



üssi Sifl
läbig und sicher

Hochwasserschutz Sihl bei Studen Sihl-Oberlauf km 0.150 – 2.035

Bauprojekt

Technischer Bericht

Auftraggeber: Bezirk Schwyz
Abteilung Umwelt
Brüöl 7
6431 Schwyz



Bericht Nr. 1432- B10

Version	Änderung	verfasst	kontrolliert	Datum	Bemerkungen
0	Erstfassung	bir/cb	sv	31.01.2024	

\\bpp-dc-01\server\daten\1432_HWS_Sihl_Studen\2_berichte_termine\2_berichte_bpp\T_20240131_HWS_Sihl_TB_Bauprojekt_Abgabe.docx

bpp Ingenieure AG

–

Hochbau–Tiefbau–Umwelt–Energie

Hauptsitz	Industriestrasse 10	6440	Brunnen	Fon 041 818 50 20
Filiale	Kobiboden 63	8840	Einsiedeln	Fon 055 412 36 25
Filiale	Neuland 3	6460	Altdorf	Fon 041 500 50 95
Filiale	Rainstrasse 37	6314	Unterägeri	Fon 041 811 20 44

www.bpp-ing.ch

1	Zusammenfassung	3
2	Anlass und Auftrag	4
2.1	Überblick	4
2.2	Planungsauftrag	4
2.3	Ziel des Bauprojekts	4
2.4	Projektorganisation	4
2.5	Projektperimeter	5
3	Ausgangssituation	5
3.1	Historische Ereignisse	5
3.2	Übergeordnete Planungen	6
3.3	Aktuelle Nutzungen	6
3.4	Charakteristik des Einzugsgebiets	6
3.5	Hydrologische Verhältnisse, Hochwasserabflussmengen	7
3.6	Bestehende Gerinnekapazität im Oberlauf	8
3.7	Gewässerzustand (Ökomorphologie Stufe F)	8
3.8	Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse	8
3.9	Mögliche Gefahrenarten (Prozesse)	10
3.10	Beurteilung der bestehenden Schutzbauten	11
3.11	Kunstabauten - vorhandene Brücken	15
3.12	Analyse der Schwachstellen entlang des Gewässers	18
4	Projektannahmen	19
4.1	Bedürfnisse und Anliegen der Begleitgruppe	19
4.2	Haupt- und Entwicklungsziele	19
4.3	Gewählte Schutzziele	20
4.4	Dimensionierungsgrößen	21
4.5	Hydraulische Dimensionierung	22
4.6	Ökologische Defizite und ökologische Entwicklungsziele	23
5	Massnahmenplanung	24
5.1	Variantenstudien	24
5.2	Unterhaltsmassnahmen	24
5.3	Raumplanerische Massnahmen	24
5.4	Bauliche Massnahmen	24
5.5	Ökologische Massnahmen	28
5.6	Baustellenerschliessung /Installationsplätze /Einschränkungen Schiessbetrieb	29
6	Auswirkungen der Massnahmen	30
6.1	Siedlung und Nutzflächen	30
6.2	Ökologie, Natur und Landschaft	30
6.3	Grundwasser	30
6.4	Landwirtschaft	30
7	Verbleibende Gefahren und Risiken	30
8	Umsetzung der verbleibenden Gefahren in die Richt- und Nutzungsplanung	30
9	Kostenvoranschlag	31
10	Massenbilanz / Hauptkubaturen	31
11	Terminplan	31
12	Grundlagen	32
13	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	33
14	Anhang 1 Plan Schiessplatz mit Bausektoren	34

1 ZUSAMMENFASSUNG

Die Naturgefahrenkarte weist im Siedlungsgebiet von Studen verbreitet eine mittlere Gefährdung 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 Schwyzer Blätz bis Ochsenboden (sogenannter Oberlauf) sind zahlreiche Verbauungen (Schwellen, Ufermauern) schadhaft. Abschnittsweise sind starke Auflandungen der Sohle vorhanden.

Auch der ökomorphologische Zustand weist massive Defizite auf. Das Gerinne wird auf weiten Strecken als naturfremd/künstlich oder stark beeinträchtigt klassiert.

Mit dem Projekt werden folgende 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
Ressourcen und Emissionen	<ul style="list-style-type: none"> • Rücksicht auf vorhandene Ressourcen • Gesellschaftliche Akzeptanz

Folgende Massnahmen sind nun im Oberlauf geplant:

- Einbau eines selektiven Schwemmholzurückhaltes im Schwyzer Blätz
- Rückbauten einzelner Schwellen
- Einbauten von Blockrampen zur Reduktion der Absturzhöhen/Kolkbelastung/Beruhigung Wasserlauf.
- Blockbelegung bei aufgelösten Blockrampen
- Sanierung lokaler Schadstellen an Ufermauern
- Einbauten eines Block-Vorgrundes zum Schutz vor Unterkolkung der Ufermauern
- Lokale Dammerhöhungen rechtsufrig zur Gewährleistung Freibord für HQ₁₀₀ im Bereich Bauten Rheinmetall
- neues Sohlen-Planum: variable Sohlenbreiten 8-10 m; alte Ufermauern angeschüttet mittels Rähnen (1:2)
- Neugestaltung Niederwasserrinne, mäandrierend um Zentralachse.

Mit den geplanten Massnahmen werden die Hauptziele bestmöglich erreicht. Die Hochwasserschutzdefizite werden eliminiert und die Schutzbauten instandgestellt und gesichert. Die Ziele der Gewässerökologie, nämlich die aquatische Längsvernetzung und damit die Fischgängigkeit im Oberlauf sowie die Quervernetzung werden über weite Strecken verbessert und es kann sich längerfristig ein ökologisch vielfältigeres und dynamischeres Gewässer entfalten und einstellen

Kosten

Die Gesamtkosten des Hochwasserschutzprojektes im Oberlauf betragen ca. 1.110 Mio. CHF inkl. MwSt.
Kostengenauigkeit +/- 10%, Preisbasis Okt. 2023.

Bauzeit /Termine

Schätzung der Bauzeit: 20-25 Wochen (stark abhängig von den Einschränkungen durch den Schiessbetrieb).
Ausführung in Etappen ab Juli 2024 bis ca. Dez. 2024 geplant.

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 verbreitet 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 Schwyzer Blätz bis Ochsenboden sind zahlreiche Verbauungen (Schwellen, Ufermauern) in einem schadhaften Zustand. Abschnittsweise sind auch stärkere Auflandungen der Sohle vorhanden.

Auch der ökomorphologische Zustand weist Defizite auf: Das Gerinne wird auf weiten Strecken als naturfremd/künstlich oder stark beeinträchtigt klassiert [3].

2.2 Planungsauftrag

Im Auftrag des Bezirks Schwyz hat die bpp Ingenieure AG im Jahr 2022 das Vorprojekt für die Hochwasserschutzmassnahmen an der Sihl erarbeitet. Mit Beschluss vom 4. April 2023 erhielten die bpp Ingenieure AG auch den Auftrag, das Bauprojekt für den Abschnitt Oberlauf (Schwyzer Blätz bis Ochsenboden) auszuarbeiten.

2.3 Ziel des Bauprojekts

Für den Projektperimeter Oberlauf (Schwyzer Blätz bis Ochsenboden) ist auf der Grundlage des Vorprojekts und unter Miteinbezug der Stellungnahmen des BAFU's und der kantonalen Amtsstellen das Bauprojekt zu erstellen.

Dieses soll die Instandstellung der schadhaften Schutzbauten beinhalten, sowie die Verbesserung der Hochwassersicherheit und eine ökologische Aufwertung zum Ziel haben.

2.4 Projektorganisation

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

Funktion	Person/en	Firma/Dienststelle
Bauherr /Projektleiter	Thomas Reichmuth	Bezirk Schwyz
Wuhrkorporation Sihl	Rolf Kälin	Wuhrkorporation Sihl
Grundeigentümer	Anton Gwerder	RWM Schweiz AG
Fachstelle	Simon Müller	Amt für Gewässer, Kt. Schwyz
Planer	Max Birchler, Simon von Euw Cornel Beffa	bpp Ingenieure AG Subplaner beffa tognacca GmbH

2.5 Projektperimeter

Der Projektperimeter umfasst das Gerinne der Sihl von Schwyzer Blätz bis zum Ochsenboden (Länge circa 1850 m)

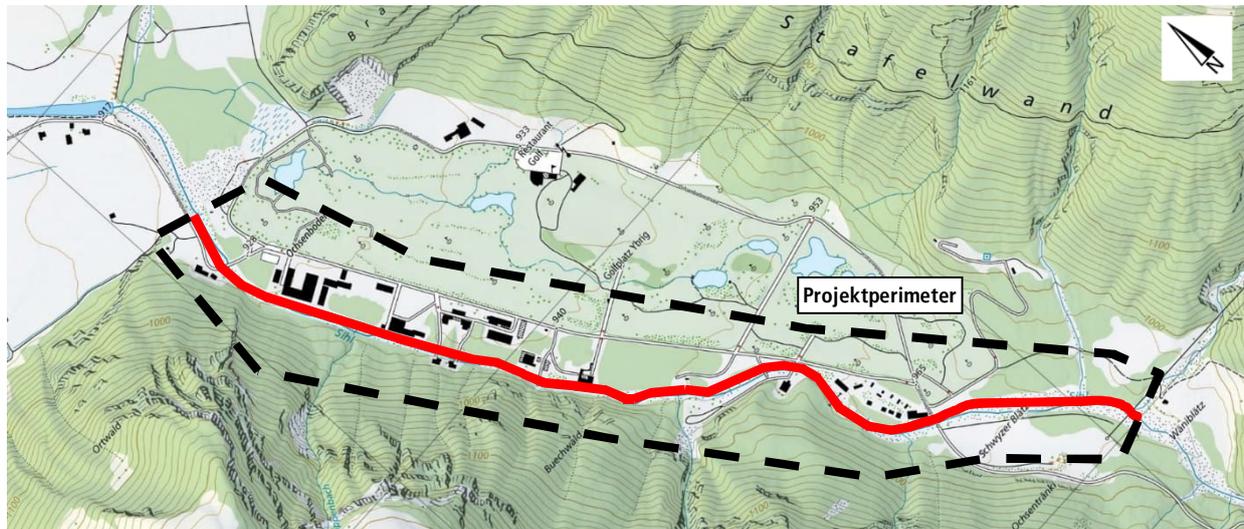


Abbildung 1: Projektperimeter Sihl Oberlauf

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?! Geschiebesammler 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	„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 sind unter der St. Nikolausbrücke beim Übergang Einsiedlerstrasse entstanden. Der Wasserstand der Sihl war auf eine Höhe von 1,60 Metern angeschwollen.“	Bote der Urschweiz

Abbildung 2: Angaben zu historischen Hochwassern

3.2 Übergeordnete Planungen

3.2.1 Kantonale Revitalisierungsplanung

In der Revitalisierungsplanung des Kantons [4] wird der Oberlauf der Sihl als Fließgewässer mit prioritärem Handlungsbedarf ausgewiesen.

