 cm) über 1'000 m³/a und übertrifft damit die erforderliche Fracht von 350 m³/a. Bei einem Ausbau des Kraftwerks nehmen die berechneten Frachten deutlich ab. Ist das Geschiebe eher grob, könnte die Transportkapazität unter den erforderlichen Wert fallen. In diesem Fall müsste wie bei der Variante 1 (Geschiebebeschickung) die Turbinierung temporär reduziert oder der Stollen auf eine höhere Kapazität ausgelegt werden.

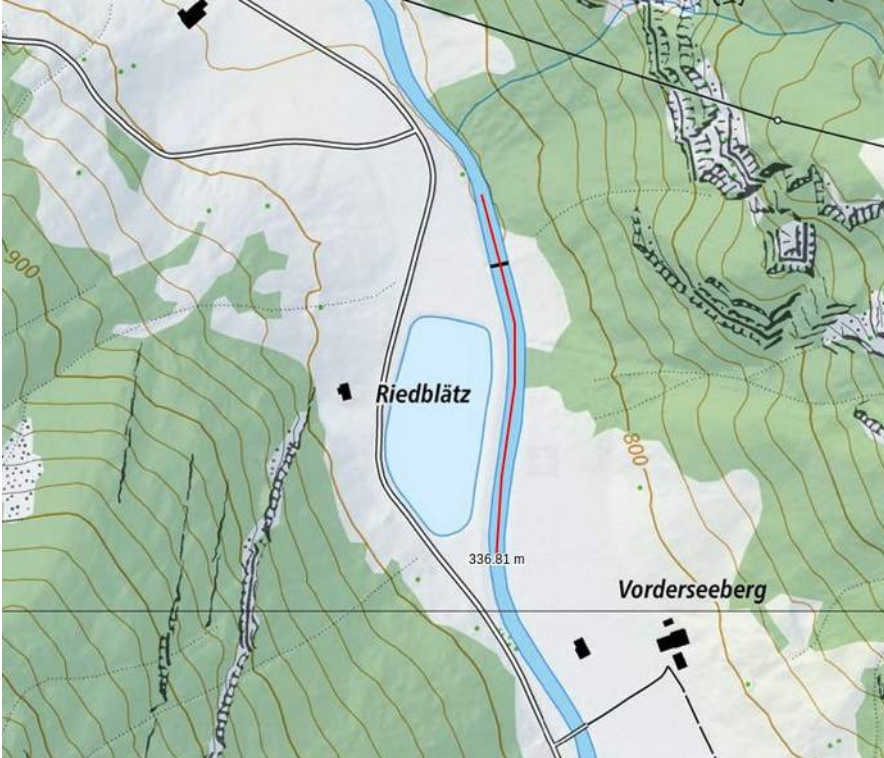
Auswirkungen der Neukonzessionierung

Die Neukonzessionierung der Muotakraftwerke sieht vor, die Leistung des KW Bisisthal von bisher 5.0 m³/s auf 7.5 m³/s zu erhöhen. Ohne Anpassungen in der Stauhaltung wird durch die Leistungserhöhung das Überlaufvolumen um zirka 4.0 Mio m³/a abnehmen.

Die Mobilisierung des Geschiebes unterhalb der Stauanlage wird vermindert. Um diesen Nachteil auszugleichen, soll während Hochwassersituationen für 2 x 12 h pro Jahr auf eine Turbinierung beim KW Bisisthal verzichtet werden (Angaben EBS). Die Transportkapazität der Muota im Sahli kann dadurch um 450 m³/a erhöht werden (Abfluss 7.5 m³/s; D_m = 5 cm).

Die Vorgaben sind im Rahmen der Detailplanung (Geschiebebeschickung resp. Geschiebeumleitstollen) zu präzisieren.

4.2 Anlage Riedblätz

Anlagentyp	Ausleitkraftwerk							
Einzugsgebiet	81 km ²							
Flussordnungszahl	4							
Beschrieb	<p>Die Anlage dient als Fassung für das Kraftwerk Hinterthal (Produktion Stufe Muota 40 GWh/a). Das zugehörige Speicherbecken (Inhalt 50'000 m³) ist im Nebenschluss angeordnet und dient der Optimierung der Energieproduktion (Tagesspeicher). Neben der Muota mündet ein kleiner (namenloser) Bach oberhalb des Stauwehres in den Stauraum.</p>  <p>Das zugetragene Geschiebe wird teilweise zurückgehalten. Im Jahre 2006 wurden einige hundert Kubikmeter Geschiebe ober- und unterhalb des Stauwehres ausgebaggert und abgeführt (Angaben EBS). Durch die Massnahmen bei der Anlage Sahli ist mit einer zusätzlichen Geschiebezufuhr (~350 m³/a) zu rechnen.</p>							
Sanierungsziel	Das zugeführte Geschiebe ist möglichst vollständig in den Unterlauf weiterzuleiten.							
Massnahmenkatalog	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Massnahme</th> <th>Bemerkung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Erstellen eines Geschiebeumleitstollens</td> <td>Ein Geschiebeumleitstollen ist aufgrund der Anlagenanordnung nicht zielführend.</td> </tr> <tr> <td>Umbau des Grundablasses</td> <td>Das Stauwehr ist bereits mit hebbaren Schüt-</td> </tr> </tbody> </table>		Massnahme	Bemerkung	Erstellen eines Geschiebeumleitstollens	Ein Geschiebeumleitstollen ist aufgrund der Anlagenanordnung nicht zielführend.	Umbau des Grundablasses	Das Stauwehr ist bereits mit hebbaren Schüt-
Massnahme	Bemerkung							
Erstellen eines Geschiebeumleitstollens	Ein Geschiebeumleitstollen ist aufgrund der Anlagenanordnung nicht zielführend.							
Umbau des Grundablasses	Das Stauwehr ist bereits mit hebbaren Schüt-							

	ses	zen ausgestattet, welche eine vollständige Spülung des Stauraumes ermöglichen.	
	Absenken des Oberwasserspiegels bei Hochwasser	Durch eine Anpassung des Stauzieles in Abhängigkeit des Abflusses kann der Geschiebedurchgang erhöht werden. Bei einer Absenkung des Stauzieles ab einem Überlauf von 25 m³/s wird die Produktion während zirka 1% der Dauer beeinflusst (vgl. Abbildung 19). Die Anpassung des Stauzieles kann abhängig von der Auflandungshöhe im Stauraum erfolgen.	
	Geschiebezugabe im Unterwasser	Ausgebaggertes Geschiebe kann direkt unterhalb der Stauanlage wieder im Gerinne deponiert werden. Dazu ist eine dauerhafte Zufahrt bei der Zugabestelle zu erstellen. Die Deponiefläche beträgt zirka 600 m². Zur Ausbaggierung im Oberwasser muss der Stauraum entleert werden (Produktionsausfall!).	
	Künstliche Hochwasser zur Umlagerung von vorhandenem Geschiebe	Der Weitertransport des Geschiebes ist auch ohne künstliche Hochwasser gewährleistet.	
Varianten u. Bewertung	Von den fünf untersuchten Massnahmen sind zielführend:		
	<ul style="list-style-type: none"> • Variante 1: Stauzielanpassung • Variante 2: Kieszugabe im Unterwasser 		
	Kriterium	Var 1	Var 2
	Bewertung der positiven Wirkung		
	Geschiebefracht und Dynamik	3	3
	Grösse des Gewässers	2	2
	Länge des Gewässerabschnittes	2	2
	Beeinträchtigung der Geschiebeführung im Ist-Zustand	1	1
	ökologisches Potential des Gewässers	2	2
	Total positive Wirkung	10	10
	Bewertung der negativen Wirkung		
	CO ₂ -Emmissionen und Lärmbelastung	0	-1
	Landbedarf	0	0
Beeinträchtigung Hochwassersicherheit	0	0	
Beeinträchtigung der Produktion erneuerbarer Energie	-1	-1	
Total negative Wirkung	-1	-2	
Gesamtpunktzahl Wirkung	9	8	
Kosten			

	Investitionskosten [Mio CHF]	0.01	0.03
	Jährliche Kosten der Investition [1'000 CHF/a]	0	0
	Betriebskosten [1'000 CHF/a]	0	30
	Unterhaltskosten [1'000 CHF/a]	0	0
	Ertragseinbussen [1'000 CHF/a]	40	20
	Total jährliche Kosten [1'000 CHF/a]	40	50
	Rang	1	2
Koordination	Eine Koordination mit Massnahmen zur Revitalisierung der Muota ist sinnvoll. Die Massnahme ist auf die veränderten Randbedingungen (Geschieberückgabe Sahlisee) auszurichten.		
Ertragseinbusse	Die Ertragseinbusse bei reduzierter Turbinierung beträgt zirka 4 Rp./m ³ (Druckhöhe bis KW = 143 m). Bei Einschränkung der Produktion um 40% während 1% der Dauer resultiert eine Erlösminderung von 40'000 CHF/a.		
Bestvariante	Für die Variante 1 (Stauzielanpassung) sprechen folgende Gründe: <ul style="list-style-type: none"> • Bei vergleichbarer Wirkung kommt die Variante 1 ohne wiederkehrende Eingriffe in das Gewässer (Trockenlegung Stauraum, Trübungen etc.) aus. • Variante 1 ist kostenmässig eher vorteilhaft. • geringere CO₂-Emissionen 		

Zusatzinformationen

Die Auswirkungen einer Anpassung des Stauzieles auf die Energieproduktion lässt sich anhand der Dauerkurve der Abflüsse über das Stauwehr abschätzen (Abbildung 19).

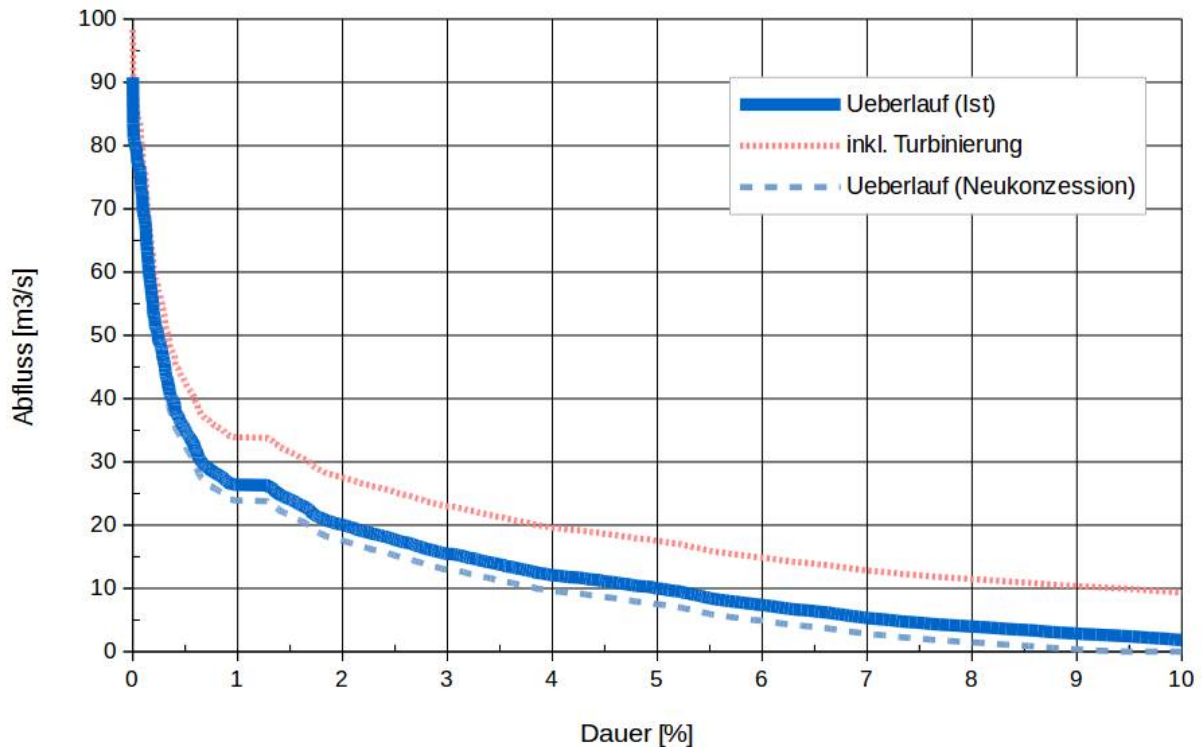


Abbildung 19: Dauercurve des Überlaufs bei der Fassung Riedblätz (aus Stundenmittel 2006-2013)

Ein Überlauf grösser als 25 m³/s tritt während zirka 1% der Dauer auf. Die Auswirkungen der Absenkung auf den Geschiebedurchgang sind mit einem 1D-Modell der Muota abgeschätzt worden (Tabelle 9).

Abfluss	30 m³/s	50 m³/s
Stauziel	Sohlenschubspannung	Sohlenschubspannung
[m ü. M.]	[Pa]	[Pa]
781.0 (Ist)	14	40
780.5	25	55
780.0	45	80
779.5	67	85
Ohne Wehr	70	85

Tabelle 9: Sohlenschubspannungen im Stauraum (aus 1D-Modellierung)

Bei einem Abfluss von 30 m³/s beträgt die Sohlenschubspannung mit dem aktuellen Stauziel (781.0 m ü. M.) zirka 14 Pa. Dies entspricht dem Bewegungsbeginn für Körner mit einem Durchmesser von unter 2 cm. Bei einer Absenkung des Stauziels um einen Meter auf 780.0 m ü. M. nimmt die Sohlenschubspannung um rund einen Faktor 3 zu. Dadurch werden auch Körner bis zu einem Durchmesser von 5 cm bewegt.

