

INHALT

1	Zusammenfassung	4
2	Anlass und Auftrag	5
2.1	Überblick.....	5
2.2	Planungsauftrag	5
2.3	Ziel des Vorprojekts	5
2.4	Partizipation und Information.....	5
2.5	Projektperimeter	6
3	Ausgangssituation.....	7
3.1	Historische Ereignisse	7
3.2	Übergeordnete Planungen	8
3.3	Aktuelle Nutzungen	9
3.4	Charakteristik des Einzugsgebiets	9
3.5	Hydrologische Verhältnisse, Hochwasserabflussmengen	10
3.6	Bestehende Gerinnekapazität	11
3.7	Gewässerzustand (Ökomorphologie Stufe F).....	12
3.8	Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse	12
3.9	Mögliche Gefahrenarten (Prozesse)	16
3.10	Beurteilung der bestehenden Schutzbauten.....	16
3.11	Analyse der Schwachstellen entlang des Gewässers.....	19
4	Projektannahmen	20
4.1	Bedürfnisse und Anliegen der Begleitgruppe	20
4.2	Haupt- und Entwicklungsziele	20
4.3	Gewählte Schutzziele.....	22
4.4	Dimensionierungsgrößen	24
4.5	Hydraulische Dimensionierung	24
4.6	Ökologische Defizite und Ökologische Entwicklungsziele	24
5	Schadenpotenzial / Risiko	25
6	Massnahmenplanung	26
6.1	Variantenstudien	26
6.2	Variantenentscheide	35
6.3	Unterhaltsmassnahmen	35
6.4	Raumplanerische Massnahmen	35
6.5	Bauliche Massnahmen	40
6.6	Ökologische Massnahmen	45
6.7	Erschliessungsstudie – Neue Brücken im Mittellauf.....	48
7	Auswirkungen der Massnahmen	50
7.1	Siedlung und Nutzflächen	50
7.2	Ökologie, Natur und Landschaft.....	50
7.3	Gewässerökologie und Fischerei	50
7.4	Grundwasser	50
7.5	Landwirtschaft.....	51
8	Verbleibende Gefahren und Risiken	52
9	Umsetzung der verbleibenden Gefahren in die Richt- und Nutzungsplanung.....	52
10	Kostenvoranschlag	52
10.1	Massenbilanz	52
11	Erfolgskontrolle	53

12	Weiterer Projektablauf.....	53
12.1	Weiteres Vorgehen	53
12.2	Pflichtenheft.....	53
13	Grundlagen.....	54
14	Bild- und Quellverzeichnis	54
15	Anhang.....	55
15.1	Bestehende Gerinnekapazität	55
15.2	Kostenschätzung	57
15.3	Einzelprotokolle Kernbohrungen	58

1 ZUSAMMENFASSUNG

Die Naturgefahrenkarte weist im Siedlungsgebiet von Studen verbreitet mittlere Gefährdungen für Überschwemmungen (blaue Gefahrenzonen) aus, primär als Folge von Geschiebeablagerungen im Sihl-Gerinne sowie Verklausungen durch Schwemmholz bei den Brückenquerschnitten. Die Schutzziele der kantonalen Naturgefahrenstrategie können nicht eingehalten werden. Auch die bestehenden Schutzbauten weisen Mängel auf. Im Abschnitt Schwyzerblätz bis Ochsenboden sind zahlreiche Verbauungen (Schwellen, Ufermauern) schadhaft. Abschnittsweise sind starke Auflandungen der Sohle vorhanden. Unterhalb des Geschiebesammlers Ochsenboden bis zur Studenbrücke sind die Ufermauern teils über 100-jährig und haben ihre Lebensdauer erreicht.

Auch der ökomorphologische Zustand weist massive Defizite auf. Das Gerinne wird auf weiten Strecken als naturfremd/künstlich oder stark beeinträchtigt klassiert. Die verbauten Abschnitte im Ochsenboden und unterhalb des Geschiebesammlers weisen ein mittleres bis grosses ökologisches Potential auf. Der natürliche Geschiebehaushalt des Systems ist durch die Geschiebesammler (Ochsenboden und Wisstannenbach) stark beeinträchtigt.

Mit dem Projekt werden insgesamt fünf allgemeine Hauptziele verfolgt.

Hochwassersicherheit	<ul style="list-style-type: none"> • Beseitigung der Hochwasserschutzdefizite • Instandstellung der bestehenden Schutzbauten
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> • Beseitigung der ökologischen Defizite • Ökologische Aufwertung
Landschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Landschaftliche Aufwertung
Erholung und Freizeit	<ul style="list-style-type: none"> • Aufwertung des Naherholungsraums
Ressourcen und Emissionen	<ul style="list-style-type: none"> • Rücksicht auf vorhandene Ressourcen • Gesellschaftliche Akzeptanz

Unter Berücksichtigung der definierten Haupt- und Entwicklungsziele wurden mittels Variantenvergleich zusammen mit der Projektgruppe und unter Einbezug einer Begleitgruppe die Bestvarianten je Abschnitt ermittelt. Die Bewertung der Variantenvergleiche stützten sich auf die obgenannten Hauptkriterien/-zielen. Folgende Massnahmen stellten sich als Bestvarianten heraus.

Abschnitt	Variante mit Massnahmenbeschrieb
Oberlauf	<p>Ertüchtigung durch Blockbelegung und Rähnenverbau</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rückbau zweier schadhaften Schwellen/Abstürze • Sanierung schadhaftes Ufer • Lokale Dammerhöhung zur Gewährleistung HQ100 im Bereich Bauten Rheinmetall • neues Planum: Sohlenbreite 8-10 m; Böschungsneigung 1:2 (altes Ufer überschüttet) • Blockbelegung 12% bis 18 % (Längsgefälle 2.5 bis 3.5 %) • Erstellen einer Ablagerungsfläche für Aushub unterhalb des Dammes Ochsenboden
Mittellauf	<p>Mäander moderat</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rückbau Brückenübergänge • Rückbau der Bruchsteinbelegung, Ufermauern und Gerinneübergänge • Mäandrierender Gerinneverlauf • neues Planum auf tieferer Lage: Sohlenbreite 8 m und variable Böschungsneigungen • Blockbelegung 12% bis 18 % (Längsgefälle 2.5 bis 3.5 %) • Neue Brücken ohne Pfeiler!
Unterlauf	<p>Aufweitung/Uferstruktur rechtsufrig</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entfernung Bruchsteinbelegung und Kiesschicht im gesamten Abschnitt (2'100 m) • Geländeabtrag für die Aufweitung zwischen Studenbrücke und Mündung Brünenbach • Einbau Flechtwerksbuhnen entlang der gesamten Gerinnestrecke (Abstand 30m) • Lokale Dammerhöhung zur Gewährleistung HQ30 bei den Häusern «Hintere Ängi»

	Stufen-Becken
Wisstannen- bach	• Unterfangung/Neuerstellung Blocksatz
	• Ersatz Holzkasten durch Blocksatz
	• Lose Blockbelegung zur Stabilisierung der Sohle
	• Rückbau Absturz (Höhe 4 m) und Wildbachschalenstrecke (Länge 100 m)
	• neues Planum: Sohlenbreite 4 m; Böschungsneigung 1:2
	• Stufen-Becken-Sequenzen
	• Erstellen Furt als Ersatz für best. Brücke.

Für einen ausgeglichenen Geschiebehaushalt und eine zusätzliche Geschiebedynamik im Mittellauf wird die Auslaufsperrung des Geschiebesammlers Ochsenboden in der Höhe um circa 1.5 m abgesenkt und mit einem Schwemmholzrechen ergänzt. Oberhalb der Studenbrücke wird ein neuer Geschiebeablagungsplatz (GAP) eingerichtet. Mit der Neugestaltung der Gerinne wird den geltenden Gewässerschutzbestimmungen entsprochen und das Gewässer als Lebensraum ökologisch wesentlich aufgewertet.

Mit der Bestvariante ist insgesamt ein zusätzlicher Flächenbedarf von circa 270 Aren und einen zusätzlichen Landbedarf/-erwerb von circa 105 Aren erforderlich. Die reinen Baukosten des Hochwasserschutzprojektes betragen circa 7.4 Mio. CHF exkl. MwSt. Die Gesamtkosten liegen bei 9.77 Mio. CHF inkl. MwSt. ohne Landerwerb und ohne Brücken.

2 ANLASS UND AUFTRAG

2.1 Überblick

Die Sihl oberhalb des Sihlsees entwässert ein Einzugsgebiet von 32.4 km². Die Naturgefahrenkarte /1/ weist im Siedlungsgebiet von Studen verbreitete mittlere Gefährdungen infolge Überschwemmungen (blaue Gefahrenzonen) aus. Massgebend sind Geschiebeablagerungen im Gerinne sowie Verklausungen durch Schwemmholz bei Brückenquerschnitten. Die Schutzziele der kantonalen Naturgefahrenstrategie /2/ können nicht eingehalten werden. Auch die bestehenden Schutzbauten weisen Mängel auf: Im Abschnitt Schwyzerblätz bis Ochsenboden sind zahlreiche Verbauungen (Schwellen, Ufermauern) schadhaft. Abschnittsweise sind auch starke Auflandungen der Sohle vorhanden /5/. Unterhalb des Geschiebesammlers bis zur Studenbrücke sind die Ufermauern teils über 100jährig und haben ihre Lebensdauer erreicht.

Auch der ökomorphologische Zustand weist massive Defizite auf: Das Gerinne wird auf weiten Strecken als naturfremd/künstlich oder stark beeinträchtigt klassiert /3/. Die verbauten Abschnitte im Ochsenboden und unterhalb des Geschiebesammlers weisen ein mittleres bis grosses ökologisches Potential auf /7/. Der natürliche Geschiebehaushalt des Systems ist durch die Geschiebesammler (Sihl und Wisstannenbach) stark beeinträchtigt /6/.

2.2 Planungsauftrag

Im Auftrag des Bezirks Schwyz hat bpp Ingenieure AG das Vorprojekt für die Hochwasserschutzmassnahmen an der Sihl erarbeitet.

2.3 Ziel des Vorprojekts

Für den Projektperimeter ist ein Vorprojekt zur Verbesserung der Hochwassersicherheit und zur ökologischen Aufwertung zu erarbeiten unter Berücksichtigung der Anforderungen an den Geschiebehaushalt.

2.4 Partizipation und Information

2.4.1 Begleitgruppe

Um die Anliegen und Ansprüche der Bevölkerung resp. diversen Interessensgruppen (Landwirtschaft, Schutzorganisationen, Vertretung Grundeigentümer, Gemeinde, Langlaufclub) besser in das Projekt zu integrieren, wurde eine Begleitgruppe gegründet. Diese setzt sich wie folgt zusammen:

Interessensgruppe	Person/en
Bezirk Schwyz	Michael Betschart, Thomas Reichmuth
Bezirk Einsiedeln	Mark Egloff
Gemeinde Unteriberg	Hanspeter Hohl
Genossame Yberg	Albert Reichmuth
Wuhrkorporation Sihl	Daniel Fässler
Bauernvereinigung Kanton Schwyz	Albin Fuchs
Schwyzner Umweltrat	Michael Erhardt
Schwyznerischer Fischereiverband	Reini Günthard
Aqua Viva	Esther Leitgeb
Langlaufclub Studen	Gabriel Fässler
Planer (bpp Ingenieure AG)	Max Birchler
Moderation (P. Meier & Partner AG)	Markus Jud

Die Begleitgruppe begleitet die Planung bis zum Auflageprojekt. Die Mitglieder dienen als Ansprechstelle bei Fragen und Anliegen aus der Bevölkerung.

2.4.2 Projektgruppe

Die Bauherrschaft ist der Bezirk Schwyz. Das Hochwasserschutzprojekt wurde in einer Projektgruppe mit verschiedenen Vertretern seitens Fachstellen, Bezirksgemeinde, Wuhrkorporationen, Eigentümern und Planern entwickelt. Die Projektgruppe setzt sich wie folgt zusammen:

Funktion	Person/en	Firma/Dienststelle
Bauherr	Remo Bianchi, Thomas Reichmuth	Bezirk Schwyz
Bauherr/Wuhr	Rolf Kälin	Wuhrkorporation Sihl
Bauherr/Wuhr	Erich Kälin	Wuhrkorporation Wisstannen – Stöckweidlibach
Bauherrenbegleitung	Cornel Beffa	beffa tognacca
Bezirksgemeinde	Andreas Baumgartner, Stefan Oechslin, Mark Egloff	Bezirk Einsiedeln
Eigentümer	Jürg Nachbur	Etzelwerk AG, SBB
Fachstelle	Marcel Budry, Andrea Lampietti	Amt für Gewässer, Kt. Schwyz
Fachstelle	Katharina Edmaier	Bundesamt für Umwelt
Planer	Max Birchler, Thomas Marty, Marc Styger	bpp Ingenieure AG
Fachplaner	Peer Bänninger	Jäckli Geologie AG

2.5 Projektperimeter

Der Projektperimeter umfasst das Gerinne der Sihl von Schwyzerblätz bis zur Mündung Sihlsee (Länge circa 5'500 m), sowie den Unterlauf des Wisstannenbachs (Länge circa 700 m).

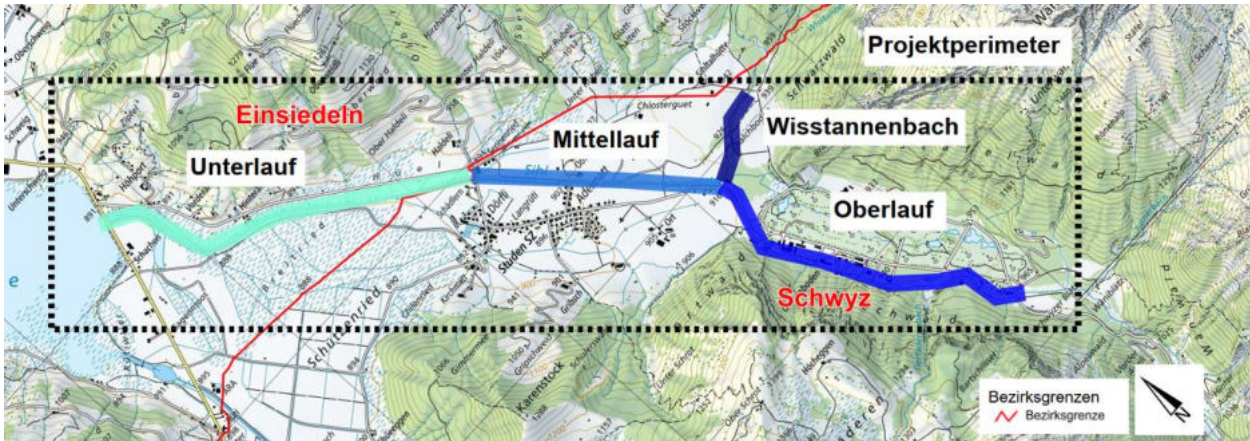


Abbildung 1: Projektperimeter mit Gewässer-Teilschnitte

3 AUSGANGSSITUATION

3.1 Historische Ereignisse

Der Ereigniskataster des Amtes für Wald und Naturgefahren (AWN) enthält nur sehr wenige Angaben. Es sind drei Hochwasser mit Bezug zu Studen erwähnt. In der untenstehenden Tabelle sind zwei zusätzliche Einträge aufgeführt (Hochwasserspür und aus Lokalpresse).

Datum	Beschreibung	Quelle
20.08.2002	Die starken Regenfälle vom Nachmittag lösten in der Nähe des Golfplatzes Ybrig im Ochsenboden bei Studen einen Erdrutsch aus. Dadurch wurde ein Bach im Gebiet Fluebrig/Diethelm auf das Gelände des Golfplatzes umgeleitet und zwei Bahnen mit Steinen und Schlamm bedeckt. Beschädigt wurde auch der Parkplatz beim Restaurant. Wasser drang in den Keller ein ohne grossen Schaden anzurichten.	/1/
02.06.2003	In Studen wurden mehrere Keller überschwemmt.	
23.08.2005	Ochsenboden/Staffelwand (HW oder Murgang?): über Golfplatz?! Kiessammler gefüllt. Strasse 200m verschüttet. Schattenwald/Höfli (HW oder Murgang?): über landw. Nutzfläche. Hinterwang (Hangmure?): über landw. Nutzfläche. Strasse verschüttet. Wang/Eigen (Hangmure?): 1 ha Wiesland betroffen.	
12.7.2010	Hochwasserspür bei der Brücke Oberstuden. Laut Mitteilung Anwohner floss die Sihl damals praktisch randvoll.	Begehung 2018



22.7.2018	<p>„Aus dem fast trockenen Bach wurde innert Sekunden ein reissender Fluss. Die Wassermassen schoben ganze Baumstämme vor sich her. Auch viel Geröll und Schlamm trug es Richtung Sihlsee. Fässlers eindruckliche Aufnahmen (unten) sind unter der St. Nikolausbrücke beim Übergang Einsiedlerstrasse entstanden. Der Wasserstand der Sihl war auf eine Höhe von 1,60 Metern angeschwollen.“</p> 	Bote der Urschweiz
-----------	---	--------------------

Abbildung 2: Angaben zu historischem Hochwasser

3.2 Übergeordnete Planungen

3.2.1 Kantonale Revitalisierungsplanung

In der Revitalisierungsplanung des Kantons /24/ wird der Sihlabschnitt zwischen dem Geschiebesammler Ochsenboden bis zur Mündung in den Sihlsee dem Massnahmentyp „Aufweiten“ zugeordnet. Die übrigen Abschnitte im Projektperimeter (Sihl Oberlauf, Wisstannenbach) sind nicht klassiert.

3.2.2 Nutzungsplanungen

Der Projektperimeter tangiert im Ober- und Mittellauf die Gemeinde Unteriberg und im Unterlauf die Bezirksgemeinde Einsiedeln. Folgende übergeordnete kommunalen und kantonalen Nutzungsplanungen (Sach-, Richt- und Zonenplan) überlagern den Projektperimeter.

- Zonenplan Gemeinde Unteriberg /16/
- Teilzonenplan Ochsenboden, Gemeinde Unteriberg /17/
- Inventarplan, Gemeinde Unteriberg /18/
- Zonenplan, Bezirk Einsiedeln /19/
- Landwirtschafts- und Schutzzonenplan, Bezirk Einsiedeln /20/
- Richtplan des Kanton Schwyz /21/
- Nutzungsplan Breitried /22/
- Entwicklungskonzept Sihlsee /23/

Die vorgesehene Revision der Nutzungsplanung Breitried erfolgt gemäss Rückmeldung vom Amt für Wald und Natur erst mit der Programmperiode 2025-28.

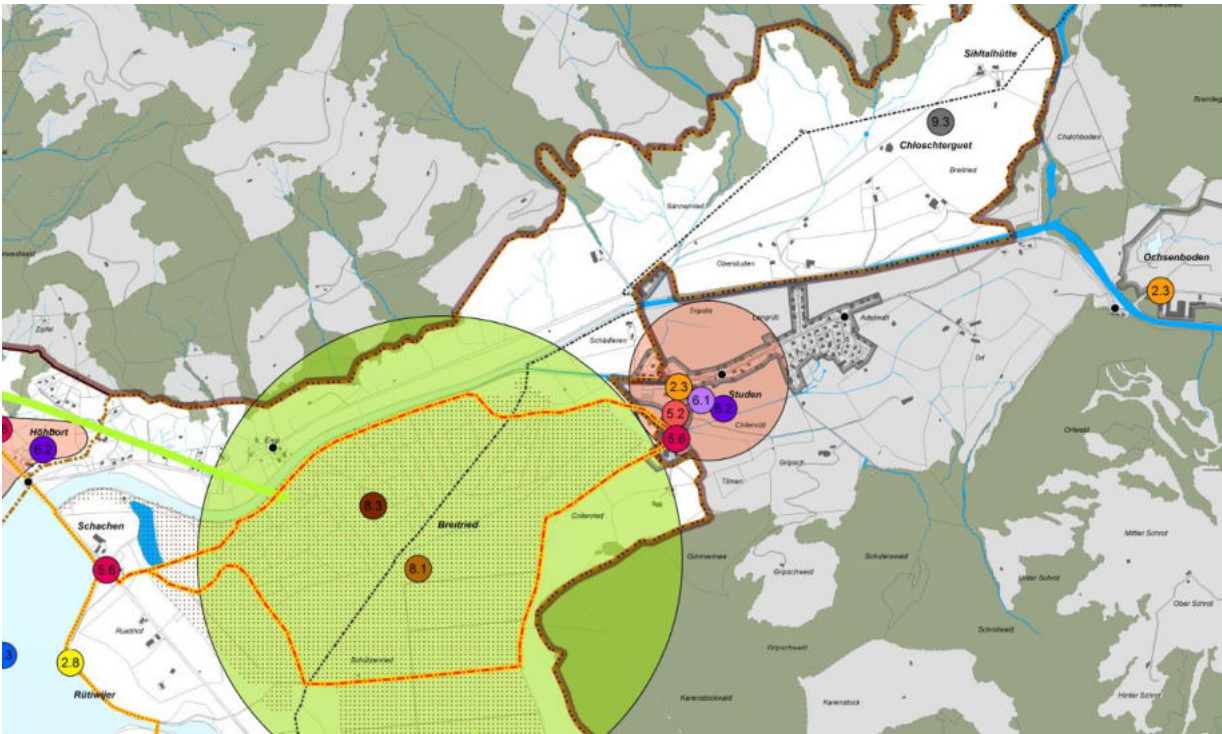


Abbildung 3: Ausschnitt Massnahmenplan Entwicklungskonzept Sihlsee

Beim Entwicklungskonzept Sihlsee ist um das Breitried (Sihl Unterlauf) ein Rundweg vorgesehen und beim Chlosterguet (Sihl Mittellauf) sind mögliche Wander- und Radwege zu prüfen. Diese Punkte sowie die übrigen oben aufgelisteten Planungen wurden beim vorliegenden Projekt beigezogen und berücksichtigt.

3.2.3 Revitalisierung Minster

Die Minster verläuft im Abschnitt zwischen der Einmündung der Waag bis zum Sihlsee mehrheitlich in einem hart verbauten Trapezgerinne mit durchgehender Sohlenpflasterung. Mit einer Verbreiterung und naturnahen Gestaltung des Gerinnequerschnittes sowie dem Bau von zwei grossen Aufweitungen soll die Minster ökologisch aufgewertet werden. Der Projektperimeter umfasst nebst dem heutigen Gerinneverlauf auch den Bereich des Breitrieds, welcher von der Minster vor dem Bau des Etzelwerks und deren Umlegung in den Sihlsee durchflossen wurde. Allfällige Synergien mit dem Projekt Sihl sollen in der Bauprojektphase geprüft werden.

3.3 Aktuelle Nutzungen

Innerhalb des potentiellen Überflutungsperimeters finden sich zahlreiche verschiedene Nutzungen. Im Abschnitt Ochsenboden sind die Gebäude und Infrastrukturanlagen der Rheinmetall AG und die Anlagen des Golfplatzes Ybrig betroffen. Unterhalb des Geschiebesammlers sind das Siedlungsgebiet von Studen mit Wohnnutzungen (Ein- und Mehrfamilienhäuser) und Gewerbebetriebe gefährdet sowie Einzelgebäude im Landwirtschaftsgebiet (Wohnhäuser, Ställe).

3.4 Charakteristik des Einzugsgebiets

Das natürliche Einzugsgebiet der Sihl oberhalb des Sihlsees umfasst eine Fläche von 32.4 km². Es wird begrenzt durch die Einzugsgebiete des Wägitals (Ost), von Waag / Minster (West) und des Eubaches (Nord).

Die Fliessdistanz vom höchsten Punkt des Einzugsgebietes (Druesberg 2281 m ü. M.) bis zur Einmündung in den Sihlsee (898 m.ü.M.) beträgt 11 km. Das Bruttogefälle liegt bei 13%. Die gesamte Gewässerlänge (LK25) beträgt rund 80 km.

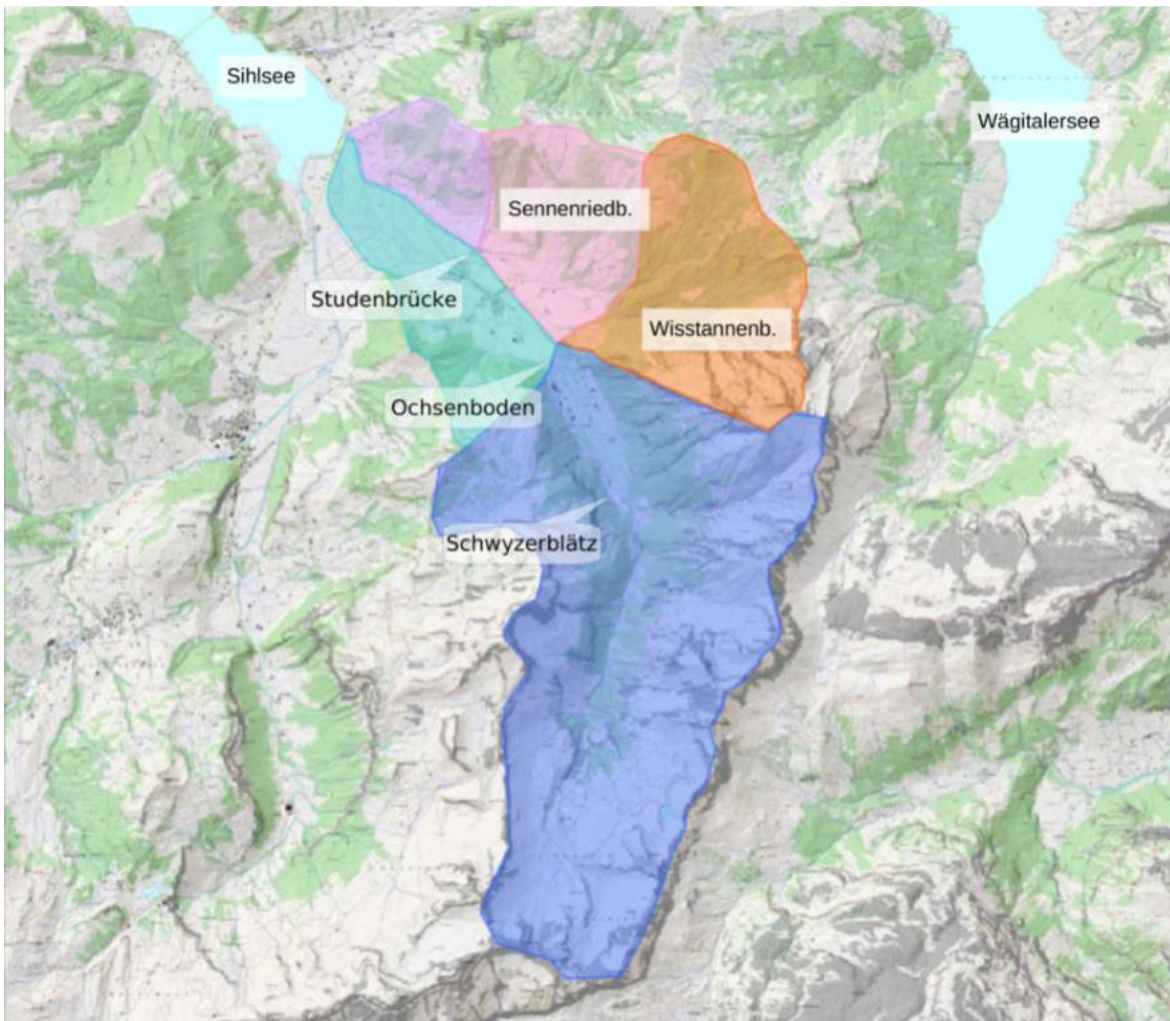


Abbildung 4: Einzugsgebiet der Sihl oberhalb Sihlsee

Tektonisch gliedert sich das Gebiet von Süd nach Nord in die Säntisdecke, in die allochthone (verschobene) Schuppenzone (Wisstannenbach) und die Flyschzone. Geologisch zählt das Einzugsgebiet zur unteren und oberen Kreide, dem Südhelvetikum (Schuppenzone von Einsiedeln) und dem Wägitaler Flysch /8/.