3.2.2 Nutzungsplanungen

Der Projektperimeter Sihl Oberlauf liegt in der Gemeinde Unteriberg. Folgende übergeordnete kommunalen und kantonalen Nutzungsplanungen (Sach-, Richt- und Zonenplan) überlagern den Projektperimeter Oberlauf:

- Nutzungsplan Gemeinde Unteriberg [5]
- Teilzonenplan Ochsenboden, Gemeinde Unteriberg [6]
- Inventarplan und Schutzverordnung, Gemeinde Unteriberg [7]

3.3 Aktuelle Nutzungen

Innerhalb des potentiellen Überflutungsperimeters finden sich zahlreiche verschiedene Nutzungen. Im Abschnitt Schwyzer Blätz bis Ochsenboden sind die Gebäude und Infrastrukturanlagen der Rheinmetall AG und die Anlagen des Golfplatzes Ybrig betroffen.

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 (Drusberg 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.

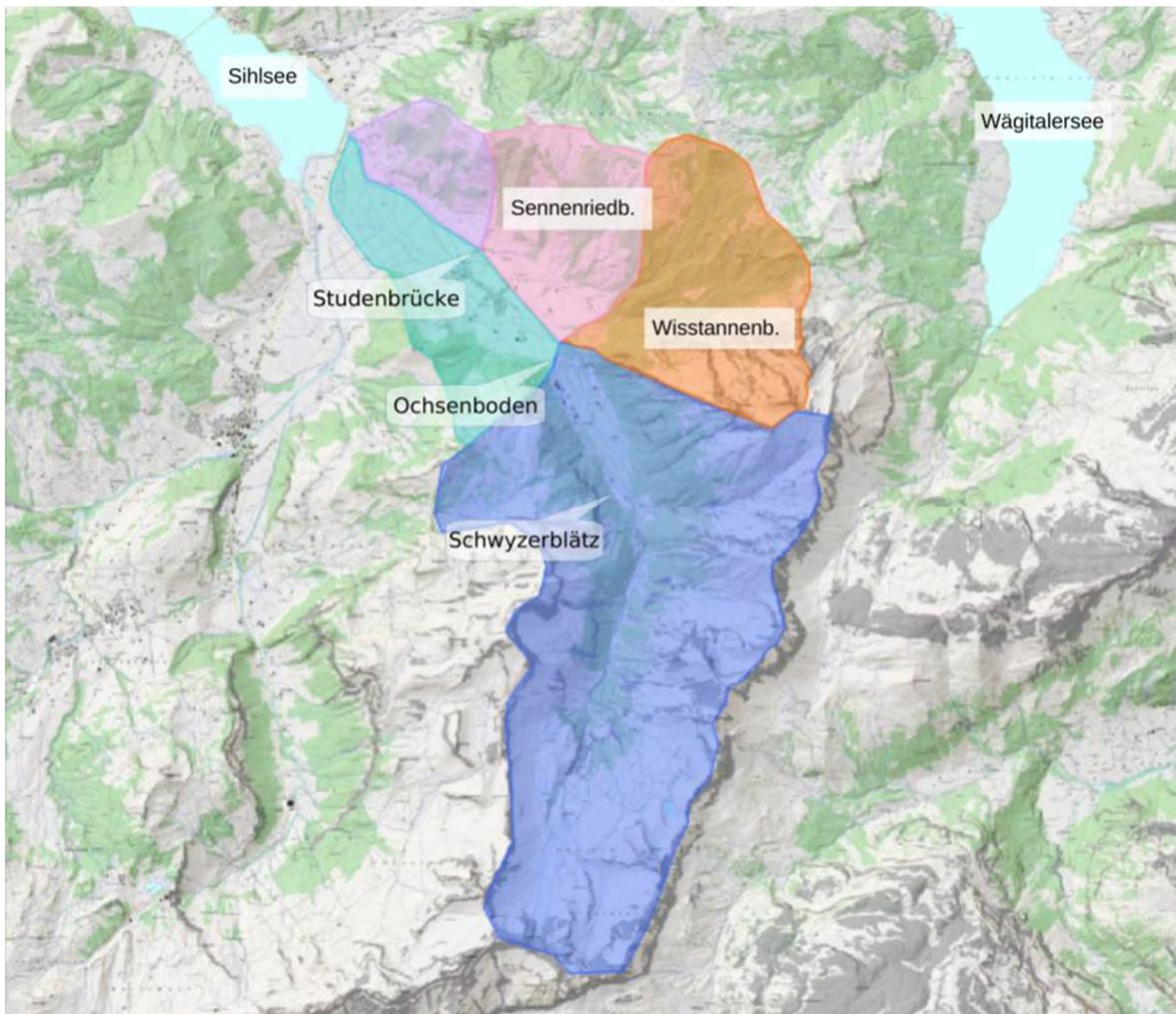


Abbildung 3: Einzugsgebiet der Sihl oberhalb Sihlsee

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 [9]. 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 [10] 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

Tabelle 1: Hochwasserabflüsse der Sihl aus Naturgefahrenkarte

Die Hochwasserabflussmengen wurden im Rahmen der Vorstudie [10] nochmals unabhängig und zur Nachvollziehbarkeit im Laufzeitverfahren von Kölla und der Formel von Kürsteiner berechnet (Tabelle 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]
Schwyzer Blätz	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)

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

3.6 Bestehende Gerinnkapazität im Oberlauf

Der Sihlabschnitt zwischen Schwyzer Blätz und Ochsenboden ist mittels Querschwellen in grösseren Abständen gesichert. Der Uferschutz besteht aus Blocksatz und Betonmauern z.T. mit Steinverkleidungen. Die Gerinnkapazität ist auf fast der gesamten Gewässerstrecke auch für seltene Hochwasser ausreichend (HQ100). Rechtsufrig ist das bestehende Gerinne bei einem HQ100 streckenweise überlastet. In den aufgeweiteten Abschnitten beim Schwyzer Blätz (oberhalb und unterhalb der Strassenbrücke) sowie besonders im Geschiebesammler Ochsenboden sind die Belastungen deutlich geringer.

3.7 Gewässerzustand (Ökomorphologie Stufe F)

Der ökomorphologische Zustand der Sihl (Modul Stufe F) wurde im Jahre 2004 erhoben. Im Projektperimeter ab Schwyzer Blätz wird das Gerinne mehrheitlich als «stark beeinträchtigt» oder «naturfremd/künstlich» beurteilt. Dies entspricht den tiefsten Klassierungen, welche für das offene Gerinne möglich sind. Kartiert wurden auch zahlreiche Abstürze. Die Quervernetzung ist aufgrund der teilweise senkrechten Uferverbauungen stark eingeschränkt. Die Längsvernetzung ist wegen zahlreicher Schwellen ebenfalls stark eingeschränkt. Die Sihl fällt im Oberlauf jeweils über längere Zeiten trocken, da das Wasser im Gebiet Schwyzerblätz versickert und erst unterhalb der Abschlussperre des Geschiebesammlers Ochsenboden wieder im Gerinne erscheint. Die Gründe der Versickerung sind in Punkt 3.8.2 dargelegt.

Betreffend ökologischer Massnahmen wird auf den separaten ökologischen Begleitbericht zum Bauprojekt verwiesen.