Bei einem höheren Abfluss von 50 m³/s wird die Sohlenschubspannung bei einer Absenkung um 1.0 m verdoppelt. Es werden Körner bis zu einem Durchmesser von 10 cm bewegt.

Eine Absenkung des Stauzieles von 781.0 auf 780.0 bewirkt somit eine deutliche Zunahme der Sohlschubspannungen im Stauraum. Der Geschiebedurchgang wird bis zu einem Abfluss von 50 m³/s deutlich erhöht.

Eine Erhöhung des Geschiebedurchganges ist dann zweckmässig, wenn sich tatsächlich Geschiebe im Stauraum abgelagert hat. Periodische Vermessungen des Stauraumes erlauben es zu entscheiden, ob eine Stauzielabsenkung sinnvoll ist oder ob zur Optimierung der Energieproduktion darauf verzichtet werden kann.

Geschiebemodell

Um die Auswirkungen der Stauhaltung und der Wasserentnahme auf den Geschiebehaushalt zu bestimmen ist für den Projektperimeter ein morphologisches Modell erstellt worden. Ein solches Modell kann Hinweise liefern über den Einfluss spezifischer Modellparameter auf den Geschiebehaushalt. Eine „exakte“ Prognose über das Systemverhalten darf aufgrund fehlender oder nicht bestimmbarer Randbedingungen (v. a. Geschiebeeinträge und dessen Kornverteilung) jedoch nicht erwartet werden.

Die wesentlichen Modellparameter und -annahmen sind in Tabelle 10 zusammengestellt.

Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Querprofile aus ALS-Daten (/8/) • Steilstrecke unterhalb Fassung mit Blockbelegung • Meyer-Peter/Müller MPM, Einkorn, Dm = 6 cm • Abrieb 0.01/km
Randbedingung	<ul style="list-style-type: none"> • Dauerkurve des Wehrüberlaufes (Abbildung 19) zzgl. Fassungsmenge (7.5 m³/s); erweitert auf 10 Jahre • Sedimenteintrag aus Normalabfluss (Gefälle 0.26%; Gerinnebreite 10 m) • Einfluss seitliche Zuflüsse (Rätschtalerbach) vernachlässigt

Tabelle 10: Grundlagen und Annahmen für morphologisches Modell

Das Modell bildet die Entwicklung der Transportfrachten bei vorgegebenem Sedimenteintrag (erforderliche Fracht) ab. Der Einfluss der Kornverteilung auf den Transport wird vernachlässigt (gleiche Mobilität aller Fraktionen entsprechend dem mittleren Korndurchmesser).

In Abbildung 20 sind die berechneten Geschiebefrachten über einen Zeitraum von 10 Jahren dargestellt. Die jährlich zugeführte Geschiebefracht beträgt rund 900 m³ und entspricht der erforderlichen Fracht (bis Einmündung Rätschtalerbach).

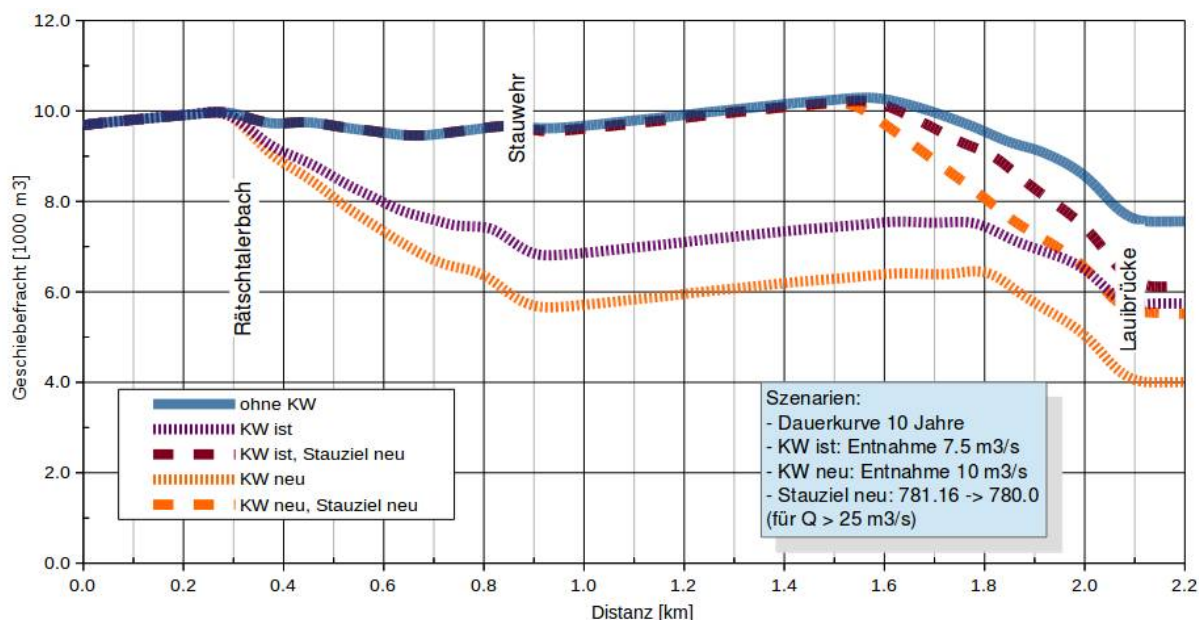


Abbildung 20: Simulierte Geschiebefrachten über eine Dauer von 10 Jahren

Ohne KW-Fassung bleiben die Geschiebefrachten bis in die Flachstrecke oberhalb der Lauibrücke hoch. Durch die Wasserentnahme und die Stauhaltung fallen die Geschiebefrachten im Stauraum deutlich ab. Es kommt zu Auflandung der Sohle.

Die Simulationen zeigen deutlich: Mit der vorgeschlagenen Absenkung des Stauziels während Hochwasser lässt sich der Einfluss der Fassung auf den Geschiebetransport weitgehend reduzieren.

Ebenfalls simuliert wurde der Einfluss der im Rahmen der Neukonzession beabsichtigten Erhöhung der Fassungsmenge von 7.5 m³/s auf 10 m³/s. Die erhöhte Wasserentnahme führt zu einer zusätzlichen Abnahme der Transportkapazität bei der Fassung. Auch dieser Effekt kann durch die Anpassung des Stauzieles eliminiert werden.

Seit dem Neubau der Lauibrücke kommt es oberhalb der Brücke vermehrt zu Geschiebeablagerungen. Über das Ausmass der Baggerungen liegen keine Angaben vor. Mit den geplanten Ausgleichsmassnahmen (Gerinneaufweitung) sollte auch dieser „Flaschenhals“ erweitert werden, damit künftig auf Geschiebeabaggerungen möglichst verzichtet werden kann.

Folgerungen

Die ausgeführten Modellrechnungen erlauben Rückschlüsse über die Transportkapazitäten im Projektperimeter für den sanierten Geschiebehaushalt. Die Ergebnisse lassen folgende Schlüsse zu:

- Die Stauhaltung bei der Fassung Riedblätz führt zu einer deutlichen Abnahme der Transportkapazität. Mit den erhöhten Geschiebeeinträgen aus dem Oberlauf wäre mit vermehrten Ablagerungen im Stauraum zu rechnen.
- Die beabsichtigte Erhöhung der Entnahmemenge würde diese Ablagerungstendenz weiter erhöhen.

- Um den Weitertransport des Geschiebes zu ermöglichen ist deshalb eine Absenkung des Stauzieles während Hochwasserabflüssen notwendig. Diese Massnahme ist angesichts der künftig erhöhten Geschiebeeinträge (Folge der Geschieberückgabe beim Sahlisee) zur Ausführung zu empfehlen.

Die Transportleistung der Muota bis zur Rückgabe des KW Hinterthal (Fliebsdistanz 4'800 m) kann anhand des Längenprofils beurteilt werden (Abbildung 21).

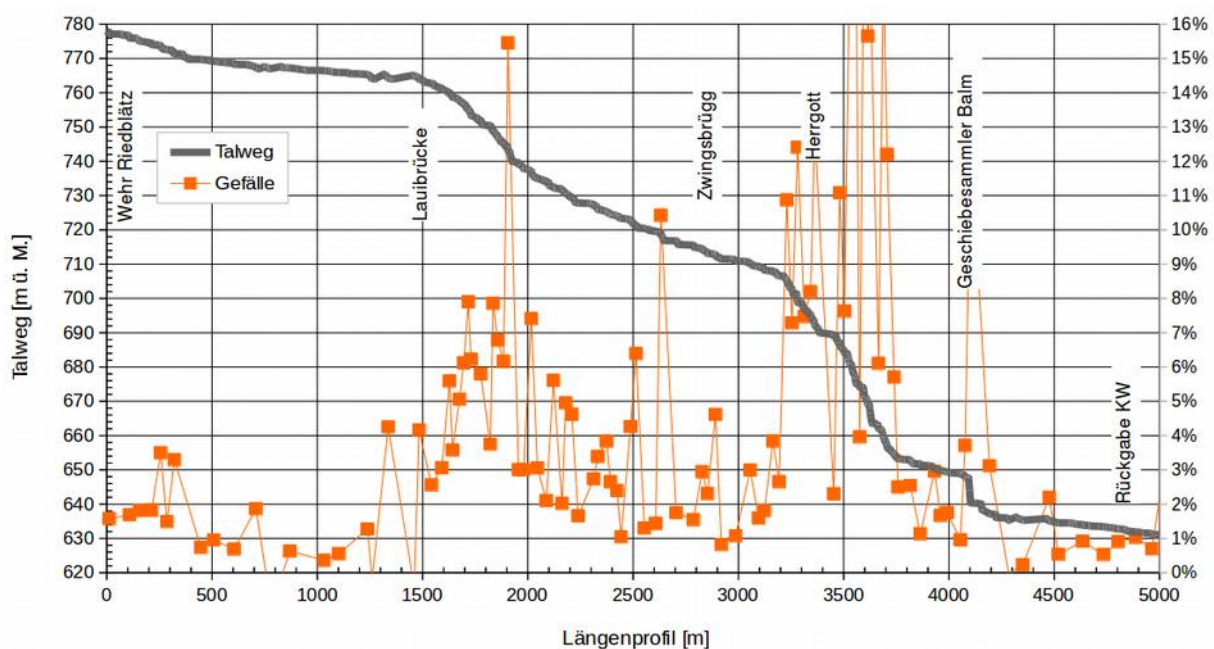


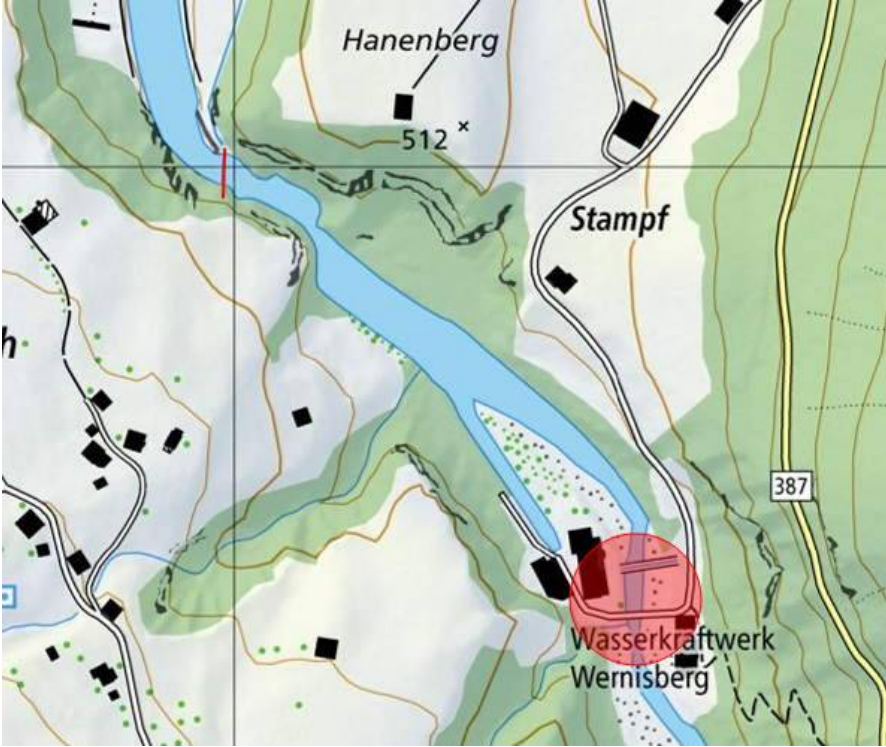
Abbildung 21: Längenprofil und Gefälle zwischen Riedblätz und Hinterthal (aus ALS-Gerinnedaten)

Das Bruttogefälle beträgt 3% und ist somit vergleichsweise hoch. Längere Gerinneabschnitte mit Sohlengefälle unter 2% finden sich oberhalb der Lauibrücke, bei der Zwingsbrücke sowie im und unterhalb des Geschiebesammlers Balm. In diesen Abschnitten werden die Kiesfraktionen vermehrt abgelagert. Auch in den übrigen, steileren Abschnitten können sich lokal Kiesbänke bilden, beispielsweise im Strömungsschatten von Residualblöcken oder in Gerinnekrümmungen. Gegenüber dem Ausgangszustand wird der Anteil der feinen Kiesfraktionen deutlich erhöht. Auf der gesamten Restwasserstrecke wird sich somit wieder eine weitgehend natürliche Gerinnemorphologie (Sohlenformen; Substrat) entwickeln können.