Die Böden der Hanglagen werden durch sehr flachgründige und skelettreiche Rendzina (U5, U7) gebildet /4/. Das Wasserspeichervermögen ist sehr gering, die Wasserdurchlässigkeit ist normal. Die Tallagen bilden feinkörnige Alluvionen (Q1, Cambisol gleyic) mit sehr gutem Wasserspeichervermögen und gehemmter Wasserdurchlässigkeit. Die Böden können dem Basistyp C (erforderliches Benetzungsvolumen 30 mm) zugeordnet werden.

Das Einzugsgebiet lässt sich grob einteilen in einen steilen Oberlauf (Sihltal bis Ochsenboden), einen mittelflachen Mittellauf (Ochsenboden bis Studenbrücke) und einen flachen Unterlauf (Studenbrücke bis See).

3.5 Hydrologische Verhältnisse, Hochwasserabflussmengen

Die Hochwasserabflussberechnungen für die Sihl werden aus der Vorstudie /13/ entnommen. Mit dem Programm HQx_meso_CH, welches auf verschiedenen empirischen Verfahren (Müller-Zeller, GIUB'96, Kürsteiner und Kölla) basiert, wurden bei der Vorstudie anhand der Gefahrenkarte /1/ die Hochwasserabflussmengen berechnet.

Standort	EZG [km ²]	HQ30 [m ³ /s]	HQ100 [m ³ /s]	HQ300 [m ³ /s]
Ochsenboden	17.5	50	70	100
Studenbrücke	27.6	75	105	130
Einmündung Sihlsee	32.4	90	120	145
Wisstannenbach	4.9	30	42	55
Sennenriedbach	1.0	8.5	13	19.5
Brünnenbach	2.6	15	21	30

Table 1: Hochwasserabflüsse der Sihl aus Naturgefahrenkarte

Die Hochwasserabflussmengen wurden im Rahmen der Vorstudie /13/ nochmals unabhängig und zur Nachvollziehbarkeit im Laufzeitverfahren von Kölla und der Formel von Kürsteiner berechnet (Table 2). Es stellte sich heraus, dass die Unterschiede zwischen den beiden Berechnungen meist unter 10% liegen.

Standort	EZG [km ²]	MHQ [m ³ /s]	HQ30 [m ³ /s]	HQ100 [m ³ /s]	HQ300 [m ³ /s]
Schwyzlerblätz	15.0	13	38	62	84
Ochsenboden	17.6	15	44 (50)	71 (70)	95 (100)
Ochsenboden mit Wisstannenbach	22.7	20	59	95	128
Studenbrücke mit Sennenriedb.	27.7	25	73 (75)	117 (105)	158 (130)
Einmündung Sihlsee	32.4	28	82 (90)	131 (120)	177 (145)

Table 2: Hochwasserabflüsse der Sihl aus Laufzeitverfahren (NGK-Werte in Klammern)

3.6 Bestehende Gerinnekapazität

Die Gerinnekapazität (siehe Anhang) wurde im Rahmen der Vorstudie /13/ bei den Gewässerabschnitten wie folgt abgeschätzt.

3.6.1 Oberlauf

Der Sihlabschnitt zwischen Schwyzlerblätz und Ochsenboden ist mittels Querschwellen gesichert. Der Uferschutz besteht aus Blocksatz und Betonmauern. Die Gerinnekapazität ist auf fast der gesamten Gewässerstrecke auch für seltene Hochwasser ausreichend (HQ100). Rechtsufrig auf einer Länge von circa 200 m ist das bestehende Gerinne bei einem HQ100 überlastet. In den aufgeweiteten Abschnitten beim Schwyzlerblätz (oberhalb und unterhalb Strassenbrücke) sowie besonders im Geschiebesammler Ochsenboden sind die Belastungen deutlich geringer.

3.6.2 Mittellauf

Unterhalb des Geschiebesammlers Ochsenboden bis Studenbrücke ist das Gerinne hart verbaut mit einer Sohle aus Bruchsteinen und Uferschutz aus Blocksatz und Beton. Für die häufigen Hochwasser (HQ30) ist die Gerinnekapazität ausreichend. Unterhalb der Studenbrücke läuft das Gerinne randvoll und es kommt zu Ausuferungen in das angrenzende Wiesland. Für grössere Hochwasser (HQ100) läuft das Gerinne im Abschnitt Breitried randvoll (Freibord null). Bei den Brückenquerschnitten (Oberstuden und Studenbrücke) fällt das Freibord unter 0.4 m. Bei noch grösseren Hochwasserereignissen (HQ300) reicht die Gerinnekapazität nicht mehr aus und die Brücken werden eingestaut. Es muss beidseitig mit flächigen Ausuferungen aus dem Gerinne gerechnet werden.

3.6.3 Unterlauf

Von der Studenbrücke bis zum Sihlsee fliesst die Sihl durch Ried- und Moorflächen. Im Gebiet Ängi befinden sich mehrere Wohnhäuser am rechten Sihlufer. Entlang des linken Ufers trennt ein Erdwall das Gerinne vom Flachmoor; im ursprünglichen Zustand waren Überflutungen des Moores häufiger. Die Fliesstiefen für das 100-jährliche Hochwasser erreichen Werte über 3.0 m. Es kommt aber schon vorher zu seitlichen Ausuferungen und damit zu einer Entlastung des Gerinnes (in der Staukurvenrechnung nicht berücksichtigt).

3.6.4 Wisstannenbach

Für den Wisstannenbach zeigt die Gefahrenkarte keine Ausuferungen. Der Bach ist aufgrund der zu geringen Gefälle nicht murgangfähig /1/. Entlang des Wisstannenbaches beschränken sich die Nutzungen auf Forst und Weidelandflächen. Es sind somit keine Schutzdefizite erkennbar.

3.7 Gewässerzustand (Ökomorphologie Stufe F)

Der ökomorphologische Zustand der Sihl (Modul Stufe F) wurde im Jahre 2004 erhoben. Im Projektperimeter ab Schwyzerblätz wird das Gerinne mehrheitlich als «stark beeinträchtigt» oder «naturfremd/künstlich» beurteilt. Dies entspricht den tiefsten Klassierungen, welche für das offene Gerinne möglich sind. Die Gewässersohle und die Ufer im Abschnitt vom Ochsenboden bis zur Studenbrücke sind durchgehend hart verbaut und sind als «naturfremd/künstlich» und «stark beeinträchtigt» kartiert. Der Unterlauf wird als «stark beeinträchtigt» bewertet, da die Sohle verbaut und das Gerinne begradigt ist. Kartiert wurden auch zahlreiche Abstürze, welche sich hauptsächlich im Oberlauf befinden. Über den gesamten Projektperimeter betrachtet ist der ökomorphologische Zustand somit ausgesprochen schlecht. Die seitliche Vernetzung ist im Ober- und Mittellauf aufgrund der teilweise senkrechten Uferverbauungen stark eingeschränkt.

3.8 Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse

3.8.1 Geologische Verhältnisse

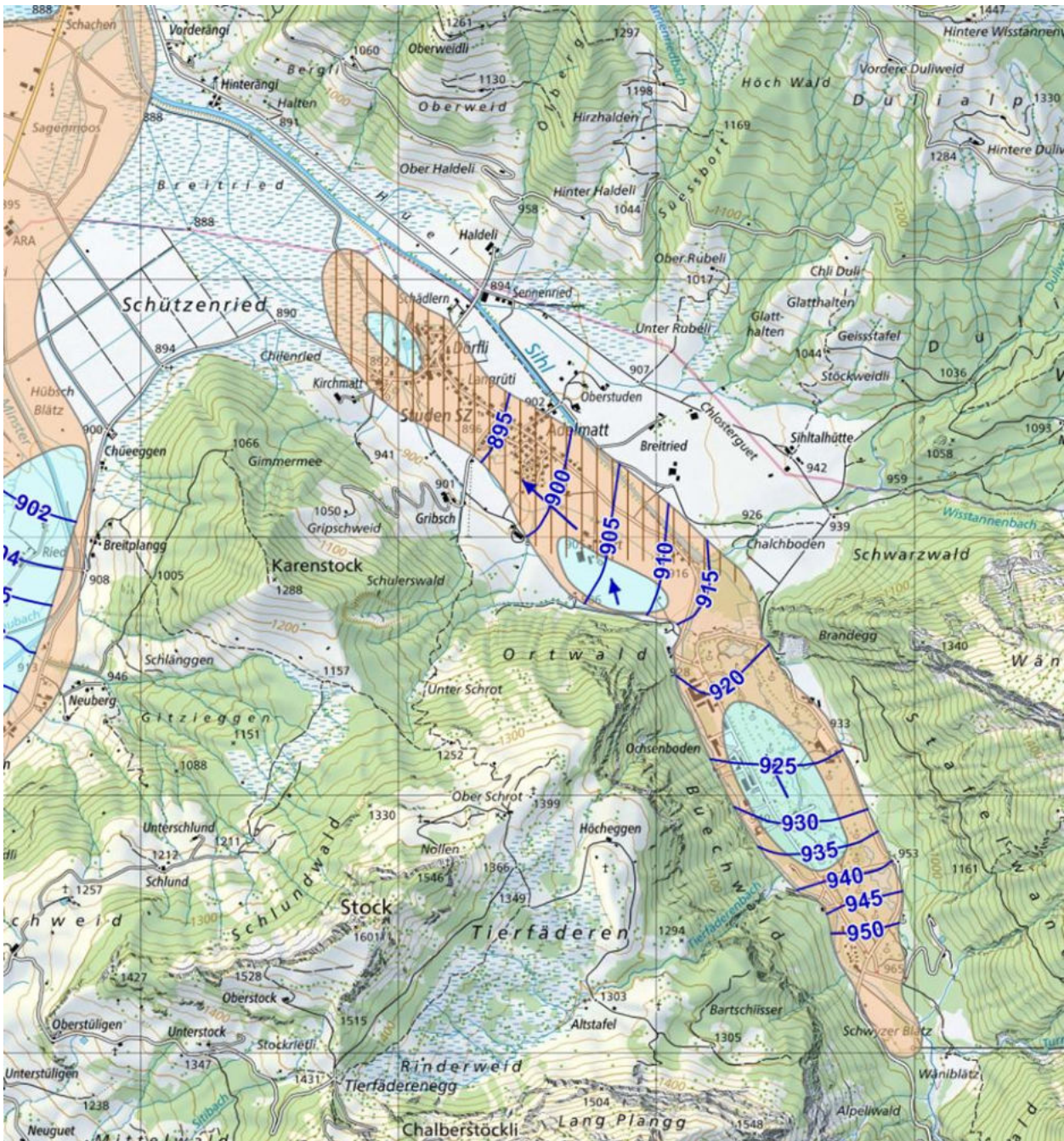
In tektonischer Hinsicht liegt der südöstliche Projektabschnitt (Ochsenboden) an der Stirn der Helvetischen Drusbergdecke. Deren Schichtglieder (*Kieselkalk*, *Drusbergschichten*, *Schrattenkalk*) bauen den Felsuntergrund des Tales und der Talflanken auf. Weiter Nordöstlich, im Gebiet Studen bis zum Sihlsee, besteht der Felsuntergrund aus ultrahelvetischem *Wäggitaler Flysch* und Gesteinen der «*Einsiedler Schuppenzone*».

Während den Eiszeiten wurde der Felsuntergrund im Talboden durch den Gletscher tief ausgehobelt. Die nacheiszeitlich abgelagerte Talfüllung besteht aus feinkörnigen, teilweise torfhaltigen *Verlandungssedimenten* und *Seeablagerungen* sowie aus sandig-kiesigen *Flussablagerungen* der Sihl. Am Talrand verzahnen sich diese Ablagerungen mit *Gehängeschutt* und *Bachschutt* der Seitengerinne.





Im Rahmen der Projektierung wurden im Gebiet Studen, Nahe der Sihl, die zwei Kernbohrungen Nr. 21-1 und 21-2 abgeteuft (Einzelprotokolle Kernbohrungen vgl. Anhang 14.3). Dabei wurden bis zur Endtiefe der Bohrungen in 6 m Tiefe tonig-siltige, torfdurchsetzte Verlandungssedimente und kiesige Flussablagerungen angetroffen.

3.8.2 Grundwasserverhältnisse



Im Talboden zirkuliert ein lokales Grundwasservorkommen (*Abbildung 3*). Ergiebigeres Grundwasservorkommen wurden bei früheren hydrogeologischen Untersuchungen /14/ u. /15/ hauptsächlich im Gebiet Ochsenboden und im Gebiet Ort in kiesigen Schichten erschlossen. Das Vorkommen im Ochsenboden ist hauptsächlich durch die Sihl gespiesen, während das Vorkommen bei Ort zu einem wesentlichen Teil aus von Süden her zufließendem Karstwasser gespiesen wird. Im übrigen Gebiet ist das Grundwasser-Dargebot aufgrund der grösstenteils feinkörnigen, schlecht wasserdurchlässigen Schichten mässig bis gering und nur sehr beschränkt nutzbar.



Schotter-Grundwasserleiter in Tälern

-  Gebiet geringer Grundwassermächtigkeit (meist weniger als 2 m) oder geringer Durchlässigkeit. Randgebiet mit unterirdischer Entwässerung zum Grundwassernutzungsgebiet
-  Gebiet mittlerer Grundwassermächtigkeit (2 bis 10 m)
-  Gebiet grosser Grundwassermächtigkeit (10 bis 20 m)
-  Gebiet sehr grosser Grundwassermächtigkeit (mehr als 20 m)

Beschaffenheit von Grundwasserleitern

-  Schlecht durchlässige Deckschichten von meist mehr als 5 m Mächtigkeit (Moränen, Seebodenlehm, Schwemmlöhme)
-  Gebiet mit reduzierenden Verhältnissen im Grundwasser

Hydrogeologische Angaben


-  444 Isohypsen des Grundwasserspiegels bei Mittelwasserstand

Abbildung 5: Ausschnitt aus der Grundwasserkarte 1:25'000

3.8.3 Grundwasserspiegel

Gemäss der Grundwasserkarte (Abbildung 3) liegt der mittlere Grundwasserspiegel wenige Meter unter der Terrainoberfläche. In den Piezometerrohren der Kernbohrungen Nr. 21-1 und 21-2 lag der gemessene Wasserspiegel am 11.8.2021 und am 15.11.2021 in 3.2 m Tiefe (ca. 898 m ü.M.) resp. 2.6 m Tiefe (ca. 904 m ü.M.).

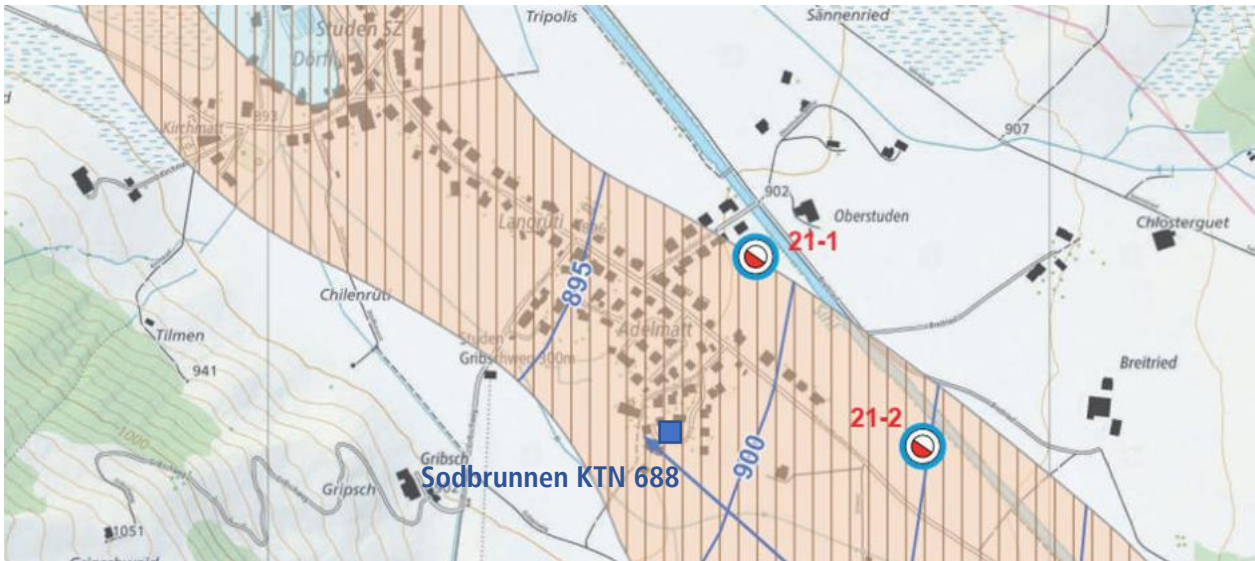


Abbildung 6: Lage der Grundwasser-Messstellen

Zur langfristigen permanenten Überwachung des Grundwasserspiegels wurden in den Piezometerrohren der Kernbohrungen Nr. 21-1 und 21-2 je ein Drucksensor mit Datenlogger eingebaut. Die bisherigen gemessenen Wasserspiegel sind in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt. Aus den Ganglinien sind Grundwasserspiegel-Schwankungen von ca. 0.7 m ersichtlich. Diese korrelieren im August und September mit bei der Station Euthal gemessenen Niederschlagsereignissen mit einer Verzögerung von rund 1 Tag (die Niederschlagsdaten vom Oktober und November waren zum Zeitpunkt der Berichtverfassung noch nicht verfügbar).

Die gemessenen Grundwasserspiegel liegen rund 1.7–2.5 m *unter* der Sohle der Sihl.

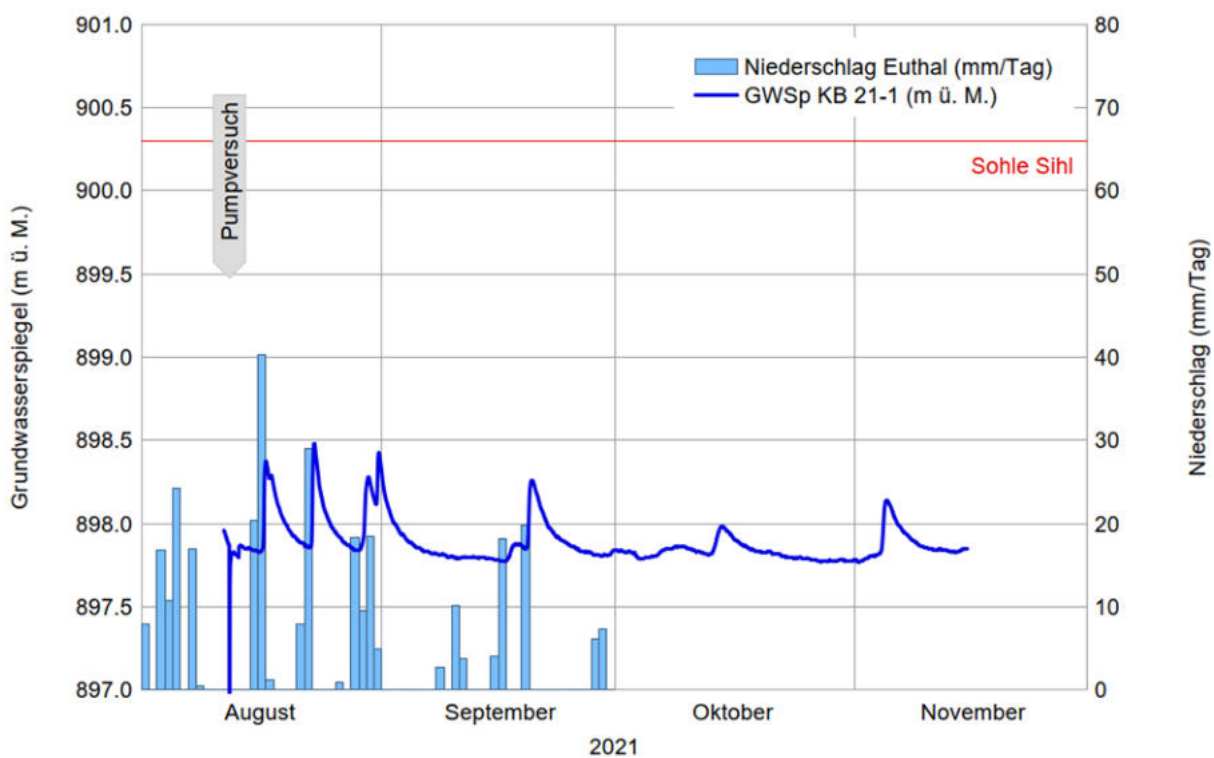


Abbildung 7: Grundwasserspiegel Messstelle Nr. 21-1

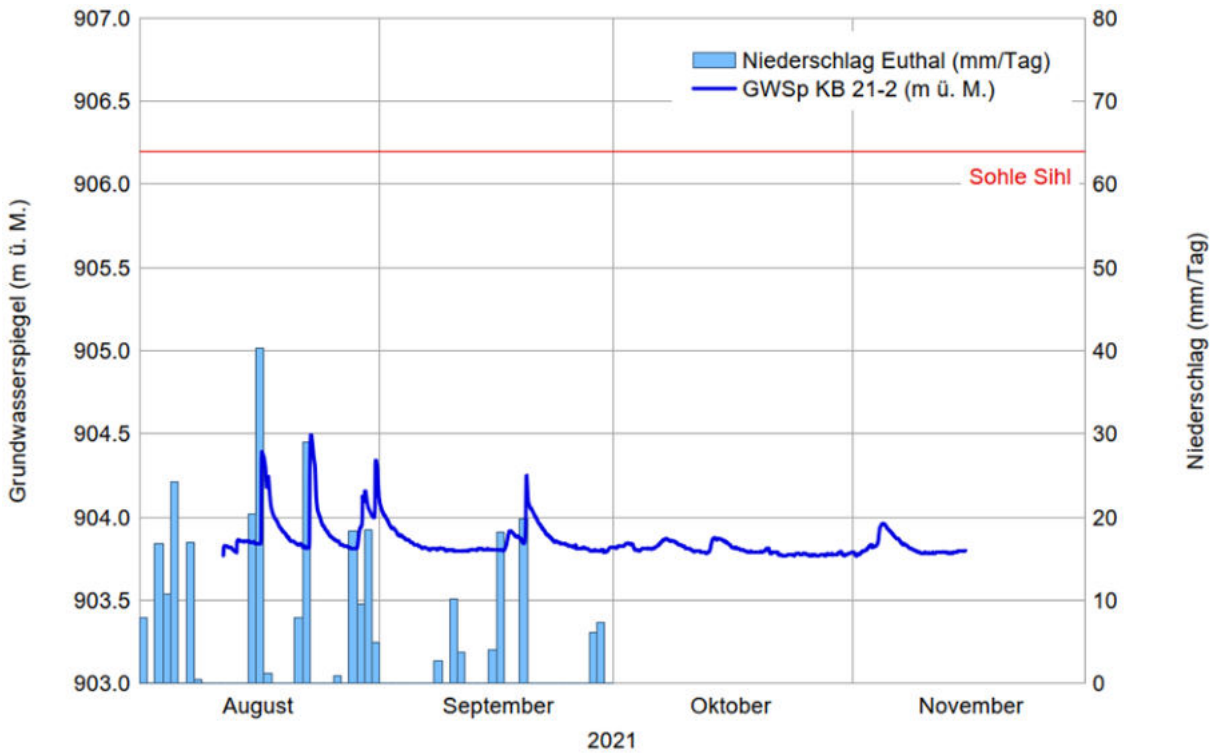


Abbildung 8: Grundwasserspiegel Messstelle Nr. 21-2

3.8.4 Durchlässigkeit

Zur Ermittlung der Durchlässigkeit des Untergrundes wurde in den Piezometerrohren Nr. 21-1 und 21-2 je ein Pumpversuch durchgeführt. Dabei wurden die Piezometerrohre, trotz geringer Pumprate von 7–9 l/min, jeweils innert wenigen Minuten leer gepumpt und es stellte sich kein Beharrungszustand des Wasserspiegels ein. Die Durchlässigkeitsbeiwerte lassen sich gemäss den Ergebnissen der Pumpversuche anhand von mit Maximalwerten gemäss *Tabelle 3* eingrenzen.

Grundsätzlich ist im Projektabschnitt in sandig-kiesigen Schichten (Bachschutt, Flussablagerungen) von einer mässigen Durchlässigkeit und in den feinkörnigen Schichten (Verlandungssedimente, Seeablagerungen) von einer schlechten bis sehr schlechten Durchlässigkeit auszugehen.