3.8 Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse

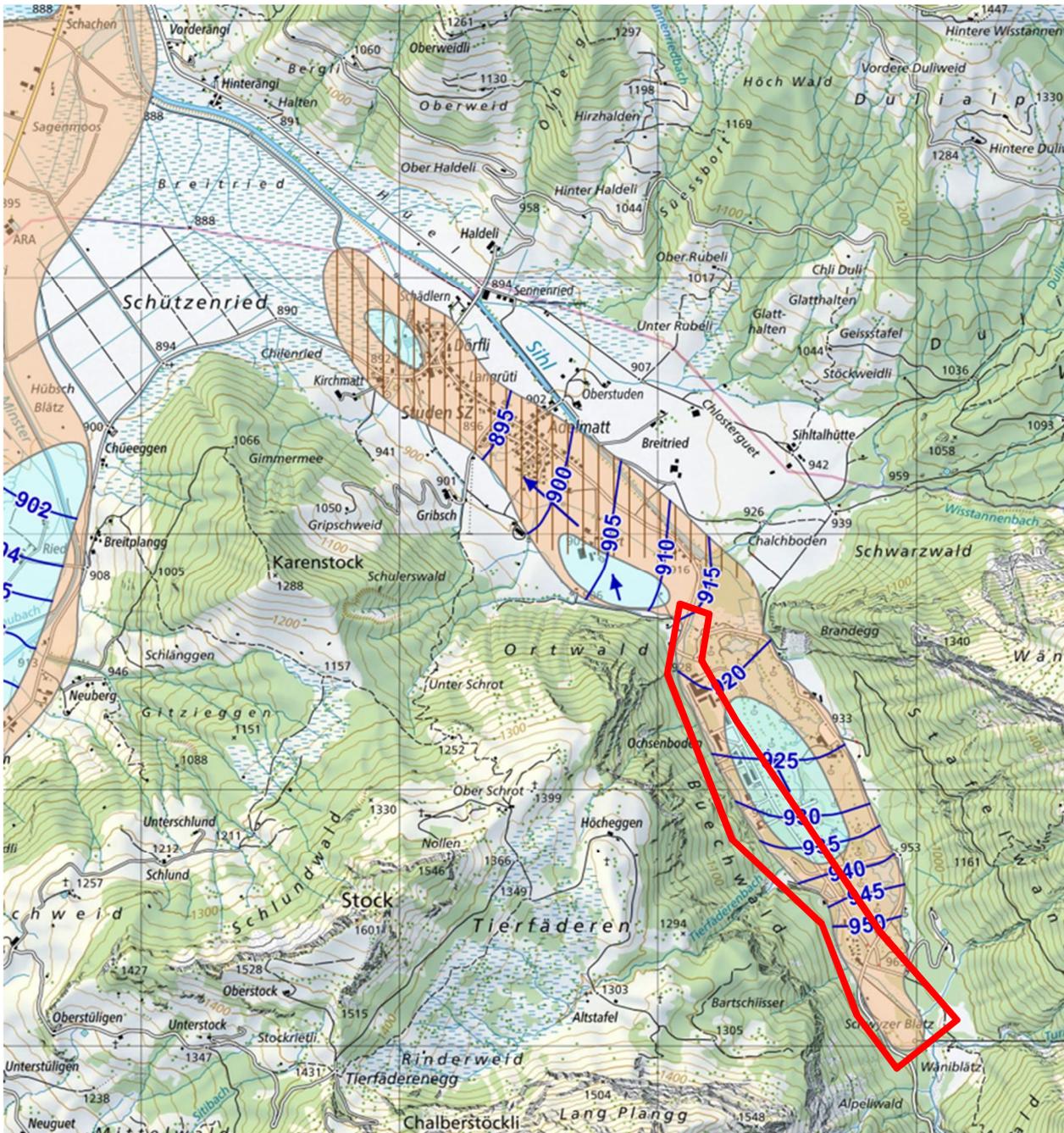
3.8.1 Geologische Verhältnisse

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 *Wägitaler 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.

3.8.2 Grundwasserverhältnisse

Im Talboden zirkuliert ein lokales Grundwasservorkommen. Ergiebigeres Grundwasservorkommen wurden bei früheren hydrogeologischen Untersuchungen [11] u. [12] hauptsächlich im Gebiet Ochsenboden und im Gebiet Ort in kiesigen Schichten entdeckt. Das Vorkommen im Ochsenboden ist hauptsächlich durch die Sihl gespeist, während das Vorkommen bei Ort zu einem wesentlichen Teil aus von Süden her zufließendem Karstwasser gespeist wird. Im übrigen Gebiet ist das Grundwasser-Dargebot aufgrund der grösstenteils feinkörnigen, schlecht wasserundurchlässigen 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, Seebodenlehme, Schwemflehme)
- Gebiet mit reduzierenden Verhältnissen im Grundwasser

Hydrogeologische Angaben

- 444 Isohypsen des Grundwasserspiegels bei Mittelwasserstand

Abbildung 4: Ausschnitt aus der Grundwasserkarte 1:25'000, mit Perimeter Sihl Oberlauf (rot)

Das Wasser in der Sihl im Oberlauf versickert bei Trockenphasen regelmässig über längere Dauer. Das Wasser versickert ab dem Gebiet Schwyzerblätz und tritt erst unterhalb der Abschlussperre des Geschiebesammlers Ochsenboden wieder im Sihlgerinne aus. Der Grund dafür sind vermutlich gut durchlässige Lockergesteine (Talfüllung aus Ablagerungen der Sihl, sowie blockiger Hangschutt). Die bestehenden Schutzbauten /Schwellen haben keinen grossen Einfluss auf die Versickerungen; sie setzen höchstens die Fliessgeschwindigkeit etwas herunter und erhöhen dadurch die Verweildauer etwas.

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.
Geschiebe	Die Sihl mobilisiert bei Hochwasser viel Geschiebe. Das Geschiebe bleibt vorwiegend im Geschiebesammler Ochsenboden liegen, wo es bewirtschaftet wird.
Schwemmholz	Aus den bewaldeten Hängen des Sihltals ist bei Hochwasser immer mit Schwemmholz zu rechnen. Alle Brücken mit Mittelpfeiler sind potentiell gefährdet und stellen ein Verklauungsrisiko dar.

Tabelle 3: Gefahrenszenarien gemäss Naturgefahrenkarte

Für den Oberlauf der Sihl finden sich im technischen Bericht zur Naturgefahrenkarte [1] folgende Einträge:

«Die erste Brücke vor dem Ochsenboden kann ab einem Ereignis mit Wiederkehrperiode von 100 Jahren verklauen. Die 4. Brücke bei Ochsenbodenweid verklaut ebenfalls bei einem seltenen Ereignis. Bei Buechwald führt eine Runse viel Geschiebe in Form von Murgängen in die Sihl. Ab einem seltenen Ereignis tritt die Sihl infolge der Querschnittsverengung durch den Geschiebeeintrag über die Ufer. Brücke Nr. 7 kann ebenfalls ab einem 100-jährlichen Ereignis verklauen. Der Rappenbach bringt ebenfalls viel Geschiebe in die Sihl. Im Bereich der Einmündung des Rappenbaches überschwappt die Sihl aus diesem Grund rechtsseitig den Damm.»

Der Tierfäderenbach und der Rappenbach bilden die grössten seitlichen Zuflüsse innerhalb des Projektperimeters. Beide Bäche werden als potentiell murgangfähig beurteilt [1] mit Frachten gemäss untenstehender Tabelle.

Gewässer	Einzugs- gebiet	Hochwasser HQ100	Geschiebefracht G100	Schwemmholz H100
	[km ²]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]
Tierfäderenbach	1.8	19	700	30
Rappenbach	0.2	3.2	135	30
Sihl Ochsenboden	17.5	70	15'000	600

Tabelle 4: Gebietsparameter Sihl und Seitenzuflüsse innerhalb Projektperimeter (aus [1])

Für die Ausuferungen sind die seitlichen Geschiebeeinträge sowie Verklauungen an insgesamt drei Brücken massgebend. Die Abflusskapazität der Sihl wird hingegen nicht spezifisch erwähnt und stellt somit kein relevantes Gefahrenszenario dar.

Mit dem Instandstellungsprojekt werden die bestehenden Schutzbauten saniert und ertüchtigt sowie lokal vorhandene Schwachstellen in den Dammhöhen korrigiert. Ausbrüche infolge seitlicher Murstösse sowie die Verklauungen bei den Brücken bleiben nach Sanierung weiterhin möglich. Die Notwendigkeit der Überarbeitung der «Gefahrenkarte nach Massnahmen» wird im Rahmen des Baugesuchs vom AWN angeschaut.

3.10 Beurteilung der bestehenden Schutzbauten

Der Oberlauf vom Schwyzer Blätz bis zum Geschiebesammler Ochsenboden ist rechtsufrig durchgehend mit einer Uferschutzmauer gesichert. Linksufrig sind an einigen Strecken ebenfalls Ufermauern vorhanden, analog dem rechten Ufer. Ansonsten bildet der steile, natürliche Waldhang das linke Ufer.

Die Mauern stammen aus mehreren Zeitepochen. Die ältesten Mauern sind bereits über 100 Jahre alt, wie Inschriften in den Mauern zeigen (siehe Foto nebenan; Inschrift 1912).

Ein umfassender Eingriff an der Sihl vom Ochsenboden bis zum Sihlsee erfolgte im Rahmen des Etzelwerkbaus in den Jahren 1931-36. Damals erhielt der Geschiebesammler Ochsenboden mit der Umleitung des Wisstannenbachs seine heutige Form.

Seit ca. 1950 ist der Schiessplatz (Bührle) in Betrieb. Seither wurden verschiedenste Sanierungsmassnahmen am Oberlauf der Sihl getätigt, wie der Einbau von Schwellen, Unterfangungen von Stützmauern, Neubauten von Brücken usw. Das sogenannte Ergänzungsprojekt 1957 stammt aus den Jahren 1955-57.

In den Jahren 1966 und 1984 erfolgten wieder diverse Sanierungsarbeiten.



Abbildung 5: Foto alte Mauer, 1912

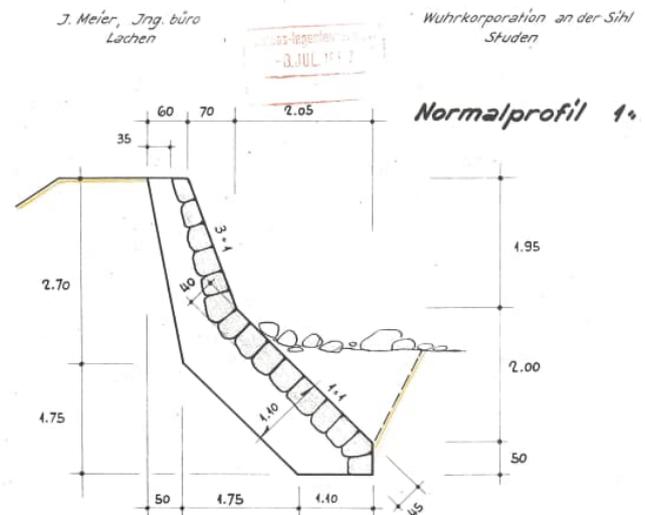


Abbildung 6: Normalprofil Ufermauer [22]

Sohlensicherungen

Die Sihl weist im Oberlauf ein Gefälle von 1.75%-2.40% auf. Die Sohle ist sporadisch in grösseren Abständen mittels Sohlenschwellen gesichert. Diese weisen Absturzhöhen von 1.5m -2.0 m auf.