Auswirkungen der Neukonzessionierung

Die Neukonzessionierung der Muotakraftwerke sieht vor, die Leistung des KW Hinterthal von bisher 7.5 m³/s auf 10 m³/s zu erhöhen. Eine zusätzliche Entnahme um 2.5 m³/s reduziert das Volumen des Überlaufes um 19% (vgl. Abbildung 19). Die für den Geschiebedurchgang besonders relevanten höheren Abflüsse werden nur wenig vermindert. Der Einfluss auf den Geschiebedurchgang ist deshalb gering. Tendenziell ist unterhalb der Fassung wegen der verminderten Abflüsse mit einer leichten Verfeinerung des Sohlenmaterials zu rechnen.

4.3 Anlage Ibach

Anlagentyp	Ausleitkraftwerk							
Einzugsgebiet	220 km ² (/6/)							
Flussordnungszahl	5							
Beschrieb	<p>Der massive Querriegel dient als Fassung für das Kraftwerk Ibach (Ausleitkraftwerk; Produktion 2 GWh/a). Der Betonriegel liegt auf Stahlträgern (Höhe 3.5 m; Breite 23 m).</p>  <p>Oberhalb der Fassung besteht eine Tendenz zu Geschiebeablagerungen. Zum Schutz der Kraftwerksanlagen Wernisberg wurden seit 2007 total 12'600 m³ Geschiebe entnommen (Angaben Betreiber). Dies entspricht einer Geschiebeentnahme von zirka 1'300 m³/a.</p>							
Sanierungsziel	Das zugeführte Geschiebe ist möglichst vollständig in den Unterlauf weiterzuleiten.							
Massnahmenkatalog	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Massnahme</th> <th>Bemerkung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Erstellen eines Geschiebeumleitstollens</td> <td>Ein Geschiebeumleitstollen ist aufgrund der Anlagenanordnung und der Gewässerdimensionen nicht zielführend.</td> </tr> <tr> <td>Umbau oder Rückbau des Stauwehres</td> <td>Ein Umbau der massiven Wehrschwelle ist technisch kaum möglich. Wirkungsvoll ist ein Rückbau: Morphologische Modellierungen ergeben eine Abnahme des hydraulischen Ni-</td> </tr> </tbody> </table>	Massnahme	Bemerkung	Erstellen eines Geschiebeumleitstollens	Ein Geschiebeumleitstollen ist aufgrund der Anlagenanordnung und der Gewässerdimensionen nicht zielführend.	Umbau oder Rückbau des Stauwehres	Ein Umbau der massiven Wehrschwelle ist technisch kaum möglich. Wirkungsvoll ist ein Rückbau: Morphologische Modellierungen ergeben eine Abnahme des hydraulischen Ni-	
Massnahme	Bemerkung							
Erstellen eines Geschiebeumleitstollens	Ein Geschiebeumleitstollen ist aufgrund der Anlagenanordnung und der Gewässerdimensionen nicht zielführend.							
Umbau oder Rückbau des Stauwehres	Ein Umbau der massiven Wehrschwelle ist technisch kaum möglich. Wirkungsvoll ist ein Rückbau: Morphologische Modellierungen ergeben eine Abnahme des hydraulischen Ni-							

		veaus im Oberwasser (Eingangs Schluchtstrecke) von 0.5 bis 1.0 m.	
	Absenken des Oberwasserspiegels bei Hochwasser	Ist technisch nicht möglich, da keine beweglichen Wehrrorgane verfügbar sind.	
	Geschiebezugabe im Unterwasser	Ausgebaggertes Geschiebe kann unterhalb der Wehrschwelle wieder im Gerinne deponiert werden. Dazu ist eine dauerhafte Zufahrt bei der Zugabestelle zu erstellen. Der Transportweg von der Entnahme (KW Wernisberg) bis zur Rückgabe beträgt zirka 3.0 km.	
	Künstliche Hochwasser zur Umlagerung von vorhandenem Geschiebe	Der Weitertransport des Geschiebes ist auch ohne künstliche Hochwasser gewährleistet.	
Varianten u. Bewertung	Von den fünf untersuchten Massnahmen sind zielführend:		
	<ul style="list-style-type: none"> • Variante 1: Rückbau Wehrschwelle • Variante 2: Geschiebezugabe im Unterwasser 		
	Kriterium	Var 1	Var 2
	Bewertung der positiven Wirkung		
	Geschiebefracht und Dynamik	3	2
	Grösse des Gewässers	2	2
	Länge des Gewässerabschnittes	3	3
	Beeinträchtigung der Geschiebeführung im Ist-Zustand	1	1
	ökologisches Potential des Gewässers	2	2
	Total positive Wirkung	11	10
	Bewertung der negativen Wirkung		
	CO ₂ -Emmissionen und Lärmbelastung	0	-2
	Landbedarf	0	0
	Beeinträchtigung Hochwassersicherheit	0	0
	Beeinträchtigung der Produktion erneuerbarer Energie	-2	0
	Total negative Wirkung	-2	-2
	Gesamtpunktzahl Wirkung		
	9	8	
Kosten			
Investitionskosten [Mio CHF] (vgl. Beilage)	0.1	0.03	
Jährliche Kosten der Investition [1'000 CHF/a]	3	0	
Betriebskosten [1'000 CHF/a]	0	60	
Unterhaltskosten [1'000 CHF/a]	0	0	
Ertragseinbussen [1'000 CHF/a]	(200)	0	
Total jährliche Kosten [1'000 CHF/a]	(203)	60	
Rang	1	2	

Koordination	Eine Koordination mit Massnahmen zur Revitalisierung und Schwall-Sunk-Sanierung ist sinnvoll. Mit der Neugestaltung der Kraftwerksanlage (Speisung des KW Ibach direkt aus dem geplanten Ausgleichsbecken) ist ein Rückbau der Wehrschwelle ohne Produktionseinbusse möglich.
Bestvariante	Für die Variante 1 (Rückbau Wehrschwelle) sprechen folgende Gründe: <ul style="list-style-type: none"> • Bei vergleichbarer Wirkung kommt die Variante 1 ohne wiederkehrende Eingriffe in das Gewässer (Trübungen etc.) aus. • Die Energieproduktion wird durch die geplante Neugestaltung der Zuleitung zum Kraftwerk nicht beeinträchtigt. • geringere CO₂-Emissionen

Zusatzinformationen

Ein Rückbau der Wehrschwelle ist im Rahmen der Sanierung Schwall-Sunk vorgesehen. Die Auswirkungen dieser Massnahme auf die hydraulische Situation im Oberwasser der Fassung ist mit einem 2D-Modell untersucht worden (Abbildung 22).

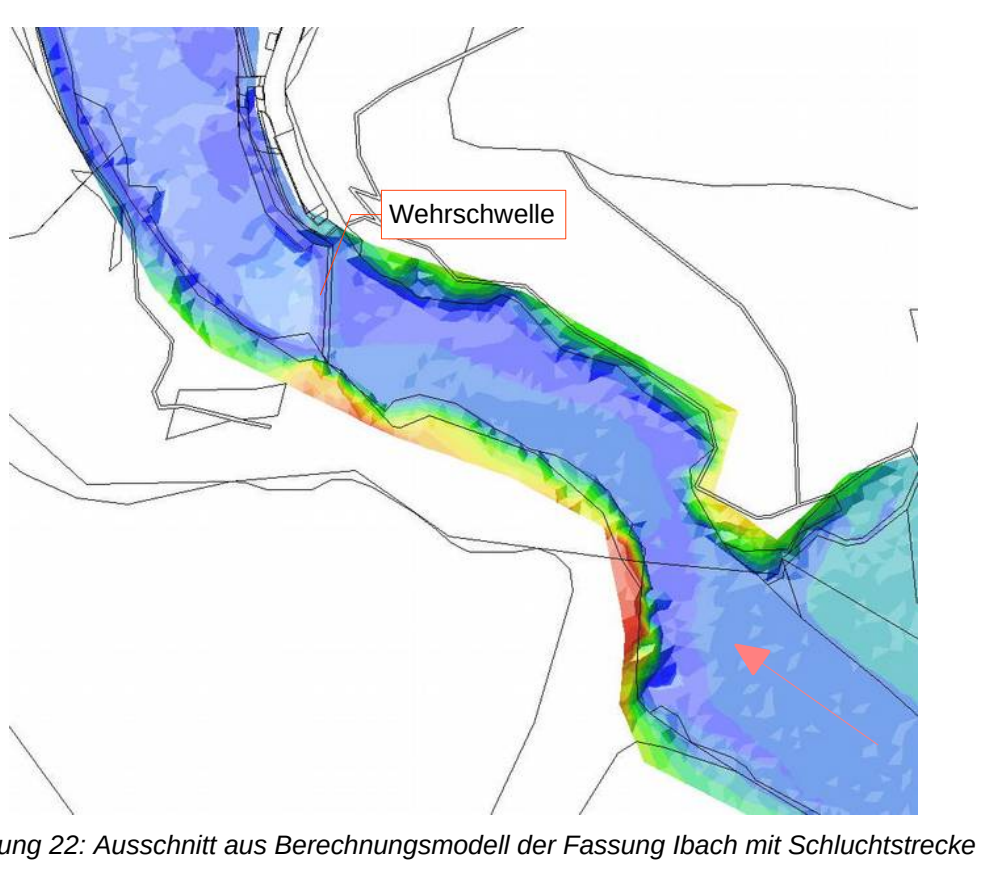


Abbildung 22: Ausschnitt aus Berechnungsmodell der Fassung Ibach mit Schluchtstrecke

Die Wehrschwelle hat eine Höhe von 3.5 und liegt am Ausgang einer engen Schluchtstrecke. Wird die Schwelle entfernt, so wird Geschiebe aus der Schlucht ausgetragen und der Wasserspiegel sinkt ab. Das Ausmass dieser Absenkung lässt sich mit dem Rechenmodell abschätzen. Die Reaktion der Soh-

le wird mit einem Ein-Korn-Modell (Geschiebeformel von Meyer-Peter/Müller) abgeschätzt (Annahme: $D_m = 15 \text{ cm}$).

Szenario	Abfluss [m ³ /s]	Absenkung Wsp. [m]	Gefällszunahme
HQ2	150	-1.10	+0.30%
HQ10	220	-0.80	+0.24%
HQ100	330	-0.65	+0.20%

Tabelle 11: Absenkung Wasserspiegel oberhalb Schluchtstrecke nach Rückbau Wehrschwelle

Der Rückbau der Wehrschwelle übt für häufige Hochwasser eine grössere Wirkung aus: Für ein mittleres jährliches Hochwasser nimmt die Wasserspiegellage eingangs der Schluchtstrecke um 1.1 m ab. In Relation zur Höhe der Wehrschwelle macht dies nur ungefähr 30% aus.

Für grössere Hochwasser ist die Abnahme der Wasserspiegellage geringer und beträgt für das HQ100 noch 0.65 m.

Der für die Hochwassersicherheit kritische Standort bei der Zufahrt zum Kraftwerk Wernisberg liegt rund 330 m oberhalb der Schluchtstrecke. Die Absenkung der Wasserspiegellage führt zu einer Zunahme des Gefälles (bisher zirka 0.70%) und damit einer Erhöhung der Transportleistung (Tabelle 12).

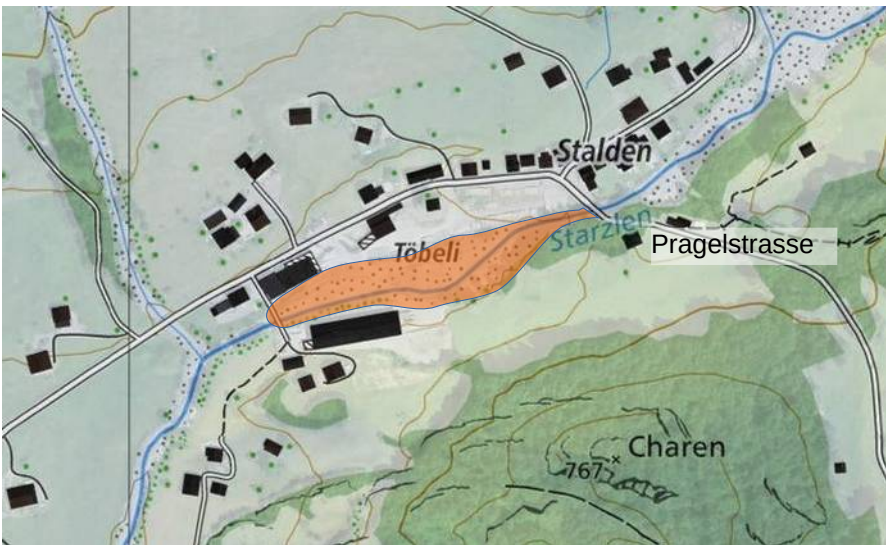
Szenario	Abfluss [m ³ /s]	Transport bisher [m ³ /h]	Transport neu [m ³ /h]	Erhöhung
HQ2	150	100	390	+290%
HQ10	220	310	690	+120%
HQ100	330	670	1160	+70%

Tabelle 12: Veränderung der Transportkapazität für Geschiebe ($D_m = 10 \text{ cm}$; Gerinnebreite 22 m)

Für die häufigen Hochwasser bis HQ10 wird die Transportkapazität für Geschiebe mehr als verdoppelt. Bei grösseren Hochwasser, welche für den Hochwasserschutz massgebend sind, beträgt die Zunahme der Transportleistung noch immer hohe 70%.

