



**University of
Zurich^{UZH}**

Hochwasserschutz an der Isleten (UR) für verschiedene Entwicklungsszenarien

GEO 511 Master's Thesis

Author

Samuel Bissig
17-108-614

Supervised by

Dr. Holger Frey
Herbert Duss (herbert-duss@bluewin.ch)

Faculty representative

Prof. Dr. Christian Huggel

31.01.2025

Department of Geography, University of Zurich



**Universität
Zürich** ^{UZH}

Hochwasserschutz an der Isleten (UR) für verschiedene Entwicklungsszenarien



GEO 511 Masterarbeit

Autor

Samuel Bissig
17-108-614

Betreut durch:

Herbert Duss (herbert-duss@bluewin.ch)
Dr. Holger Frey (holger.frey@geo.uzh.ch)

Fakultätsvertretung:

Prof. Dr. Christian Huggel (christian.huggel@geo.uzh.ch)

31.01.2025

Geographisches Institut, Universität Zürich

Zusammenfassung

Fluviale Gefahrenprozesse führen weltweit immer wieder zu grossen Schäden an Menschen und Infrastruktur. Über einen langen Zeitraum herrschte eine Strategie der Gefahrenabwehr für den Umgang mit Hochwassern und Überschwemmungen vor. In den letzten Jahren wurde erkannt, dass eine vollständige Eliminierung des Risikos mit baulichen Massnahmen nicht möglich ist und die negativen Auswirkungen bei einem Überlastfall oftmals sehr gross sind. Der Ansatz von natur-nahen Hochwasserschutzmassnahmen wird deshalb immer wichtiger und heute werden Schutzprojekte meist mit Revitalisierungen des betroffenen fluvialen Systems kombiniert. Revitalisierungen bieten eine natürliche Pufferfunktion zur Reduktion von Hochwasserspitzen. Diese Pufferfunktion wird in Zukunft aufgrund des Klimawandels immer wichtiger.

In dieser Arbeit werden für das Fallbeispiel der Isleten (UR) in der Schweiz verschiedene Varianten ausgearbeitet, wie der Hochwasserschutz zeitgemäss und nachhaltig verbessert werden kann. Dabei werden unterschiedliche Entwicklungsmöglichkeiten der Isleten berücksichtigt. Aufgrund der Projektpläne der Isen AG mit dem ägyptischen Investor Samih Sawiris wurde im Kanton Uri zuletzt viel über die mögliche Entwicklung an der Isleten diskutiert.

Zur Entwicklung der Varianten wurde der ursprüngliche und der heutige Zustand des Deltas rekonstruiert und analysiert. Weiterhin wurde eine Recherche zu ähnlichen Deltas in der Schweiz durchgeführt. Aus diesen Grundlagen konnten vier Varianten entwickelt werden, die eine Erhöhung der Hochwassersicherheit sowie eine ökologische Aufwertung erlauben. Diese wurden anhand einer Bewertungsmatrix beurteilt und mit einem hydraulischen Abflussmodell getestet. Die Bewertung der Varianten hat ergeben, dass eine mäandrierende Form des Isitalerbachs mit den heutigen Gegebenheiten am besten abschneidet. Die Modellierung zeigte, dass mit dieser morphologischen Form das Schadensausmass des Hochwassers 2005 geringer ausgefallen wäre.

Abschliessend wurde die Veränderung des Schadenspotentials an der Isleten aufgrund einer möglichen Entwicklung und dem Einfluss des Klimawandels diskutiert. Die Resultate leisten einen wichtigen Beitrag zur Debatte über die Entwicklung an der Isleten und rücken den Hochwasserschutz und die Renaturierung des Deltas in den Mittelpunkt.

Abstract

Flood hazard processes repeatedly cause major damage to people and infrastructure worldwide. For a long time, a hazard defence strategy for dealing with floods and inundations prevailed. In recent years, it has been recognised that it is not possible to completely eliminate the risk with structural measures and that the negative effects in the event of an overload are often very large. The approach of near-natural flood protection measures is therefore becoming increasingly important and today flooding projects are usually combined with revitalisation of the relevant fluvial system. Revitalisations provide a natural buffer function to reduce flood peaks. This buffer function will play a crucial role in the future due to the climate change.