Messstelle	Durchlässigkeitsbeiwert K
21-1	$< 1.1 \times 10^{-4}$ m/s *)
21-2	$< 2.7 \times 10^{-5}$ m/s *)

*) Maximalwert, Beharrungszustand nicht erreicht

Tabelle 3: Ermittelte maximale Durchlässigkeiten in Messstellen Nr. 21-1 und 21-2

3.8.5 Grundwassernutzung

In Studen-Adelmatt (KTN 688) besteht ein Sodbrunnen, welcher gemäss Grundeigentümerin nicht mehr genutzt wird. In Studen sind zwei Grundwasser-Fassungen (Brauchwasser) vorhanden.

3.9 Mögliche Gefahrenarten (Prozesse)

Die Gefahrenszenarien im Projektperimeter werden im Bericht zur Gefahrenkarte /1/ ausführlich behandelt. Die wesentlichen Aussagen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Prozess	Beschreibung
Reinwasser	Die Kapazität des Gerinnes reicht in den meisten Abschnitten für die Abführung der Reinwassermengen aller Szenarien. Im oberen Bereich sind beim Fussgängersteg Breitried knappe Kapazitäten auszumachen. Hier kommt es bei einem HQ300 zu Ausuferungen. Im Abschnitt unterhalb Studen ist vor allem im Bereich unterhalb der Brünenbachmündung mit einem leichten Überströmen der Dämme zu rechnen. Im untersten Gerinneabschnitt sind die Gerinnekapazitäten ausreichend.
Geschiebe	Bei einem HQ100 ist mit kleinen Auflandungen oberhalb der Brücke Studen zu rechnen. Bei einem HQ300 können zusätzlich Auflandungen im Bereich des Gefälleknicks beim Steg Breitried entstehen. Unterhalb der Brücke Studen sind Auflandungen aufgrund der geringen Transportkapazität nicht massgebend.
Schwemmholz	Verkläuerungen treten an folgenden Brücken auf: <ul style="list-style-type: none"> • Eisensteg Ochsenboden (1 Pfeiler): Teilverkläuerung HQ100, Vollverkläuerung HQ300 • Fussgängersteg Breitried und Brücke Oberstuden (1 Pfeiler): Teilverkläuerung HQ30 u. HQ100, Vollverkläuerung HQ300 • Studenbrücke (ohne Pfeiler): Teilverkläuerung HQ300

Tabelle 4: Gefahrenszenarien gemäss Naturgefahrenkarte

3.10 Beurteilung der bestehenden Schutzbauten

3.10.1 Oberlauf

Viele der 15 Querwerke in diesem Abschnitt weisen Schäden an der Überfallsektion und/oder im Kolkchutz auf. Durch die teilweise zerstörten Sperren erhöht sich die hydraulische Belastung im Ober- und Unterwasser. Die Foundation der Ufermauern wird durch die Abtiefung der Sohle freigelegt, wodurch zuerst die Fussessteine und später allenfalls die gesamte Mauer hinterspült werden und abrutschen können. Der konzentrierte Abflussstrahl führt im Unterwasser zu grösseren Kolkabmessungen, wodurch der Uferschutz und irgendwann die Sperre selbst versagen werden.

Die Tendenz zur Eintiefung besteht auch unabhängig vom Zustand der Sohlenfixpunkte. Auf längeren Abschnitten ist die Foundation des Uferschutzes freigelegt. In Abschnitten mit grosser Gerinnebreite ist zudem eine ausgeprägte Bankbildung zu beobachten, welche zu Reflexionen auf den seitlichen Ufern führt.



Ufermauer



lokale Unterkolkung der Ufermauer



flächige Unterkolkung



zerstörter Blocksatz



zerstörte Schwelle



Schwelle unterkolt und fehlender Sperrenflügel

Abbildung 9: Aufnahmen Oberlauf

3.10.2 Mittellauf

Der heutige Zustand der Bruchsteinbelegung und des Uferschutzes entspricht noch weitgehend dem ursprünglichen Projekt aus den 1930er Jahren. Die Betonmauer ist noch älter! Auf längeren Abschnitten sind die Ufermauern eingewachsen und der Zustand lässt sich visuell nicht bestimmen. Wo die Vegetation fehlt, zeigen sich Hohlräume und bröckelnder Beton mit geringer Festigkeit.



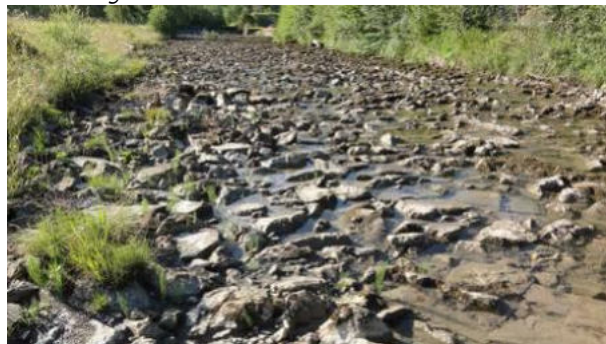
Ufermauer



Auskolkungen in den Ufermauern



Brücke Oberstuden mit Verklausungsrisiko



Bruchsteinsohle

Abbildung 10: Aufnahmen Mittellauf

3.10.3 Unterlauf

Von der Studenbrücke bis zur Einmündung des Brünenbaches ist die Sohle mit groben Bruchsteinen belegt. Auch der Folgeabschnitt weist eine grobe (zugeführte) Kiessohle auf, welche nicht den lokalen Strömungsverhältnissen entspricht.



Bruchsteinsohle



Kiessohle und Ufer

Abbildung 11: Aufnahmen Unterlauf

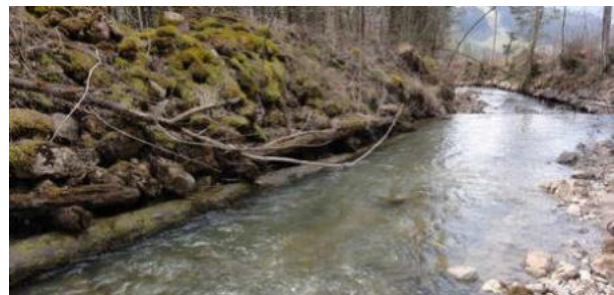
3.10.4 Wisstannenbach

Die bestehenden Schutzbauten sind abschnittsweise schadhaft. Der Bach weist eine Tendenz zur Eintiefung auf. Die Uferfundationen sind auf längeren Abschnitten freigelegt weshalb die Stabilität nicht mehr gewährleistet ist. Die Holzkästen als Uferverbauungen haben ihre Lebensdauer erreicht.

Direkt oberhalb des Geschiebesammlers ist das Gerinne auf einer Länge von 100 m als Wildbachschale hart verbaut. Ein unüberwindbares Hindernis stellt auch ein rund 4 m hoher Absturz beim Einlauf in den Geschiebesammler dar.



unterkolkte Ufer; Blocksteine abgeschwemmt



Holzkasten hat Lebensdauer erreicht



Absturzbauwerk eingangs Geschiebesammler



Wildbachschale Hartverbau

Abbildung 12: Aufnahmen Wisstannenbach

Die genaue Lage der einzelnen Schutzbauten und deren Schadensbilder ist den Situationsplänen „Bestand“ Mst. 1:500 (Plan Nr. 1432-1101, -1102, -2101, -2102, -3101, -3102, -3103, -4101) zu entnehmen.

3.11 Analyse der Schwachstellen entlang des Gewässers

Zonen geringer Gefährdung (gelb) finden sich praktisch den ganzen Siedlungsraum und den Ochsenboden verbreitet. Flächen mittlerer Gefährdung (blaue Zonen) werden in weiten Teilen des Siedlungsgebietes von Studen ausgewiesen. Flächen erheblicher Gefährdung (rot) beschränken sich auf die Gerinne der Sihl und der Seitenbäche.

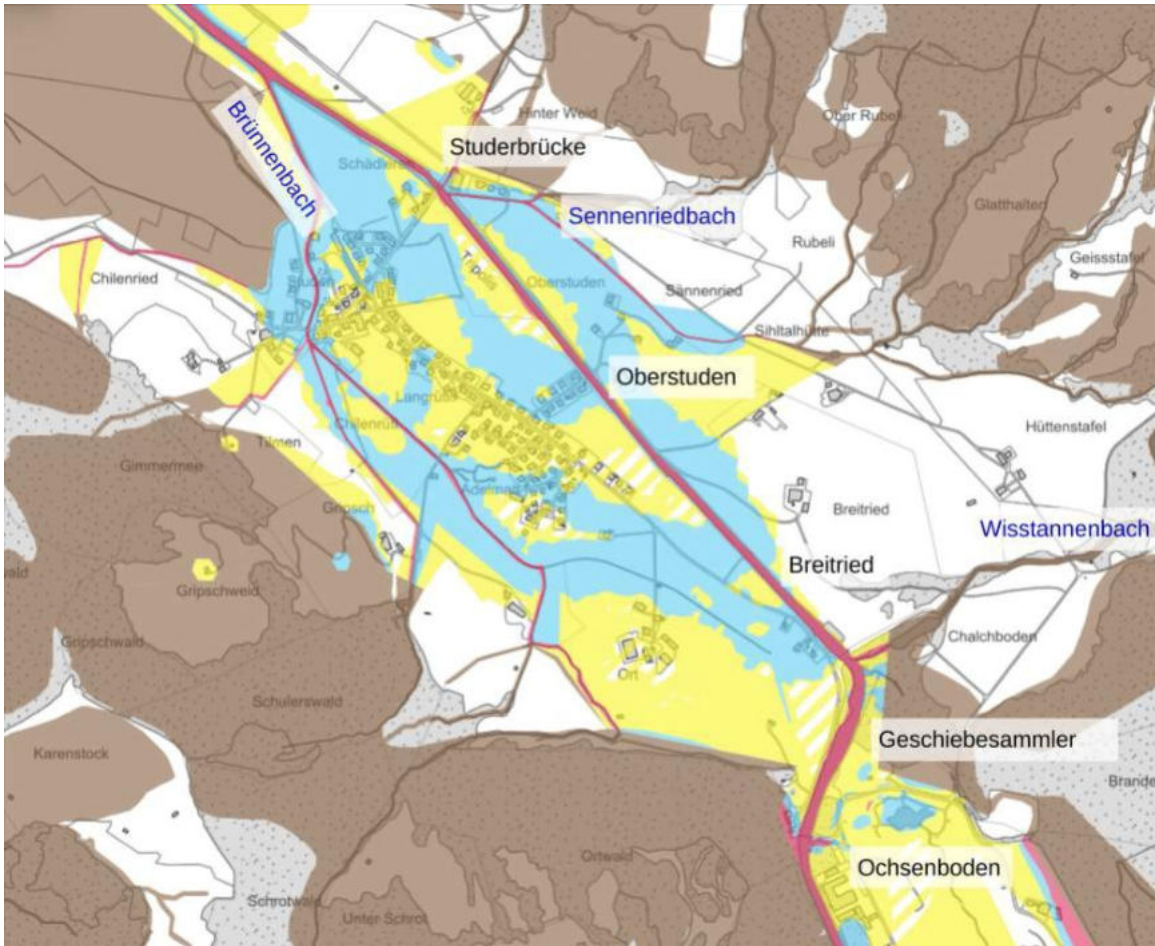


Abbildung 13: Naturgefahrenkarte

Das Verklauungsrisiko bei den Brückenstandorten (mit Pfeiler) wird als sehr hoch eingeschätzt. Dazu muss ergänzt werden, dass bei einer Verklauung die Leitwerke überströmt werden. Da ein Überströmschutz weitgehend fehlt, kann ein Versagen des Leitwerkes nicht ausgeschlossen werden. Liegt wie in unserem Fall die Gerinnesohle höher als das Umland, sucht sich das Hochwasser ausserhalb des Gerinnes seinen Weg im Umland. In der Naturgefahrenkarte nicht thematisiert ist der baufällige Zustand der Schutzbauten. Es besteht ein Risiko, dass die Leitwerke während einem Hochwasser spontan versagen könnten.

Ein weiterer Gefahrenprozess betrifft den Oberlauf (oberhalb Brücke Ochsenboden). Die Sihl verläuft am Hangfuss des Buechwaldes. Der steile Hang weist zahlreiche Runsen auf, welche aufgrund des hohen Gefälles murgangfähig sind. Solche Murstöße können sich im Gerinne der Sihl ablagern und Ausuferungen provozieren. Für den Wisstannenbach sind keine Schutzdefizite erkennbar.

4 PROJEKTANNAHMEN

4.1 Bedürfnisse und Anliegen der Begleitgruppe

Anlässlich der Begleitgruppensitzung vom 27. Mai 2021 wurden Anliegen und Ansprüche formuliert.

Hochwassersicherheit	Ökologie	Nutzung
<ul style="list-style-type: none"> Hochwasserschutz erhalten und verbessern Gewässerunterhalt nachhaltig sicherstellen Geschiebehauhalt / Geschiebedynamik unter Rücksicht des Hochwasserschutzes gewährleisten 	<ul style="list-style-type: none"> Verbesserung und Vergrößerung des Lebensraums Längs- und Quervernetzung optimieren Ökologische Rahmenbedingungen berücksichtigen (Moorschutz, Moorlandschaft, usw.) 	<ul style="list-style-type: none"> Landverlust und Nutzungseinschränkungen minimieren Erhalt und Optimierung Brücken, Wandwegnetz und Langlaufloipen Zugänglichkeit sicherstellen und Naherholungsgebiet schaffen

Tabelle 5: Bedürfnisse und Anliegen der Begleitgruppe

Die Bedürfnisse und Anliegen wurden im Rahmen der weiteren Projektbearbeitung berücksichtigt. Sie dienen zur Definition der Entwicklungsziele und zur Bewertung der Massnahmenvarianten. Dabei ging es darum sämtliche Interessen abzuwägen, wobei gewisse Interessenkonflikte unvermeidbar sind.

4.2 Haupt- und Entwicklungsziele

Mit dem Projekt werden insgesamt fünf allgemeine Hauptziele verfolgt.

Hauptziele	Beschreibung
Hochwassersicherheit	<ul style="list-style-type: none"> Beseitigung der Hochwasserschutzdefizite Instandstellung der bestehenden Schutzbauten
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> Beseitigung der ökologischen Defizite Ökologische Aufwertung
Landschaft	<ul style="list-style-type: none"> Landschaftliche Aufwertung
Erholung und Freizeit	<ul style="list-style-type: none"> Aufwertung des Naherholungsraums
Ressourcen und Emissionen	<ul style="list-style-type: none"> Rücksicht auf vorhandene Ressourcen Gesellschaftliche Akzeptanz

Tabelle 6: Hauptziele Projekt

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen und Restriktionen sind die Bedeutung der Hauptziele und Entwicklungsziele für die vier Projektabschnitte unterschiedlich.

Hauptziele pro Abschnitt	Oberlauf	Mittellauf	Unterlauf	Wisstannenbach
Hochwassersicherheit	Red	Red	Orange	Yellow
Ökologie	Yellow	Red	Red	Orange
Landschaft	Yellow	Red	Red	Orange
Erholung und Freizeit	Yellow	Red	Red	Yellow
Ressourcen und Emissionen	Orange	Red	Orange	Orange

Tabelle 7: Hauptziele pro Abschnitt

Legende

- Grosse Bedeutung des Entwicklungsziel in diesem Abschnitt
- Mittlere Bedeutung des Entwicklungsziel in diesem Abschnitt
- Geringe Bedeutung des Entwicklungsziel in diesem Abschnitt

Entwicklungsziele Hochwassersicherheit	Oberlauf	Mittellauf	Unterlauf	Wisstannenbach
1. Die Schutzziele gemäss kant. Naturgefahrenstrategie sind erfüllt.	Red	Red	Orange	Yellow
2. Der Geschiebebetrieb ist unter Gewährleistung des Hochwasserschutzes nicht beeinträchtigt.	Red	Red	Orange	Yellow
3. Die technischen Risiken sind gering.	Red	Red	Orange	Yellow
4. Der Überlastfall ist gutmütig.	Red	Red	Orange	Yellow

Entwicklungsziele Ökologie	Oberlauf	Mittellauf	Unterlauf	Wisstannenbach
5. Die Sihl kann seine natürlichen Funktionen wahrnehmen.	Yellow	Red	Red	Orange
6. Die Sihl verfügt über ausreichend Gewässerraum und eine gewässertypische Eigendynamik.	Yellow	Red	Red	Orange
7. Die Sihl bietet Lebensraum für standorttypische und sich selbst reproduzierenden Organismen, insbesondere der definierten Zielarten.	Yellow	Red	Red	Orange
8. Die Längs- und Quervernetzung an der Sihl ist gewährleistet.	Yellow	Red	Red	Orange
9. Die Konflikte mit übrigen schützenswerten Lebensräumen sind gering.	Yellow	Yellow	Red	Yellow

Entwicklungsziele Landschaft	Oberlauf	Mittellauf	Unterlauf	Wisstannenbach
10. Die Sihl passt sich als prägendes Element der Natur- und Kulturlandschaft in die Landschaft ein und wertet das Landschaftsbild auf.	Yellow	Red	Red	Orange
11. Dem landschaftlichen Wert der Sihl und seiner Bedeutung für die Moorlandschaft wird Rechnung getragen (Vielfalt, Naturnähe).	Yellow	Red	Red	Orange
Entwicklungsziele Erholung und Freizeit	Oberlauf	Mittellauf	Unterlauf	Wisstannenbach
12. Der Naherholungswert, die Aufenthaltsqualität und die Zugänglichkeit der Sihl wird aufgewertet.	Yellow	Red	Red	Yellow
13. Die Synergien hinsichtlich bestehender Erholungs- und Freizeitnutzung und Besucherlenkung sind gross und Konflikte gering (Langlaufloipe, Wanderwege, usw.)	Yellow	Red	Red	Yellow
Entwicklungsziele Ressourcen und Emissionen	Oberlauf	Mittellauf	Unterlauf	Wisstannenbach
14. Der Verlust von landwirtschaftlichem Kulturland ist möglichst gering. Der Gewässerraum lässt sich landwirtschaftlich rational extensiv nutzen.	Yellow	Red	Orange	Orange
15. Die Baukosten, die Kosten für den Betrieb und Unterhalt und die Zusatzkosten für Projektrisiken sind verhältnismässig und stehen in einem guten Kosten-Nutzen Verhältnis.	Orange	Orange	Orange	Orange
16. Die Emissionen während der Bauzeit und für den Betrieb und Unterhalt sind gering.	Orange	Orange	Orange	Orange
17. Das Projekt stösst mehrheitlich auf Akzeptanz bei den Anspruchsgruppen.	Red	Red	Red	Red

Tabelle 8: Entwicklungsziele

4.3 Gewählte Schutzziele

Schutzziele sind Teil der kantonalen Naturgefahrenstrategie (/2/). Sie definieren die tolerierbaren Gefahrenintensitäten in Abhängigkeit der vorhandenen oder künftigen Nutzungen. So gilt für die Objektkategorie Nr. 1.2 (Geschlossene Siedlungen; Gewerbe- und Industriegebiete; Bauzonen), dass für seltene Ereignisse (Wiederkehrperiode 100-300 Jahre) höchstens eine schwache Intensität auftreten darf. In der Gefahrenkarte entspricht dies im Wesentlichen einer geringen Gefährdung (gelbe Zone). Bei mehreren Einzelgebäuden, Weiher (Obj. Nr. 2.2) ist ab einem dreissigjährigen Hochwasser eine schwache Intensität zulässig. Für wichtige kantonale Verkehrswege (Obj. Nr. 3.1) sind bereits für regelmässig auftretende Hochwasser (Wiederkehrperiode < 3 Jahre) geringe Intensitäten tolerierbar. Für Flächen mit intensiver Landwirtschaft (Obj. Nr. 3.1) sind bei häufigen Ereignissen (Wiederkehrperiode 30 Jahre) mittlere Intensitäten zulässig (blaue Zonen).

Objektkategorien bei Punkt- und Flächennutzungen	Wiederkehrperiode eines nennenswerten Naturgefahrenereignisses (in Jahren)		
	< 30	30-100	100-300
1.1 Sonderobjekte	Schutzziel fallweise festlegen		
1.2 Geschlossene Siedlungen			
Gewerbe- und Industriegebiete			
Bauzonen			
Freizeit- und Sportanlagen (grosse Menschenansammlungen)			
Stationen von Beförderungsmitteln			
Campingplätze			
2.1 Mehrere Einzelgebäude, Weiler			
Freizeit- und Sportanlagen			
2.2 Einzelgebäude permanent/zeitweise bewohnt			
Ställe, Scheunen			
Unbewohnte Gebäude (Sachwert > ca. Fr. 100'000)			
3.1 Unbewohnte Gebäude (Sachwert < ca. Fr. 100'000)			
Schuppen, Schöpfe, Remisen			
Intensive Landwirtschaft			
3.2 Wander- und Fusswege (gelb)			
Flurwege			
Alpweiden mit grossen Viehbeständen			
Extensive Landwirtschaft			
3.3 Berg- und Wanderwege (rot-weiss, blau-weiss)			
Standortgebundene Bauten (Objektschutz erforderlich)			
Naturlandschaften			
Alpweiden			

Intensität	keine Einwirkung	schwach	mittel	stark
------------	------------------	---------	--------	-------

Abbildung 14: Schutzzielmatrix des Kantons Schwyz

Ausuferungen aus der Sihl im Mittellauf unterhalb des Geschiebesammlers tangieren dicht bebauten Siedlungsgebiet. Bereits geringe Ausuferungen können zu erheblichen Sachschäden führen. Für die Einhaltung der kantonalen Schutzziele ist ein vollständiger Schutz für häufige Ereignisse (Wiederkehrperiode bis 30 Jahre) erforderlich. Für seltenere Ereignisse sind höchstens schwache Intensitäten (Fliesstiefen bis 0.50 m) zulässig.

Im Rahmen des Vorprojekt wurden in folgende Schutzziele definiert:

Objektkategorie	Gewähltes Schutzziel	Abschnitt
Landwirtschaft / Wald	Kein Schutzziel	Teilweise Oberlauf linkes Ufer Unterlauf
Bewohnte Einzelgebäude	HQ30	Unterlauf im Bereich «Hintere Ängi»
Geschlossenes Siedlungsgebiet	HQ100	Mittellauf
Industriegebiet	HQ100	Oberlauf (rechtes Ufer)

Die Ergebnisse der Naturgefahrenkarte zeigen: Ausuferungen ins Siedlungsgebiet (v.a. Wohnquartiere) treten bereits für häufige Hochwasser auf. Betroffen mit schwacher Intensität sind total 46 Gebäude (EFH und MFH). Für das HQ100 erhöht sich die Anzahl auf 78, wovon 4 Objekte mit mittlerer Intensität betroffen sind.

4.4 Dimensionierungsgrössen

Die Dimensionierung der wasserbaulichen Schutzmassnahmen stützt sich auf die Abflussmengen gemäss Kapitel «Hydrologische Verhältnisse, Hochwasserabflussmengen».

Standort	EZG [km ²]	HQ30 [m ³ /s]	HQ100 [m ³ /s]	HQ300 [m ³ /s]
Ochsenboden	17.5	50	70	100
Studenbrücke	27.6	75	105	130
Einmündung Sihlsee	32.4	90	120	145
Wisstannenbach	4.9	30	42	55
Sennenriedbach	1.0	8.5	13	19.5
Brünnenbach	2.6	15	21	30

Tabelle 9: Hochwasserabflüsse der Sihl aus Naturgefahrenkarte

Für den Schutz des Siedlungsgebietes (Wohn-, Gewerbezone) vor Hochwasser erscheint eine Bemessung auf den 100-jährlichen Abfluss (HQ100) inklusive Freibord als zweckmässig. Gemäss kantonaler Naturgefahrenstrategie /2/ sind im Siedlungsgebiet für seltenere Hochwasser (HQ300) höchstens schwache Intensitäten (Fliesstiefen < 0.5 m) zulässig.

4.5 Hydraulische Dimensionierung

Durch die variable Gerinnegeometrie und die wechselnden Sohlgefälle stellt sich entlang des Projektperimeters mehrheitlich ein ungleichförmiger Abfluss ein. Die Ermittlung der Wasserspiegellagen im Längenprofil erfordert den Einsatz eines Staukurvenmodells. Am unteren Modellrand wird der Medianwert des Sihlsees während den Sommermonaten (888.5 m ü. M.) vorgegeben.

Für die Wahl der Uferhöhe wird grundsätzlich ein Mindestfreibord von 0.5 m angenommen. In Abschnitten mit ungleichförmigem Abfluss (starke Geometrieänderungen; Kurveneffekte) wird das Freibord bis maximal auf die Höhe der Energielinie erhöht.

4.6 Ökologische Defizite und Ökologische Entwicklungsziele

4.6.1 Oberlauf

Im Oberlauf fehlen infolge der Ufermauern die gewässergerechte Vegetation, die gewässertypischen Uferbereiche und die Quervernetzung wird dadurch auch unterbunden. Die Längsvernetzung und Fischwanderung ist infolge der fehlenden Wasserführung bereits heute eingeschränkt und kann dadurch nicht verbessert werden. Das ökologische Ziel ist daher der Rückbau der Ufermauern und die Aufwertung der Strukturvielfalt im Uferbereich durch die Schaffung einer Kraut- und Gehölzschicht.

4.6.2 Mittellauf

Der Mittellauf weist die meisten ökologischen Defizite auf. Die Gerinnesohle ist mit Bruchsteinen hart verbaut, die Ufermauern und Dämme schränken den Uferbereich und die Ufervegetation ein. Die Quervernetzung ist unterbunden. Durch die Begradigung, Einengung und fehlendes Geschiebe kann keine Mäandrierung und Ausbildung einer natürlichen Niederwasserrinne erfolgen. Die Fischwanderung ist abhängig vom Wasserstand. Es fehlt natürliches Sohlensubstrat für die Laichablage.

Die ökologischen Aufwertungsmassnahmen zielen darauf hin, den Mittellauf für die Seeforelle als Ziel- und Leitart aufzuwerten. Die mit Bruchsteinen belegte Gerinnesohle des Mittellaufs soll durch ein naturnahes Kiessohlensubstrat ersetzt werden. Der Gewässerraum und Uferbereich sollen aufgeweitet werden. Mit geeigneten Massnahmen (Kiesbänke, Blocksteine, Bühnen, Pools) soll durch eine Strukturvielfalt unterschiedliche Fließgeschwindigkeit im Mittel- und Unterlauf geschaffen werden, um damit neue Habitats für aquatische Lebewesen zu schaffen. Es soll eine durchgehende und zugängliche Uferbestockung geschaffen werden, welche als wichtige terrestrische Längsvernetzung und zur Beschattung des Gerinnes dient.