Diese erweiterten Analysen bestätigen die Wirksamkeit dieser Massnahme zur Erhöhung der Transportleistung der Muota oberhalb der Fassung Ibach. In der Detailprojektierung sind allfällige Anpassungen an der Sohle (vorgängige Baggerungen oder eigendynamische Entwicklung) in Koordination mit den übrigen Massnahmen (Sanierung Schwall-Sunk; Revitalisierung) zu prüfen.

4.4 Geschiebesammler Stalden

Anlagentyp	Geschiebesammler							
Einzugsgebiet	24 km ² (/6/)							
Flussordnungszahl	4 (Starzlen)							
Beschrieb	<p>Im Stalden unterhalb der Prugelstrassenbrücke lagert sich Geschiebe aus dem steilen Einzugsgebiet der Starzlen ab. Der Ablagerungsraum umfasst 0.6 ha und erstreckt sich über eine Länge von 260 m bei einem Bruttogefälle von 3.0%. Die maximale Gerinnebreite liegt bei 35 m. Die Breite der Ausflusssktion misst 8 m und die Absturzhöhe beträgt 2.5 m. Die Parzelle ist im Eigentum des Bezirks Schwyz.</p>  <p>Im Zeitraum 2006-2016 wurden aus dem Sammler und im Abschnitt oberhalb der Prugelstrassenbrücke pro Jahr rund 6'000 m³ Geschiebe entnommen, was 80% (!) aller bekannten Entnahmen aus dem Einzugsgebiet der Muota auf dem Gemeindegebiet Muotathal entspricht.</p>							
Sanierungsziel	Die Geschiebeentnahmen sind um 50% auf das für die Hochwassersicherheit notwendige Mass zu reduzieren.							
Massnahmenkatalog	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Massnahme</th> <th>Bemerkung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Umbau Auslaufbauwerk</td> <td>Ein Rückbau des Absturzes erhöht das Bruttogefälle um 1.0% auf zirka 4.0%, was den Geschiebedurchgang wesentlich erhöht. Die bestehende Brücke muss verm. neu erstellt werden.</td> </tr> <tr> <td>Abflussrinne im Sammler</td> <td>Eine Abflussrinne beeinträchtigt die natürliche Morphologie und müsste regelmässig ausgebaggert werden.</td> </tr> </tbody> </table>		Massnahme	Bemerkung	Umbau Auslaufbauwerk	Ein Rückbau des Absturzes erhöht das Bruttogefälle um 1.0% auf zirka 4.0%, was den Geschiebedurchgang wesentlich erhöht. Die bestehende Brücke muss verm. neu erstellt werden.	Abflussrinne im Sammler	Eine Abflussrinne beeinträchtigt die natürliche Morphologie und müsste regelmässig ausgebaggert werden.
Massnahme	Bemerkung							
Umbau Auslaufbauwerk	Ein Rückbau des Absturzes erhöht das Bruttogefälle um 1.0% auf zirka 4.0%, was den Geschiebedurchgang wesentlich erhöht. Die bestehende Brücke muss verm. neu erstellt werden.							
Abflussrinne im Sammler	Eine Abflussrinne beeinträchtigt die natürliche Morphologie und müsste regelmässig ausgebaggert werden.							

	Bewirtschaftungskonzept	Ohne ergänzende Massnahmen führt eine Aufgabe der Geschiebeentnahmen zu einem Anstieg der Sohlenlage, wodurch der Hochwasserrisiko der angrenzenden Liegenschaften zunimmt.	
	Geschiebezugabe im Unterwasser	Es macht wenig Sinn, mit viel Aufwand das Geschiebe oben zu entnehmen nur um es unten wieder zuzugeben.	
Varianten u. Bewertung	Von den vier untersuchten Massnahmen sind zielführend:		
	<ul style="list-style-type: none"> • Variante 1: Rückbau Auslaufbauwerk • Variante 2: Bewirtschaftungskonzept 		
	Kriterium	Var 1	Var 2
	Bewertung der positiven Wirkung		
	Geschiebefracht und Dynamik	2	2
	Grösse des Gewässers	3	3
	Länge des Gewässerabschnittes	3	3
	Beeinträchtigung der Geschiebeführung im Ist-Zustand	1	1
	ökologisches Potential des Gewässers	2	2
	Total positive Wirkung	11	11
	Bewertung der negativen Wirkung		
	CO ₂ -Emmissionen und Lärmbelastung	-1	-2
	Landbedarf	0	0
	Beeinträchtigung Hochwassersicherheit	0	-2
	Beeinträchtigung der Produktion erneuerbarer Energie	0	0
Total negative Wirkung	-1	-4	
Gesamtpunktzahl Wirkung			
	10	7	
Kosten			
Investitionskosten [Mio CHF] (vgl. Beilage)	0.5	0.0	
Jährliche Kosten der Investition [1'000 CHF/a]	15	0	
Betriebskosten [1'000 CHF/a]	0	0	
Unterhaltskosten [1'000 CHF/a]	0	0	
Ertragseinbussen [1'000 CHF/a]	0	0	
Total jährliche Kosten [1'000 CHF/a]	15	0	
Rang	1	2	
Koordination	Eine Koordination mit Massnahmen zur Revitalisierung der Muota ist sinnvoll.		
Bestvariante	Für die Variante 1 (Rückbau Auslassbauwerk) sprechen folgende Gründe: <ul style="list-style-type: none"> • Die Geschiebebewirtschaftung kann reduziert werden auf ein für die Hochwassersicherheit notwendiges Mass. Der Aufwand (Neubau Brücke) ist erheblich.		

Zusatzinformationen

Die Reaktion des Unterlaufes auf erhöhte Geschiebeeinträge lässt sich anhand der Längsgefälles darstellen (Abbildung 23).

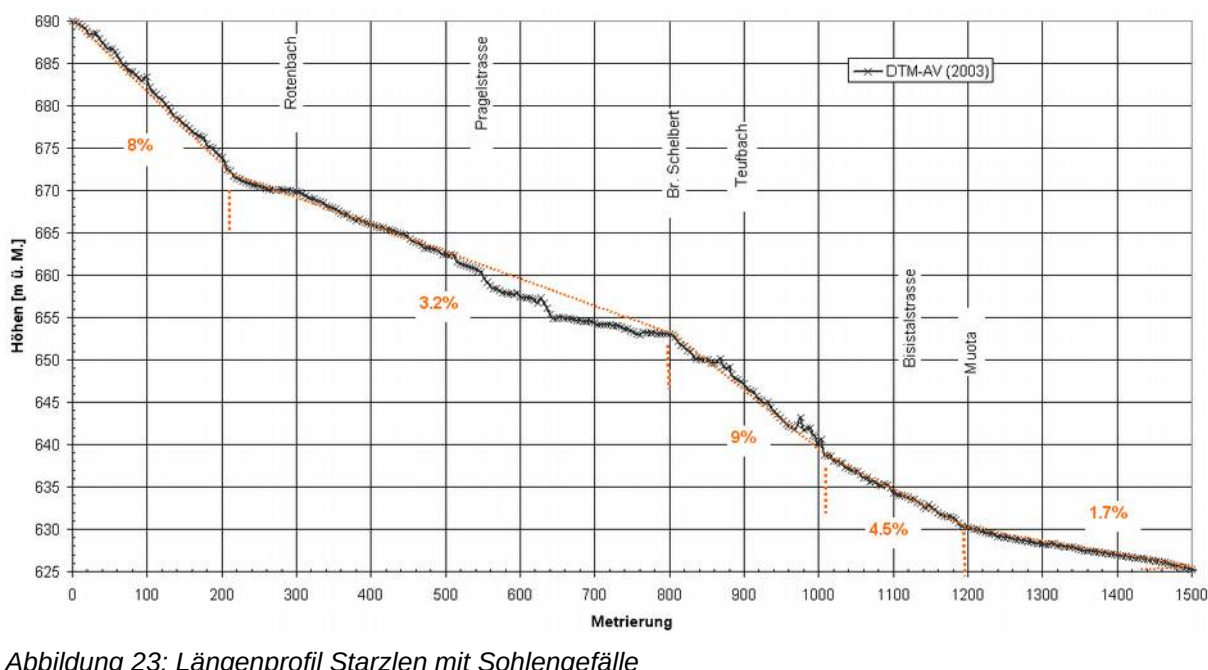


Abbildung 23: Längsprofil Starzlen mit Sohlengefälle

Im Bereich der Einmündung des Rotbaches (EZG 0.9 km²) reduziert sich das Längsgefälle von 8% auf zirka 3%. Hohe Geschiebeeinträge führen zu Ablagerungen im Gerinne oberhalb der Prugelstrassenbrücke. Die Bewirtschaftung des Geschiebes wird in diesem Abschnitt notwendig bleiben, um den Hochwasserschutz des Weilers Stalden zu gewährleisten.

Unterhalb des Geschiebesammlers mündet der murgangfähige Teufbach (EZG 0.8 km²) in die Starzlen und das Gefälle steigt auf rund 9% an. Bis zur Mündung in die Muota flacht das Gefälle auf 4.5% ab. Die Gerinnebreite beträgt 12 bis 15 m. Es kann gefolgert werden: Auch nach Rückbau des Absturzes bleiben Gefälle und Transportleistung bis zur Mündung in die Muota höher als im Geschiebesammler.

In der Detailprojektierung ist zu prüfen, wie weit die Brückenwiderlager und der Uferschutz von einem Rückbau des Absturzes tangiert werden.



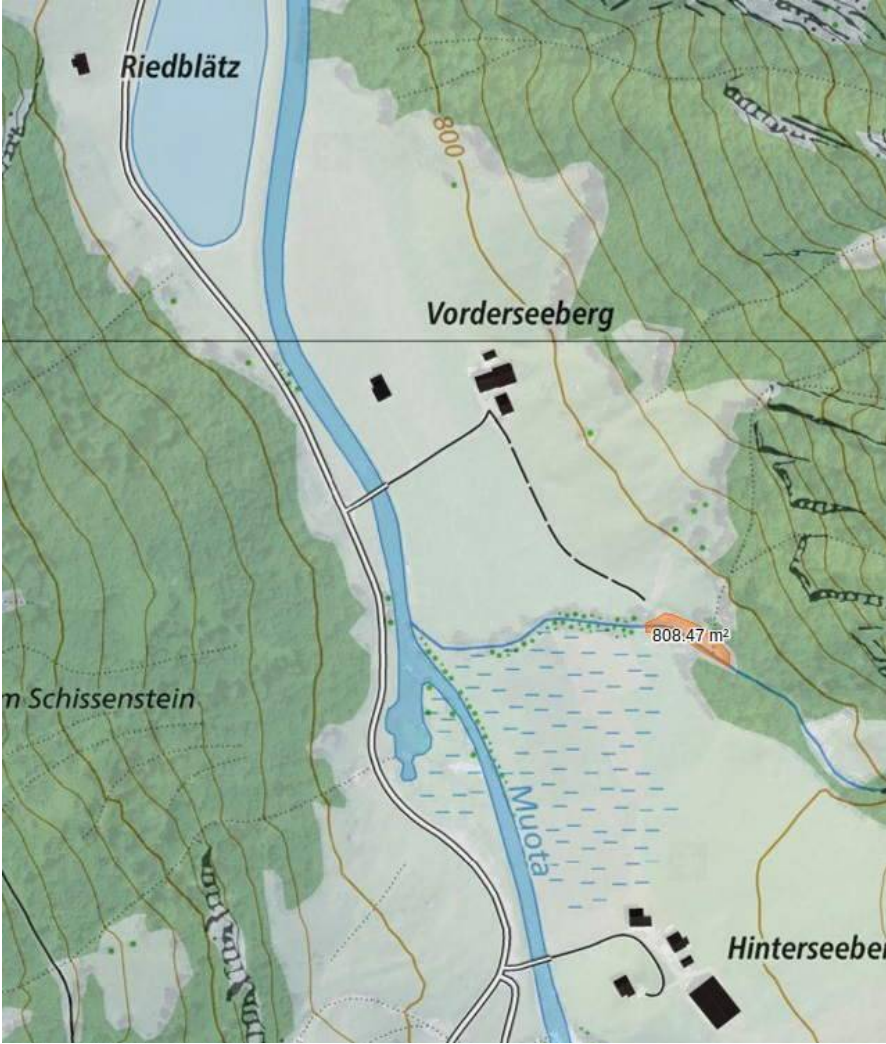
Abbildung 24: Absturz beim Sammlerauslauf (Blick bergwärts; Aufnahme 2012)

Die Bewirtschaftung des Geschiebes bei der Mündung in die Muota wird eine Aufgabe bleiben aus folgenden Gründen:

- Murgangartige Geschiebeeinträge aus dem Teufbach (Gefälle 17%) werden durch die Starzlen nur teilweise weitertransportiert und können zu einer Verfüllung des Gerinnes führen. In den letzten Jahren ist dies mehrfach beobachtet worden.
- Starzlen und Muota führen häufig nicht gleichzeitig Hochwasser. Temporär lagert sich Geschiebe aus der Starzlen im Mündungsbereich ab.