Einige der Schwellen weisen Schäden an der Überfallsektion und/oder im Kolkchutz auf. Durch die teilweise zerstörten Schwellen erhöht sich die hydraulische Belastung im Ober- und Unterwasser.

Bei allen Schwellen fehlen seitlich die Schwellenflügel, wodurch das Wasser unterhalb der Schwelle die Seitenmauern unterkolt.

Die Foundationen der Ufermauern werden durch die Abtiefung der Sohle teilweise 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 die Uferschutzmauern und die Schwellen selbst versagen können.

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.



lokale Unterkolkung der Ufermauer



lokale Unterkolkung der Ufermauer



flächige Unterkolkung



zerstörter Blocksatz



Ufermauer mit auserodiertem, altem Stampfbeton (linksufrig)



Ausbruch Stampfbeton aus alter Ufermauer (rechtsufrig)

Abbildung 7 Schadensbilder Ufermauern

Übersicht Sohlenschwellen

Lage (km)	Zustand	Absturzhöhe	
0.565	<p>Schwellenkronen (Bruchsteine) lokal in Mitte abrasiert und ausgebrochen Seitenflügel fehlen.</p> <p>MASSNAHME: Sanierung Schwellenkronen, Abweiserkeile mit Blocksteinen als «Seitenflügel» Ausbildung Kolkbecken.</p>	Ca. 1.50m	
0.700	<p>Schwelle halbseitig zerstört, Seitenflügel fehlen.</p> <p>MASSNAHME: Rückbau, Ersatz durch aufgelöste Blockrampe</p>	Ca. 1.50 m	
0.805	<p>Schwelle bei Brücke, teilweise eingedeckt. Zustand gut.</p> <p>MASSNAHME: An Schwelle keine Sanierungsmassnahmen. Ausbildung Kolkbecken.</p>	Ca. 0.50 m	
0.875	<p>Schwelle und Krone gut, Seitenflügel fehlen.</p> <p>MASSNAHME: An Schwelle keine Sanierungsmassnahmen. Abweiserkeile mit Blocksteinen als «Seitenflügel» Ausbildung Kolkbecken.</p>	Ca. 1.50 m	

<p>1.380 QP50/51</p>	<p>Krone und Schwelle akzeptabel, Seitenflügel fehlen.</p> <p>MASSNAHME: An Schwelle keine Sanierungsmassnahmen. Abweiserkeile mit Blocksteinen als «Seitenflügel» Ausbildung Kolkbecken.</p>	<p>Ca. 1.50 m</p>	
<p>1.630 QP 60/61</p>	<p>Krone: lokale Schadstellen, Ausbrüche Kolk: Blocksteine nicht mehr im Verbund. Seitenflügel fehlen.</p> <p>MASSNAHME: Schwelle abbrechen. Ersatz durch aufgelöste Blockrampe</p>	<p>Ca. 2.0 m</p>	
<p>1.860 QP69/70</p>	<p>Krone und Schwelle Zustand gut, Seitenflügel fehlen.</p> <p>MASSNAHME: Schwelle abbrechen. Ersatz durch aufgelöste Blockrampe</p>	<p>Ca. 1.80 m</p>	
<p>2.035</p>	<p>Einlaufschwelle Geschiebesammler Ochsenboden Zustand Krone: akzeptabel</p> <p>MASSNAHME: An Schwelle lokales Ausbessern der Krone. Ansonsten an Schwelle keine Sanierungsmassnahmen. Ausbildung Kolkbecken.</p>	<p>Ca. 2.00 m</p>	

<p>0.800</p>	<p>RWM Schweiz AG / Schiessplatz intern</p> <p>Eigentümerschaft RWM Schweiz AG</p> <p>Keine Massnahmen</p>	
<p>1.260</p>	<p>RWM Schweiz AG / Schiessplatz intern</p> <p>Eigentümerschaft RWM Schweiz AG</p> <p>Keine Massnahmen</p>	
<p>1.425</p>	<p>RWM Schweiz AG/ Schiessplatz intern</p> <p>Eigentümerschaft RWM Schweiz AG</p> <p>Keine Massnahmen</p>	

<p>1.465</p>	<p>RWM Schweiz AG/ Schiessplatz intern</p> <p>Eigentümerschaft RWM Schweiz AG</p> <p>Keine Massnahmen</p>	
<p>1.920</p>	<p>Ochsenboden / Strassenverbindung öffentlich</p> <p>Eigentümerschaft RWM Schweiz AG und Bezirk Schwyz (gemeinsam)</p> <p>Keine Massnahmen</p>	

Nach internen Überprüfungen durch die RWM Schweiz AG und deren beigezogenem Ingenieur sind alle oben erwähnten Brücken (RWM Schweiz AG) in einem guten Zustand und müssen nicht saniert werden.

3.12 Analyse der Schwachstellen entlang des Gewässers

Zonen geringer Gefährdung (gelb) finden sich praktisch im gesamten Ochsenboden. Flächen mittlerer Gefährdung (blaue Zonen) sind nur lokal auf der rechten Uferseite vorhanden. Flächen erheblicher Gefährdung (rot) beschränken sich auf das Gerinne der Sihl.

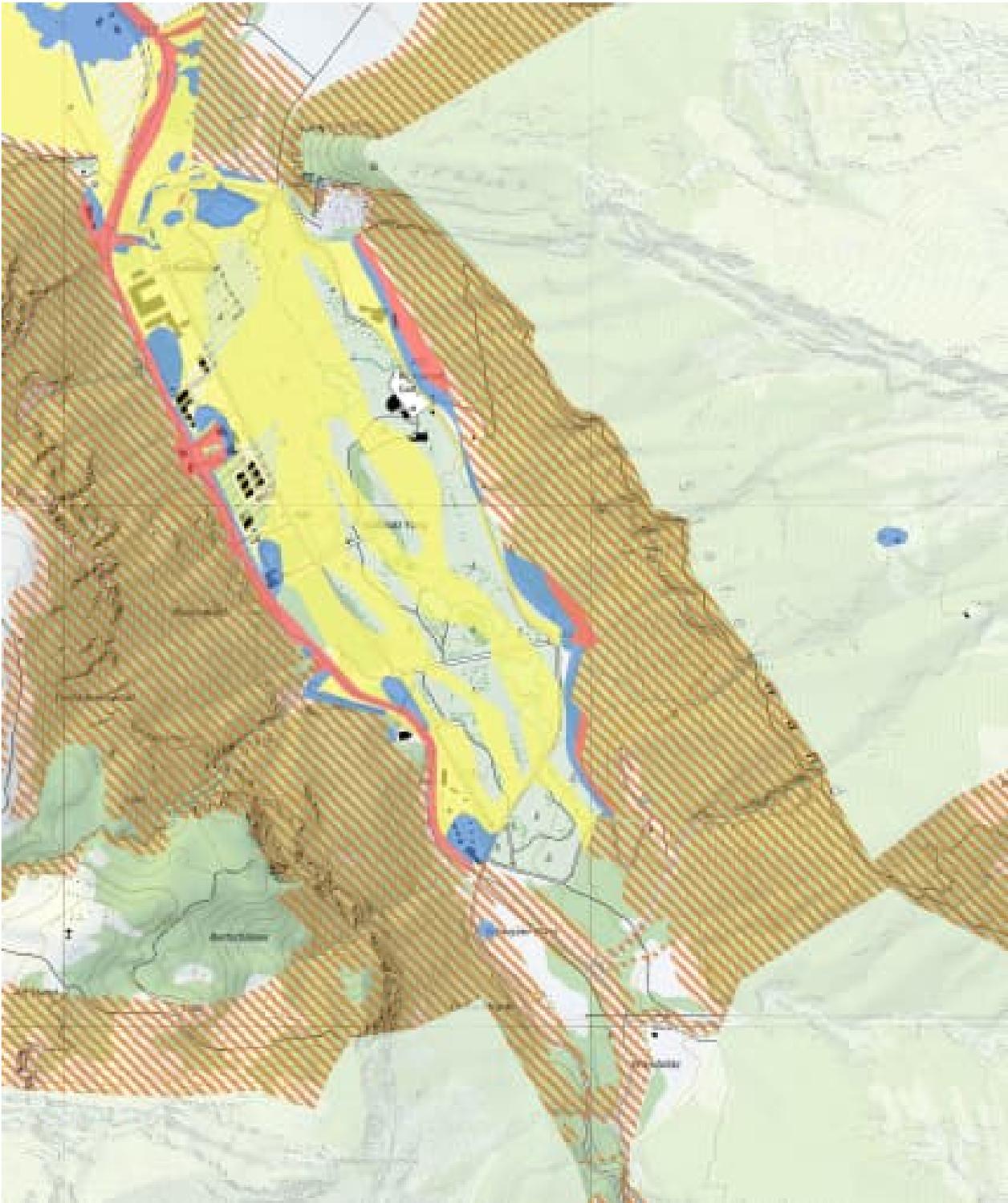


Abbildung 8: Naturgefahrenkarte

Das Verklauungsrisiko bei den Brückenstandorten mit Mittelpfeilern wird als hoch eingeschätzt.

Ein weiterer Gefahrenprozess betrifft den Oberlauf oberhalb der 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. Insbesondere die beiden Seitengerinne Rappenbach und Tierfädenbach stellen diesbezüglich die grössten Risiken dar.