4.6.3 Unterlauf

Im Unterlauf fehlen im oberen Abschnitt durch die Bruchsteinbelegung der Sohle eine entsprechendes natürliches Sohlensubstrat sowie eine Niederwasserrinne. Durch die Begradigung kann keine fliessende Übergangszone (Flachufer) zwischen Wasser und Land entstehen. Im strukturarmen Gerinne sind keine Deckungsmöglichkeiten und tiefere Wasserstellen für die Fische vorhanden. Mit den ökologischen Massnahmen wird die befestigte Sohle entfernt und eine natürliche Kiessohle eingebracht. Die rechtsseitige Ausweitung ermöglicht in diesem Bereich eine offenerere und mäandrierende Gerinneführung. Durch den Verbau von Flechtwerkbuhnen werden die Uferbereiche, die Strukturvielfalt und die Gewässerdynamik aufgewertet und neue Habitate für Fische geschaffen. Ergänzungspflanzungen bei den Uferbestockungen unterstützen die Beschattung des Gerinnes sowie die Längsvernetzung.

4.6.4 Wisstannenbach

Der Wisstannenbach führt die meiste Zeit Wasser und würde daher der Bachforelle entsprechenden Lebensraum bieten. Das 3 m hohe Absturzbauwerk sowie die hart verbaute Wildbachschale stellen für die Bachforelle ein unüberwindbares Hindernis dar. Diese sollen durch eine fischgängige, aufgelöste oder strukturierte Blockrampe mit Pools ersetzt werden. Bei der Umgestaltung ist darauf achten, dass der bestehende und intakte untere Bachlauf und deren Auenlandschaft geschont wird.

4.6.5 Geschiebesammlersperre Ochsenboden

Die Geschiebesammlersperre Ochsenboden stellt für Fische und aquatische Lebewesen ein unüberwindbares Hindernis dar. Die Sihl im Oberlauf trocknet jeweils über einen längeren Zeitraum komplett aus und ist daher nur selten für Fische nutz- und durchwanderbar. Der Wisstannenbach hingegen führt die meiste Zeit Wasser. Eine Wiederherstellung der Fischwanderung würde somit vorwiegend der Längsvernetzung zwischen dem Wisstannenbach und dem Mittellauf der Sihl und somit der Bachforelle dienen. Zur Überwindung der Geschiebesammlersperre Ochsenboden müsste eine neue Fischtreppe gebaut werden. Dies wäre mit enormen baulichen Massnahmen verbunden und deren obgenannter Nutzen im Verhältnis zu den erforderlichen Kosten ist gering. Auf eine Wiederherstellung der Fischwanderung bei der Geschiebesammlersperre ist aus den obgenannten Überlegungen abzusehen.

5 SCHADENPOTENZIAL / RISIKO

Innerhalb des potentiellen Überflutungsperimeters finden sich zahlreiche verschiedene Nutzungen. Im Abschnitt Ochsenboden sind die Gebäude und Infrastrukturanlagen der Rheinmetall AG und die Anlagen des Golfplatzes Ybrig betroffen. Unterhalb des Geschiebesammlers sind das Siedlungsgebiet von Studen mit Wohnnutzungen (Ein- und Mehrfamilienhäuser) und Gewerbebetriebe gefährdet sowie Einzelgebäude im Landwirtschaftsgebiet (Wohnhäuser, Ställe).

Für die Quantifizierung des bestehenden Schadenpotentials wurden rund 100 Einzelobjekte (Gebäude) im Überflutungsperimeter unterhalb des Geschiebesammlers erfasst und anhand der Intensitätskarten (/1/) klassiert. Linien- und Flächennutzungen (Strassen, Landwirtschaft) wurden - da schadenmässig untergeordnet - nicht erfasst. Die Auswertung mittels EconoMe light ergibt für die Ist-Situation ein Gesamtrisiko von 180'000 CHF pro Jahr.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Schadenausmass [Mio. CHF]	Risikobetrag [CHF/a]
30	4.3	100'000
100	6.0	40'000
300	10.9	36'000
Summe		177'000

Tabella 10: Schadenausmass Hochwasser in Sihl Studen (EconoMe light)

Wird der jährliche Schadenerwartungswert mit einem Zinssatz von 4% kapitalisiert, resultiert ein Betrag von 4.5 Mio. CHF als ungefähre obere Summe für wirtschaftliche Investitionen.

6 MASSNAHMENPLANUNG

6.1 Variantenstudien

Im Rahmen der Vorstudie (/13/) wurden für alle vier Abschnitte (Unterlauf, Mittellauf, Oberlauf, Wisstannenbach) mehrere Varianten untersucht und miteinander verglichen. Gestützt auf die Ergebnisse der Naturgefahrenkarte, der Sanierung Geschiebehalt, der ökomorphologischen Beurteilung der Gerinne und ergänzender Feldaufnahmen sind im vorliegenden Vorprojekt die Defizite für die Sihl zwischen Schwyzerblätz und Sihlsee sowie am Unterlauf des Wisstannenbaches genauer identifiziert worden.

Im Vorprojekt wurden die empfohlenen Varianten aus der Vorstudie /13/ mittels genauen Feldaufnahmen nochmals kritisch hinterfragt und zusätzliche Teilvarianten ausgearbeitet. Die Kriterien und Teilkriterien sowie deren Bewertung des Variantenvergleich stützten sich auf die definierten Hauptziele und Entwicklungsziele: Hochwasserschutz, Ökologie, Landschaft, Erholung/Freizeit, Ressourcen, Emissionen. Die Varianten pro Projektabschnitt wurden unter Berücksichtigung der bestehenden Restriktionen/Beeinträchtigungen evaluiert und bewertet. Um eine ausgewogene Bestvariante zu erzielen (vgl. Spinnendiagramme) werden die Hauptziele/Hauptkriterien gleichmässig gewichtet. Untenstehend ist das Bewertungsschema ersichtlich.

Kriterium	Teilkriterium	Teilgewichtung	Gewichtung	Pmax	Bewertung
Hochwassersicherheit	Stabilität des Systems	100%	100%	6	1 bis 3 = ungenügend/nicht erreicht, 4 = genügend/erreicht, 5 = gut, 6 = sehr gut
Ökologie	Erreichung der ökologischen Ziele	50%	100%	6	1 bis 3 = ungenügend/nicht erreicht, 4 = genügend/erreicht, 5 = gut, 6 = sehr gut
	Auswirkungen der ökologischen Aufwertung	50%			
Landschaft	Einpassung in die Landschaft/Landschaftsbild	50%	100%	6	1 bis 3 = ungenügend/keine Qualität, 4 = genügend, 5 = gut, 6 = sehr gut
	Landschaftlicher Wert (Vielfalt, Naturnähe)	50%			
Erholung/Freizeit	Naherholungswert, Aufenthaltsqualität	60%	100%	6	1 bis 3 = ungenügend/keine Qualität, 4 = genügend, 5 = gut, 6 = sehr gut
	Zugänglichkeit, Fusswegnetz-/Langlaufloipe	40%			
Ressourcen	Landbedarf	20%	100%	6	1 bis 3 = ungenügend/nicht erreicht (zu hohe Kosten)
	Baukosten	40%			
	Kosten für Betrieb und Unterhalt	20%			
	Zusatzkosten für Projektrisiken (Altlasten, Senkungen aufgrund Grundwasser)	20%			
Emissionen	Emissionen während der Bauzeit/Betrieb und Unterhalt	100%	100%	6	1 = starke, 4 = wenige, 6 = keine

Tabelle 11: Bewertungsschema Varianten

6.1.1 Oberlauf

Im Oberlauf der Sihl ist eine Sanierung der schadhafte Schutzbauten dringlich. Ein Wechsel auf ein System mit verbesserter Energiedissipation drängt sich auf. Zudem sollte die Strömungsführung verbessert werden.

Bei der Vorstudie /13/ wurden die drei Varianten Sanierung, Ertüchtigung durch Blockbelegung/Rähnenverbau oder Blockbelegung/Rähnen vorgeschlagen.

Variante	Beschrieb
Sanierung	<ul style="list-style-type: none"> Sanierung der bestehenden Schutzbauten, wo nötig ergänzen Rückbau von zwei schadhafte Schwellen/Abstürze Bau von circa 5 zusätzlichen Blocksteinschwellen Instandstellung der Unterfangungen der Ufermauern (Länge circa 800 m)
Ertüchtigung durch Blockbelegung / Rähnenverbau	<ul style="list-style-type: none"> Rückbau von zwei schadhafte Schwellen/Abstürze Rähnenverbau bei ausgekolkten Böschungen/Ufermauern und zur Reduktion der Sohlenbreite Blockbelegung für Anpassung Planum Eingriffe auf circa 8'000 m²
Blockbelegung / Rähnen	<ul style="list-style-type: none"> Rückbau der Schwellen/Abstürze Bau von aufgelösten Blockrampen zur Anpassung Planum Rückbau oder Überschüttung der Ufermauern Böschungen als Rähnen verbaut und zur Reduktion der Sohlenbreite

Die drei Varianten wurden anhand der vorgegebenen Kriterien und Entwicklungsziele neu bewertet.

Hauptkriterium	Varianten							
	0		1		2a		2b	
	Ist-Zustand	Sanierung	Ertüchtigung durch Blockbelegung / Rähnenverbau	Blockbelegung / Rähnen	Bew.	Bemerkung	Bew.	Bemerkung
Hochwasser-sicherheit	1	4	5	- gutmütig im Schadenfall	5.5	- gutmütig im Schadenfall		
	1	4	5		5.5			
Ökologie	1	1	4.75	- Verbesserung Längs- und Quervernetzung	5	- Ermöglichung Längs- und Quervernetzung		
	1	1	5	- Schaffung Ufervegetation	5	- Verzahnung mit Ufer/Ufervegetation		
	1	1	4.5		5	- natürliche Fließgeschw.		
Landschaft	1	1	4.25	- Ufermauern grösstenteils durch Böschungen ersetzt	4.5	- Ufermauern durch Böschungen ersetzt		
	1	1	4		4.5			
	1	1	4.5		4.5			
Erholung/Freizeit	1	1	4		4			
	1	1	4		4			
Ressourcen	4.8	3.9	4	ca. 200 m ²	2.8	ca 800 m ²		
	5	4.5	4		3			
	6	CHF 0	3.0	CHF Tausend 1100	1	CHF Tausend 2800		
	1	4	5	- Erhalt bisheriger Investitionen	6	- geringerer Unterhalt		
	6	5	4	- weiterhin häufiger Unterhalt/Sanierung nötig	3	- Rückbau best. (noch intakter Schwellen nötig)		
Emmissionen	6	4	3		2			
	6	4	3		2			
Total	14.8	14.9	25		23.8			
Rang	4	3	1		2			

Tabelle 12: Auszug Variantenbewertung Oberlauf

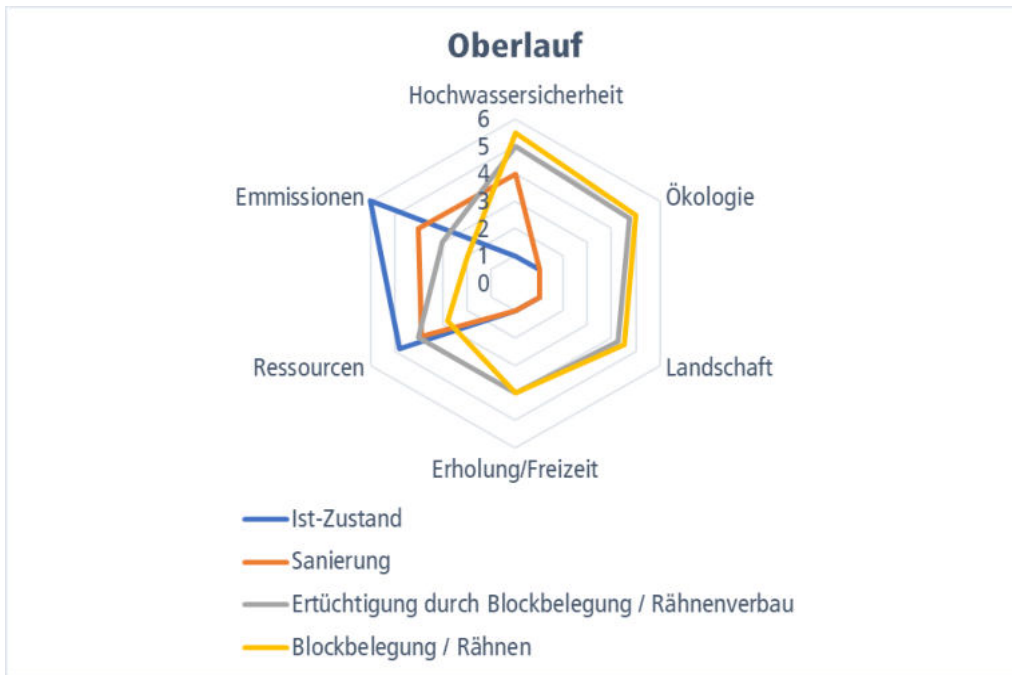


Abbildung 15: Spider-Diagramm mit Variantenvergleich Oberlauf

Die **Variante Ertüchtigung durch Blockbelegung und Rähnenverbau** stellte sich als beste Lösung heraus und erscheint angemessen, da die bestehenden Schutzbauten belassen werden können.

6.1.2 Mittellauf

Der Mittellauf der Sihl ist mit den heutigen Bestimmungen des Gewässerschutzes (Gewässerschutzgesetz GSchG; SR 814.20 Art. 37) nicht vereinbar und weist hohe Schutzdefizite auf. Für den Mittellauf wurden neben den bisherigen drei Varianten Sanierung, Mäander und Aufweitung noch weitere drei weitere Untervarianten bei der Variante Mäander geprüft.

Variante	Untervariante	Beschrieb
Mäander	Sanierung	<ul style="list-style-type: none"> • Sanierung der bestehenden Schutzbauten, wo nötig ergänzen • Rückbau Brückenübergänge mit Pfeiler • Ersatz der Ufermauern durch Blocksatzmauern
	Mäander moderat	<ul style="list-style-type: none"> • Rückbau Brückenübergänge • Rückbau der Bruchsteinbelegung, Ufermauern und Gerinneübergänge • Mäandrierender Gerinneverlauf • Absenkung der Sohle um circa 1.5 m, Sohlenbreite 8 m • Blockbelegung der Sohle (min. halbe Strecke) • Böschungen als Rähnen mit Gefälle von max. 1:2 • Lokale Verstärkungen mit Blocksatz
	Mäander leicht (linker Damm bleibt bestehen)	Der linksseitige Damm, welcher das Dorf Studen schützt, soll bestehen bleiben. Es werden lediglich die schadhafte Stellen saniert und eine leicht mäandrierende Linienführung nach rechts erschafft. Dadurch ist weniger Landbedarf notwendig und die Kosten werden aufgrund des kleineren Materialumschlages reduziert.
	Mäander gross	Diese Variante unterscheidet sich zur Variante Mäander moderat nur bei ihrer Grösse und Ausdehnung bzw. beim Flächenbedarf der Mäanderbogen.
Aufweitung mit verzweigtem Gerinne		<ul style="list-style-type: none"> • Rückbau Bruchsteinbelegung, Ufermauern und Gerinneübergänge • Absenkung der Sohle um circa 1.5 m, Sohlenbreite 30 – 40 m • Lose Blockbelegung bei Übergangsstrecken (circa 200 m) • Böschungssicherung durch Blockbuhnen (auf circa 1'900 m) • Böschungssicherung durch Blocksatz mit Vorgrund (circa 800 m)



Abbildung 16: Untervarianten Mäander

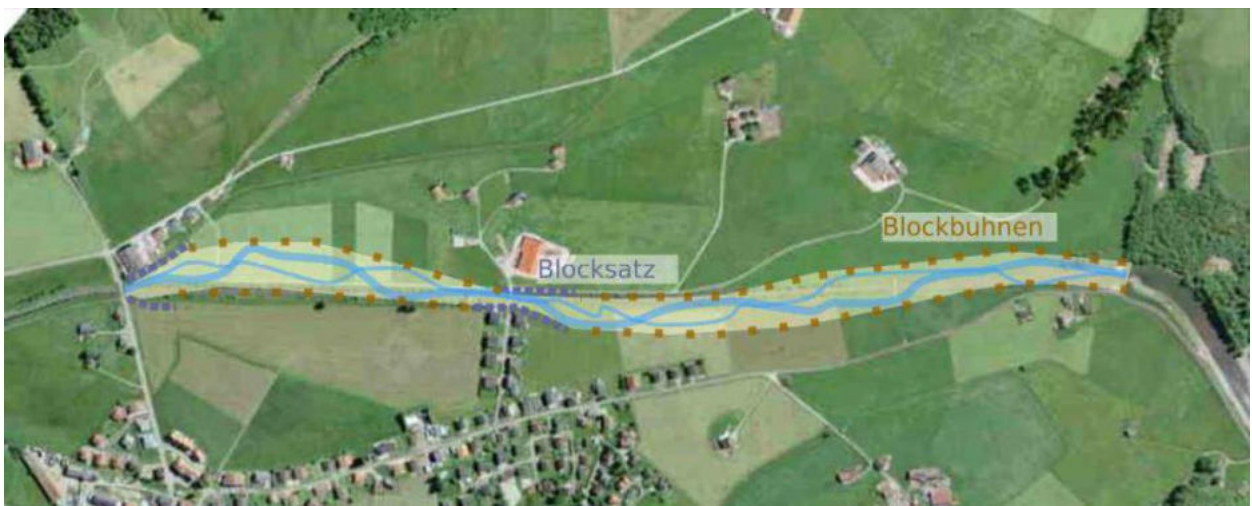


Abbildung 17: Variante Aufweitung mit verzweigtem Gerinne

Die sechs Varianten wurden anhand der vorgegebenen Kriterien neu bewertet. Zusammenfassend sieht die Bewertung wie folgt aus:

Hauptkriterium	Varianten											
	0		1		2a		2b		2c		3	
	Ist-Zustand	Sanierung	Mäander moderat	Mäander leicht (linker Damm bleibt bestehen)	Mäander gross	Aufweitung/offenes Gerinne	Bewertung	Bemerkung	Bewertung	Bemerkung	Bewertung	Bemerkung
Hochwassersicherheit	1	3	5	5	5	5		5		5		5
	1	3	5	5	5	5		5		5		5
Ökologie	1	2	5	3	5.5	6		3		5		6
	1	2	5.5	3	6	6		3		5		6
	1	2	4.5	3	5	6		3		5		6
Landschaft	1	1.5	5	3	5.75	6		3		5		6
	1	1	5	3	5.5	6		3		5		6
	1	2	5	3	6	6		3		5		6
Erholung/Freizeit	1	1	4.7	3.6	5	5.6		4		5		6
	1	1	4.5	4	5	6		4		5		6
	1	1	5	3	5	5		3		5		5
Ressourcen	5	3.9	2.9	3	2.2	1.8		4		2		1
	6	5.5	3.5	4	2	1		3		2		1
	6	3	2	2.5	1.5	1		3		4		5
	1	3	4	3	4	5		3		2		1
	6	5	3	3	2	1		3		2		1
Emissionen	6	4	3	3	2	1		3		2		1
	6	4	3	3	2	1		3		2		1
Total	15	15.4	25.6	20.6	25.45	25.4						
Rang	6	5	1	4	2	3						

Tabelle 13: Auszug Variantenbewertung Mittellauf

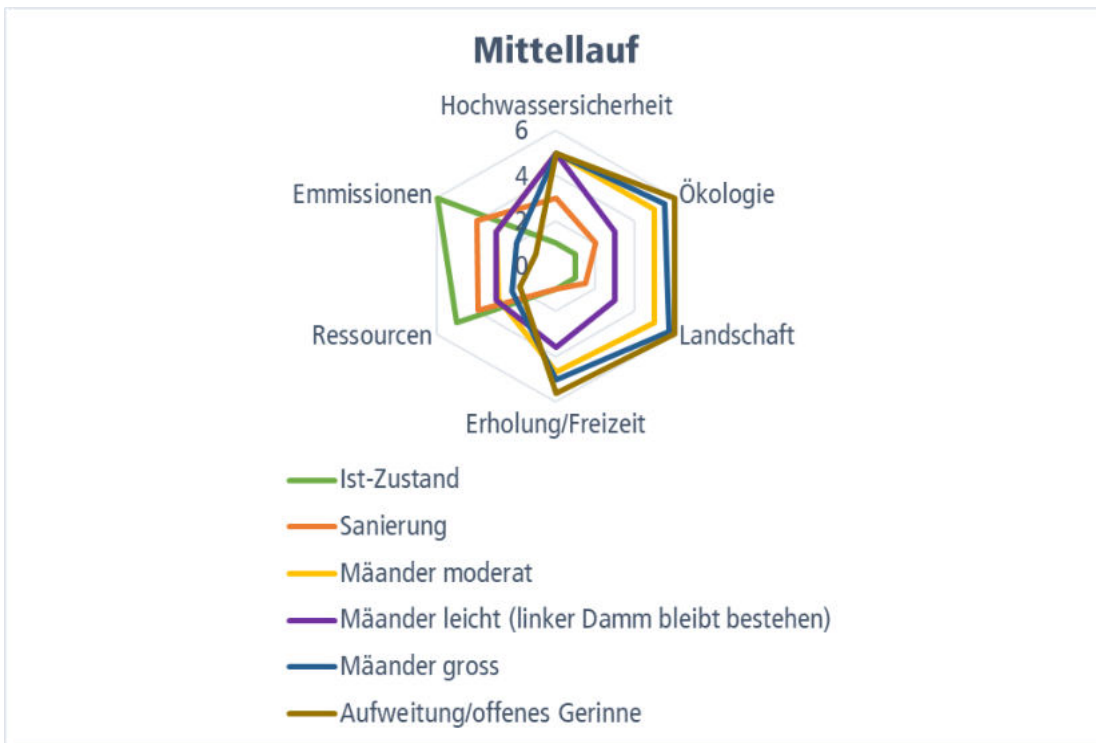


Abbildung 18: Spider-Diagramm mit Variantenvergleich Mittellauf

Für die Neugestaltung wird die **Variante «Mäander moderat»** empfohlen, welche die Landressourcen schont.

6.1.3 Unterlauf

Im **Unterlauf** der Sihl bis zur Mündung in den Sihlsee besteht ökologisches Aufwertungspotential. Die bestehende Bruchsteinbelegung an der Flusssohle ist zu entfernen und das Gerinne als Lebensraum aufzuwerten. Neben den drei Varianten (aus der Vorstudie /13/) Natursohle, Aufweitung und Mäander wurden bei der Variante Aufweitung noch zwei weitere Untervarianten geprüft.

Variante	Untervariante	Beschrieb
Natursohle		<ul style="list-style-type: none"> Entfernung Bruchsteinbelegung bis Mündung Brünnenbach Einbau von Sohlenstrukturen (Lenkbuhnen, Wurzelstöcke) Bedarfsweise Verstärkung der Böschung mit Faschinen, Buschlagen
Aufweitung	rechtsufrig / Uferstruktur (Flechtwerkbuhnen)	<ul style="list-style-type: none"> Entfernung Bruchsteinbelegung und Kiesschicht (Länge circa 1'100 m) Rechtsufrige Aufweitung zwischen Studenbrücke und Mündung Brünnenbach Einbau Flechtwerksbuhnen entlang der gesamten Gerinnestrecke
	linksufrig / Uferstruktur (Flechtwerkbuhnen)	Diese Untervariante unterscheidet sich lediglich bei der Lage und Ausrichtung der seitlichen Aufweitungen.
Mäander		<ul style="list-style-type: none"> Entfernung Bruchsteinbelegung und Kiesschicht (Länge circa 1'100 m) Komplett neue Gestaltung des Gerinneverlaufs



Abbildung 19: Varianten Unterlauf

Die fünf Varianten wurden anhand der vorgegebenen Kriterien neu bewertet. Zusammenfassend sieht die Bewertung wie folgt aus:

Hauptkriterium	Varianten									
	0		1		2a		2b		3	
	Bewertung	Bemerkung	Bewertung	Bemerkung	Bewertung	Bemerkung	Bewertung	Bemerkung	Bewertung	Bemerkung
Hochwassersicherheit	4		4		5		5		5.5	
	4		4		5		5		5.5	
Ökologie	1		4	- ökol. Aufwertung	5	- ökol.	5	- ökol.	5.5	- hohe ökologische
	1		4	Sohlensubstrat u.	5	Strukturverbesserung	5	Strukturverbesserung	6	Aufwertung
	1		4	Längsvernetzung - Ufer bleiben monoton - Nur geringe Aufwertung für Gewässerdynamik	5	Sohle und Ufer im gesamten Abschnitt - Verbesserung Gewässerdynamik - Verbesserung Uferverzahnung/Quervernetzung	5	Sohle und Ufer im gesamten Abschnitt - Verbesserung Gewässerdynamik - Verbesserung Uferverzahnung/Quervernetzung	5	(Naturzustand) - natürliche Gewässerdynamik - Konflikte mit Moorschutz/Gewässerhaushalt
Landschaft	1		3	unverändert	4.5	- Bereicherung Landschaftsbild	4.5	- Bereicherung Landschaftsbild	6	- Bereicherung Landschaftsbild
	1		2		4		4		6	
	1		4		5		5		6	(Naturzustand)
Erholung/Freizeit	2.6		3.2		5		5		5.2	- ev. Konflikte
	1		2		5		5		6	Erholungsnutzung
	5		5		5		5		4	
Ressourcen	5.4		4.3	0 m2	3.4	6'000 m2	3.2	6'000 m2	1.6	50'000 m2
	6		5.5		4		3		1	
	6	CHF 0	4	CHF Tausend 300	3	CHF Tausend 1800	3	CHF Tausend 1800	1	CHF Tausend 3700
	3		4	- geringer Eingriff innerhalb Gewässerparzelle	4	- Landerwerb Kulturland (extensive Bewirtschaftung) für Gerinneausweitung bei Stiftung	4	- Landerwerb Kulturland (intensive Bewirtschaftung) für Gerinneausweitung bei Privateigentümer	4	- Landerwerb Kulturland (extensive Bewirtschaftung) vieler einzelner Grundeigentümer
	6		4		3		3		1	- Konflikte mit Binnenentwässerung/ Etzelwerk - Hoher Materialumschlag
Emissionen	6		4		3		3		1	
	6		4		3		3		1	
Total	20		22.5		25.9		25.7		24.8	
Rang	5		4		1		2		3	

Tabelle 14: Auszug Variantenbewertung Unterlauf

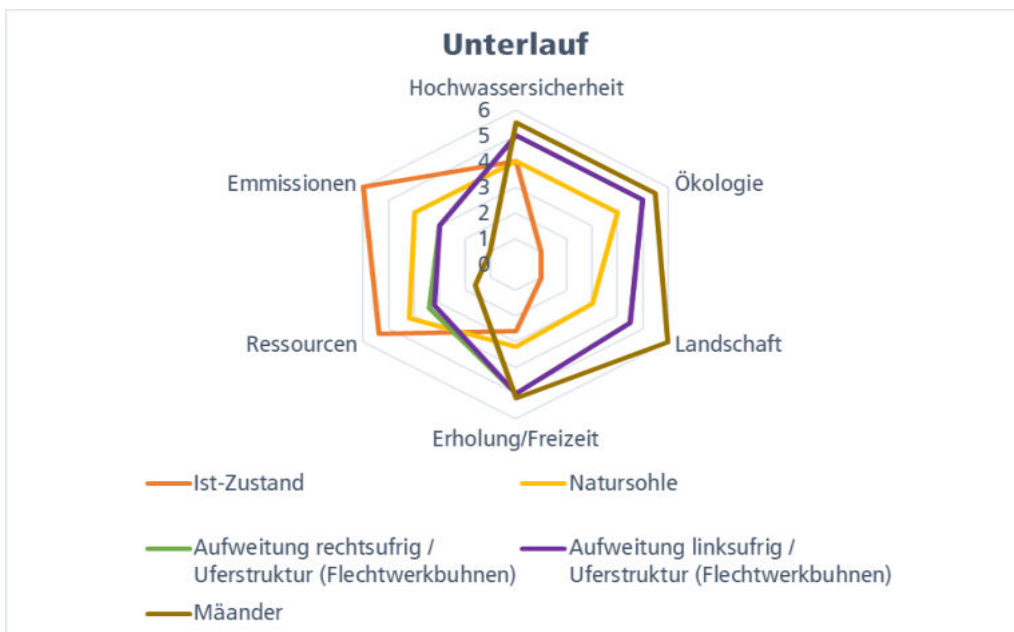


Abbildung 20: Spider-Diagramm mit Variantenvergleich Unterlauf

Anhand der Bewertung scheint die **Variante «Aufweitung/Uferstruktur rechtsufrig»** zielführend.