Von den Geschiebeablagerungen und Übersarungen kann die Bisistalerstrasse betroffen werden. Zur Verminderung der Hochwasserrisiken sollte diese ausserhalb des Prozessraumes verlegt werden.

4.5 Geschiebesammler Rätchtalerbach

Anlagentyp	Geschiebesammler	
Einzugsgebiet	6.8 km ² (7/)	
Flussordnungszahl	1	
Beschrieb	<p>Der Bach entwässert das langgestreckte Rätchtal im Karstgebiet der Silberen. Der Geschiebesammler liegt in einem Gefällsknick (oben 6%; unten 1.6%) und hat eine Ausdehnung von 800 m². Zu den Entnahmemengen liegen keine Angaben vor.</p>  <p>Aus der spezifischen Fracht (50 m³/km²/a) berechnet sich eine mittlere Fracht von 200 m³/a. Die Gerinnelänge vom GS bis zur Mündung in die Muota misst 180 m.</p>	
Sanierungsziel	Das zugeführte Geschiebe ist möglichst vollständig in den Unterlauf weiterzuleiten.	
Massnahmenkatalog	Massnahme	Bemerkung

	Umbau Auslaufbauwerk	Beim Auslauf handelt es sich um eine Beton-sperre mit einem Grundrechen aus Stahlträ- gern. Das hydraulische Niveau wird durch die Rechenstäbe unnötig erhöht. Der Betonriegel hingegen hat stabilisierende Wirkung und kann belassen werden.	
	Abflussrinne im Sammler	Eine Abflussrinne beeinträchtigt die natürliche Morphologie und müsste regelmässig ausge- baggert werden.	
	Bewirtschaftungskonzept	Kontrollierte Entnahmen sind nötig, um die Gerinnestabilität im Unterlauf zu gewährleis- ten.	
	Geschiebezugabe im Un- terwasser	Es macht wenig Sinn, mit viel Aufwand das Geschiebe oben zu entnehmen nur um es un- ten wieder zuzugeben.	
Varianten u. Bewertung	Von den vier untersuchten Massnahmen sind zielführend:		
	<ul style="list-style-type: none"> • Variante 1: Rückbau Auslaufbauwerk • Variante 2: Bewirtschaftungskonzept 		
	Kriterium	Var1	Var2
	Bewertung der positiven Wirkung		
	Geschiebefracht und Dynamik	1	1
	Grösse des Gewässers	1	1
	Länge des Gewässerabschnittes	1	1
	Beeinträchtigung der Geschiebeführung im Ist-Zustand	1	1
	ökologisches Potential des Gewässers	1	1
	Total positive Wirkung	5	5
	Bewertung der negativen Wirkung		
	CO ₂ -Emmissionen und Lärmbelastung	0	0
	Landbedarf	0	0
	Beeinträchtigung Hochwassersicherheit	0	-1
Beeinträchtigung der Produktion erneuerbarer Energie	0	0	
Total negative Wirkung	0	-1	
Gesamtpunktzahl Wirkung	5	4	
Kosten			
Investitionskosten [Mio CHF]	0.001	0.0	
Jährliche Kosten der Investition [1'000 CHF/a]	0.0	0.0	
Betriebskosten [1'000 CHF/a]	0	0	
Unterhaltskosten [1'000 CHF/a]	0	0	
Ertragseinbussen [1'000 CHF/a]	0	0	
Total jährliche Kosten [1'000 CHF/a]	0.0	0.0	

	Rang	1	2
Koordination	Eine Koordination mit Massnahmen zur Revitalisierung der Muota ist sinnvoll.		
Bestvariante	<p>Neben der Entfernung der Rechenstäbe ist die Bewirtschaftungspraxis zu ändern. Im Sammler sollte ein Sohlgefälle von mindestens 2% dauerhaft gewährleistet werden. Für eine Variantenkombination sprechen folgende Gründe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Geschiebeeintrag in den Unterlauf und in die Muota wird erhöht. • Die Entnahme kann reduziert werden auf ein - für den Hochwasserschutz notwendiges - Mass. 		

Zusatzinformationen

Der Gerinneabschnitt unterhalb des Sammlers bis zur Muota (Länge 180 m) weist deutliche Erosionstendenz auf. Eine Anpassung der Geschiebebewirtschaftung kann zur Stabilisierung des Gerinnes beitragen.

4.6 Koordination

Mit den vorgesehenen Massnahmen an den Kraftwerksanlagen und Geschiebesammler wird die erforderliche Geschiebefracht erreicht. Durch die Sanierung der Anlage Sahli wird die Geschiebefracht um 350 m³/a erhöht. Im Abschnitt Riedblätz entspricht dies einer Zunahme der Geschiebefracht von rund 50%. Um Geschiebeablagerungen im Stauraum der Fassung Riedblätz zu vermeiden, sollten die Massnahmen bei den Anlagen Sahlisee und Riedblätz nach Möglichkeit koordiniert umgesetzt werden.

Die Sanierung des Geschiebesammlers Stalden erhöht die Geschiebefracht in der Muota um rund 3'000 m³/a. Dies entspricht im Abschnitt Muotathal rund einer Verdoppelung der bisherigen Fracht. Aus den 10jährlich erhobenen Querprofilaufnahmen ist bekannt: Die Muota weist seit Jahrzehnten ein deutliches Geschiebedefizit auf. Im Zeitraum 1964 bis 2015 wurden aus der Muota in den Abschnitten Balm - Selgis und Wernisberg – Wilenbrücke je durchschnittlich 1'400 m³/a aus der Sohle ausgetragen. Zur Stabilisierung des Gerinnes wurde die Gerinnesohle an verschiedenen Abschnitten durch Zugabe von grossen Blöcken gesichert.

Mit dem erhöhten Geschiebeeintrag aus der Starzlen wird die Erosionstendenz abgeschwächt. Die Muota kann sich dadurch wieder einem dynamischen Gleichgewicht annähern und wird mit einer Verfeinerung der Sohle reagieren. Die Stabilität des Gerinnes (Sohle und Böschungen) wird verbessert. Die Sanierung des Geschiebehaushaltes kann somit zu einer Erhöhung der Hochwassersicherheit entlang der Muota beitragen.

Dies sind gute Voraussetzungen für eine erfolgreiche Renaturierung von Gewässerabschnitten. Am Beispiel der geplanten Gerinneaufweitung unterhalb Langsteg sollen die Auswirkungen auf die Geschiebetransportkapazität kurz angesprochen werden. Abbildung 25 zeigt den Zusammenhang zwischen Geschiebefracht (Transportkapazität) und der Sohlenbreite bei sonst unverändert gehaltenen Parametern.

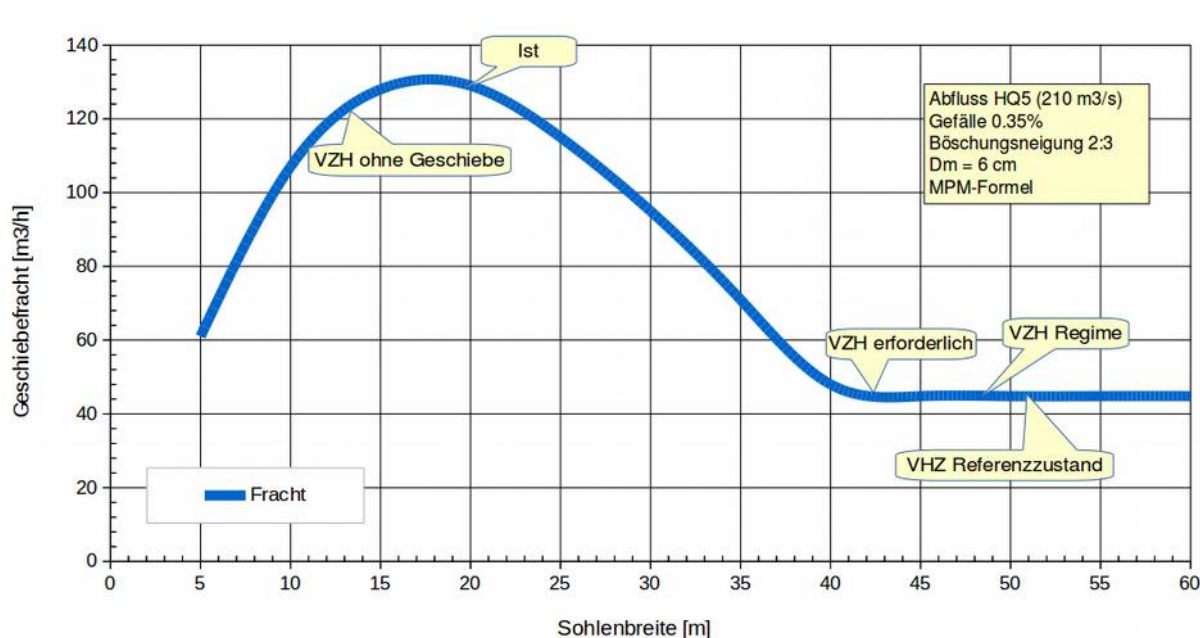


Abbildung 25: Berechnete Geschiebefrachten für Abfluss HQ5 in Funktion der Sohlenbreite am Beispiel Muota unterhalb Langsteg

Im Ist-Zustand beträgt die Sohlenbreite rund 20 m und die Transportleistung bei einem HQ5 liegt bei 130 m³/h. Bei einer Verbreiterung auf 40 m (entspricht der erforderlichen Sohlenbreite gemäss VZH) nimmt die Transportleistung auf noch zirka 45 m³/h ab. Das Gewässer reagiert darauf mit einer Anhebung der Sohle, welche solange andauert, bis mit dem erhöhten Gefälle die Transportleistung wieder einem Gleichgewicht entspricht. Die Massnahmen zur Revitalisierung und zur Sanierung des Geschiebehaushaltes beeinflussen sich gegenseitig und sind deshalb koordiniert zu planen und umzusetzen.

5 Erfolgskontrolle

5.1 Umsetzungskontrolle

(aus /1/)

Mit der Umsetzungskontrolle wird der Vollzug der Sanierung überprüft. Der Kanton kontrolliert, ob die verfügbaren Massnahmen sachlich korrekt und fristgerecht umgesetzt werden. Die Umsetzung wird im einfachen Fall (z. B. Aufhebung eines Geschiebesammlers) ein einziges Mal kontrolliert und beinhaltet die Prüfung der angeordneten Sanierungsmassnahme. Im Fall wiederkehrender Massnahmen (z. B. periodische Kiesschüttungen) wird die Ausführung jeweils nach jeder Realisierung überprüft.

Die Kantone erstatten dem Bund alle vier Jahre Bericht über die durchgeführten Massnahmen. Mit dem Bericht wird die Umsetzung der Massnahmen dokumentiert. Der Bericht umfasst je Anlage mindestens folgende Informationen:

Information	Mögliche Ausprägung je Anlage
Sanierungspflicht gemäss strategischer Planung	ja/nein/unverhältnismässig/besondere Verhältnisse
Sanierungspflicht gemäss nachgeholter Beurteilung bei besonderen Verhältnissen oder nach Neubeurteilung	ja/nein/unverhältnismässig
Sanierungspflicht verfügt	ja oder Datum/nein
Sanierungsphase	Studie, Art/Umfang/Projektierung/Umsetzung/Wiko
Studie über Art und Umfang durchgeführt	ja/nein/nicht nötig/geplant oder vorgesehen
Sanierungsmassnahmen (Art, Typ, Umfang)	
Nachbesserung der Massnahme notwendig	ja/nein
Aktualisierte Fristen Planung und Umsetzung	nein/aktualisierte Frist Planung/Umsetzung

Tabelle 13: Inhaltvorgaben für Bericht zur Umsetzungskontrolle

5.2 Wirkungskontrolle - Grundsätze

(aus /1/)

Die Wirkungskontrolle übt mehrere Funktionen aus:

- der gesetzliche Auftrag zur Beseitigung der wesentlichen Beeinträchtigung und Erhaltung der natürlichen Funktion der Gewässer wird überprüft,
- der Anpassungsbedarf für eine Massnahme wird erkannt,
- das Verständnis über das Funktionieren der Gewässerlebensräume und das Zusammenspiel abiotischer und biotischer Faktoren wird verbessert,

- der Öffentlichkeit kann Rechenschaft über die sinnvolle Verwendung der Ressourcen gegeben werden.

Die Wirkung der Massnahmen wird anhand von abiotischen und biotischen Indikatoren kontrolliert, wobei nach Gewässergrösse und ökologischer Bedeutung differenziert wird (Tabelle 14).