4 PROJEKTANNAHMEN

4.1 Bedürfnisse und Anliegen der Begleitgruppe

In der Vorprojektphase wurden anlässlich der Begleitgruppensitzung vom 27. Mai 2021 Anliegen und Ansprüche formuliert.

Hochwassersicherheit	Ökologie	Nutzung
<ul style="list-style-type: none"> Hochwasserschutz erhalten und verbessern Gewässerunterhalt nachhaltig sicherstellen Geschiebehalt / Geschiebedynamik unter Berücksichtigung des Hochwasserschutzes gewährleisten 	<ul style="list-style-type: none"> Verbesserung und Vergrößerung des Lebensraumes 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 Ausarbeitung des Bauprojekts berücksichtigt. Die für den Sihl-Oberlauf relevanten Punkte sind in obiger Tabelle hellgrün unterlegt.

4.2 Haupt- und Entwicklungsziele

Mit dem Projekt werden folgende 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
Ressourcen und Emissionen	<ul style="list-style-type: none"> Rücksicht auf vorhandene Ressourcen Gesellschaftliche Akzeptanz

Tabelle 6: Hauptziele Projekt

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 30-jährigen 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, Weiher			
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 9: Schutzzielmatrix des Kantons Schwyz

Im Rahmen des Vorprojekts wurden folgende Schutzziele definiert, welche unverändert ins Bauprojekt (grün markiert für Oberlauf) übernommen werden:

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
Gewerbe-/Industriegebiet	HQ100	Oberlauf (rechtes Ufer)

4.4 Dimensionierungsgrössen

Die Dimensionierung der wasserbaulichen Schutzmassnahmen stützt sich auf die Abflussmengen gemäss Kapitel 3.5 «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

Tabella 7: 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 das wechselnde Sohlgefälle stellt sich entlang des Projektperimeters mehrheitlich ein ungleichförmiger Abfluss ein. Die Ermittlung der Wasserspiegellagen im Längenprofil erfordert zumindest den Einsatz eines Staukurvenmodells. Die ausgeprägten morphologischen Strukturen (Bänke, Kolke) und die lokalen Aufweitungen resp. Engstellen führen zu starken Abweichungen von eindimensionalem Abfluss. Es wäre inkorrekt, innerhalb eines Abflussquerschnitts von identischen Wasserspiegellagen auszugehen.

Für die Hochwassersimulationen wurde deshalb für den gesamten Gerinneabschnitt ein **zweidimensionales Gerinnemodell** erstellt. Als Grundlage standen die Terraindaten des swissSURFACE3D zur Verfügung (Aufnahmen 2018). Nach morphologischer Filterung und Ausdünnung wurde daraus ein Berechnungsnetz mit einer räumlichen Auflösung von 1 m² erstellt. Das Netz umfasst total 74'000 Berechnungszellen. Für die Abflusssimulation wurde das Programm FLUMEN v4 verwendet. Die Reibungsverluste wurden mit einem einheitlichen k-Strickler-Wert von 26 m^{1/3}/s berücksichtigt. Die Projektmassnahmen (Blockrampen) werden durch Anpassung der Sohlenlage und eine lokale Erhöhung der Rauigkeit (k-Strickler-Wert 18 m^{1/3}/s) berücksichtigt. Die Modellergebnisse, namentlich die Wasserspiegellagen und die Energiehöhen, wurden für die Bemessung der Uferhöhen im Längenprofil als Punktwolke exportiert.

Für die Wahl der Projekt-Uferhöhen wird grundsätzlich die Energiehöhe angenommen (= Freibord zur Wasserspiegellage HQ100). Bei Fließgeschwindigkeiten zwischen 3 und 4 m/s ergeben sich Freibordhöhen zwischen 0.5 und 0.8 m. Damit wird dem turbulenten Abflusscharakter und Wellenschlag Rechnung getragen. Es bleibt jedoch ein Risiko bestehen, dass bei höheren Abflüssen, Verklausungen bei den Brücken, seitliche Einträge von Geschiebe oder Murgangmaterial die Gerinnekapazität nicht ausreicht. In diesem Fall ist mit einem lokalen Überströmen des rechten Schutzdammes zu rechnen. Welche Folgen wären in diesem Fall zu erwarten? Der Damm wird befahrbar ausgebildet mit einer entsprechend breiten Krone; die luftseitige Böschung wird flach angelegt, um das Risiko der Breschenbildung zu reduzieren. Damit wird auch im Überlastfall eine hohe Systemstabilität gewährleistet. Weiter ist zu beachten, dass sich der Projektperimeter ausserhalb des Siedlungsgebietes befindet und sich während Starkniederschlagsereignissen in der Regel wenige Personen in unmittelbarer Nähe des Gerinnes aufhalten. Der Nutzen einer zusätzlichen Anhebung des Freibordes wäre somit fraglich, die Kosten jedoch erheblich.

Die **Bemessung der Blockrampen** erfolgt gemäss Blockmodell von Whittaker et al. (1988) auf den 100-jährlichen Abfluss (HQ100 = 70 m³/s). Bei einem Rampengefälle von 4% und einer Breite der Blockrampe von 10 m beträgt die notwendige Blockbelegung **0.30 t/m²**. Damit die Blöcke auf dem groben Untergrund nicht abgleiten, sollten sie ein Mindestgewicht von zirka **3.0 t** aufweisen (mittl. Blockdurchmesser 1.3 m). Die Blockdichte (Flächenanteil der Sohle, welche durch Blöcke abgedeckt wird) beträgt in diesem Fall 15%. Es sind gedrungene (keine plattigen) Blöcke zu verwenden.

Für den **Rähnenverbau** (Ufer) kann grundsätzlich dieselbe Blockbelegung verwendet werden. Das Böschungsgefälle darf die Neigung von 1:2 nicht überschreiten. Da sich auf den Böschungen keine Deckschicht ausbilden kann, sind die Flächen zwischen den Blöcken durch eine Lage mit grobem Schrottenmaterial abzudecken. Gegenüber der Bemessung einer Sohlensicherung unterscheidet sich die Situation an der Böschung in folgenden Punkten:

- Die Schubspannungen entlang der Ufer sind i.d.R. geringer als in Profilmitteln. In einem geraden Gerinne beträgt die Belastung noch 77% des Maximalwertes in einem unendlich breiten Gerinne.
- Durch die Böschungsneigung wird der Widerstand des Ufermaterials gegenüber der Strömungskraft vermindert. Bei einem Ruhewinkel des Materials von 38° und einem Böschungswinkel von 27° (Neigungsverhältnis 1:2) vermindert sich die Widerstandskraft auf noch 51% des Wertes auf einer ebenen Sohle.

Die Körner der Deckschicht am Böschungsfuss werden tendenziell stärker belastet als im oberen Böschungsbereich. Die Blockbelegung im Bereich des Böschungsfusses wird deshalb bis auf eine Höhe von 1.0 m (vertikal) um 30% auf **0.40 t/m²** erhöht und im oberen Böschungsbereich auf **0.20 t/m²** reduziert. Zur weiteren Verstärkung werden die Böschungen mit Ufergehölz bestockt. Die Bestockung ist im Rahmen des Unterhalts regelmässig (zirka alle 4 bis 6 Jahre) auf Stock zu setzen.

Entlang des Projektabschnittes sind fünf Sperren zu ertüchtigen. Die spezifische Belastung bei HQ100 beträgt je nach Sektionsbreite und variabler Anströmung zwischen 4 und 6 m²/s. Die Absturzhöhen Δy variieren zwischen 1.2 m und 2.0 m. Bei einem mittleren Korndurchmesser der Deckschicht von 0.30 m ergeben sich rechnerisch Kolkiefen um 2.5 m und Kolkängen von

12 m (Formel von Tschopp & Bisaz, Situation mit Geschiebe). Um die Abmessungen der Kolke zu reduzieren, empfiehlt es sich, die Kolkwannen einlagig mit Blöcken zu belegen (vgl. nachfolgende Abbildung).

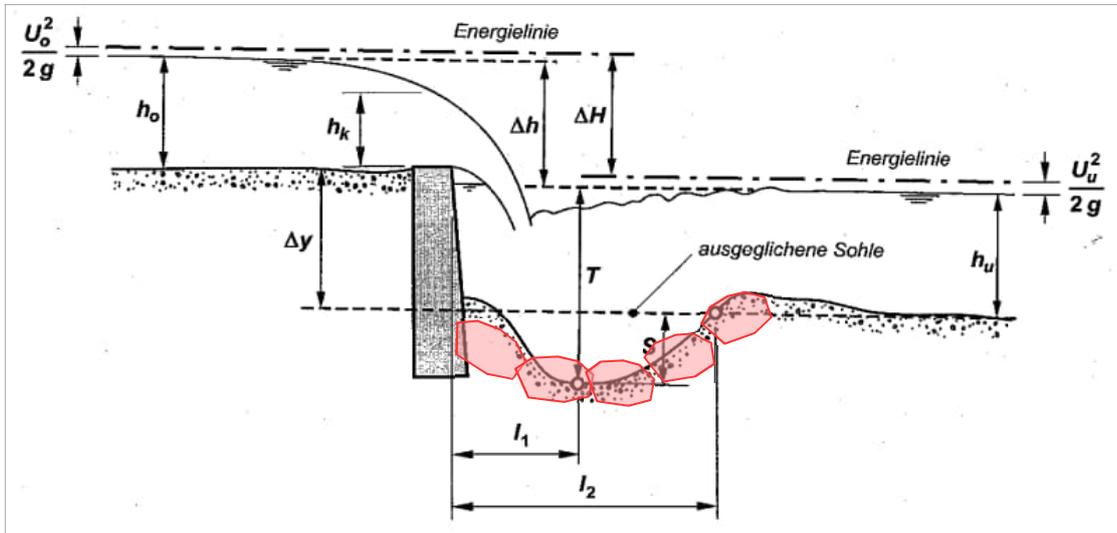


Abbildung 10: Kolkwanne

Der mittlere Blockdurchmesser sollte - damit die Blöcke nicht über die raue Sohle abgleiten - mindestens 0.70 m betragen (Blockgewicht mind. 0.5 t). Wird dieser Blockdurchmesser in die Kolkformeln eingesetzt, ergeben sich noch Kolkiefen S von 0.80 m und Kolkängen l_2 von 7.00 m.