6.1.4 Wisstannenbach

Beim Wisstannenbach sind die Schutzbauten schadhaft. Ein Rückbau der Wildbachschale gibt dem Gewässer seinen Naturcharakter zurück. Zusätzlich zu den Varianten Sanierung, Stufen-Becken, Eigendynamik (aus der Vorstudie /13/) wurde bei der Variante Stufen-Becken noch eine Untervariante und noch eine zusätzliche Variante, bei welcher der alte Lauf reaktiviert wird, geprüft.

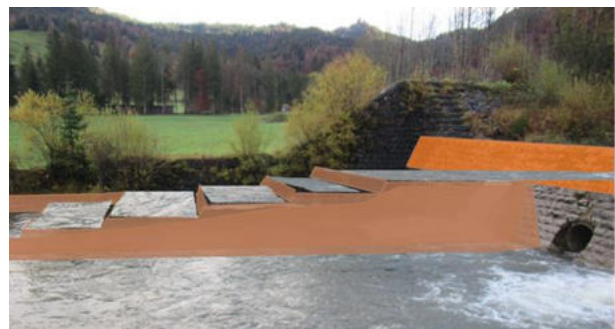
Variante	Untervariante	Beschrieb
Sanierung		<ul style="list-style-type: none"> • Unterfangung/Neuerstellung Blocksatz (Länge circa 300 m) • Ersatz Holzkasten durch Blocksatz (Länge circa 50 m) • Lose Blockbelegung zur Stabilisierung der Sohle (circa 500 m²)
Stufen-Becken	Stufen-Becken	<ul style="list-style-type: none"> • Sanierung best. Schutzbauten (wie bei Variante Sanierung) • Rückbau Absturz (Höhe 4 m) und Wildbachschalenstrecke (Länge 100 m) • Neues Planum: Sohlenbreite 4 m, Böschungsneigung 1:2 • Stufen-Becken-Sequenzen (Längsgefälle 5%) • Erstellen Furt als Ersatz für best. Brücke
	Stufen-Becken mit Fischtreppe bei Sperre	Diese Variante unterscheidet sich nur dadurch, dass bei der Geschiebesammlersperre eine neue Fischtreppe erstellt wird.
Eigendynamik		<ul style="list-style-type: none"> • Sanierung best. Schutzbauten (wie bei Variante Sanierung) • Rückbau Absturz (Höhe 4 m) und Wildbachschalenstrecke (Länge 100 m) • Verlegung rechtsufriger Maschinenweg • Ev. Verbau mit einzelnen grossen aufgelösten Blocksteinschwellen
Alter Verlauf reaktivieren		<ul style="list-style-type: none"> • Entfernung bestehende Schutzbauten • Komplette neue Gestaltung des Gerinneverlaufs gem. altem Verlauf • Stufen-Becken-Sequenzen und aufgelöste Blocksteinschwellen

Untervariante Stufen-Becken mit Fischtreppe

Die Fischgängigkeit im Wisstannenbach sollte durch den Rückbau des Absturzbauwerks und der Wildbachschale und dem Bau von Stufen-Becken auch wieder ermöglicht und verbessert werden. Aufgrund der Geschiebesammlersperre Ochsenboden ist eine durchgängige Fischwanderung von der Sihl bis zum Wisstannenbach aktuell nicht möglich. Das Gerinne der Sihl im Oberlauf (oberhalb der Geschiebesammlersperre Ochsenboden) führt jeweils über einen längeren Zeitraum kein oder nur wenig Wasser (Abb. 19). Dies verunmöglicht eine Wanderung für die Fische. Mittels einer neuen Fischtreppe (Abb. 19) könnte die Fischwanderung somit vorwiegend zum Wisstannenbach wieder ermöglicht werden. Der Bau einer Fischtreppe ist mit enormen baulichen Massnahmen und mit hohen Kosten verbunden. Gemäss ökologischen Begleitbericht wird die Fischwanderung im Oberlauf nicht als Ziel festgelegt.



Aufnahme dat. 23.09.2021 oberhalb Geschiebesammler
Abbildung 21: Geschiebesammlersperre Ochsenboden



Schematische Visualisierung einer Fischtreppe

Neue Variante «alter Verlauf reaktivieren»

Der ursprüngliche Verlauf des Wisstannenbachs führte entlang der noch vorhandenen Waldzunge über das heutige Kulturland und mündete weiter nördlich in die Sihl. Im Ochsenboden, wo der Wisstannenbach heute in die Sihl mündet hat sich zwischenzeitlich eine ökologisch wertvolle Auenlandschaft entwickelt. Eine Umleitung des Baches in den ursprünglichen Naturzustand wäre mit vielen Aufwänden wie Landkauf, neues Bachbett erstellen, Brückenbau, etc. verbunden und würde das heutige Auenbiotop und deren Wasserhaushalt beim Ochsenboden negativ beeinträchtigen.



Abbildung 22: alter Verlauf des Wisstannenbachs (Landeskarte 1933)

Die sechs Varianten wurden anhand der vorgegebenen Kriterien neu bewertet. Zusammenfassend sieht die Bewertung wie folgt aus:

Hauptkriterium	Varianten											
	0		1		2a		2b		3		4	
	Ist-Zustand	Sanierung	Stufen-Becken	Stufen-Becken mit Fischtreppe bei Sperre	Eigendynamik	alter Verlauf reaktivieren	Bewertung	Bemerkung	Bewertung	Bemerkung	Bewertung	Bemerkung
Hochwassersicherheit	3		4	Hartverbau verletzt	5	Gewässerschutzanforderungen erfüllt	5	Gewässerschutzanforderungen erfüllt	4	Gewässerschutzanforderungen erfüllt	5	Gewässerschutzanforderungen erfüllt
	3		4	Gewässerschutzbestimmungen	5		5		4	- ev. Künftige Massnahmen nötig	5	
Ökologie	1		1	- Wassereinspeisung	5	- Wassereinspeisung	5.5	- Wassereinspeisung	4.25	- Gewässerdynamik	5.5	- Fischgängigkeit
	1		1	Auenlandschaft	5	Auenlandschaft	6	Auenlandschaft	4	- Wassereinspeisung	6	- Veränderung
	1		1	Ochsenboden bleibt erhalten - Längsnetzwerk bleibt unterbrochen	5	Ochsenboden bleibt erhalten - nur bedingte Aufwertung für Fischwanderung (Längsnetzwerk)	5	Ochsenboden bleibt erhalten - Fischgängigkeit	4.5	Auenlandschaft Ochsenboden bleibt erhalten - nur bedingte Aufwertung für Fischwanderung	5	Wasserhaushalt Auenlandschaft Ochsenboden
Landschaft	1		1		4.25		4.25		5.25	- Landschaftsaufwertung	6	- Landschaftsaufwertung
	1		1		4.5		4.5		5.5		6	
Erholung/ Freizeit	1		1		3		4		4		5.5	
	1		1		3		4		4		5.5	
Ressourcen	5.2		4.8	0 m2	3.9	1000 m2	2.7	2000 m2	3.5	3000 m2	1.6	13'000 m2
	6		5		3		2.5		2		1	
	6	CHF 0	5	CHF Tausend 400	3.5	CHF Tausend 800	2.5	CHF Tausend 1100	4	CHF Tausend 500	1	CHF Tausend 1500
	2		4	- Erhalt bestehender Schutzbaute	5		3		4	- Wegübergang ungelöst	4	- Landbedarf/-erwerb
Emissionen	6		5		4		3.5		4		1	
	6		5		4		3.5		4		1	
Total	17.2		16.8		25.15		24.95		25		24.6	
Rang	7		6		5		1		3		2	

Tabelle 15: Auszug Variantenbewertung Wisstannenbach

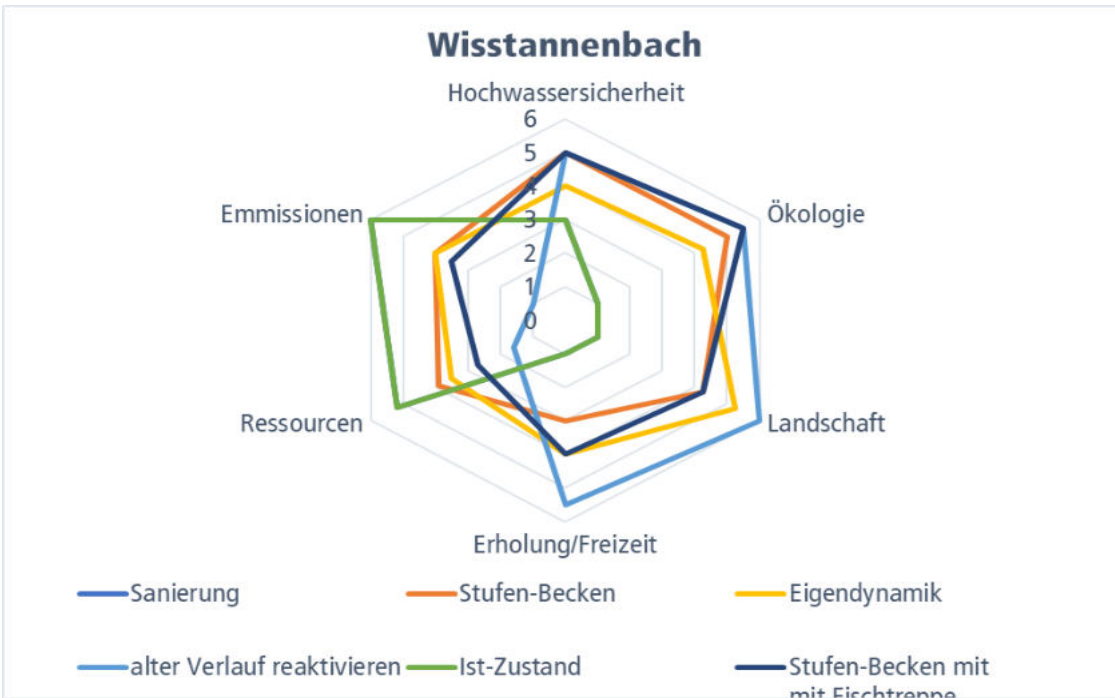


Abbildung 23: Spider-Diagramm mit Variantenvergleich Wisstannenbach

Die Variante «Stufen-Becken» steht im Vordergrund.

6.1.5 Geschiebesammlersperre Ochsenboden

Mit einem Teilrückbau der Abschlussperre des Geschiebesammler Ochsenboden sowie der Einrichtung eines neuen Geschiebeablagerungsplatzes oberhalb der Studenbrücke können die Anforderungen an die Geschiebesanierung erfüllt werden. Die Massnahmen sind funktional mit dem Mittellauf verknüpft.

6.2 Variantenentscheide

In der Begleit- und Projektgruppe wurde das Projekt besprochen und optimiert. Der definitive Variantenentscheid erfolgte durch die Projektgruppe.

6.3 Unterhaltmassnahmen

Der Unterhalt der bestehenden Verbauungen ist eine Daueraufgabe. Periodische Unterhaltmassnahmen sind bei der Bewirtschaftung des Geschiebesammlers Ochsenboden und dem neuen Geschiebeablagerungsplatz auszuführen. Anfallendes Schwemmholz ist aus dem Abflussquerschnitt zu entfernen.

Der Zustand der Verbauungen ist ebenfalls periodisch zu erheben und die nötigen Sanierungen auszuführen. Uferbewuchs sollte regelmässig zurückgeschnitten bzw. ausgeforstet werden, damit die Bestockung flexibel bleibt.

6.4 Raumplanerische Massnahmen

6.4.1 Gewässerraum

Die durch die Gewässerschutzgesetzgebung erforderliche Ausscheidung der Gewässerräume ist im vorliegenden Projektperimeter noch nicht erfolgt. Die Gewässerräume werden im Rahmen des vorliegenden Hochwasserschutzprojektes neu festgelegt und ausgeschieden.

Grundlagen:

Gemäss Wasserbauverordnung Art. 21 legen die Kantone den Gewässerraum fest, welcher für den Schutz vor Hochwasser und für die Erfüllung der ökologischen Funktionen eines Gewässers erforderlich ist. Der Gewässerraum ist bei der Raum- und Nutzungsplanung zu berücksichtigen. Die Festlegung ist in der Gewässerschutzverordnung (GSchV Art. 41a) festgelegt, wobei zwischen (gewässerbezogenen) Schutzgebieten unterschieden wird.

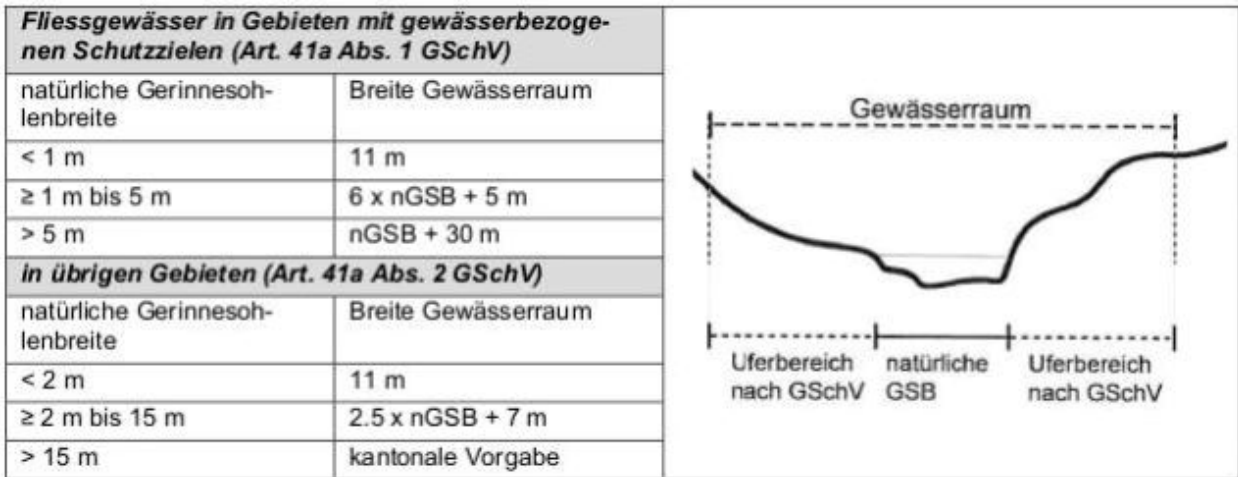


Abbildung 24: Festlegung Gewässerraum gemäss GSchV Art. 41 a

Massgebend ist die natürliche Gerinnesohlenbreite (nGSB). Entlang der Sihl liegen die Abschnitte von Ochsenboden bis zum Sihlsee in einer Moorlandschaft nationaler Bedeutung. Es gelten somit die Vorgaben entsprechend der Fließgewässer in Gebieten mit gewässerbezogenen Schutzzielen.

Historische Karten:

Die Gerinneform der Sihl und der aus Westen zufließenden Minster vor den Korrektionsmassnahmen wird aus der Dufourkarte ersichtlich:

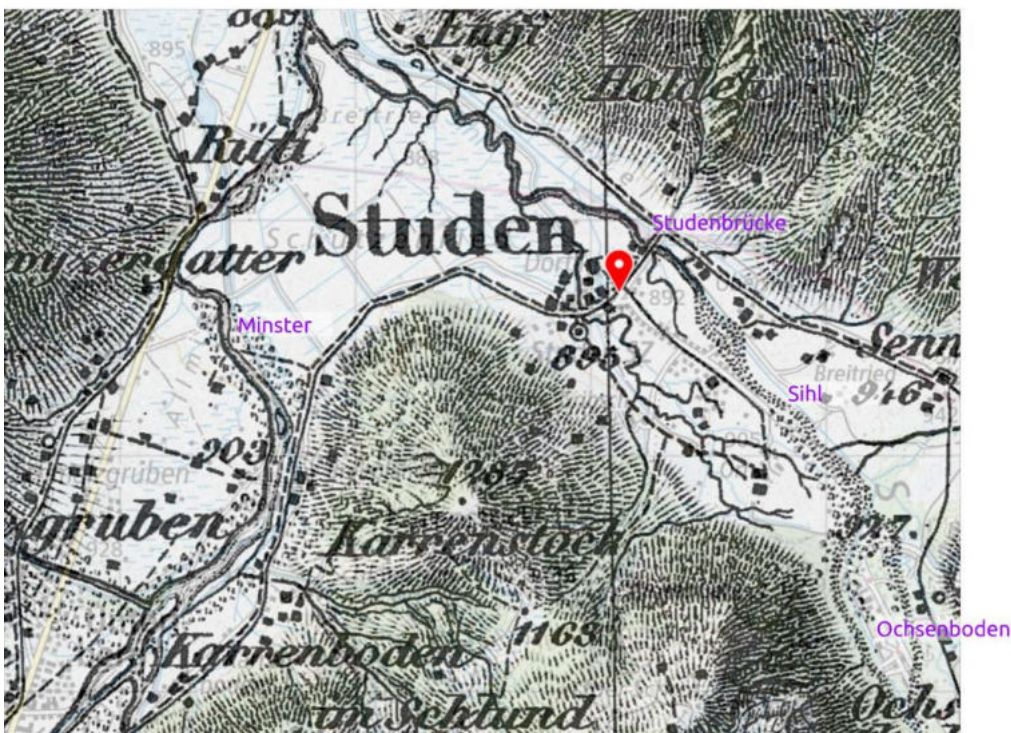


Abbildung 25: Dufourkarte 1864 (Ausschnitt)

Im Abschnitt vom Ochsenboden bis zur Studenbrücke zeigt die Kartensignatur ein Schotterfeld; ein Flusslauf ist erst kurz oberhalb der Studenbrücke zu erkennen. Im Unterlauf bis zur damaligen Einmündung der Minster zeigt die Karte ein gewundenes (mäandrierendes) Einzelgerinne. Der Ober- und Mittellauf der Sihl fielen schon vor dem Ausbau periodisch trocken. Die Kartensignatur für die Minster zeigt im Unterschied dazu durchgehend ein gewundenes Gerinne mit Inseln und ständiger Wasserführung. Entlang des Gerinnelaufes deutet die Signatur auf sporadisch überflutete Auenflächen mit Geröll und lockerer Bestockung.

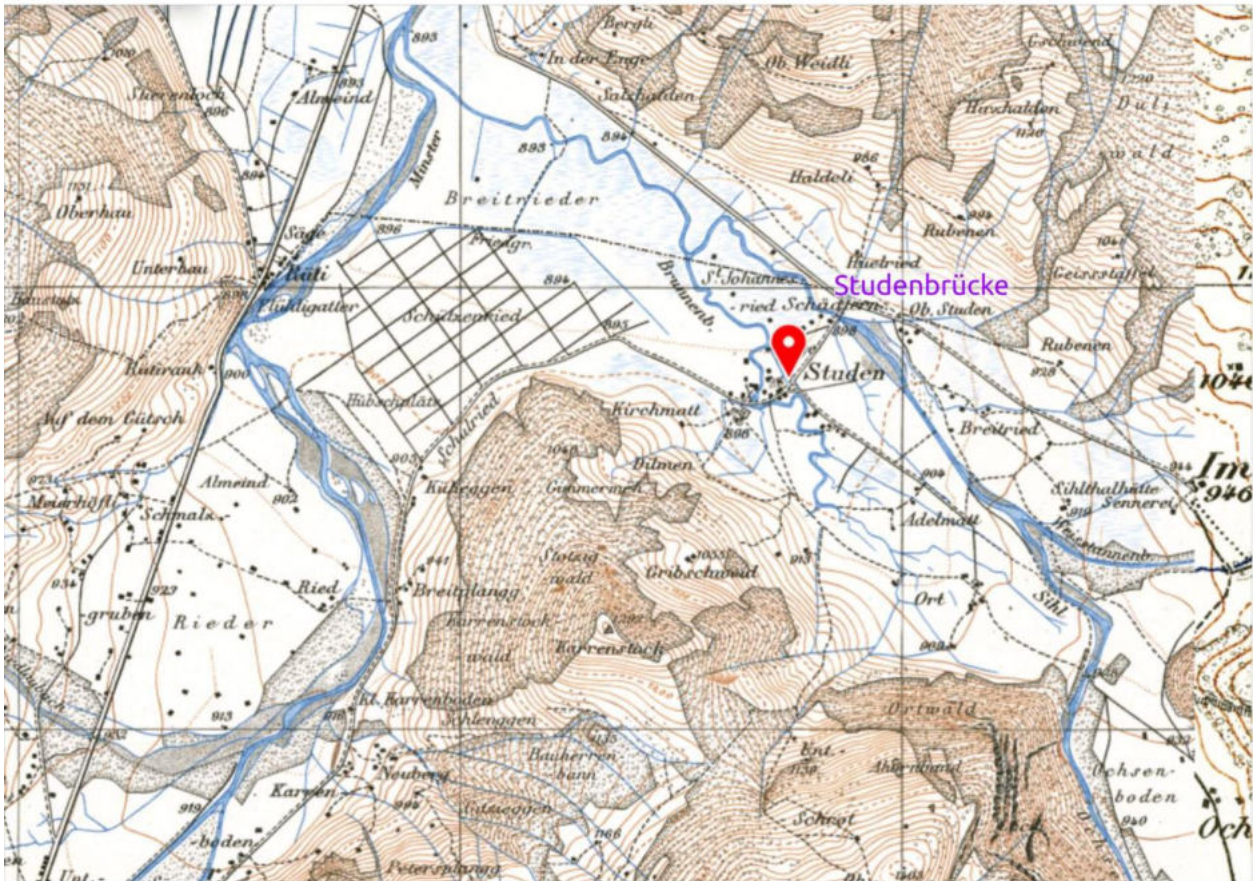


Abbildung 26: Siegfriedkarte 1892 (Ausschnitt)

Aus der rund 30 Jahre später erstellten Siegfriedkarte sind weitere Informationen über die historische Gerinneform zu entnehmen. Die Sihl ist nun auch im Oberlauf wasserführend. Bis zur Studenbrücke handelt es sich um ein gewundenes bis gestrecktes Einzelgerinne mit Bänken. Inseln sind nicht kartiert. Unterhalb der Studenbrücke fließt die Sihl in einem engen mäandrierenden Gerinne. Die morphologischen Unterschiede zur westlich zufließenden Minster sind auch in dieser Karte augenfällig.

Ein Luftbild aus dem Jahre 1932, d.h. noch vor dem Bau des Etzelwerkes zeigt verbreitete Kiesflächen und weitgehend fehlenden Abfluss.



Abbildung 27: Luftbild des Mittellaufes mit Studenbrücke am linken Bildrand (Aufnahme 6.9.1932)

Der ganze Gerinneabschnitt bildet einen grossen Geschiebeablagerungsplatz. Von einem Gleichgewicht im Geschiebehaushalt ist die Situation weit entfernt. Für die morphologische Ausprägung ist der Geschiebeüberschuss bestimmend.

Unterhalb der Studenbrücke belegt das Luftbild innerhalb des gewundenen Gerinnelaufes alternierende Bänke mit Lauf-Hinterwassersequenzen.



Abbildung 28: Luftbild mit Gerinnelauf unterhalb Studenbrücke (Aufnahme 6.9.1932)

Die Aufnahme zeigt die Situation bei geringer Wasserführung; bei höherem Abfluss werden die Bänke überströmt.

Auf der Grundlage der Siegfriedkarte lassen sich typische Gerinnebreiten ableiten.