Gewässergrösse	Bedeutung	abiotische Indikatoren	biotische Indikatoren	Zeitraum für Wirkungskontrolle
Kleine Gewässer		(x)	-	2-3 Jahre
Mittlere Gewässer	Geringe ökol. Bedeutung	x	-	2-3 Jahre
	Grosse ökol. Bedeutung	x	x	3-5 Jahre
Grosse Gewässer	Keine Revitalisierung absehbar	x	-	3-5 Jahre
	Revitalisierung absehbar	x	x	3-5 Jahre
Grosse Flüsse	> 2'000	x	x	5-10 Jahre

Tabelle 14: Übersicht über die Anwendung von Indikatoren je Gewässergrösse und ökol. Bedeutung (aus /1/)

Die Einteilung der Gewässergrösse erfolgt nach folgenden Kriterien (Tabelle 15).

Gewässergrösse	Einzugsgebiet [km ²]	mittl. Abfluss [m ³ /s]	FLOZ	Beispiele
Kleine Gewässer	< 20	< 0.5	1,2	
Mittlere Gewässer	20 - 200	0.5 – 5.0	3,4,5	Ergolz, Gürbe, Reppisch
Grosse Gewässer	200 - 2'000	5.0 - 50	6,7	Areuse, Emme, Simme, Thur
Grosse Flüsse	> 2'000	> 50	8,9	Aare ab Thun, Alpenrhein, Rhone bei Visp, Ticino ab Bellinzona

Tabelle 15: Einteilung der Gewässergrösse nach verschiedenen Kriterien (aus /1/)

Die Zuordnung der Anlagen zu den Gewässergrössenstufen erfolgt für die Muota anhand der Kriterien Einzugsgebiet und FLOZ.

	Anlage	EZG [km ²]	FLOZ	Grösse	Indikatoren	
					abiotisch	biotisch
1	Ausgleichsbecken Sahli	31	4	mittel	x	-
2	Fassung Riedblätz	81	4	mittel	x	(x)
3	Fassung Ibach	220	5	gross	x	-
5	GS Stalden	24	4	mittel	x	-
7	GS Räschtalerbach	6.8	1	mittel	x	-

Tabelle 16: Zuordnung der Indikatoren zu den Anlagen

Die abiotischen Indikatoren der Wirkungskontrolle sind (aus /1/):

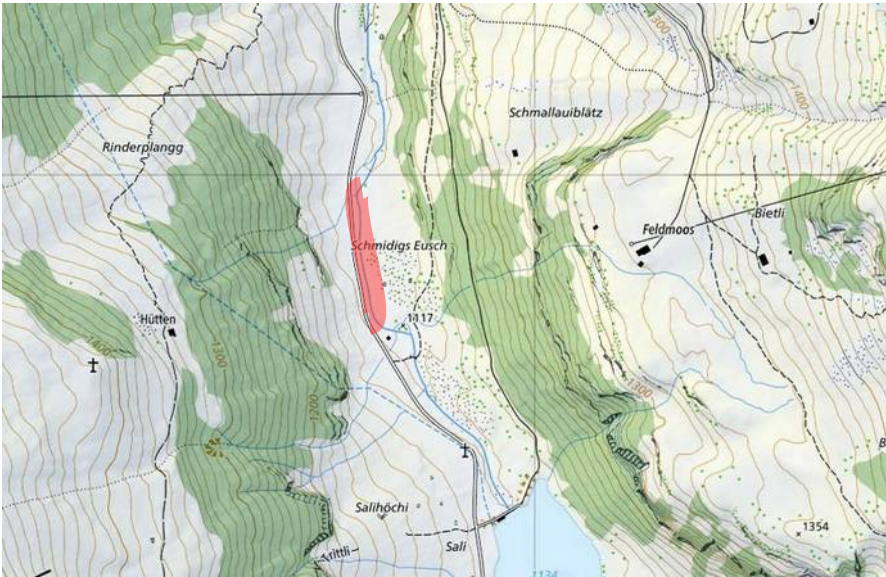
- die Gerinneform

- die Ausdehnung von Kiesbänken
- die Kornverteilung des Substrats
- die innere Kolmation der Gewässersohle
- die Veränderung der mittleren Sohlenlage
- die Veränderung der Lage des Talweges

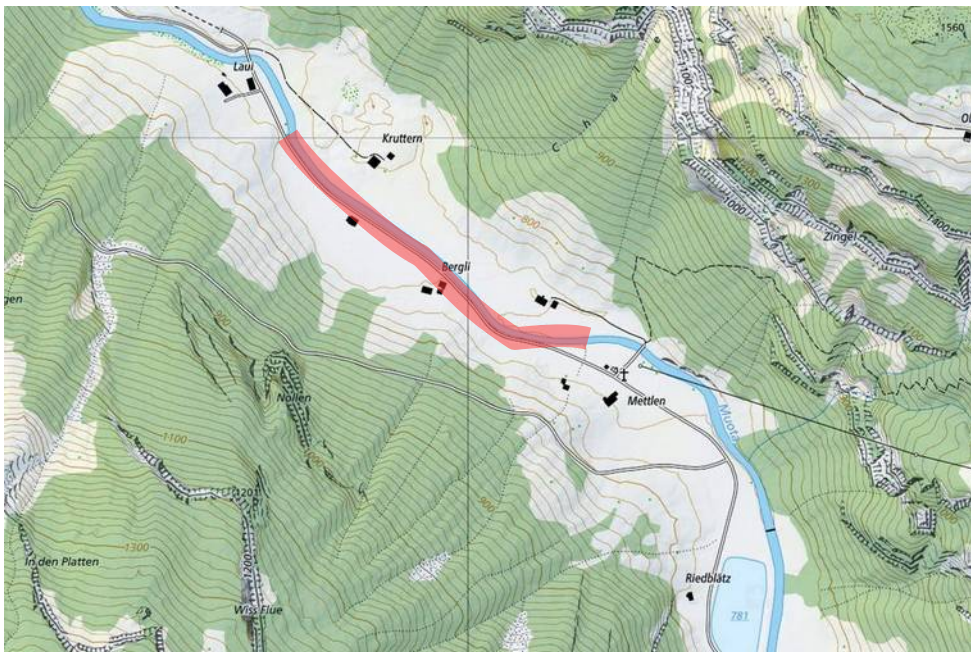
Die Liste der biotischen Indikatoren ist noch länger und umfasst die Fischfauna, das Makrozoobenthos sowie die Pflanzen- und Tiergesellschaften auf den Kiesbänken. Von den biotischen Indikatoren sollen primär diejenigen zur Fischfauna (Brütlingvorkommen im Frühling und Jungfischvorkommen im Herbst) in die Wirkungskontrolle einbezogen werden. Die Erhebungsmethoden für die einzelnen Indikatoren werden in /1/, Anhang H.2, detailliert beschrieben.

5.3 Wirkungskontrolle - Umsetzung

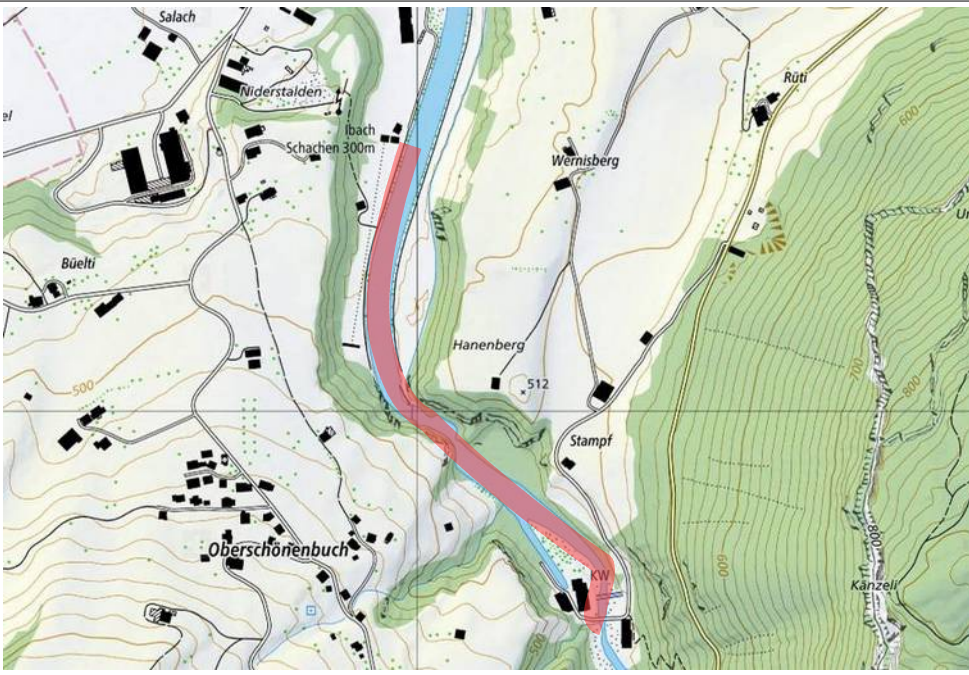
Anlage Sahli

Ausgangszustand	Das Geschiebe der Muota wird im Sahlisee zurückgehalten. Es gelangt nur noch wenig Geschiebe aus den Seitenbächen in den Gewässerabschnitt. Unterhalb der Stauanlage fehlen die feinen Kiesfraktionen in der Bachsohle. Es muss eine starke innere Kolmation angenommen werden.	
Massnahme	Das aus dem Sahlisee entnommenen Geschiebe wird unterhalb der Stauanlage dem Gewässer zurückgegeben.	
Wirkung	Der reaktivierte Geschiebetransport führt zu einer Verbesserung der Kornverteilung des Substrates. Durch die Geschiebeumlagerung wird die innere Kolmation reduziert.	
Indikatoren	Indikator	Beschrieb
	Kornverteilung Substrat	Das Vorkommen der Kornverteilungstypen (gem. /1/) wird kartiert. Die Flächenanteile werden als Histogramm dargestellt.
	Innere Kolmation	Das Vorkommen der Kolmationsklassen (gem. /1/) wird in zirka 20 zufällig gewählten Standorten erhoben. Die Häufigkeitsverteilung wird als Histogramm dargestellt.
Abschnitte	 <p>Die Untersuchung erfolgt auf einem Abschnitt von zirka 200 m Länge unterhalb der Beschickungsstrecke.</p>	
Koordination	Eine Koordination mit Massnahmen zur Revitalisierung der Muota ist sinnvoll.	

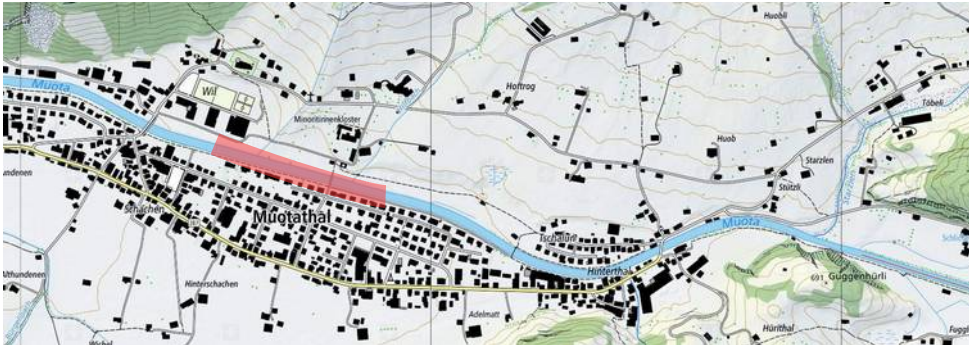
Anlage Riedblätz

Ausgangszustand	Durch die Fassungsanlage wird Geschiebe temporär zurückgehalten. Unterhalb der Stauanlage fehlen die feinen Kiesfraktionen in der Bachsohle. Es muss eine starke inner Kolmation angenommen werden.	
Massnahme	Das Stauziel wird angepasst, um den Geschiebedurchgang zu gewährleisten.	
Wirkung	Der erhöhte Geschiebeeintrag (Massnahmen Sahli und Räschtalerbach) führt zu einer Verbesserung der Kornverteilung des Substrates. Durch die Geschiebeumlagerung wird die innere Kolmation reduziert.	
Indikatoren	Indikator	Beschrieb
	Kornverteilung Substrat	Das Vorkommen der Kornverteilungstypen (gem. /1/) wird kartiert. Die Flächenanteile werden als Histogramm dargestellt.
	Innere Kolmation	Das Vorkommen der Kolmationsklassen (gem. /1/) wird in zirka 20 zufällig gewählten Standorten erhoben. Die Häufigkeitsverteilung wird als Histogramm dargestellt.
Abschnitte	 <p>Die Untersuchung erfolgt auf einem Abschnitt von zirka 500 m Länge in der Flachstrecke unterhalb der Fassung.</p>	
Koordination	Eine Koordination mit Massnahmen zur Revitalisierung der Muota ist sinnvoll. Bei einer Restwassersanierung ist auch die Erhebung von biotischen Indikatoren sinnvoll.	