Die Anforderungen an den Kolkchutz sind für alle Abstürze identisch. Die hohen Abstürze weisen eine grössere Sektionsbreite auf, wodurch sich die spezifische Belastung ausgleicht. Die genannten Abmessungen der Kolke gelten deshalb für alle fünf Abstürze gleichermassen.

4.6 Ökologische Defizite und ökologische Entwicklungsziele

Betreffend ökologische Aspekte und Massnahmen wird auf den separaten ökologischen Begleitbericht zum Bauprojekt verwiesen.

5 MASSNAHMENPLANUNG

5.1 Variantenstudien

Im Rahmen der Vorstudie [10] und des Vorprojekts [13] wurden für alle vier Abschnitte (Unterlauf, Mittellauf, Oberlauf, Wisstannenbach) mehrere Varianten untersucht und miteinander verglichen. Gestützt auf die Ergebnisse der Naturgefahrenkarte, der Sanierung Geschiebehaushalt, der ökomorphologischen Beurteilung der Gerinne und ergänzender Feldaufnahmen wurden im Vorprojekt die Bestvarianten ermittelt.

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.

An den bestehenden Schutzbauten wird grundsätzlich festgehalten. Für die gewerbliche Nutzung des Gebietes (Schliessbetrieb) müssen auch die Brücken bestehen bleiben. Ein Systemwechsel wäre weder wirtschaftlich sinnvoll, noch mit den bestehenden Nutzungen vereinbar.

Für das Bauprojekt des Oberlaufs wurde die Bestvariante aus dem Vorprojekt übernommen und weiterentwickelt. So wurden z.B. der Schwemmholzfang neu eingefügt, sowie zwei zusätzliche Blockrampen mit Eliminierung der Schwellen.

5.2 Unterhaltmassnahmen

Der Unterhalt der bestehenden Verbauungen sowie der Geschieberückhalteräume ist eine Daueraufgabe. Periodische Unterhaltmassnahmen sind bei der Bewirtschaftung der Geschiebeablagerungsräume auszuführen. Anfallendes Schwemmholz ist aus dem Abflussquerschnitt bzw. den Schwemmholzrechen zu entfernen.

Der Zustand der Verbauungen ist ebenfalls periodisch zu erheben und die nötigen Sanierungen auszuführen. Der Uferbewuchs sollte regelmässig unterhalten und die Uferbestockung zurückgeschnitten bzw. ausgeforstet werden. Hierzu wurde im Rahmen des Bauprojekts ein Unterhaltskonzept (22. Dezember 2023, bpp Ingenieure AG) erstellt, das die Pflichten und Aufgaben der verantwortlichen Stellen im Detail beschreibt.

5.3 Raumplanerische Massnahmen

5.3.1 Gewässerraum

Die durch die Gewässerschutzgesetzgebung erforderliche Ausscheidung der Gewässerräume ist im vorliegenden Projektperimeter noch nicht erfolgt. Aktuell ist die Teilrevision der Nutzungsplanung der Gemeinde Unteriberg im Genehmigungsverfahren. Das heisst der Gewässerraum wird im Rahmen der Nutzungsplanung ausgeschieden. Dieser ist in der Nutzungsplanung mit 18 m ab Gewässermittelle vorgesehen; Korridorbreite total 36 m.

Der Gewässerraum ist daher im Bauprojekt des Oberlaufs nur informativ eingezeichnet.

5.4 Bauliche Massnahmen

Mit der Ertüchtigung werden die Schwachstellen des Gerinnes stabilisiert. Die abgetiefte Gerinnesohle und die ausgekolkten Ufermauern werden mit Bachkies überschüttet und das neue Planum mit grossen Blöcken und Schroppen belegt (Rähne, mit max. Böschungsneigung 1:2). Zur besseren Strömungsführung wird die Sohlenbreite reduziert.

Durch den Rückbau einiger Schwellen und der Ausbildung von aufgelösten Blockrampen wird die Strömung gleichmässiger und die Längsvernetzung im Gerinne verbessert.

Zur Gewährleistung des Freibords (Abdeckung der Energielinie) muss an einigen wenigen Stellen der rechtsseitige Damm erhöht werden.

5.4.1 Teil 1 km 0.150 – 0.900

Siehe zugehörige Pläne Situation und Längenprofil Teil 1

Schwemmholzurückhalt

In der Naturgefahrenkarte Ybrig [1] wird im Abschnitt zwischen Schwyzer Blätz und Ochsenboden bei drei Brücken eine Verklausung mit Schwemmholz angenommen. Da sämtliche Brücken Mittelpfeiler aufweisen, kann zumindest eine Teilverklausung auch bei den übrigen Brücken nicht ausgeschlossen werden. Im Unterlauf zwischen Ochsenboden und Sihlsee queren weitere Brücken das Gerinne; auch diese werden – mit Ausnahme der Studenbrücke – als potentiell verklausungsgefährdet beurteilt [1]. Zur Reduktion der Risiken ist es deshalb sinnvoll, die Schwemmholzfracht nach Möglichkeit bereits im Oberlauf zu reduzieren. Als Rückhaltmassnahmen kommen primär Rechen oder Netze in Frage.

Bei einem Rechensystem, welches sich über die gesamte Gerinnebreite erstreckt, tritt mit der Verlegung der Rechenstäbe ein Unterbruch des Geschiebedurchganges ein, was im Unterlauf zu einem Defizit und entsprechend zu Abtiefungen der Sohle führt. Dieselbe Nebenwirkung zeigen auch Schwemmholznetze, welche zudem im Unterhalt relativ aufwändig sind. Oberhalb der Brücke im Schwyzer Blätz weist das Gerinne eine «Überbreite» von 30 bis 40 m auf. Dieser Standort erfüllt die Voraussetzungen für einen **selektiven Schwemmholzurückhalt** mittels Einzelrechen. Ein solches System wurde an der Minster beim Einlauf des Surbrunnenbaches im Jahr 2017 realisiert (*Abbildung 11*).



Abbildung 11: Selektiver Schwemmholzurückhalt an der Minster bestehend aus total 6 Einzelrechen (Blick bergwärts, Aufnahme Nov 2020)

Im Rahmen von Modellversuchen im physikalischen Labor für ein Rückhaltesystem an der Gürbe (Kt. BE) wurde pro Einzelrechen ein mittlerer Rückhalt von 55 fm^3 (Festmeter) als Grössenordnung bestimmt [14]. Bei einem Auflockerungsverhältnis von zirka 3 entspricht dies einem Lockervolumen von rund 150 m^3 . Für den Rückhalt von 600 m^3 Schwemmholz (H100 im Ochsenboden gem. [1]) sind somit 4 Einzelrechen notwendig. Pro Rechen ist mit einer Fläche von zirka $1'000 \text{ m}^2$ zu rechnen; sie sind versetzt zueinander zu platzieren. Eine mögliche Anordnung der Einzelrechen ist in folgender Abbildung dargestellt.



Abbildung 12: Mögliche Anordnung der Einzelrechen im Abschnitt Schwyzer Blätz

An der Minster betrug die Stabhöhe 4 m und der Abstand zwischen den Stäben 2.7 m [15]. An der Sihl sind die Hochwasserabflüsse bei vergleichbarer Gerinnebreite um rund einen Faktor 4 geringer. Für eine reduzierte Gerinnebreite von 20 m (reduziert aufgrund der Einengung durch die Rechen) und einem Gefälle von 3% beträgt die Fliesstiefe bei einem HQ100 (70 m³/s) rund 0.9 m und die Energiehöhe 1.6 m. Eingerechnet die Sohlenanhebung und den Rückstau sollten die Rechenstäbe eine Höhe von mindestens 2.0 m gegenüber der mittleren Sohlenlage aufweisen. Der Abstand der Stäbe kann analog Minster übernommen werden. Zum Ufer sollte ein Abstand von mindestens 3 Meter eingehalten werden. Der Uferschutz ist an die lokal erhöhte Belastung anzupassen (v.a. ausreichende Foundation resp. Vorgrund).

Die Rechen vermindern den Geschiebeaustrag um zirka 20 bis 25% [14]. Das Sohlengefälle wird sich dadurch von bisher 3.0% auf etwa 3.3% erhöhen (Kompensation der geringeren Transportleistung), was auf eine Streckenlänge von 100 m einer Anhebung der Sohle um 0.3 m entspricht.

Massnahmen in der Sohle

Schwelle km 0.563 wird saniert (Teilabbruch und neuer Ueberfallsektor mit Seitenflügel). Einbau Kolkenschutz.

km 0.590- km 0.625: Einbau von aufgelöster Blockrampe

Schwelle km 0.700 wird abgebrochen und durch aufgelöste Blockrampe auf Sohlenhälfte Kurvenaussenseite ersetzt.

Schwelle km 0.800: bleibt bestehen. Unterhalb davon wird aufgelöste Blockrampe neu eingebaut.

Schwelle km 0.874: Einbau Kolkenschutz; Abweiserkeile als Seitenflügel.

Schutz der rechten Ufermauer durch Einbauten von Rähnen

Massnahmen bei Brücken

Brücke Schwyzer Blätz km 0.420: Unterfangung Schadstelle bei linkem Widerlager

Massnahmen an Ufermauern /Dämmen

Lokale Dammerhöhungen rechtsufrig ca. 40 m.