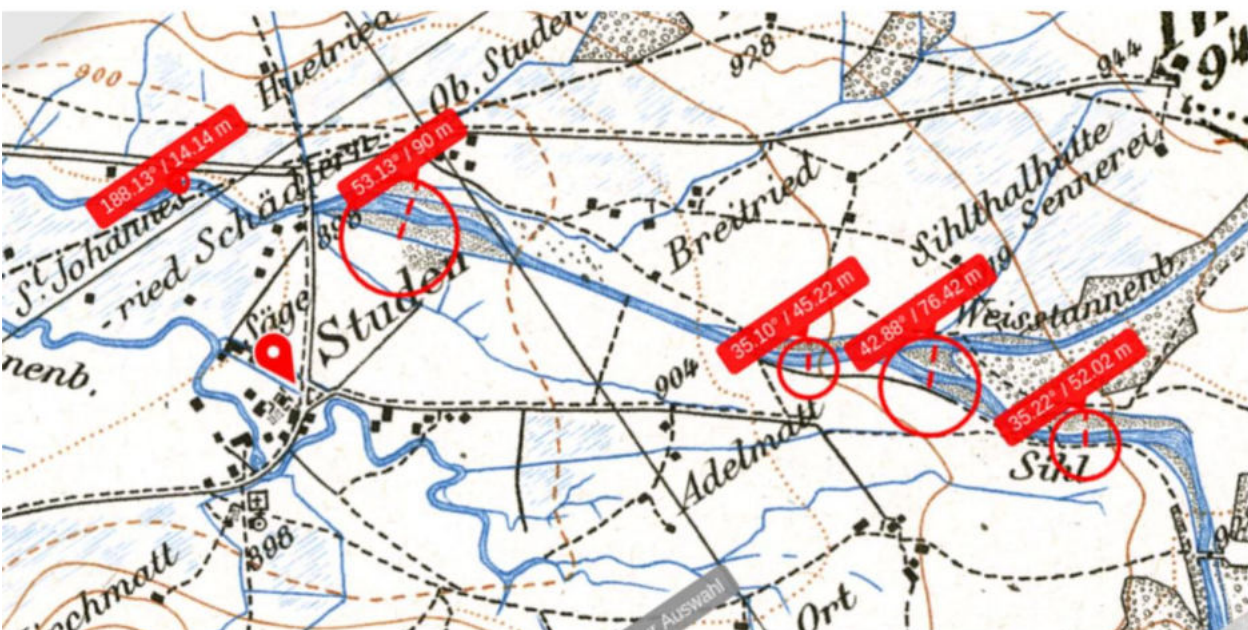


Abbildung 29: Gerinnebreiten anhand der Siegfriedkarte (1892)

Demnach liegen die Gerinnebreiten einschliesslich Bank- und Uferbereiche im Mittellauf zwischen 45 m und 90 m und im Unterlauf bei zirka 15 m.

Regimegerinne:

Durch das Hochwasserschutzprojekt wird ein (dynamischer) Gleichgewichtszustand angestrebt. Für die flussbauliche Bemessung liefern sogenannte Regimegleichungen einen empirischen Zusammenhang zwischen den Abflussbedingungen, den Korngrössen und den Gerinneparametern (Breite und Gefälle). Es werden folgende Formeln verwendet:

- Parker G., Toro-Escobar C. M., Ramey M., Beck S. 2003. Effect of Floodwater Extraction on Mountain Stream Morphology. J. Hydr. Engrg. ASCE, Vol. 129, No. 11.
- Yalin M. S, Ferreira da Silva A. M. 2001. Fluvial Processes. IAHR Monograph.

Für die Rückrechnung der Gerinne- auf die Sohlenbreite wird eine Böschungsneigung von 1:2 angenommen. Die Anwendung auf die verschiedenen Abschnitte entlang der Sihl ergeben folgende Ergebnisse:

	Oberlauf		Mittellauf		Unterlauf	
Einzugsgebiet [km ²]	18		23		28	
Abluss MHQ [m ³ /s]	15		20		25	
Bruttogefälle	2.0%		1.2% - 1.8%		0.3% - 0.6%	
Dm / D90 [cm]	10 / 20	13 / 30	8 / 15	12 / 25	3 / 6	5 / 10
Regimeformel Parker et al. (2003)						
Gefälle [%]	1.5	2.1	1.0	1.6	0.44	0.68
Fliesstiefe Hbf [m]	0.71	0.70	0.80	0.79	0.88	0.88
Gerinnebreite Bbf [m]	12.8	12	15.3	14.1	19.5	18.0
Sohlenbreite [m]	10.0	9.2	12.1	11.0	16.0	14.5
Fliessgeschw. [m/s]	1.7	1.8	1.6	1.8	1.5	1.6
Sohlenschubspannung [Pa]	101	142	81	124	38	58
Regimeformel Yalin / da Silva (2001)						
Gefälle [%]	1.5	1.9	1.0	1.6	0.32	0.56
Fliesstiefe Hbf [m]	0.56	0.55	0.65	0.63	0.76	0.74
Gerinnebreite Bbf [m]	10.3	9.7	12.6	11.4	18.0	15.8
Sohlenbreite [m]	8.1	7.4	10.0	8.9	14.9	12.9

Tabelle 16: Anwendung der Regimegleichungen auf die Abschnitte der Sihl in Studen

Bei der Wahl der charakteristischen Korngrössen gilt es die breite Kornverteilung und deren räumliche Variabilität zu beachten. Die Regimewerte sind deshalb für je zwei Korngrössen bestimmt worden (fein, grob). Wichtig: Die erhaltenen Regimegefälle müssen mit den Bruttogefällen der Gerinneabschnitte korrespondieren. Für die Verhältnisse an der Sihl mit starkem Geschiebetrieb liegen die Regimegefälle erwartungsgemäss am unteren Rand der beobachteten Sohlengefälle. Die Ergebnisse der Regimegleichungen ergeben nun eine Bandbreite für die natürliche Sohlenbreite, d.h. die Breite, welche sich in längeren Zeiträumen unter Gleichgewichtsbedingungen bei einem mittleren jährlichen Hochwasser einstellen würde.

Es ist davon auszugehen, dass auch für den Wisstannenbach ist ein Gewässerraum auszuscheiden ist. Beim QP 7 und 8, oberhalb des Knies, verläuft der Wisstannenbach entlang der nat. Moorlandschaft. Aus den Regimegleichungen ergibt sich eine natürliche Gerinnesohlenbreite (GSB) zwischen 4.0 m bis 6.0 m. Die aktuelle Gerinnegeometrie weist ähnliche oder grössere Abmessungen auf, der Bach ist aber auch für höhere Abflüsse verbaut. Bei einer massgebenden Gerinnesohlenbreite von 6 m resultiert eine Breite des Gewässerraumes von 22 m (übrige Gebiete) resp. 36 m (Schutzgebiete).

In der nachfolgenden Tabelle sind basierend auf diesen natürlichen Sohlenbreiten die zugehörigen Gewässerräume bestimmt worden.

Abschnitt	Gebiet	Sohlenbreite [m]		Gerinnebreite [m]	Gewässerraum [m]	
		aktuell	Regime	Siegfriedkarte	übrige	Schutzgebiet
Oberlauf	Übriges	10 - 20	8 – 10	10 – 45	27 - 32	38 – 40
Mittellauf	Moorlandschaft	10 – 12	9 – 12	15 – 70	30 – 37	39 - 42
Unterlauf	Moorlandschaft	8 - 12	13 - 16	ca. 15	40 - 47	43 - 46
Wisstannenbach	Moorlandschaft				22	36

Tabelle 17: Sohlenbreiten und Gewässerraum

Die Sohlenbreiten aus den Regimebetrachtungen liegen recht nahe bei der aktuell vorliegenden Situation. Damit bestätigt sich die Einschätzung, wonach die aktuellen Abmessungen der Sihl nicht für die morphologischen Defizite verantwortlich sind.

Im Unterlauf würden sich gemäss den Regimegleichungen eher grössere Breiten einstellen. Allerdings verhindert hier der Rückstau durch den Sihlsee den freien Abfluss, wodurch die Gültigkeit der Regimegleichungen zur Bestimmung der natürlichen Sohlenbreite hier angezweifelt werden muss.

Aus den Berechnungen ergeben sich für die Breiten des Gewässerraumes Werte von 32 m (Oberlauf), 42 m (Mittellauf) bis 46 m (Unterlauf). Für die Bemessung des Geschiebeablagerungsplatzes ist die Festlegung des Gewässerraumes anzupassen. Die Raumansprüche müssen in diesem Fall gestützt auf der Grundlage der spezifischen Funktion (Geschiebebewirtschaftung) festgelegt werden.

6.5 Bauliche Massnahmen

6.5.1 Oberlauf

Mit der Ertüchtigung werden die Schwachstellen des Gerinnes stabilisiert. Die abgetiefte Gerinnesohle und die ausgekolkten Böschungen werden mit Bachkies überschüttet und das neue Planum mit grossen Blöcken und Schroppen belegt (Rähne). Zur besseren Strömungsführung wird die Sohlenbreite reduziert.

Das sanierungsbedürftige Ufer im Bereich der Bauten der Rheinmetall wird gesichert. Auf der Kurvenaussenseite ist der Gefahr der Unterkolkung mit einem Vorgrund aus Blocksteinen zu begegnen. Die Blocksteine werden unter die Bachsohle mit einem Gefälle von 1:3 kraftschlüssig Block an Block verlegt.

Zur Gewährleistung des Freibords muss an einigen wenigen Stellen der rechtsseitige Damm erhöht werden. Am linksseitigen Ufer sollen möglichst keine baulichen Eingriffe erfolgen, da dieses bereits sehr naturnah ist (Waldbereich). An einzelnen Stellen mit Anrissen ist linksufrig eine Sanierung erforderlich.

Die Massnahmen umfassen:

- Rückbau zweier schadhaften Schwellen/Abstürze
- Sanierung schadhaftes Ufer
- Lokale Dammerhöhung zur Gewährleistung Freibord für HQ100 im Bereich Bauten Rheinmetall
- neues Planum: Sohlenbreite 8-10 m; Böschungsneigung 1:2 (alte Ufer überschüttet)
- Blockbelegung 12% bis 18 % (Längsgefälle 2.5 bis 3.5 %)
- Erstellen einer Ablagerungsfläche für Aushub unterhalb des Dammes Ochsenboden

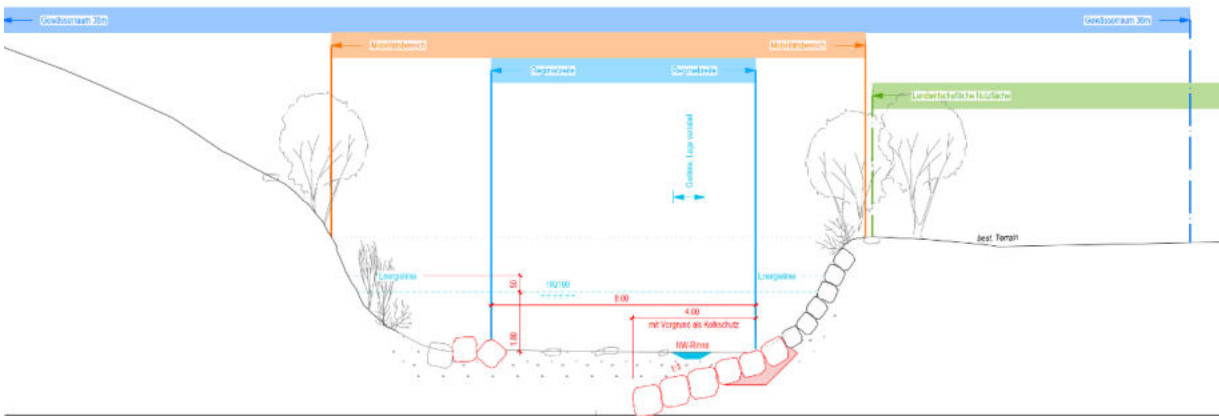


Abbildung 30: Normalprofil Böschungssicherung mit Vorgrund

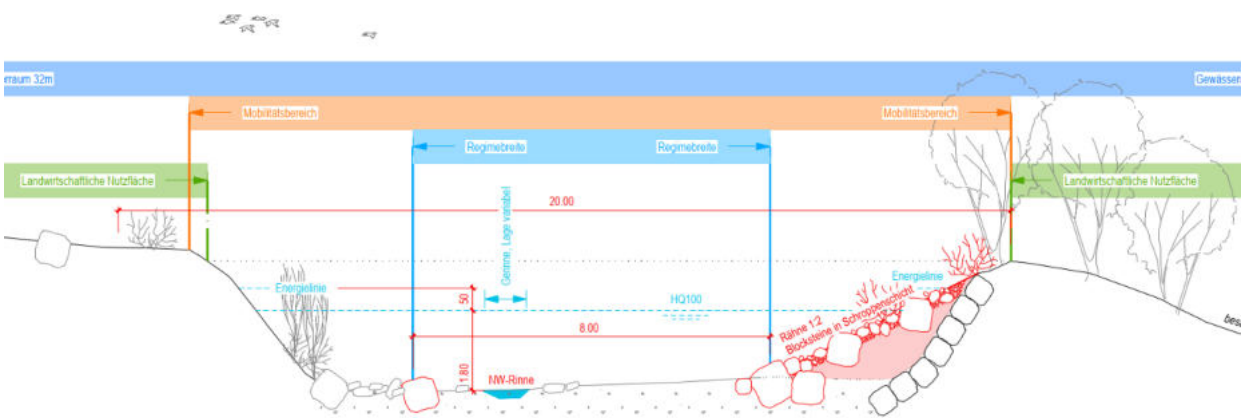


Abbildung 31: Normalprofil Böschungssicherung mit Vorgrund

Zur Reduzierung der Baukosten/Deponiegebühren, zur Verbesserung des Landschaftsbildes, aus ökologischen Überlegungen (Einsparungen CO₂-Ausstoss bei Transport) und im Sinne des Bodenschutzes ist unterhalb des Dammes Ochsenboden eine Ablagerungsfläche für den vor Ort anfallenden Aushub geplant. Mit dem vor Ort anfallenden Bodenmaterial kann die bestehende Böschung sowie muldenartige Topografie unterhalb des Dammes ausgeebnet sowie angeglichen werden und fügt sich dadurch besser in die Topografie der umliegenden Landschaft ein. Auf einer Fläche von circa 10'400 m² kann ein Volumen (fest) von circa 14'640 m³ abgelagert werden.

Die Ablagerung von Bodenmaterial gilt als Deponie und muss als landwirtschaftliche Bodenverbesserung separat bewilligt werden. Es ist frühzeitig Kontakt mit den zuständigen Stellen (Amt für Landwirtschaft und AfU) aufzunehmen.



Abbildung 32: Ablagerungsfläche unterhalb Damm Ochsenboden

Gemäss heutiger Bewirtschaftung ist ein Geschiebedefizit im Unterlauf (Sanierungsbedarf) vorhanden. Der Eingriff ins Grundwasser hat auch Auswirkungen auf den Geschiebehaushalt. Mit der gepflasterten Sohle ist momentan keine Wechselwirkung möglich. Die geplante Kiessohle ist nur stabil, wenn Geschiebe von oben nachkommt.



Abbildung 34: Abschlussperre mit Teilrückbau und Schwemmholzrechen

Gemäss Vollzugshilfe zur Sanierung des Geschiebehaushaltes (Version 21) sollten für ein gewundenes Gerinne mit Bänken die Fracht mindestens 65% des Referenzzustandes betragen. Die Entnahmen aus dem Sammler Ochsenboden müssten somit auf einen Drittel des bisherigen Wertes reduziert werden.

In den Geschiebeablagerungsplatz (GAP) oberhalb der Studenbrücke würden folglich pro Jahr zirka 1'300 m³ (Vorstudie) resp. 2'600 m³ (Vollzugshilfe) gelangen. Bei einer Ablagerungsfläche gemäss Projektvariante von zirka 5'000 m² und einer mittleren Ablagerungshöhe von 1.0 m (Annahme: Rotationsauflandung mit maximaler Auflandung von 2.0 m) beträgt das mittlere Intervall für die Bewirtschaftung rund 4 Jahre (Vorstudie) resp. 2 Jahre (Vollzugshilfe).

Der neue Geschiebeablagerungsplatz (GAP) oberhalb der Studenbrücke wird landschaftsschonend als Flussaufweitung gestaltet. Der GAP ist rund 31 m breit und circa 180 m lang. Die Ufer der Aufweitung werden mit Blocksteinbuhnen gegen Erosion geschützt. Die Zufahrt für Unterhalts- und Entleerungsarbeiten erfolgt über eine neue Zufahrt in die Studen-/Einsiedlerstrasse direkt neben der Brücke Studen.

Grundsätzlich wäre auch ein vollständiger Rückbau des Geschiebesammlers Ochsenboden denkbar. Als Ausgleich müsste in diesem Fall der neue GAP entsprechend grösser gestaltet werden. Bei sehr hohen Geschiebeeinträgen aus dem Oberlauf ist eine räumliche Aufteilung des Rückhaltes aber wesentlich effizienter und erlaubt gezieltere Eingriffe. Mit dem Auslaufbauwerk Ochsenboden würde auch das Kolkbecken unterhalb des Auslaufbauwerkes – und damit ein bedeutendes Fischhabitat – verschwinden.

6.5.3 Unterlauf

Der Gerinneabschnitt von der Studenbrücke bis zur Mündung des Brünnenbaches weist ein mittleres Gefälle von 0.7% auf. Dieser Abschnitt kann rechtsufrig aufgeweitet werden, wodurch sich ein verzweigtes Abflussbild einstellen wird. Unterhalb des Brünnenbaches bis zum Sihlsee vermindert sich das Sohlgefälle auf nur noch 0.2%. Hier fehlt die Dynamik, es bewegen sich nur noch kleine Kieskörner (<3cm). Um hier die Bildung von Sohlenformen anzuregen, wird die bestehende Deckschicht entfernt. Zudem wird eine Niederwasserrinne ausgebildet, damit auch bei wenig Abfluss genügend Wassertiefe für die Fische zur Verfügung steht.

Der Querschnitt wird auf kein Schutzziel ausgelegt. Die einzige Ausnahme bilden die Häuser «Hintere Ängi». Dort muss für das Schutzziel HQ30 der Damm entsprechend erhöht werden.

Zentral ist hier die Strukturierung der bisher monotonen Uferböschungen. Bei feinem Untergrund bieten sich sogenannte Flechtwerksbuhnen als mögliche Aufwertungsmassnahme an. Dazu werden lebende oder tote Holzpfähle (Ø 10-15 cm, Länge 2-3m) im Abstand von 40-60 cm vom Ufer zum Wasser hinabfallend eingeschlagen. Um die Pfähle wird möglichst langes, biegsames und austriebfähiges Astwerk von 2-5-jährigen Weiden geflochten /12/. Zwischen den Buhnen werden sich Feinsedimente ablagern und am Buhnenkopf bildet sich durch die Strömungskonzentration ein Kolk. Werden die Buhnen alternierend angeordnet, entsteht das natürliche Strömungsmuster mit Lauf-Hinterwasser-Sequenzen. Die typische Wellenlänge alternierender Bänke beträgt das 10-fache der Gerinnebreite /9/. Bei einer Sohlenbreite von 12m und 6 Buhnen pro Wellenlänge, sind für die Gerinnestrecke (2'100 m) insgesamt 110 Buhnen erforderlich.

Die Massnahmen sind:

- Entfernung Bruchsteinbelegung und Kiesschicht im gesamten Abschnitt (2'100 m)
- Geländeabtrag für die rechtsufrige Aufweitung zwischen Studenbrücke und Mündung Brünnenbach
- Einbau Flechtwerksbuhnen entlang der gesamten Gerinnestrecke (Abstand 30m)
- Lokale Dammerhöhung zur Gewährleistung HQ30 an einzelnen Uferstellen und bei den Häusern «Hintere Ängi»

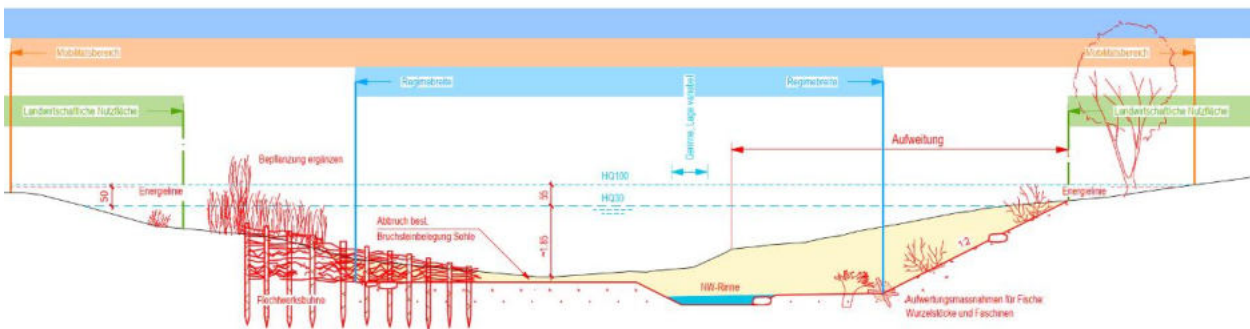


Abbildung 35: Normalprofil Aufweitung Unterlauf

6.5.4 Wisstannenbach

Die unterkolkten und schadhafte Schutzbauten oberhalb der Wildbachschale werden saniert (Blocksatz) resp. ersetzt (Holzkasten). Die Wildbachschale und das Absturzbauwerk beim Einlauf zum Geschiebesammler werden abgebrochen und durch eine natürliche Stufen-Becken-Abfolge ersetzt. Mit einer Reduktion des Gefälles in der Stufen-Becken-Abfolge und einer Streckenverlängerung in den Bereich der heutigen Geschiebeentnahmestelle kann die Fischgängigkeit verbessert werden. Der Hochwasserschutz ist wie bisher gewährleistet. Mit den Massnahmen wird hauptsächlich die Ökologie (Fischgängigkeit) und die Anbindung an das Auengebiet verbessert. Die ehemalige Geschiebeentnahmestelle kann aufgehoben werden.

Die Massnahmen umfassen:

- Unterfangung/Neuerstellung Blocksatz
- Ersatz Holzkasten durch Blocksatz
- Lose Blockbelegung zur Stabilisierung der Sohle
- Rückbau Absturz (Höhe 4 m) und Wildbachschalenstrecke (Länge 100 m)
- neues Planum: Sohlenbreite 4 m; Böschungsneigung 1:2
- Stufen-Becken-Sequenzen
- Erstellen Furt als Ersatz für best. Brücke.

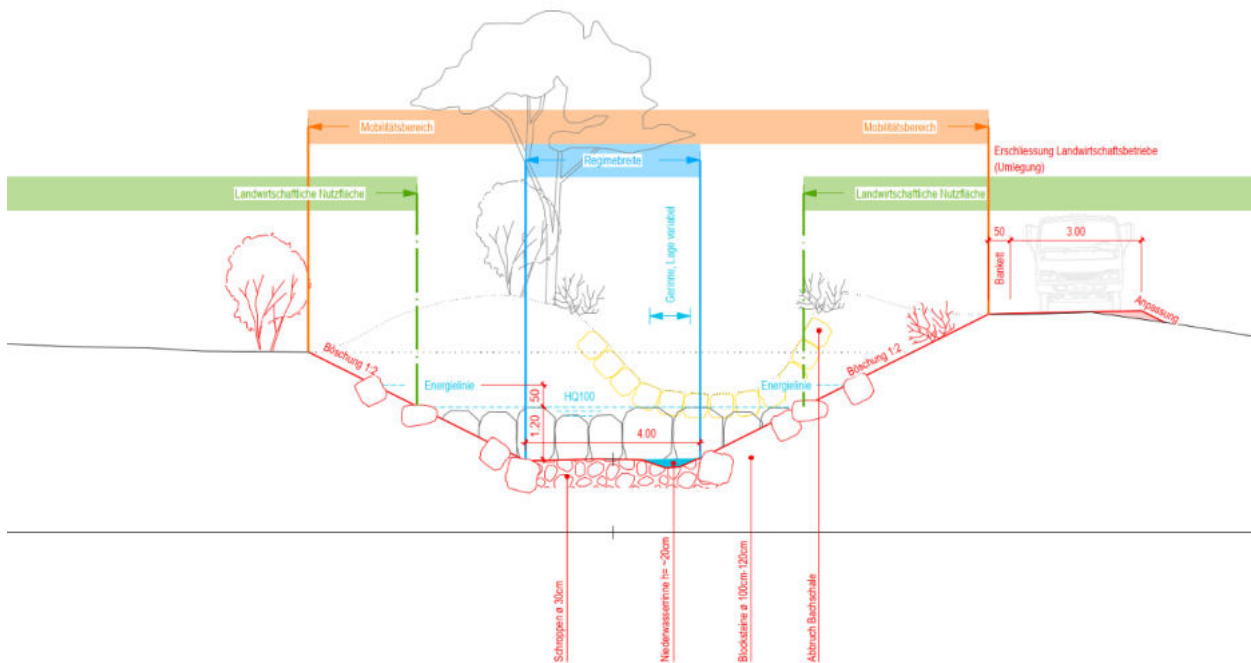


Abbildung 36: Normalprofil Wildbachschale Wisstannenbach

6.5.5 Werkleitungen

Allfällige Werkleitungsumlegungen sowie die Erstellung zusätzlicher Werkleitungen sind gemäss den entsprechenden Normen durch die verantwortlichen Werke und Betriebe durchzuführen und sind in der nächsten Projektphase genauer abzuklären.

6.6 Ökologische Massnahmen

6.6.1 Oberlauf

Mit dem Rähnenverbau wird nebst der Sicherung der Ufermauern auch die zu breite Gerinnesohle reduziert und es kann sich eine bessere Strömungsführung einstellen. Mit den Rähnen wird ein neuer Uferbereich geschaffen und der Lebensraum für Flora und Fauna bereichert. Mithilfe einer punktuellen Initialpflanzung von Weidenstecklinge und infolge der natürlichen Sukzession kann sich auf diesen Uferflächen nach einiger Zeit eine gewässertypische, dynamische Ufervegetation einstellen. Der neue Uferbereich verbessert die amphibische und terrestrische Längsvernetzung und die Quervernetzung zwischen dem aquatischen und dem terrestrischen Raum wird wiederhergestellt.

6.6.1 Geschiebesammlersperre Ochsenboden

Eine bauliche Absenkung der Geschiebesammlersperre um circa 1.5 m auf die Höhe der Wasserführung (Durchlässe) beim Ochsenboden und eine Reduktion bei den jährlichen Geschiebeentnahmen im Ochsenboden ermöglichen das Geschiebedefizit im Mittellauf zu beheben. Im Mittellauf kann sich dadurch künftig eine natürliche Geschiebedynamik einstellen. Bei der Studenbrücke wird eine neuer Geschiebeablagerungsplatz (GAP) als Flussaufweitung geschaffen, welcher das anfallende Geschiebe sammelt.

Bei der Absenkung der Geschiebesammlersperre auf die Höhe der beiden Durchlassrohre sollte keine negativen Auswirkungen für den Wasserhaushalt der bestehenden auenartigen Landschaft im Ochsenboden zu erwarten sein. Mit dem Erhalt der Sperre bleibt das grosse, darunterliegende Kolkbecken für Fische erhalten.