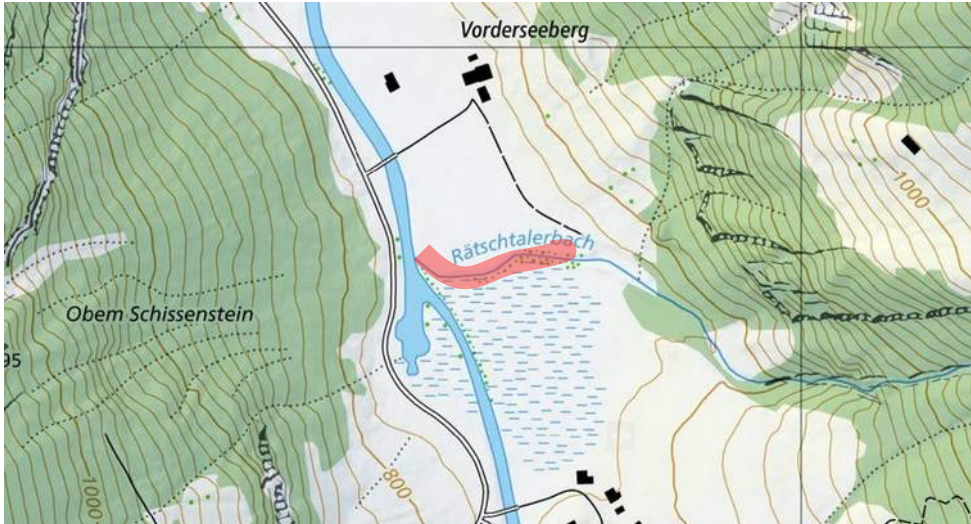
Anlage Ibach

Ausgangszustand	Die Querschwelle der Fassungsanlage erhöht das hydraulische Niveau im Oberwasser und damit auch die Sohlenlage. Beim KW Wernisberg sind Baggerungen nötig, um die Gerinnekapazität zu erhalten.	
Massnahme	Die Querschwelle wird abgebrochen.	
Wirkung	Das Sohlenniveau im Oberwasser tieft sich ab; die Geschiebeentnahmen werden obsolet.	
Indikatoren	Indikator	Beschrieb
	Veränderung der mittleren Sohlenlage	Die Sohle der Muota wird jährlich vermessen (in Ergänzung zu den Querprofilaufnahmen des BAFU)
Abschnitte	 <p>Die Untersuchung erfolgt auf einem Abschnitt von zirka 900 m Länge ab dem KW Wernisberg.</p>	
Koordination	Eine Koordination mit Massnahmen zur Revitalisierung der Muota ist sinnvoll.	

Geschiebesammler Stalden

Ausgangszustand	Die Starzlen ist der bedeutendste Geschiebelieferung der Muota. Die grossen Geschiebeentnahmen sind mitverantwortlich für die allgemeine Eintiefungstendenz.	
Massnahme	Die Abschlussperre wird zurückgebaut; die Entnahmemengen werden auf zirka 50% reduziert.	
Wirkung	Der erhöhte Geschiebeeintrag in die Muota führt zu einer Verbesserung der Kornverteilung des Substrates. Durch die Geschiebeumlagerung wird die innere Kolmation reduziert.	
Indikatoren	Indikator	Beschrieb
	Kornverteilung Substrat	Das Vorkommen der Kornverteilungstypen (gem. /1/) wird kartiert. Die Flächenanteile werden als Histogramm dargestellt.
	Innere Kolmation	Das Vorkommen der Kolmationsklassen (gem. /1/) wird in zirka 20 zufällig gewählten Standorten erhoben. Die Häufigkeitsverteilung wird als Histogramm dargestellt.
Abschnitte	 <p>Die Untersuchung erfolgt im Muotagerinne oberhalb der Kirchenbrücke auf einer Länge von zirka 500 m</p>	
Koordination	Eine Koordination mit Massnahmen zur Revitalisierung der Muota ist sinnvoll.	

Geschiebesammler Rätschtalerbach

Ausgangszustand	Der Geschiebesammler reduziert den Geschiebeeintrag in den Unterlauf.	
Massnahme	Die Abschlussperre wird durchlässiger gestaltet und die Bewirtschaftung reduziert.	
Wirkung	Der erhöhte Geschiebeeintrag führt zu einer Verbesserung der Kornverteilung des Substrates. Durch die Geschiebeumlagerung wird die innere Kolmation reduziert.	
Indikatoren	Indikator	Beschrieb
	Kornverteilung Substrat	Das Vorkommen der Kornverteilungstypen (gem. /1/) wird kartiert. Die Flächenanteile werden als Histogramm dargestellt.
	Innere Kolmation	Das Vorkommen der Kolmationsklassen (gem. /1/) wird in zirka 20 zufällig gewählten Standorten erhoben. Die Häufigkeitsverteilung wird als Histogramm dargestellt.
Abschnitte	 <p>Die Untersuchung erfolgt auf einem Abschnitt von zirka 150 m Länge in der Flachstrecke unterhalb des Sammlers.</p>	
Koordination	-	

Das Monitoring umfasst insgesamt 5 Anlagen. Es wird vorgeschlagen, die Kontrollen viermal auszuführen: Ausgangszustand und jeweils 1, 3 und 5 Jahre nach der Umsetzung. Für die Felddaten, die Datenauswertung und die Berichterstattung ist mit Gesamtkosten von CHF 8'000 bis 10'000.- pro Anlage zu rechnen. Synergien ergeben sich, falls gleichzeitig mehrere Anlage kontrolliert werden können.

5.4 Simulationsmodell

Ziel der Wirkungskontrolle ist u.a. das Verständnis über das Funktionieren der Gewässerlebensräume und das Zusammenspiel abiotischer und biotischer Faktoren zu verbessern (/1/). Die Ermittlung der morphologischen Veränderungen wird idealerweise mit einer Nachbildung der Veränderungen ergänzt. Morphologische Modellierungen können auch eine Grundlage dafür sein, die zu erwartenden Veränderungen z.B. der Sohlenlage oder der Kornverteilung zu prognostizieren.

Das Gerinne der Muota vom See (GEWISS-km 0.000) bis zur Abschlussperre des Geschiebesammlers Balm (GEWISS-km 18.200) wird alle 10 Jahre vermessen. Diese vorhandenen Querprofilaufnahmen bilden die Grundlage für ein eindimensionales Geschiebemodell der Muota. Das Modell umfasst 116 Querprofile für drei verschiedene Aufnahmezeitpunkte. Als Randbedingungen liegen die Abflussganglinien der Stationen Muota Ingenbohl (BAFU) und Muota Selgis (EBS) vor. Die Seitenzuflüsse werden nicht gemessen.

Daten	Zeitraum
Querprofile See – Balm (18 km)	1996, 2006, 2015
Ganglinien Muota Ingenbohl	1974 - 2016
Ganglinien Muota Selgis	2002 - 2016
Transportformeln	MPM, Smart & Jäggi, Parker 1990

Tabelle 17: Simulationsmodell Muota

Das Modell kann mit verschiedenen Transportformeln betrieben werden. Für Langzeitsimulationen mit Berücksichtigung der Sortierprozesse ist der fraktionierte Ansatz von Parker /9/ geeignet.

Als Beispiel für eine praktische Anwendung dient die Modellierung des Rückbaus der Schwelle (Fassung) beim KW Ibach. Der Modellperimeter umfasst den Muotaabschnitt vom KW Wernisberg bis zum Vierwaldstättersee. Der Geschiebeeintrag aus dem Oberlauf entspricht näherungsweise einem Gleichgewichtszustand.

Durch den Rückbau wird das hydraulische Niveau oberhalb der Schwelle um zirka 1.1 m abgesenkt (vgl. Kapitel 4.3). In der Folge tieft sich die Sohle oberhalb der Schwelle ein. Das mobilisierte Material wird unterhalb der Schwelle temporär zu einem Anstieg der Sohle führen. Abbildung 26 zeigt die prognostizierte Veränderung der Sohle nach einer Simulationsdauer von 10 Jahren (Ganglinie 2006 – 2015).

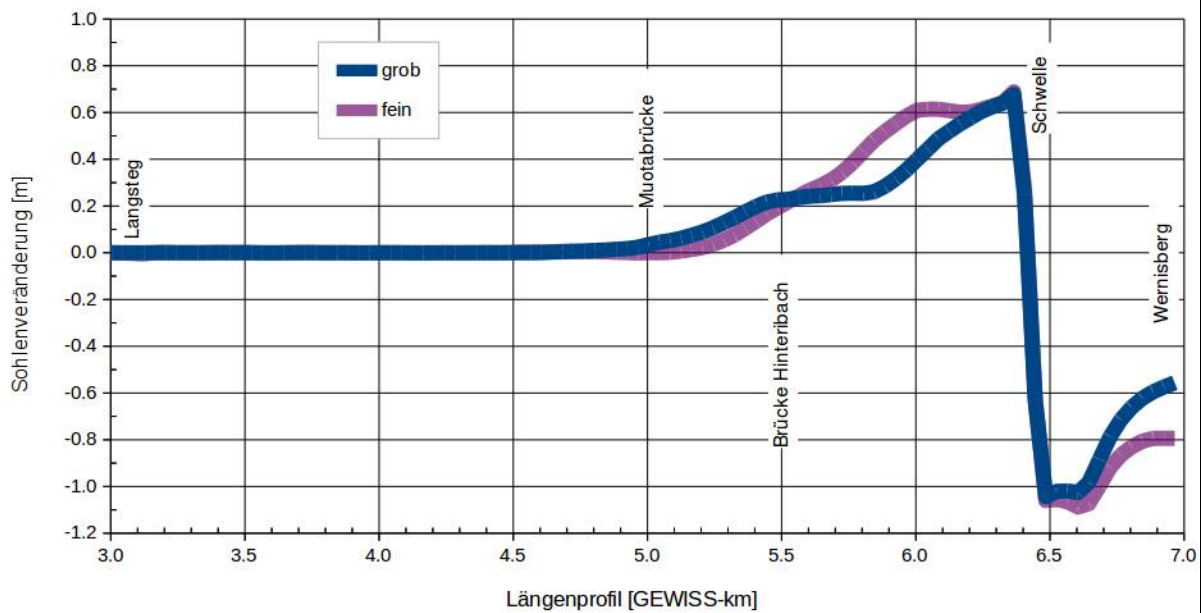


Abbildung 26: Sohlenveränderung durch Rückbau der Schwelle KW Ibach (nach 10 Jahren)

Dargestellt sind die Resultate der Simulation für eher grobes und feines Geschiebe. Oberhalb der Schwelle bis zum Kraftwerk Wernisberg ist eine Abtiefung der Sohle gegenüber dem Zustand mit Schwelle von bis zu 1.0 m zu erwarten. Unterhalb der Schwelle wird die Sohle um bis zu 0.6 m angehoben. Bei der Brücke Hinteribach beträgt die Differenz noch 0.2 m. Ab der Muotabrücke Ibach ist keine Auswirkung des Schwellenrückbaus mehr zu erwarten.


6 Beilagen

6.1 Geschiebeentnahmen

Jahr	Muota	Rambach	Wichelb.	Bächleren	Hofbach	Starzlen		Teufb.	Gigenb.	Mälbaum	Muota	Muota	Summe	
	Wernisberg	Sammler	b. Raiffeise	Sammler	Sammler	Stalden	Mündung		Zentrale	Hochgras	Seeberg	Sahli	KW	übrige
2006						990			360				360	990
2007	8'000					2'470							8'000	2'470
2008	0					16'400							0	16'400
2009	1'000	390			350	2'500					350		1'000	3'590
2010	0	530	250	3'000	6'500		2'500			800			0	13'580
2011	1'600	300				11'891		1'100	150		440	1'400	3'150	13'731
2012	2'000					8'013						2'300	4'300	8'013
2013	0					7'576						0	0	7'576
2014	0					19'266						300	300	19'266
2015	0					1'443						0	0	1'443
2016	0					1'138						150	150	1'138
Summe	12'600	1'220	250	3'000	6'850	70'697	2'500	1'100	150	800	790	4'150		
Total													17'260	88'197
													16%	

Quellen

- (1) Schelbert AG, Muotathal
- (2) ebs Energie AG, Schwyz

 Bezug zu Kraftwerke

6.2 Längenprofil der Sohlenveränderungen

Grundlage: Querprofilaufnahme des BAFU

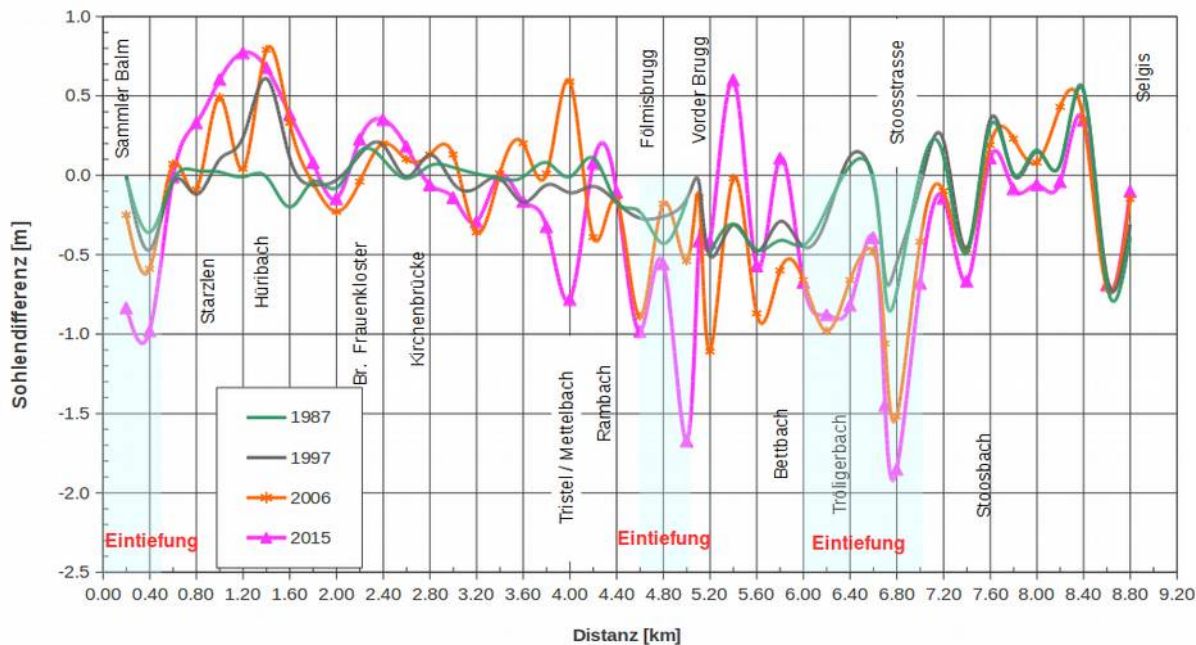


Abbildung 27: Sohlendifferenz Muota Muotathal (Bezugsjahr 1977)