5.4.2 Teil 2 km 0.900 – 1.600

Siehe zugehörige Pläne Situation und Längenprofil Teil 2

Massnahmen in der Sohle

Schwelle km 1.379: Einbau Kolksschutz; Abweiserkeile als Seitenflügel.

km 1.110 -1.180_ Vorgrund zur Sicherung der rechten Ufermauern. Die Blocksteine werden unter die Bachsohle mit einer Neigung von 1:3 kraftschlüssig Block an Block verlegt.

Schutz der rechten Ufermauer durch Einbauten von Rähnen

Massnahmen bei Brücken

keine

Massnahmen an Ufermauern /Dämmen

km 0.910-0.940 Sanierung Schadstelle im linken Ufer

Lokale Dammerhöhungen rechtsufrig ca. 300 m

Km 1.560 linksufrig; Schaffung von Zugangsrampe (für Quervernetzung)

5.4.3 Teil 3 km 1.600 – 2.035

Siehe zugehörige Pläne Situation und Längenprofil Teil 3

Massnahmen in der Sohle

Schwelle km 1.629 wird abgebrochen und durch aufgelöste Blockrampe ersetzt.

Schwelle km 1.861 wird abgebrochen und durch aufgelöste Blockrampe ersetzt.

Dadurch kann die Sohlenlage etwas tiefer gelegt werden und die Aufdämmungen rechtsufrig können reduziert werden.

km 1.110 -1.180_ Vorgrund zur Sicherung der rechten Ufermauern

Schutz der rechten Ufermauer durch Einbauten von Rähnen

Km 1.930-2.035: Schutz der linken Ufermauer durch Einbauten von Blocksatz 2:3

Massnahmen bei Brücken

keine

Massnahmen an Ufermauern /Dämmen

Lokale Dammerhöhungen rechtsufrig ca. 65 m.

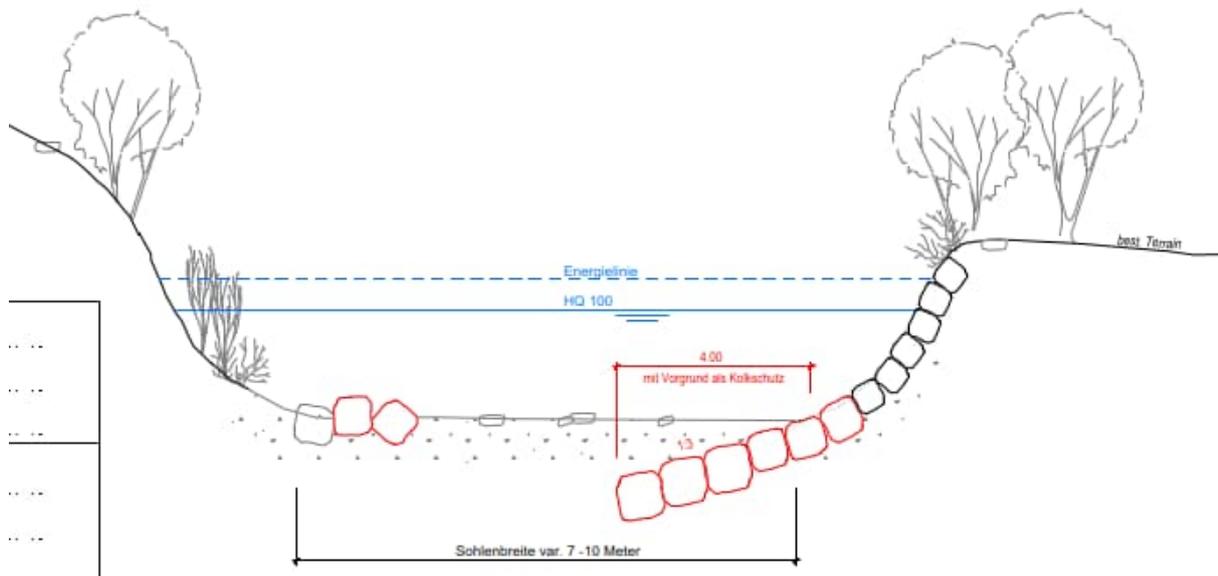


Abbildung 13: Normalprofil Sicherung Ufermauern mit Vordergrund

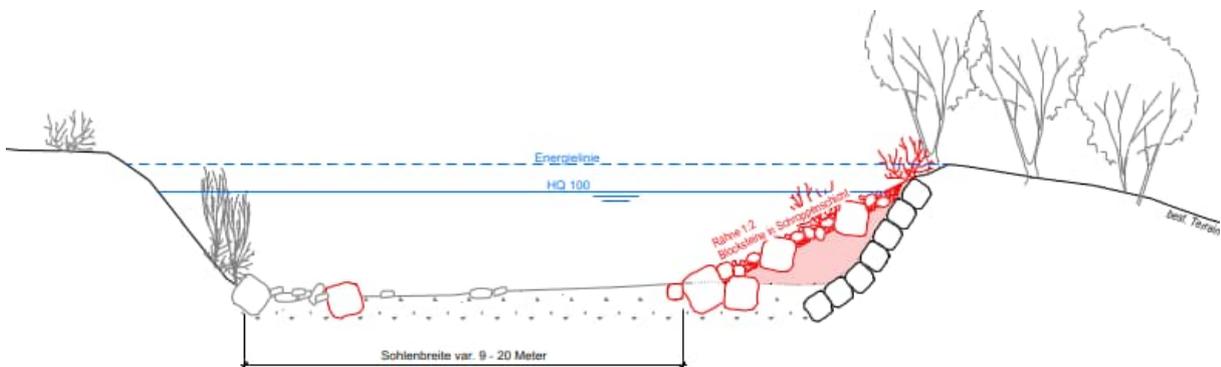


Abbildung 14: Normalprofil Böschungssicherung mit Röhre

5.4.4 Werkleitungen

Werkleitungsumlegungen sowie die Erstellung zusätzlicher Werkleitungen sind im Oberlauf keine geplant. Einzig das EWS hat Bedarf angemeldet für zwei Leerrohre PE \varnothing 120 (Bachquerung ca. bei km 2.025).

5.5 Ökologische Massnahmen

Betreffend der ökologischen Massnahmen wird auf den separaten ökologischen Begleitbericht zum Bauprojekt verwiesen.

5.6 Baustellenerschliessung /Installationsplätze /Einschränkungen Schiessbetrieb

Zufahrten

Die Zufahrt zur Baustelle im Ochsenboden verläuft über das öffentliche Strassennetz ab Einsiedeln oder Ybrig über das Dorf Studen bis zum Ochsenboden.

Die öffentliche Strasse führt östlich des Golfplatzes weiter taleinwärts bis zum Schwyzer Blätz. Eine Schiessplatzinterne Verbindungsstrasse ist ebenfalls vorhanden. Diese darf jedoch nur ausserhalb der Schiesszeiten genutzt werden.

Installationsflächen

Dem Unternehmer stehen nördlich und südlich zwei grössere Installationsflächen zur Verfügung. Zum einen eine grosse Fläche beim Geschiebesammler Ochsenboden, zum anderen eine Wiesenfläche südlich der Brücke Schwyzer Blätz.

Bei Bedarf kann auch eine zusätzliche Fläche im Areal der RWM Schweiz AG südlich von Stand 8 genutzt werden.

Erschliessung der Bausektoren

Der Oberlauf kann in 6 Bausektoren unterteilt werden. Diese ergeben sich durch die Lage der Brücken, da diese mit schweren Geräten (Bagger, LKW) nicht unterfahren werden können. Die Bausektoren sind durch Rampenschüttungen zu erschliessen, über welche die Materialtransporte erfolgen müssen. Bestehende Schwellenabstürze müssen ebenfalls durch Rampenschüttungen befahrbar gemacht werden. Mögliche Rampenstandorte sind im Übersichtsplan eingetragen.

Einschränkungen durch Schiessbetrieb

Im Baubereich der Bausektoren 2-6 des Oberlaufs befinden sich die Schiessstände 2+3 / 5/ 8, bei welchen quer über die Sihl geschossen wird. Dementsprechend ergeben sich beidseitig der Schusslinien entsprechende Sperrzonen.

Die Bausektoren 1 und 2 sind tangiert von den Distanz-Schiessständen, von wo aus ins Sihltal nach Süden geschossen wird.

Generelle Schiesszeiten:

Mai bis November:	Montag bis Donnerstag.	(Freitag schiessfrei)
Dezember bis April:	Dienstag bis Freitag.	(Montag schiessfrei)

Wann und auf welchem Stand jeweils geschossen wird und wo entsprechend gearbeitet werden kann, ist wochenweise zwischen der RWM Schweiz AG, der Bauleitung und der Unternehmung zu koordinieren.

Durch paralleles Arbeiten in zwei verschiedenen Bausektoren sollten Stillstandszeiten in der Ausführung möglichst vermieden werden.

6 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN

6.1 Siedlung und Nutzflächen

Mit den im Projekt umgesetzten baulichen Massnahmen wird der Hochwasserschutz für die Bauten der RWM Schweiz AG und des Golfplatzes längerfristig verbessert.

6.2 Ökologie, Natur und Landschaft

Mit den geplanten Massnahmen wird das oberste Ziel der Gewässerökologie, die aquatische Längsvernetzung und damit die Fischgängigkeit im Oberlauf sowie die Quervernetzung über weite Strecken verbessert und es kann sich längerfristig ein ökologisch vielfältigeres und dynamischeres Gewässer entfalten und einstellen. Es verbleiben aber weiterhin Hindernisse, wie steile Ufermauern und hohe Schwellen, die die Längs- und Quervernetzung stark beeinträchtigen. Detailliertere Ausführungen finden sich im dazugehörigen ökologischen Begleitbericht (22. Dezember 2023, bpp Ingenieure AG).

6.3 Grundwasser

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.

6.4 Landwirtschaft

Durch die baulichen Sanierungsmassnahmen am Oberlauf wird die Landwirtschaft nicht tangiert.