6.6.2 Mittellauf

Sämtliche Ufermauern sowie die Bruchsteinbelegung der Sohle wird rückgebaut. Das neue Gerinne pendelt in einem leichten Mäander um den bisherigen Gerinneverlauf mit unterschiedlichen Böschungsneigungen. Das Sohlenniveau wird um circa 1.5 m

abgesenkt. Die Absenkung verhindert den Bau von grossen zusätzlichen Schutzdämmen. Zudem wird damit die Abflusssituation sowie der Austausch mit dem Grundwasser verbessert und damit ein Austrocknen der Sihl reduziert.

Eine variable Sohlenbreite von 8 bis 10 m steht dem Gerinne als Regimebreite zur Verfügung. Die Sohle wird stellenweise mit einer Blockbelegung stabilisiert. Zur Verbesserung und Ermöglichung der Fischwanderung wird eine Niederwasserrinne ausgebildet. Die Böschungen werden mit unterschiedlichen Gefällen im Verhältnis von max. 1:2 bis 1:5 als Rähnen gestaltet und nur wo erforderlich mittels Blocksatz verstärkt. Im unteren Abschnitt bieten zusätzliche und gegenüber dem Umland tiefer liegende Uferflächen zusätzliche Uferbereiche. Bei der Studenbrücke dient eine Ausweitung der Gerinnesohle auf eine Breite von circa 31 m als Geschiebeentnahmestelle. Durch das anfallende Geschiebe und Sedimentation wird sich in diesem Bereich ein dynamisches Gerinne einstellen.

Der Schwerpunkt der Entwicklungsziele für die Seeforelle und Erdkröte liegen im Mittellauf. Das primäre Ziel der Aufwertungsmassnahmen ist es ein neues Habitat zu schaffen.

Bei der Blocksteinbelegung ist darauf zu achten, dass diese eine Niederwasserrinne und deren Wasserführung begünstigen. Diese könnten beispielsweise stellenweise in Form einer naturnahen Abtreppe mit aufgelösten Steinschwellen erfolgen. In den flacheren Abschnitten wird die Strukturvielfalt im Flussbett und Uferbereich durch den Einbau von Holz- und Steinbuhnen aufgewertet werden. Mithilfe der Buhnen entstehen einzelne Auflandungen und das Gerinne wird stellenweise verschmälert. Die Verengungen lenken das Gewässer, bringen es zum natürlichen Pendeln und es entwickeln sich Niederwasserrinnen. Die neue Gewässerdynamik ermöglicht die natürliche Entwicklung von zusätzlichen kleinen Kolkbecken und die Ansammlung von Totholz bei den Buhnen. Bei den bestehenden Kolkbecken wird die Strukturvielfalt und insbesondere die Deckungsmöglichkeiten (Unterstände) für die Fische (insbesondere Seeforelle) durch das Einbringen von Wurzelstöcken gefördert. Die Holz- und Steinbuhnen werden so eingebracht und eingebaut, dass diese bei einem Hochwasser problemlos überschwemmt werden können.

Die neuen Uferbereiche werden gruppenweise mit standortgerechten Ufergehölze bepflanzt, welche das Gerinne beschatten. Die noch offenen Kies-Flächen wachsen mithilfe der natürlichen Sukzession zu einer gewässergerechten Ufervegetation heran. Einzelne Initialpflanzungen in Form von Stecklingen oder Wildstauden fördern deren Entwicklung. Im Uferbereich werden einzelne Steinhäufen, Wurzelstöcke und Totholz eingebracht, welche den Lebensraum mitunter auch für die Erdkröte bereichern. Bei der Geschiebeentnahmestelle werden zusätzlich einzelne temporäre Pfützen und Tümpel geschaffen. Die neuen Uferbereiche ermöglichen eine amphibische und terrestrische Längsvernetzung und die Quervernetzung zwischen dem aquatischen und dem terrestrischen Raum sowie für querende Wildtiere wird wiederhergestellt.

Im Rahmen des Bauprojektes sind die einzelnen ökologischen Aufwertungsmassnahmen wie Fischunterstände, Steinbuhnen, etc. sowie die Böschungsausgestaltung, -bepflanzung vertiefter zu überprüfen.

6.6.3 Unterlauf

Im Unterlauf wird die bestehende Bruchsteinbelegung der Sohle entfernt. Die rechte Uferseite wird von der Studenbrücke bis zur Mündung des Brünnenbachs ausgeweitet. In diesem Abschnitt kann sich dadurch ein natürlicheres sowie dynamisches Gerinne ausbilden.

Bei der Aufweitung bieten zusätzliche und gegenüber dem Umland tiefer liegende Uferflächen zusätzliche Uferbereiche und Lebensräume. Die Strukturvielfalt im Flussbett und Uferbereich wird durch den Einbau von Flechtwerks-, Holz- und Steinbuhnen aufgewertet. Mithilfe der Buhnen entstehen einzelne Auflandungen und das Gerinne wird stellenweise verschmälert. Die Verengungen lenken das Gewässer, bringen es zum natürlichen Pendeln und es entwickeln sich natürliche Niederwasserrinnen. Die neue Gewässerdynamik ermöglicht die natürliche Entwicklung von zusätzlichen kleinen Kolkbecken und die Ansammlung von Totholz bei den Buhnen. Bei den bestehenden Kolkbecken wird die Strukturvielfalt und insbesondere die Deckungsmöglichkeiten (Unterstände) für die Fische (insbesondere Seeforelle) durch das Einbringen von Wurzelstöcken und Faschinen gefördert. Die Buhnen werden so eingebracht und eingebaut, dass diese bei einem Hochwasser problemlos überschwemmt werden können.

Die Uferbereiche der Aufweitung werden gruppenweise mit standortgerechten Ufergehölze bepflanzt, welche das Gerinne beschatten. Die noch offenen Kies-Flächen wachsen mithilfe der natürlichen Sukzession zu einer gewässergerechten Ufervegetation heran. Einzelne Initialpflanzungen in Form von Stecklingen oder Wildstauden fördern deren Entwicklung. Im Uferbereich werden einzelne Steinhäufen, Wurzelstöcke und Totholz eingebracht und Pfützen erstellt, welche den Lebensraum mitunter auch für die Erdkröte bereichern.

Unterhalb des Brünnenbaches bis zum Sihlsee fehlt infolge des flachen Sohlengefälle von circa 0.2% die Dynamik. Um hier die Bildung von Sohlenformen anzuregen, wird die bestehende Deckschicht entfernt. Zudem wird eine Niederwasserrinne ausgebildet, damit auch bei wenig Abfluss genügend Wassertiefe für die Fische zur Verfügung steht. Zentral ist hier die Strukturierung der bisher monotonen Uferböschungen. Mithilfe des Einbaus von Flechtwerksbuhnen wird der Uferbereich und Lebensraum im Gewässer aufgewertet.

Wo möglich wird die bestehende Uferbepflanzung unterhalb des Brünnenbaches mit zusätzlichen standortgerechten Ufergehölze ergänzt.

6.6.4 Wisstannenbach

Die baulichen Massnahmen beim Wisstannenbach dienen hauptsächlich der Ökologie und damit primär der Verbesserung und Ermöglichung für eine Fischwanderung. Die stark verbaute Wildbachschale und das hohe Absturzbauwerk beim Einlauf zum Geschiebesammler werden abgebrochen und durch eine natürliche Stufen-Becken-Abfolge ersetzt. Mit einer Reduktion des Gefälles in der Stufen-Becken-Abfolge und einer Streckenverlängerung in den Bereich der heutigen Geschiebeentnahmestelle wird dieser Gewässerabschnitt für die Bachforelle fischgängig gemacht und eine Anbindung an das Auengebiet verbessert werden. Die ehemalige Geschiebeentnahmestelle kann aufgehoben werden. Oberhalb der Wildbachschale werden einzelne schadhafte Schutzbauten werden saniert.

Das steile Ufer bei der ehemaligen Wildbachschale wird auf eine 1:2 Böschung abgeflacht. Die Böschung und das Gerinne werden mit losen Blocksteinen belegt und gesichert. Die Gerinnesohle wird zusätzlich mit grobem Wandkies und geeignetem Laichsubstrat ausgebildet. Damit das Gerinne auch bei Trockenheit fischgängig bleibt ist eine Niederwasserrinne und es sind einzelne tiefere Pools auszubilden. Die Absturzhöhen der Stufen sollten nicht höher als 50 cm sein. Damit die Schwellen überwindbar sind, müssen die Pools unter der Schwelle mindestens 1.4 Mal so tief sein wie die Schwellenhöhe. Es ist darauf zu achten, dass unterschiedliche Fliessgeschwindigkeiten geschaffen werden. Mit dem Einbringen von Wurzelstöcken werden zusätzliche Versteck- und Deckungsmöglichkeiten geschaffen. Infolge der Lage des Gerinnes im Wald und durch eine nachträgliche standortgerechte Aufforstung sollte die Beschattung des Gerinnes gewährleistet sein.

6.7 Erschliessungsstudie – Neue Brücken im Mittellauf

6.7.1 Ist-Zustand Mittellauf

Im Mittellauf sind aktuell vier Brücken vorhanden.

Übersichtsplan Mittellauf mit Lage der bestehenden Brücken

- 1 Loipenbrücke Süd
- 2 Oberstudenbrücke
- 3 Loipenbrücke Nord
- 4 Studenbrücke

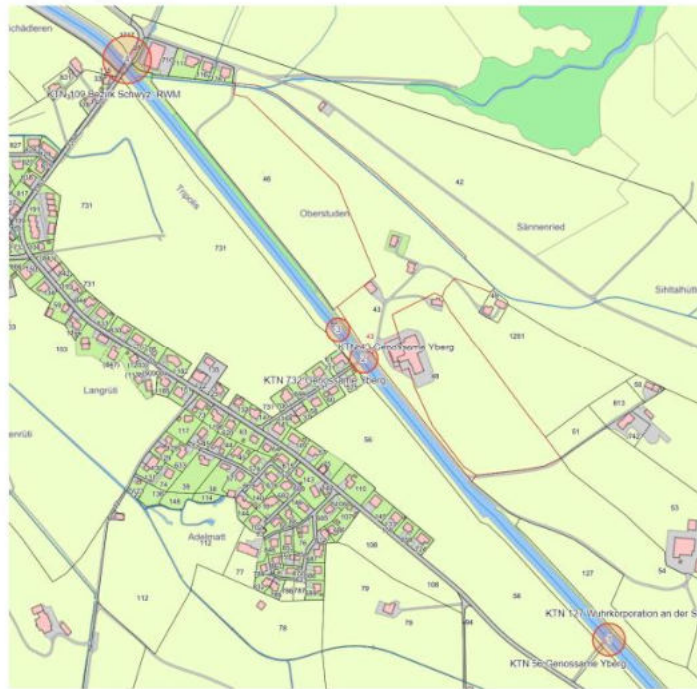


Abbildung 37: Lageplan Mittellauf Brücken

Im Gebiet Oberstuden - Breitried sind 7 Wohnhäuser über die Oberstudenbrücke erschlossen. Die Erschliessung für den motorisierten Verkehr des Quartiers Oberstuden - Breitried erfolgt ausschliesslich via Ochsenbodenstrasse - Oberstudenstrasse – Oberstudenbrücke. Der Feldweg ab Sennenried zur Oberstudenbrücke rechtsufrig der Sihl ist mit einem Fahrverbot belegt. Die Schüler benutzen die Oberstudenbrücke für den Weg zur Schule ins Dorf. Die Landwirtschaftsbetriebe Holdener und Trütsch haben beidseitig der Sihl Land zu bewirtschaften und nutzen dementsprechend die Brückenübergänge Oberstudenbrücke und Langlaufbrücke Süd. Wanderer /Fussgänger können die Oberstudenbrücke und auch die Langlaufbrücke als Sihlübergang nutzen und so kleinere oder grössere Schlaufen laufen. Die Langlaufloipe führt ab dem Langlaufzentrum Studen über eine südöstliche Schlaufe über Breitried - Chalchboden - Golfplatz - Sihltalhütte – Sennenried zurück zum Start-Zielgelände. Dabei wird die Sihl zweimal überquert.

Aktuelle Brückennutzer						
Brücken	Fussgänger/Velo	MIV	Vieh, Landwirtschaft	Langlauf	Wanderer	
1 Langlaufbrücke Süd	nein	nein	ja	ja	ja	
2 Oberstudenbrücke	ja	ja	ja	nein	ja	
3 Langlaufbrücke Nord	nein	nein	nein	ja	ja	
4 Studenbrücke	ja	ja	nein	nein	ja	

Tabelle 18: Brücken und Nutzer

6.7.2 Variantenstudie Brücken und Erschliessungen

Durch das Projekt im Mittellauf müssen alle drei Brücken abgebrochen werden. In der Studie wurden die Auswirkungen für folgende verschiedene Varianten untersucht.

Variante	Beschrieb
0	Keine neue Brücke
1A	Neubau von einer Brücke
1B	Neubau von einer Brücke (In alternativer Lage als bei 1A)
2	Neubau von zwei Brücken
3	Neubau von drei Brücken

Tabella 19: Variantenübersicht

Die graphischen Darstellungen zu jeder Variante sowie die Einzelbewertungen dazu sind dem separaten Bericht *Erschliessungsstudie Mittellauf* enthalten.

Übersicht der Resultate der Variantenbewertungen:

Kriterien		Variante 0	Variante 1A	Variante 1B	Variante 2	Variante 3
motorisierter Verkehr		0	0	-1	0	0
Landwirtschaft		-2	-1	-1	0	1
Fussgänger, Velo (Schulweg)		-1	0	-2	0	0
Langlaufloipe		-2	-1	-1	-1	0
Wandern /Erholungswert		-2	-1	-1	2	2
Baukosten *		0	-1	-2	0	-1
Betrieb und Unterhalt *		0	-1	-2	0	-1
Rechte, Dienstbarkeiten		-1	-1	0	0	0
Total		-8	-6	-10	1	1

Bewertungsschlüssel:

- 2 grosser Nachteil (gegenüber Ausgangszustand)
- 1 kleiner Nachteil
- 0 neutral, gleichwertig
- 1 kleiner Vorteil
- 2 grosser Vorteil
- * Kosten: -2 höchste, 0 tiefste

Die Variantenstudie zeigt, dass die Lösungen **mit 2 oder 3 neuen Brücken am Besten** abschneiden und im Bauprojekt weiter vertieft werden müssen. Der Langlaufclub stellt dabei klar die Forderung auf, dass wieder 2 neue Loipenbrücke gebaut werden müssen.

7 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN

7.1 Siedlung und Nutzflächen

Mit den im Projekt umgesetzten baulichen Massnahmen wird der Hochwasserschutz für die angrenzende Siedlung und Bauten im Oberlauf und Mittellauf längerfristig verbessert. Dank dem Schwemmholzrechen beim Geschiebesammler Ochsenboden wird ein bisher fehlender Schwemmholzrückhalt gewährleistet und durch den neuen Geschiebeablagerungsplatz bei der Studenbrücke wird ein zusätzlicher Interventionsort geschaffen.

Gemäss den geologischen Einschätzungen (Pkt. 7.4) werden durch die Eingriffe ins Grundwasser keine sekundären Auswirkungen (z.B. Setzungen/Hebungen etc.) auf die Siedlung und deren Bauten zu erwarten sein. Während der Bauphase ist mit negativen Einwirkungen (Luft, Verkehr, Lärm) auf die angrenzende Siedlung zu rechnen.

7.2 Ökologie, Natur und Landschaft

Die ökologischen Defizite im Mittel- und Unterlauf werden mit Aufwertungsmassnahmen behoben und es kann sich längerfristig ein ökologisch vielfältiges und dynamisches Gewässer entfalten und einstellen. Die aufgewertete Sihl wird in der ansonsten leergeräumten Kulturlandschaft eine wichtige vernetzende Rolle für die Fauna übernehmen. Mit den landschaftlichen Umgestaltungen, insbesondere im Mittel- und Unterlauf, werden neue und dynamische Lebensräume geschaffen, welche zu einer abwechslungsreichen Gewässerlandschaft heranwachsen.

7.3 Gewässerökologie und Fischerei

Mit den umgesetzten Aufwertungsmassnahmen wird das oberste Ziel der Gewässerökologie, die aquatische Längsvernetzung und damit die Fischgängigkeit im Unter- und Mittellauf sowie im Wisstannenbach wiederhergestellt. Zudem werden im Unter- und Mittellauf sowie im Wisstannenbach neue Habitate geschaffen, welche längerfristig eine positive Wirkung auf die Gewässerökologie und Fischerei für die gesamte Sihl im Projektperimeter haben.

7.4 Grundwasser

7.4.1 Oberlauf

Im Oberlauf ist die Instandstellung von schadhafte Schwellen und Blockbelegungen vorgesehen und es sind teilweise Anpassungen an den Böschungen geplant. Eine Gerinneverbreiterung oder eine Tieferlegung der Gerinnesohle sind nicht vorgesehen. Mit diesen Massnahmen ist langfristig weder eine verstärkte Infiltration noch eine verstärkte Exfiltration in den Grundwasserleiter zu erwarten. Sie haben somit keine quantitativen Auswirkungen auf das Grundwasservorkommen.

7.4.2 Mittellauf

Im Mittellauf der Sihl zwischen Ochsenboden und der Studenbrücke ist eine Neugestaltung als mäandrierendes Gerinne sowie teilweise eine Absenkung der Gerinnesohle bis ca. 1.5 m vorgesehen. Mit einer Tieferlegung kommt die Gerinnesohle im Abschnitt Östlich von Adelmatt teilweise bis rund 1 m unter den theoretischen mittleren Grundwasserspiegel gemäss der Grundwasserkarte zu liegen. Aktuelle Grundwassermessungen zeigen jedoch, dass die effektiven Grundwasserspiegel im betreffenden Abschnitt rund 1 m unter den Wasserspiegeln gemäss der Grundwasserkarte liegen (*Abbildung 38, Abbildung 39*). Heute liegt die Sohle der Sihl denn auch ca. 1.7–2.5 m *über* den gemessenen Grundwasserspiegeln. Mit einer Tieferlegung der Gerinnesohle kommt diese somit, wenn überhaupt, höchstens marginal unter den Grundwasserspiegel zu liegen. Lokal kann somit eine gewisse Exfiltration von Grundwasser in das Gerinne nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Eine grossräumige Drainage resp. Grundwasserspiegelabsenkung durch die Tieferlegung der Sohle ist aber unwahrscheinlich, zumal für den Grundwasserspiegel in Adelmatt und Studen ein südwestlich des Siedlungsgebietes verlaufender Binnengraben massgebend sein dürfte. Sicherheitshalber wurde am 15.11.2021 zur projektbegleitenden Überwachung von Grundwasserspiegel-Schwankungen im Siedlungsgebiet in einem Sodbrunnen in Adelmatt (KTN 688) ein weiterer Drucksensor mit Datenlogger installiert (*Lage vgl. Abbildung 40*).

Mit der Gerinneanpassung und der dadurch bedingten Aufbrechung der Gerinnesohle kann es vorübergehend zu einem gegenüber dem heutigen Zustand verstärkten Austausch zwischen Gerinne und Grundwasser kommen. Wegen des generell

mässig bis schlecht durchlässigen Untergrunds wird dieser aber relativ gering sein und mit zunehmender Kolmatierung im Laufe der Jahre wieder abnehmen.

7.4.3 Unterlauf

Im Unterlauf ist kein schützenswertes Grundwasservorkommen durch das Projekt tangiert.

7.4.4 Zusammenfassende Beurteilung

Gemäss der aktuellen Datenlage sind durch das vorliegende Hochwasser-Schutzprojekt keine schädliche, quantitative und qualitative Auswirkungen auf das lokale Grundwasservorkommen zu erwarten. Eine grossräumige Veränderung des Grundwasserspiegels und daraus folgende sekundäre Auswirkungen (z.B. Setzungen/Hebungen etc.) sind nicht zu erwarten. Eine Beeinträchtigung bestehender Grundwassernutzungen kann praktisch ausgeschlossen werden.

Bei Vorliegen des konkreten Bauprojektes muss dies verifiziert werden. Zu diesem Zeitpunkt muss auch ein Grundwasser-Überwachungsplan mit Notfalldispositiv ausgearbeitet werden, welches die Verantwortlichkeiten regelt und zu treffenden Massnahmen im Falle von beobachteten Veränderungen des Grundwasserspiegels festlegt (Auflage Amt für Umwelt Kanton Schwyz). Für diese Grundwasserüberwachung können die bestehenden Grundwasser-Messstellen verwendet werden. Der Grundwasserspiegel wird bereits seit Sommer/Herbst 2021 mittels Datenloggern aufgezeichnet (*Kapitel 3.7.3*).

7.5 Landwirtschaft

Mit der geplanten Anpassung des Gerinnes werden insbesondere bei der Mäandrierung im Mittellauf und bei der Ausweitung im Unterlauf die anliegenden Kulturlflächen tangiert, welche hauptsächlich als Fett- und Futterwiesen landwirtschaftlich genutzt werden. Ein Teil der Nutzflächen muss für die Regimebreite und insbesondere für den neuen Mobilitätsbereich der Sihl weichen, respektive hergegeben werden. Wo möglich und sinnvoll sollen die landwirtschaftlichen Nutzflächen den Mobilitätsbereich der Sihl überlagern. Diese überlagerten Bereiche könnten als extensive Wiese/Krautsaum, Streue oder Niederhecke extensiv landwirtschaftlich genutzt werden.

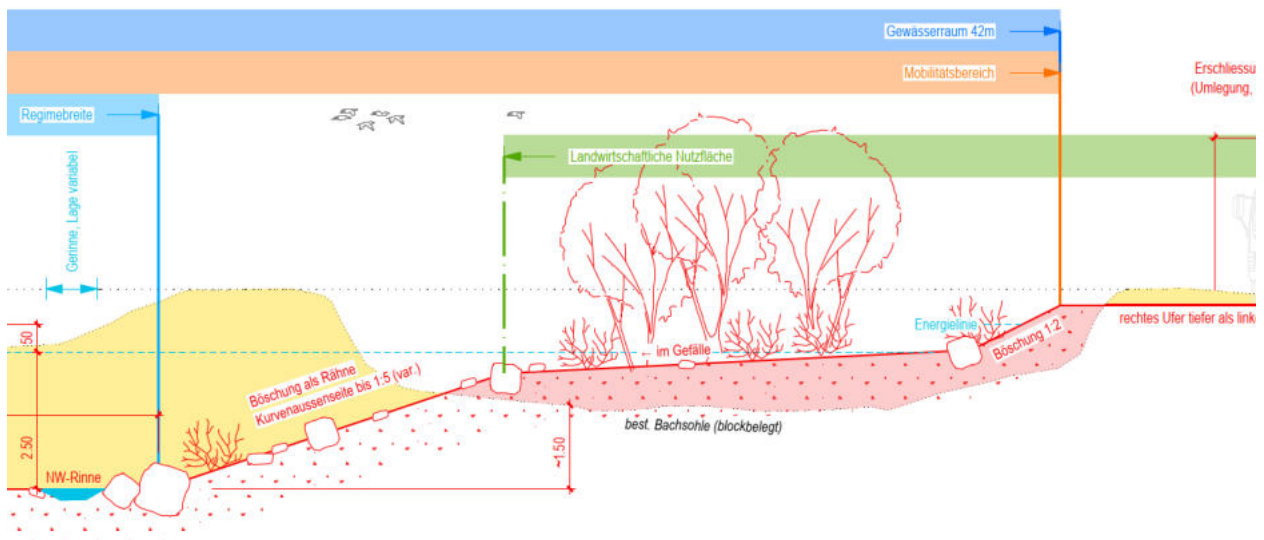


Abbildung 38: Ausschnitt Normalprofil mit landwirtschaftlicher Nutzfläche

Im Unterlauf liegen im Breitried die Ried- und Flachmoorflächen, welche als landwirtschaftliche Streueflächen extensiv bewirtschaftet werden. Diese sind von den Massnahmen nicht tangiert. Fruchtfolgeflächen sind im Projektperimeter keine vorzufinden.

8 VERBLEIBENDE GEFAHREN UND RISIKEN

Hochwasser, welche den Bemessungsabfluss übersteigen, werden als sogenannter Überlastfall bezeichnet. Da die Gerinnekapazität für ein solches Ereignis nicht mehr ausreicht, ist mit Ausuferungen entlang des Gerinnes zu rechnen.

Bezüglich Hochwasserrisiken ist der Mittelauf der Sihl im Fokus. Mit einer tiefergelegten Gerinnesohle wird das Risiko von Ausuferungen wesentlich reduziert. Im Bereich Breitried und Oberstuden wird die orografisch linke Uferseite höher als die rechte Seite ausgebildet, um im Überlastfall das Dorf Studen zusätzlich zu schützen.

Mit der Einrichtung eines zusätzlichen Geschiebeablageplatzes oberhalb der Studenbrücke wird ein zusätzlicher Interventionsort geschaffen. Dadurch lassen sich grosse Geschiebeaufkommen besser bewirtschaften.

Die Umgestaltung des Abschlussbauwerks beim Geschiebesammler Ochsenboden soll genutzt werden, um mittels einem Grobrechen den bisher fehlenden Schwemmholrückhalt zu gewährleisten. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass der Geschiebedurchgang gewährleistet bleibt.

9 UMSETZUNG DER VERBLEIBENDEN GEFAHREN IN DIE RICHT- UND NUTZUNGSPLANUNG

Das verbleibende Risiko erfordert keine Massnahmen in der Richt- und Nutzungsplanung. Die Aufweitungen und der Gewässerraum sind in den Nutzungsplänen der Gemeinden entsprechend umzusetzen

10 KOSTENVORANSCHLAG

Die Gesamtkosten des Hochwasserschutzprojektes betragen circa 9.77 Mio. CHF inkl. MwSt. Die Kosten für die reinen Bauarbeiten werden auf circa 7.4 Mio. CHF exkl. MwSt. geschätzt. Die Kosten für den Landerwerb und für den Brückenbau sind nicht eingerechnet. Kostengenauigkeit +/- 20%, Preisbasis November 2021. Die detaillierte Kostenaufstellung ist im Anhang ersichtlich.