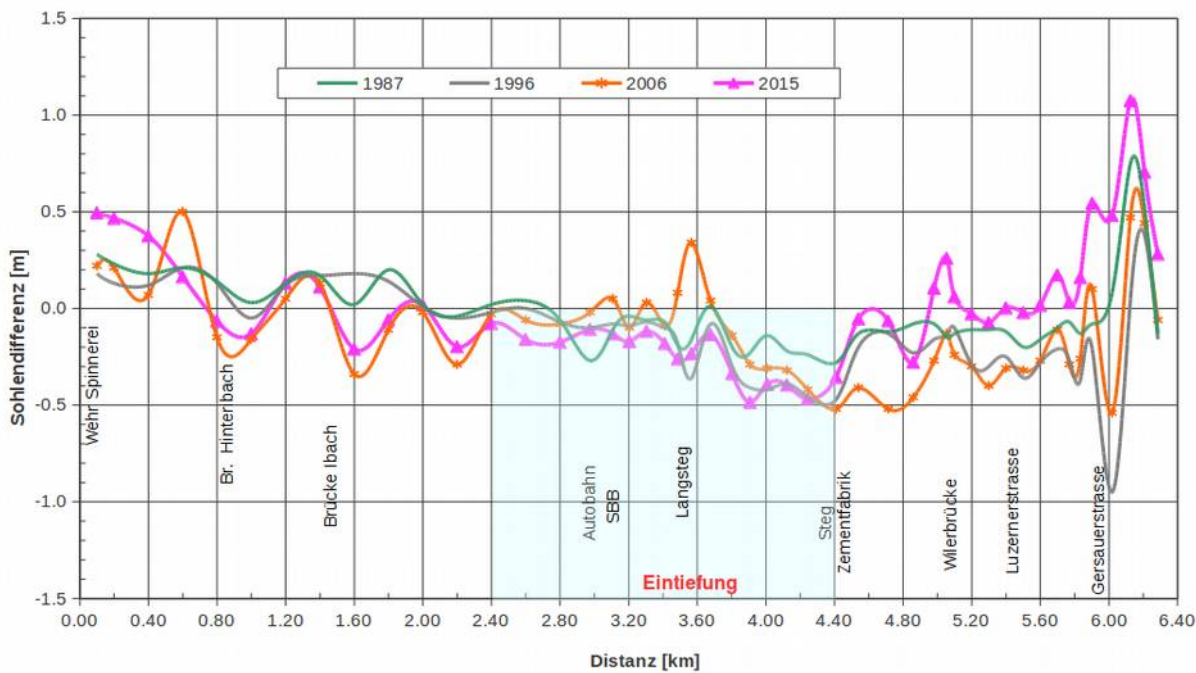


Abbildung 28: Sohlenveränderung Muota Hinteribach bis See (Bezugsjahr 1977)

6.3 Kostenschätzungen

Massnahme: Sahli „Geschiebeumleitungsstollen“

Kostenschätzung

Stollen

Länge	L=	270 m
Stollenausmass (Breite,Höhe)	B=	2.5 m
Aushubquerschnitt	A=	15 m ³

Pos.	Beschreibung	Mass	Menge	Einheitspreis	Total
1	Baustelleninstallation / Wasserhaltung	P	1	20'000	20'000
2	Vorbereitungsarbeiten	P	1	20'000	20'000
3	Aushub inkl. Deponie	m ³	4050	40	162'000
4	Schalung doppelhäufig	m ²	5400	50	270'000
5	Bewehrungen	kg	54000	3	162'000
6	Beton liefern und einbringen	m ³	810	400	324'000
7	Fassung / Tirolerwehr	P	1	100'000	100'000
Total Bauarbeiten					1'058'000
	Bauprojekt / Bauleitung		10.0%		105'800
	Nebenkosten (Landerwerb; Geometer; Geologe; Entschädigungen; Versicherungen)		10.0%		105'800
	Uebrigtes / Unvorhergesehenes		15.0%		158'700
Zwischensumme					1'428'300
	MWSt.		8.0%		114'264
Total Baukosten (gerundet)					CHF 1'500'000

Massnahme: Sahli „Beschickungsstrecke“

Kostenschätzung

Beschickungsstrecke

Länge L= 50 m
 Breite B= 20 m

Pos.	Beschreibung	Mass	Menge	Einheitspreis	Total
1	Baustelleninstallation / Wasserhaltung	P	1	10'000	10'000
2	Vorbereitungsarbeiten	P	1	5'000	5'000
3	Abbruch Beton unbewehrt	m3	200	50	10'000
4	Materialabtrag und Schüttungen für Sohle	m3	2000	10	20'000
5	Raubettgerinne erstellen z.T. mit vorh. Material	m3	1500	50	75'000
Total Bauarbeiten					120'000
	Bauprojekt / Bauleitung		10.0%		12'000
	Nebenkosten (Landerwerb; Geometer; Geologe; Entschädigungen; Versicherungen)		10.0%		12'000
	Uebrigtes / Unvorhergesehenes		15.0%		18'000
Zwischensumme					162'000
	MWSt.		8.0%		12'960
Total Baukosten (gerundet)				CHF	170'000

Massnahme: Ibach „Rückbau Schwelle“**Kostenschätzung****Schwelle**

Breite	B=	23 m
Querschnitt	A=	4 m
Aushubquerschnitt	A=	30 m ³

Pos.	Beschreibung	Mass	Menge	Einheitspreis	Total
1	Baustelleninstallation / Wasserhaltung	P	1	20'000	20'000
2	Vorbereitungsarbeiten	P	1	20'000	20'000
3	Abbruch Betonriegel u. Deponie	m ³	92	100	9'200
4	Abbruch Blocksteine	m ³	230	30	6'900
5	Abtrennen Stahlträger	P	1	10'000	10'000
Total Bauarbeiten					66'100
	Bauprojekt / Bauleitung		10.0%		6'610
	Nebenkosten (Landerwerb; Geometer; Geologe; Entschädigungen; Versicherungen)		10.0%		6'610
	Uebrigtes / Unvorhergesehenes		15.0%		9'915
Zwischensumme					89'235
	MW St.		8.0%		7'139
Total Baukosten (gerundet)				CHF	100'000

Massnahme: Stalden „Rückbau Schwelle“**Kostenschätzung****Schwelle**

Breite	B=	8 m
Querschnitt	A=	4 m
Länge Uferschutz	L=	30 m
Brückenbreite	B=	4 m

Pos.	Beschreibung	Mass	Menge	Einheitspreis	Total
1	Baustelleninstallation / Wasserhaltung	P	1	20'000	20'000
2	Vorbereitungsarbeiten	P	1	20'000	20'000
3	Betonabbruch u. Deponie	m3	32	100	3'200
4	Blocksatz für Uferschutz	t	240	100	24'000
5	Rückbau Brücke	P	1	15'000	15'000
6	Brückenneubau	m2	32	7'000	224'000
Total Bauarbeiten					306'200
	Bauprojekt / Bauleitung		10.0%		30'620
	Nebenkosten (Landerwerb; Geometer; Geologe; Entschädigungen; Versicherungen)		10.0%		30'620
	Uebrigtes / Unvorhergesehenes		15.0%		45'930
Zwischensumme					413'370
	MW St.		8.0%		33'070
Total Baukosten (gerundet)				CHF	450'000

6.4 Gerinneformen nach Ahmari & Da Silva (2011)

Die VZH stützt sich für die Ermittlung der Gerinneform auf die Publikation von Ahmari & Da Silva (2011). Darin wird im wesentlichen eine revidierte Version des Diagramms von Yalin & Da Silva (2001) präsentiert. Das Diagramm erlaubt eine Einschätzung der Gerinneform abhängig von der relativen Gerinnebreite B/h und der relativen Fliesstiefe h/D . Die freien Parameter sind B = Fließbreite (flow width), h = Fliesstiefe (flow depth) und D = typische Korngrösse (typical grain size). Fliesstiefe h und Fließbreite B sind ihrerseits abhängig vom Abfluss. Die Autoren machen keine Angaben zum Abfluss, welcher bei der Bestimmung von h und B zu verwenden ist.

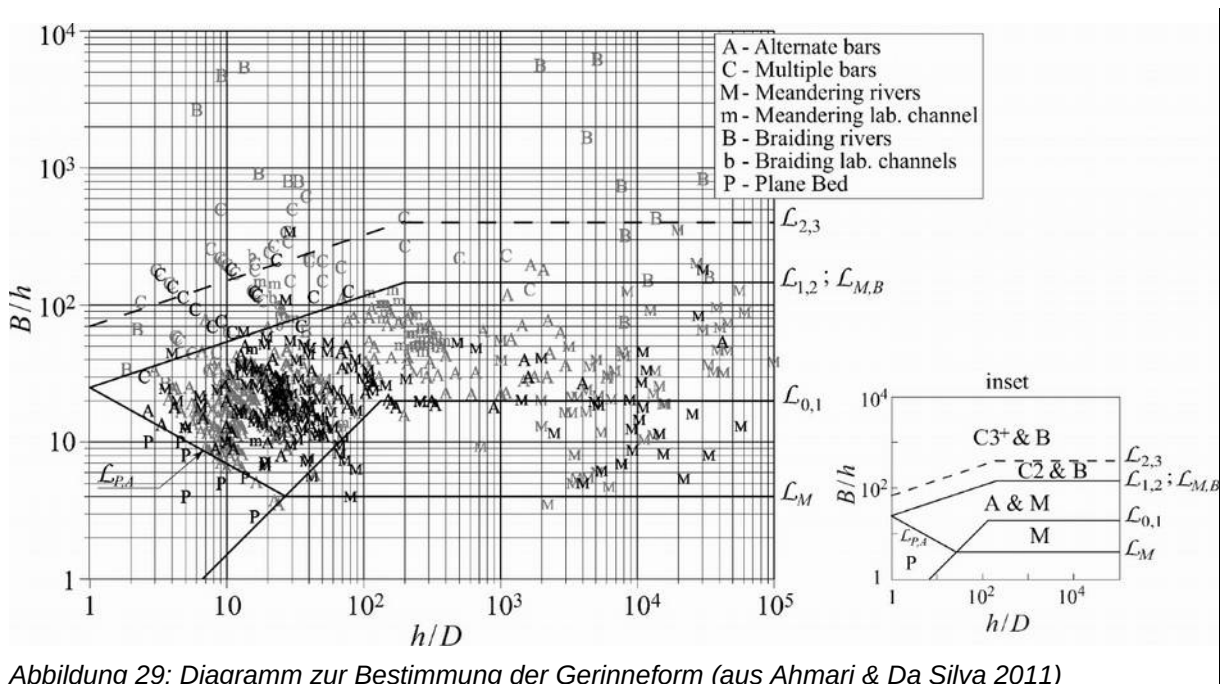


Abbildung 29: Diagramm zur Bestimmung der Gerinneform (aus Ahmari & Da Silva 2011)

Das Diagramm unterscheidet im wesentlichen zwischen folgenden Regionen:

P	Flüsse mit ebener Sohle
M	mäandrierende Flüsse
A & M	alternierende Bänke und mäandrierende Flüsse
C & B	mehreihige Bänke und verzweigte Flüsse

Die Region von Flüssen mit Bänken und ohne Bänke ist überlappend. Ebenso sind im Bereich C & B verzweigte Gerinne wie auch Flüsse mit mehreihigen Bänken möglich. Weitere Faktoren, welche die Abgrenzung der Gerinneformen beeinflussen können (wie Sohlengefälle und Sedimenttransport, vgl. / 15/, /16/) werden nicht berücksichtigt.

In der VZH wird das Diagramm ergänzt und die Zuordnung der Gerinneformen abgeändert. Ein Blick auf das Original (Abbildung 29) legt nahe, dass die Unsicherheit bei der Zuordnung der Gerinneformen wesentlich grösser ist als in der VZH angenommen.