7 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, v.a. rechtsufrig.

Durch die geplanten Massnahmen entsteht keine nachteilige Situation für Dritte bzw. eine Gefahreumlagerung. Deshalb ist für das Bauprojekt keine Gefahrenkarte nach den Massnahmen zu erstellen.

Für Hochwasser >HQ100 verbleibt eine Restgefährdung gemäss aktueller Gefahrenkarte.

Lokale Objektschutzmassnahmen an den Gebäuden RWM Schweiz AG und anderen Anlagen sind für diesen Fall zu prüfen.

8 UMSETZUNG DER VERBLEIBENDEN GEFAHREN IN DIE RICHT- UND NUTZUNGSPLANUNG

Das verbleibende Risiko erfordert keine Massnahmen in der Richt- und Nutzungsplanung. Die Ausscheidung des Gewässerraums wird mit der Nutzungsplanung in der Gemeinde Unteriberg umgesetzt. In den Projektplänen ist der Gewässerraum als orientierender Inhalt eingezeichnet.

9 KOSTENVORANSCHLAG

Die Gesamtkosten des Hochwasserschutzprojektes im Oberlauf betragen ca. 1.110 Mio. CHF inkl. MwSt.

Kostengenauigkeit +/- 10%, Preisbasis Okt. 2023.

Der detaillierte Kostenvoranschlag ist als separates Dokument vorhanden.

Die Kosten fallen gegenüber dem Vorprojekt tiefer aus; dies infolge

- Höhere Genauigkeit der Terrinaufnahmen als Grundlage für die Kubaturberechnungen.
- Rähnen in Höhe leicht reduziert.
- Höhere Materialgewinnung und -verwendung vor Ort.
- Abschnittsgrenzen verschoben.
- Genauere Marktpreise.

10 MASSENBILANZ / HAUPTKUBATUREN

Hauptkubaturen

- | | | |
|------------------------------|-----|----------------------|
| • Bachschuttmaterial (Kies) | ca. | 4'900 m ³ |
| • Steinblöcke aus Bachsohle | ca. | 350 m ³ |
| • Lieferung Schroppen | ca. | 250 m ³ |
| • Lieferung Steinblöcke | ca. | 4'600 t |
| • Neue Uferböschung (Rähne) | ca. | 1'000 m |
| • Uferböschung (Blocksatz) | ca. | 140 m |
| • Ufersicherung (Vorgrund) | ca. | 65 m |
| • Sohlsicherung (Blockrampe) | ca. | 3'800 m ² |
| • Erhöhung Dammkrone | ca. | 400 m |

Für die Massenbilanz liegen folgende Vorausmasse zu Grunde:

- Aushub im Bachprofil oder an seitlichen Uferpartien ca. 3500 m³ (fest). Zusätzlich anfallendes Aushubmaterial aus Einbauten wie Kolkschutz, Vorgrund und Blocksatz von ca. 1800 m³, ergibt eine zur Verfügung stehende Materialmenge von ca. 5300 m³ (fest).
- Dieses Bachschuttmaterial kann zur Anhebung der Bachsohle, oder zur Erstellung der rechten Uferböschung (Rähne) wieder eingebracht werden.
- Zur Erstellung der Rähne werden ca. 2800 m³, anheben der Bachsohle auf Projekthöhe ca. 2900 m³ und erhöhen der Dammkrone ca. 900 m³ benötigt => Festmaterial ca. 6600 m³.
- Fehlendes Bachschutt- oder Schroppenmaterial wird hauptsächlich aus den Geschiebesammler Ochsenboden oder aus dem natürlichen Geschiebeablagerungsraum Schwyzer Blätz zugeliefert (ca. 1'300 m³).
- Grössere Steinblöcke, welche in die Rähne (Böschung) eingearbeitet werden, sind aus dem Bachbett der Sihl zu entnehmen.
- Benötigte Steinblöcke für Blocksatz, Vorgrund, Kolkschutz und Blockrampe müssen zugeliefert werden.
- Kleinere Mengen von Betonabbruch (best. Fundamente, Sperren usw.) müssen auf eine Deponie Typ B abgeführt werden.

11 TERMINPLAN

Abschluss Bauprojekt	bis Ende 2023
Bauprojektauflage	Feb- Mai 2024
Ausschreibung Baumeister	März – Mai 2024

Ausführung in Etappen ab Juli 2024 bis ca. Dez. 2024

Schätzung der Bauzeit: 20-25 Wochen (stark abhängig von den Einschränkungen durch den Schiessbetrieb)

12 GRUNDLAGEN

- [1] IGG SKH, Kissling + Zbinden; Annen Forstingenieurbüro, «Naturgefahrenkarte Los Ybrig, Technischer Bericht,» 2011, November.
- [2] Kanton Schwyz, «Naturgefahren im Kanton Schwyz: Kantonale Naturgefahrenstrategie,» RRB Nr. 324/2010, 2019.
- [3] WebGIS SZ, «Oekomorphologie».
- [4] Fischwerk / bpb Ingenieure AG, «Revitalisierung von Fliessgewässern im Kanton Schwyz,» Dezember 2013.
- [5] Gemeinde Unteriberg, *Nutzungsplan, RRB Nr. 1228*, 2008.
- [6] Gemeinde Unteriberg, *Teilzonenplan Ochsenboden, RRB Nr. 1291*, 2006.
- [7] Gemeinde Unteriberg, *Inventarplan und Schutzverordnung*, 06.09.1996.
- [8] swisstopo, «Geologische Karte der Schweiz, 1:500'000».
- [9] «Bodeneignungskarte der Schweiz,» März 1980.
- [10] Beffa tognacca gmbh, «Hochwasserschutzkonzept: Sihl in Studen,» 04.07.2019.
- [11] Geologisches Büro Dr. A. J. Zingg, «Talebene von Studen / Ochsenboden, Abklärung der Grundwasser-verhältnisse,» 15.12.1999.
- [12] Schenker Korner Partner GmbH, «Bericht zu den Grundwasseruntersuchungen in Studen,» 25.02.2011.
- [13] bpb Ingenieure AG, «Vorprojekt HWS Sihl,» 24.01.2022.
- [14] D. Lange und G. Bezzola, «Schwemmholz, Probleme und Lösungsansätze. VAW Mitteilung Nr. 188,» ETH Zürich, 2006.
- [15] Planer Hochwasserschutz Minster, «Hochwasserschutz Minster. Los 2. Konstruktion Holzurückhalterechen.,» 27.10.2017.
- [16] P. Meier & Partner AG, «Massnahmenplanung, Protokoll der Koordinationssitzung: 23.2018,» Lachen.
- [17] Flussbau AG SAH, «Sanierung Geschiebehalt, Los Sihl. Schlussbericht Phase 1,» Dezember 2014.
- [18] G. R. Bezzola, *Flussbau (Vorlesungsskript)*, ETH Zürich, 2003.
- [19] G. Parker, C. M. Toro-Escobar, M. Ramey und S. Beck, «Effect of Floodwater Extraction on Mountain Stream Morphology,» J. Hydr. Engrg. ASCE, Vol. 129, No. 11., 2003.
- [20] M. S. Yalin und A. M. Ferreira da Silva, «Fluvial Processes,» IAHR Monograph, 2001.
- [21] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, «Ingenieurbiologische Bauweisen an Fliessgewässern, Teil 3. Arbeitsblätter für die Baustelle.,» 2013.
- [22] Ing.büro J. Meier, «Projektplänen (Ausschnitt),» Lachen, 1957.

13 ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

<i>Abbildung 1: Projektperimeter Sihl Oberlauf.....</i>	5
<i>Abbildung 2: Angaben zu historischen Hochwassern.....</i>	5
<i>Abbildung 3: Einzugsgebiet der Sihl oberhalb Sihlsee.....</i>	7
<i>Abbildung 4: Ausschnitt aus der Grundwasserkarte 1:25'000, mit Perimeter Sihl Oberlauf (rot).....</i>	9
<i>Abbildung 5: Foto alte Mauer, 1912.....</i>	11
<i>Abbildung 6: Normalprofil Ufermauer [26].....</i>	11
<i>Abbildung 7 Schadensbilder Ufermauern.....</i>	12
<i>Abbildung 8: Naturgefahrenkarte.....</i>	18
<i>Abbildung 9: Schutzzielmatrix des Kantons Schwyz.....</i>	20
<i>Abbildung 10: Kolkwanne.....</i>	23
<i>Abbildung 11: Selektiver Schwemmhölzrückhalt an der Minster bestehend aus total 6 Einzelrechen (Blick bergwärts, Aufnahme Nov 2020).....</i>	25
<i>Abbildung 12: Mögliche Anordnung der Einzelrechen im Abschnitt Schwyzer Blätz.....</i>	26
<i>Abbildung 13: Normalprofil Sicherung Ufermauern mit Vordergrund.....</i>	28
<i>Abbildung 14: Normalprofil Böschungssicherung mit Rähne.....</i>	28
<i>Tabelle 1: Hochwasserabflüsse der Sihl aus Naturgefahrenkarte.....</i>	8
<i>Tabelle 2: Hochwasserabflüsse der Sihl aus Laufzeitverfahren (NGK-Werte in Klammern).....</i>	8
<i>Tabelle 3: Gefahrenszenarien gemäss Naturgefahrenkarte.....</i>	10
<i>Tabelle 4: Gebietsparameter Sihl und Seitenzuflüsse innerhalb Projektperimeter (aus [1]).....</i>	10
<i>Tabelle 5: Bedürfnisse und Anliegen der Begleitgruppe.....</i>	19
<i>Tabelle 6: Hauptziele Projekt.....</i>	19
<i>Tabelle 7: Hochwasserabflüsse der Sihl aus Naturgefahrenkarte.....</i>	21

14 ANHANG 1 PLAN SCHIESSPLATZ MIT BAUSEKTOREN