10.1 Massenbilanz

Für die Massenbilanz wurden folgende Annahmen getroffen:

- Als Aufschüttmaterial wird 80% Aushubmaterial und 20% zugeführtes Material verwendet.
- Es muss kein Aushubmaterial auf eine Deponie Typ B oder höher abgeführt werden
- Beim Damm Ochsenboden kann auf einer Fläche von circa 10'400 m² ein Volumen (fest) von circa 14'640 m³ abgelagert werden. Sämtliche Kosten für die Bewilligung und Erstellung der Deponie/Ablagerungsstandort beim Damm Ochsenboden sind im Kostenvoranschlag nicht berücksichtigt.

Abschnitt	Aushub [m3 fest]	In Deponie [m3 fest]	Einbringen [m3 fest]	Bilanz [m3 fest]
Oberlauf	10'400	0	19'200	-8'800
Mittelauf	58'300	15'660	19'200	23'440
Unterlauf	17'300	16'540	760	0
Wisstannenbach	3'200	2'240	960	0
Total	89'200	34'440	40'120	14'640 (in Ablagerungsraum Ochsenboden)

Tabelle 20: Massenbilanz pro Abschnitt

Bei der Massenbilanz wurde bereits berücksichtigt, dass 14'640 m³ (fest) des überschüssigen Materials beim Ablagerungsstandort Ochsenboden verbaut werden kann. Falls ein Ablagerungsstandort bzw. eine Deponie beim Damm Ochsenboden nicht bewilligungsfähig sind, ist mit zusätzlichen Kosten von ca. CHF 500'000.- zu rechnen.

Insgesamt werden 34'440 m³ Aushubmaterial (fest) vom Mittel-/Unterlauf und Wisstannenbach in Deponien abgeführt. Dies allein führt zu Kosten von ungefähr CHF 1'100'0000. Im Rahmen des Bauprojektes ist zu prüfen, ob ein Teil des

Aushubmaterial vor Ort, insbesondere im Mittellauf, für eine Abflachung der Dammsituation verbaut werden könnte und damit die landschaftliche Einpassung verbessert werden könnte. Weiter wäre zu prüfen ob noch weitere Ablagerungsstandorte in unmittelbarer Nähe vorhanden wären.

11 ERFOLGSKONTROLLE

Mit einer projektbegleitenden Erfolgs- und Wirkungskontrolle soll aufgezeigt werden, ob die ökologischen Aufwertungen ihre Ziele erreichen konnten. Hierfür soll mit dem Bauprojekt ein separates Konzept erarbeitet werden, welches die Wirkungskontrolle aufzeigt und die zu untersuchenden Aspekte (Indikatoren) definiert.

Die Umsetzung dieser ökologischen Massnahmen in der Ausführungsphase wird Aufgabe der ökologischen und bodenkundlichen Baubegleitung sein (separates Mandat).

12 WEITERER PROJEKTABLAUF

12.1 Weiteres Vorgehen

In einem nächsten Schritt wird dieses Vorprojekt vom Kanton und Bundesamt für Umwelt (BAFU) gemäss den Anforderungen an Wasserbauprojekte überprüft. Entsprechende Rückmeldungen oder Auflagen werden in die nächste Planungsphase einfließen. Die nächste Planungsphase ist die SIA Phase 32, Bauprojekt. In dieser Phase werden die im Vorprojekt entwickelten Massnahmen vertieft bearbeitet. Das heisst, die Geometrie, die Materialien und Materialstärken werden bestimmt, allfällige Werkleitungskonflikte und Anschlüsse an bestehende Bauten werden im Detail betrachtet und die Bauabläufe werden definiert. Dazu gehört auch das Ausweisen der beanspruchten Flächen inklusive derjenigen, welche während dem Bau temporär beansprucht werden

12.2 Pflichtenheft

Folgende Punkte und Fragenstellungen sind im **Rahmen des Bauprojektes** weiter zu prüfen.

- UVB-Pflicht
- Etappierbarkeit Bauprojekt
- Festlegung der genauen Mäanderform anhand Landerwerbsverhandlungen
- Synergien mit Revitalisierungsprojekt Minster (ev. infolge zeitgleicher Umsetzung)
- Notfallplanung in Rücksprache mit Gemeinde Unteriberg
- Detaillierte Anbindungen der Seitenbäche in Planung aufnehmen
- Detaillierte Prüfung der Altlasten im Oberlauf und deren Ausmass
- Abklärung Wiederverwendung Aushubmaterial (Machbarkeit Terrainanpassungen im Mittellauf)
- Materialablagerungsstandorte suchen und deren Bewilligungsfähigkeit klären (Aushubdeponien)
- Brückenstandorte festlegen, Bauprojekte zu Brücken
- Erkenntnisse aus Grundwassermessungen auswerten
- Prüfung der Böschungsneigungen und Variabilität der Rähnen und Uferbereiche
- Vertiefte Ausarbeitung der ökologischen Aufwertungsmassnahmen im Gerinne (Fischunterstände, Steinbuhnen, etc.)
- Unterhalts- und Bewirtschaftungskonzept
- Konzept für Erfolgskontrolle, Festlegung der Indikatoren, Aufnahmen Fischhabitate, Makrozoobenthos

13 GRUNDLAGEN

- /1/ Naturgefahrenkarte Los Ybrig, Technischer Bericht. IGG SKH, Kissling + Zbinden, Annen Forstingenieurbüro, November 2011.
- /2/ Kantonale Naturgefahrenstrategie, Revision 2010. RRB Nr. 324/2010
- /3/ Oekomorphologie. WebGIS SZ
- /4/ Bodeneignungskarte der Schweiz. März 1980.
- /5/ Massnahmenplanung, Protokoll der Koordinationssitzung 23.2018. P. Meier & Partner AG, Lachen.
- /6/ Sanierung Geschiebehaushalt, Los Sihl. Schlussbericht Phase 1. Flussbau AG SAH, Dezember 2014.
- /7/ Revitalisierung von Fliessgewässern im Kanton Schwyz. Fischwerk / bpp Ingenieure AG, Dezember 2013.
- /8/ Geologische Karte der Schweiz 1:500'000.
- /9/ Bezzola G. R. 2003. Flussbau. Vorlesungsskript, ETH Zürich.
- /10/ Parker G., Toro-Escobar C. M., Ramey M., Beck S. 2003. Effect of Floodwater Extraction on Mountain Stream Morphology. J. Hydr. Engrg. ASCE, Vol. 129, No. 11.
- /11/ Yalin M. S, Ferreira da Silva A. M. 2001. Fluvial Processes. IAHR Monograph.
- /12/ Ingenieurbiologische Bauweisen an Fliessgewässern, Teil 3. Arbeitsblätter für die Baustelle. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2013.
- /13/ Sihl in Studen, Hochwasserschutzkonzept. Beffa tognacca gmbh, 04.07.2019
- /14/ Geologisches Büro Dr. A. J. Zingg (15.12.1999): Talebene von Studen / Ochsenboden, Abklärung der Grundwasser- verhältnisse
- /15/ Schenker Korner Partner GmbH (25.2.2011): Ort, Studen, Bericht zu den Grundwasseruntersuchungen
- /16/ Nutzungsplan Gemeinde Unteriberg, RRB Nr. 1228/2008
- /17/ Teilzonenplan Ochsenboden, Gemeinde Unteriberg, RRB Nr. 1291/2006
- /18/ Inventarplan und Schutzverordnung Gemeinde Unteriberg, dat. 06.09.1996
- /19/ In den bisher gültigen Zonenpläne Bezirk Einsiedeln ist der Projektperimeter planlich nicht dargestellt (ausserhalb Bauzone). Mit Teilrevision 1 der Nutzungsplanung wird Perimeter im Zonenplan Übersichtsplan Süd, Stand 22.06.2021 erfasst.
- /20/ Landwirtschafts- und Schutzzonenplan 1:10'000, Teil Ost, Bezirk Einsiedeln, RRB Nr. 458/2014
- /21/ Richtplan des Kanton Schwyz, Richtplan Teil Süd, RRB Nr. 289/2019
- /22/ Schutzplan Naturschutzgebiete Breitried, Schützenried, Oberer Sihlsee und Allmig, Kanton Schwyz, dat. 29.08.1994
- /23/ Entwicklungskonzept Sihlsee, Umweltdepartement Kanton Schwyz, April 2014
- /24/ Revitalisierung von Fliessgewässern im Kanton Schwyz. Fischwerk, bpp Ingenieure AG, Dezember 2013

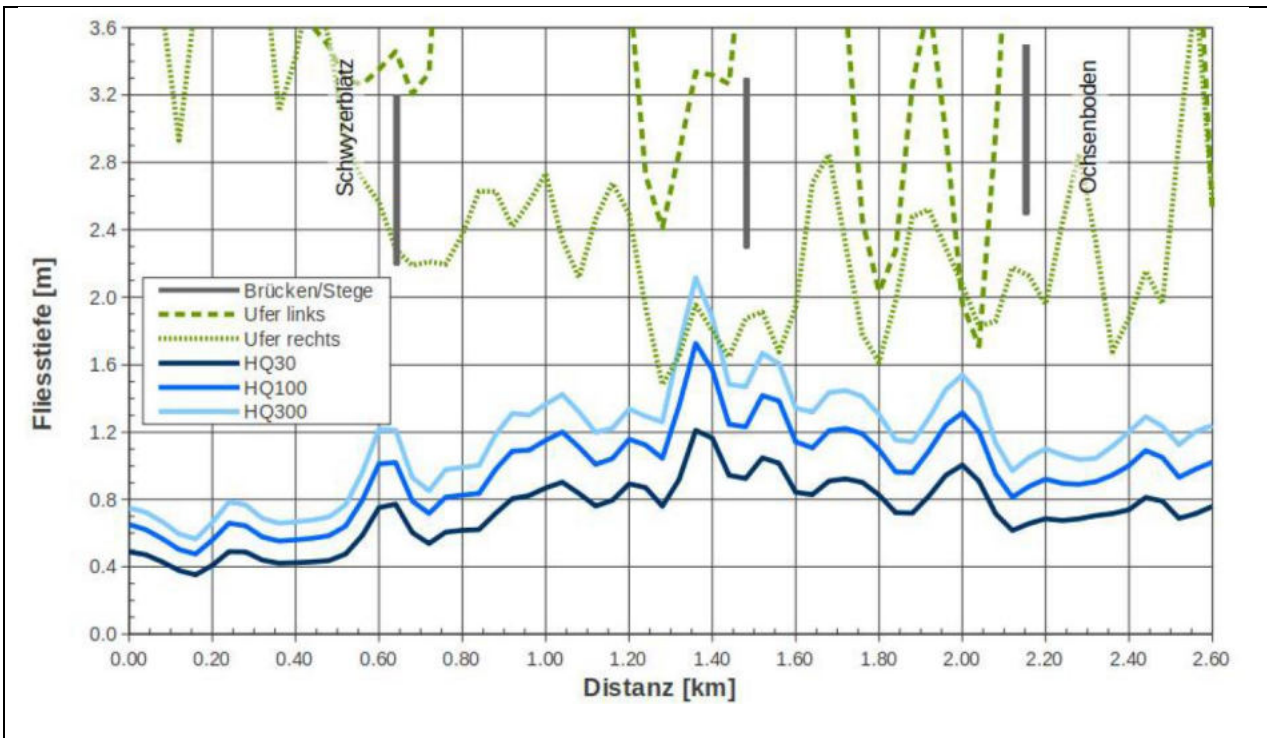
14 BILD- UND QUELLVERZEICHNIS

- Abbildungen 2, 4, 7 bis 12, 13, 17, 34: Sihl in Studen, Hochwasserschutzkonzept. Beffa tognacca gmbh, 04.07.2019
- Abbildung 3: Massnahmenplan Entwicklungskonzept Sihlsee, Umweltdepartement Kanton Schwyz, April 2014
- Abbildungen 5 bis 6: Jäckli Geologie AG
- Abbildung 14: Kantonale Naturgefahrenstrategie, Revision 2010. RRB Nr. 324/2010
- Abbildungen 22, 23, 25, 26: WebGIS SZ
- Abbildungen 1, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 23, 30-33, 35-38: bpp Ingenieure AG
- Abbildung 24: GSchV Art. 41a
- Abbildungen 25-29: Beffa tognacca gmbh
- Tabelle 3: Jäckli Geologie AG
- Tabellen 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10: Sihl in Studen, Hochwasserschutzkonzept. Beffa tognacca gmbh, 04.07.2019
- Tabellen 4-8, 11, 12-15, 18-20: bpp Ingenieure AG
- Tabellen 16, 17: Beffa tognacca gmbh

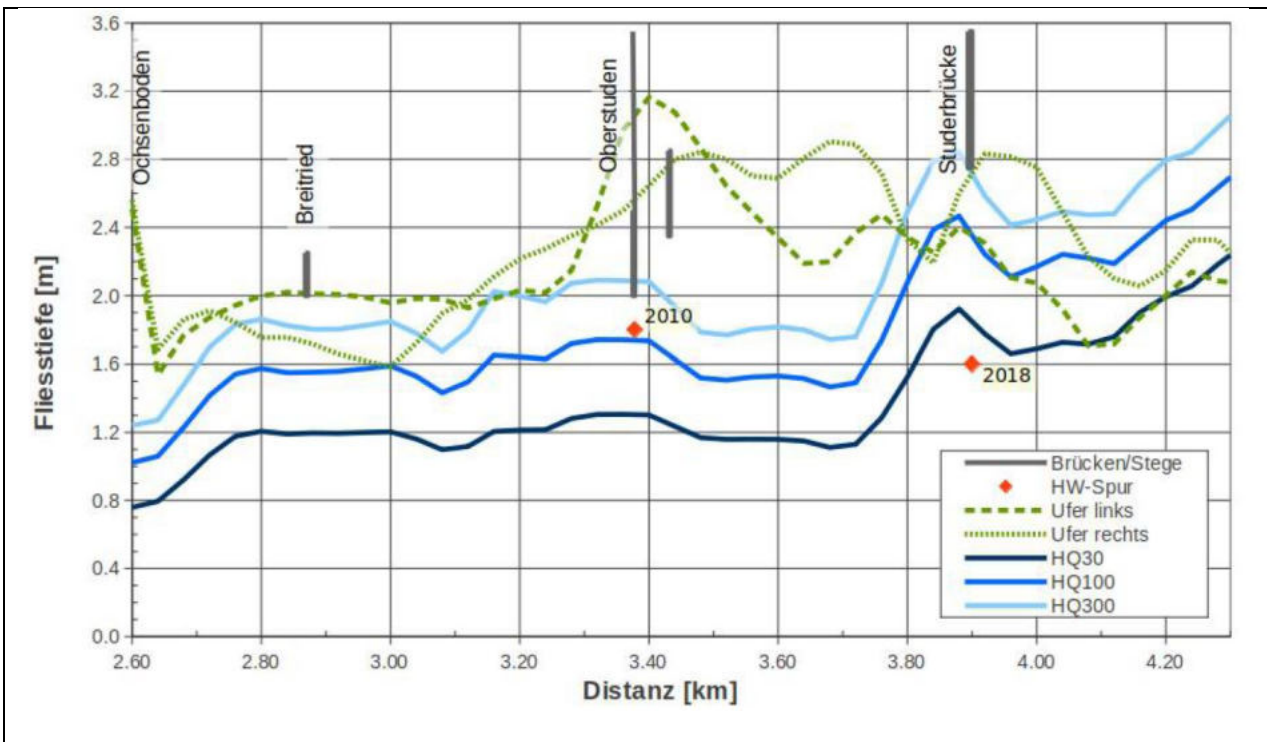
15 ANHANG

15.1 Bestehende Gerinnekapazität

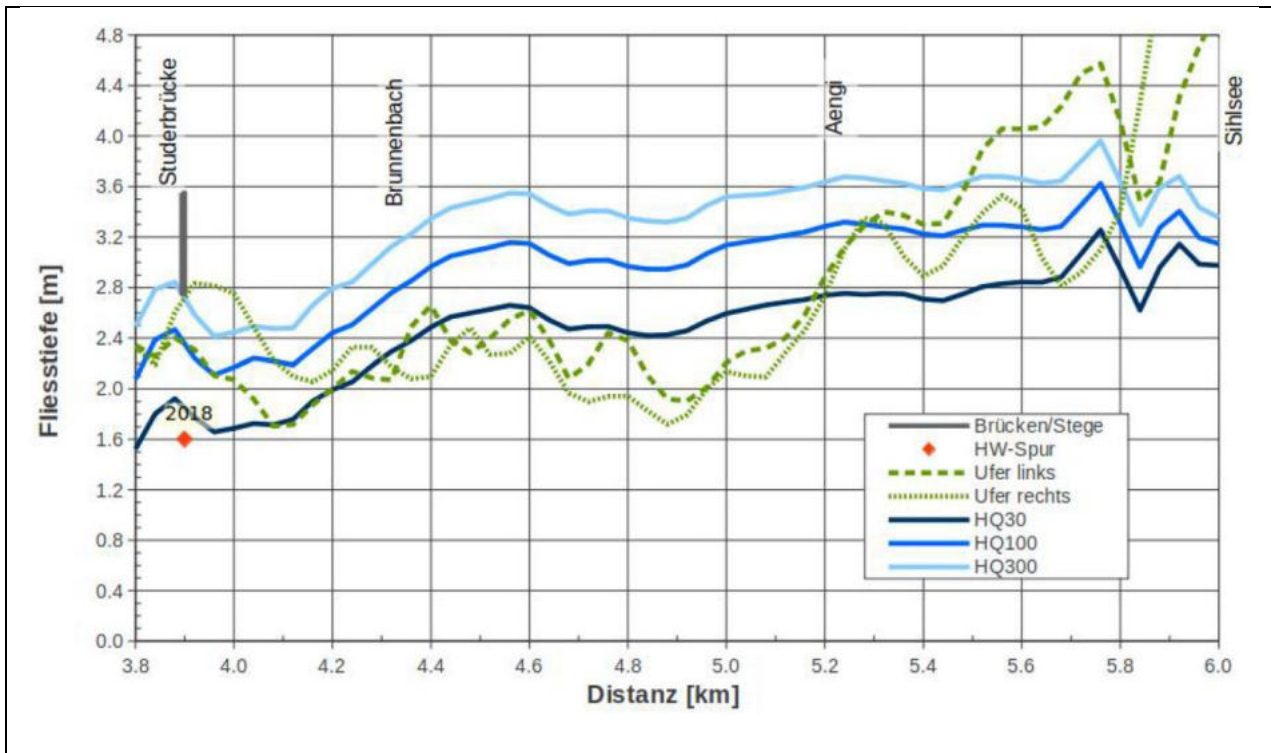
15.1.1 Oberlauf



15.1.2 Mittellauf



15.1.3 Unterlauf




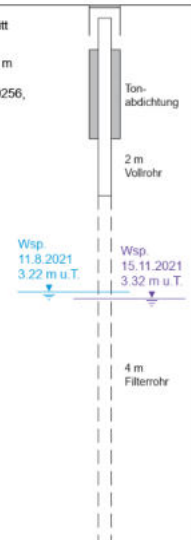
15.1.4 Wisstannenbach


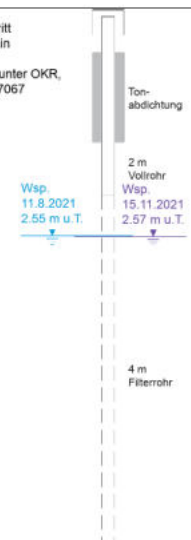
Keine Berechnungen

15.2 Kostenschätzung

Zusammenstellung HWS Sihl				
Kostenschätzung				
Pos.	Beschreibung			
1	Oberlauf	CHF		1'608'000
2	Mittellauf	CHF		3'635'000
3	Unterlauf	CHF		1'599'000
4	Wisstannenbach	CHF		546'000
Total Bauarbeiten exkl. Mwst.(gerundet)				7'388'000
	Bauprojekt und Bauleitung	CHF		887'000
	Verschiedenes und Unvorhergesehenes	CHF		740'000
	Vermarchung / Gebühren / Bewilligungen	CHF		60'000
	Landerwerb	CHF		-
	Realersatz / Landerwerbbrückgabe	CHF		-
Total Planungsarbeiten exkl. Mwst.(gerundet)				1'687'000
Total exkl. Mwst.			CHF	9'075'000
	Mwst. 7.7%	CHF		698'775
Total inkl. MWST			CHF	9'770'000
<u>nicht inbegriffen</u>				
- Brücken (Abbruch und Neubau)				
- Landerwerb				

15.3 Einzelprotokolle Kernbohrungen

Hochwasserschutz Sihl bei Studen Bezirke Schwyz und Einsiedeln					Bohrung 21-1	
Bauherrschaft: Bezirk Schwyz, Bezirk Einsiedeln Bohrfirma: Studersond AG, Kalberweid 139, Uebeschi Bohrmeister: A. Kneubühl Geologische Aufnahme: M. Stalder, MSc UniNE, Geologin Ausführungsdatum: 11.8.2021		Koordinaten: 2 706 627 / 1 214 456 OK Terrain (OKT): 901.17 m ü.M. OK Rohr (OKR): 901.04 m ü.M. Massstab: 1:50 Datei: 200117 KB21-1.ai / gj		 www.jaekli.ch		
Bohrart und ø	Geologische Identifikation	Kote m ü.M.	Tiefen ab OKT (m)	Materialbeschreibung	Bohrlochversuche Einbauten	PVC ø3"
Drehrammenbohrung, Bohr-ø 150 mm	Oberflächenschichten	901.0	0.2	dunkelbrauner, siltiger Ton, vereinzelt Kies (kantengerundet bis angerundet), weich, plastisch, erdfeucht, viele organische Beimengungen (Wurzeln)		mässiger Wasserzutritt bei 3.5 m unter OKT Loggereinbau ca. 4.8 m Unter OKR Seriennummer 10060256, Zeit 14.02 Uhr
			1.2	grau-brauner, leicht siltiger Kies, viel Sand, wenig Steine (gem. max. ø ca. 6.9 cm, Gewichtsanteil ca. 10%), erdfeucht		
	1.4	braun-grauer, stark siltiger Kies (kantengerundet bis angerundet), viel Sand, erdfeucht				
	2.3	braun-grauer, mässig siltiger Kies (kantengerundet), reichlich Sand, wenig Steine (gem. max. ø ca. 6.5 cm, Gewichtsanteil ca. 10%), erdfeucht, gemäss Bohrmeister sehr schwierig zum Bohren				
	2.9	dunkelbrauner, toniger Silt, wenig Sand, weich, wenig plastisch, reichlich organische Beimengungen (Holzfragmente)				
	3.1	brauner, toniger Silt, reichlich Kies (kantig bis kantengerundet), wenig Sand, vereinzelt Steine (gem. max. ø ca. 7.0 cm, Gewichtsanteil ca. 2-3%), weich, wenig plastisch, wenig organische Beimengungen (Holzfragmente)				
	3.7	brauner, stark siltiger Kies (kantig bis kantengerundet), wenig Sand, wenig Steine (gem. max. ø ca. 7.3 cm, Gewichtsanteil ca. 5%), nass				
	3.9	grau-brauner, mässig siltiger Kies, (kantig bis kantengerundet), viel Sand, vereinzelt Steine (gem. max. ø ca. 6.5 cm, Gewichtsanteil ca. 2-3%), nass				
	4.6	grau-brauner, stark siltiger Kies, viel Sand, vereinzelt Steine (gem. max. ø ca. 6.5 cm, Gewichtsanteil ca. 2-3%), nass				
	5.9	grauer, mässig siltiger Kies, viel Sand, vereinzelt Steine (gem. max. ø ca. 6.5 cm, Gewichtsanteil ca. 2-3%), nass				
6.0	dunkelbrauner, siltiger Ton, wenig Sand, wenig org. Beimengungen (Torf, zersetzt), sehr weich, plastisch					
	Flussablagerungen	895.2				

Hochwasserschutz Sihl bei Studen Bezirke Schwyz und Einsiedeln					Bohrung 21-2	
Bauherrschaft: Bezirk Schwyz, Bezirk Einsiedeln Bohrfirma: Studersond AG, Kalberweid 139, Uebeschi Bohrmeister: A. Kneubühl Geologische Aufnahme: M. Stalder, MSc UniNE, Geologin Ausführungsdatum: 11.8.2021		Koordinaten: 2 706 840 / 1 214 210 OK Terrain (OKT): 906.37 m ü.M. OK Rohr (OKR): 906.27 m ü.M. Massstab: 1:50 Datei: 200117 KB21-2.ai / gj		 www.jaekli.ch		
Bohrart und ø	Geologische Identifikation	Kote m ü.M.	Tiefen ab OKT (m)	Materialbeschreibung	Bohrlochversuche Einbauten	PVC ø3"
Drehrammenbohrung, Bohr-ø 150 mm	Oberflächenschichten	906.1	0.3	dunkelbrauner, toniger Silt, viel Sand, wenig Kies (kantig bis angerundet), viele organische Beimengungen, weich, wenig plastisch, erdfeucht		mässiger Wasserzutritt bei 2.5 m unter Terrain Loggereinbau 4.8 m unter OKR, Seriennummer 10417067
			1.0	grauer, leicht siltiger Kies (kantig bis kantengerundet), viel Sand, wenig Steine (gem. max. ø ca. 6.5 cm, Gewichtsanteil ca. 10%), erdfeucht		
	1.6	grauer, mässig siltiger Kies (kantig bis angerundet), viel Sand, einzelne Steine (gem. max. ø ca. 6.1 cm, Gewichtsanteil ca. 2-3%), erdfeucht				
	1.8	brauner, leicht siltiger Kies (kantengerundet bis angerundet), viel Feinsand, einzelne Steine (gem. max. ø ca. 7.0 cm, Gewichtsanteil ca. 2-3%), erdfeucht				
	3.2	hellbrauner, mässig siltiger Kies (kantengerundet bis angerundet), reichlich Sand, erdfeucht				
	4.0	grauer, stark siltiger Kies (kantengerundet bis angerundet), reichlich Sand, nass				
	5.0	grauer, stark siltiger Kies (kantengerundet bis angerundet), viel Sand, wenig Steine (gem. max. ø ca. 7.5 cm, Gewichtsanteil ca. 10%), nass				
	5.4	grau-brauner, toniger Silt, vereinzelt Kies, weich, wenig plastisch				
	5.7	braun-grauer, mässig siltiger Kies (kantengerundet bis angerundet), nass				
	6.0	dunkelbrauner, siltiger Ton, wenig Sand, wenig org. Beimengungen (Torf, zersetzt), sehr weich, plastisch				
	Flussablagerungen und Schwemmsedimente	900.4				