In this paper, various options are developed for the case study of the Isleten (UR) in Switzerland, showing how flood protection can be improved in a contemporary and sustainable manner. Different development options for the Isleten are considered. Due to the project plans of the Isen AG with the Egyptian investor Samih Sawiris, there has recently been much discussion in the canton of Uri about the possible development of Isleten.

To develop the alternatives, the original and current state of the delta was reconstructed and analysed. Furthermore, research was carried out on similar deltas in Switzerland. From this basis, four alternatives were developed that allow an increase in flood safety and an ecological enhancement. These were assessed using an evaluation matrix and tested with a hydraulic discharge model. The evaluation of the alternatives showed that a meandering form of the Isitalerbach performs best under the current conditions. The modelling showed that the extent of damage caused by the 2005 flood would have been smaller with this morphological form.

Finally, the change in damage potential on the Isleten due to development and the influence of the climate change was discussed. The results contribute to the debate about the development at the Isleten and enhance the need of flood protection and the restoration of the delta.

Danksagung

Hier möchte ich einigen Personen einen Dank aussprechen, die mich im Verlauf meiner Masterarbeit unterstützt haben. Als erstes gilt mein Dank meinem Praxis Betreuer Herbert Duss, welcher diese Masterarbeit ermöglicht hat. Er unterstützte mich während des gesamten Prozesses der Arbeit und stellte mir seine Expertise zu Hochwasserschutzprojekten im Kanton Uri zur Verfügung. Weiterhin möchte ich mich bei meinem Universitätsbetreuer Dr. Holger Frey bedanken. In zahlreichen Treffen und Diskussionen lieferte er mir wertvolle Tipps und Ratschläge zur erfolgreichen Umsetzung meiner Masterarbeit. Zudem gilt mein Dank Prof. Dr. Christian Huggel, der mir immer wieder wichtige Hinweise für den formalen Prozess der Arbeit geliefert hat.

Einen weiteren Dank möchte ich Ingrid Senn von der Firma geoformer igp AG aussprechen. Ihre konstruktiven Rückmeldungen und kritische Betrachtung meiner Ideen halfen mir oft den richtigen Weg zu finden. Ausserdem bedanke ich mich bei Jonathan Davidson und Pascal Wyss für das Gegenlesen meiner Arbeit.

Zum Schluss bedanke ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für ihre Hilfe, Geduld und die Unterstützung während meines gesamten Studiums.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Kontext.....	1
1.2	Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz	1
1.3	Motivation	2
1.4	Ziele und Forschungsfragen	3
2	Untersuchungsgebiet	4
2.1	Übersicht.....	4
2.2	Industrielle Entwicklung	6
2.3	Ökologischer Zustand Isitalerbach	6
2.4	Hochwasser des Isitalerbachs an der Isleten	9
2.5	Bau- und Zonenordnung an der Isleten.....	11
3	Methodik	12
3.1	Hochwasserschutz und Revitalisierungen	12
3.2	Übersicht und Datengrundlagen	12
3.3	Rekonstruktion	13
3.4	Variante mit heutigen Rahmenbedingungen	14
3.4.1	<i>Hochwasserschutz in der Schweiz</i>	<i>14</i>
3.4.2	<i>Vorgehen</i>	<i>14</i>
3.5	Varianten mit Veränderung der Rahmenbedingungen.....	14
3.6	HEC-RAS.....	15
3.6.1	<i>Abflussmodellierung</i>	<i>15</i>
3.6.2	<i>Modellkalibrierung.....</i>	<i>15</i>
3.6.3	<i>Anpassungen Höhenmodell</i>	<i>16</i>
3.7	Bewertungsmatrix.....	16
3.8	Geschiebemanagement.....	16
4	Resultate.....	18
4.1	Relief und Gerinnegeometrie heute	18
4.2	Rekonstruktion des Deltas	19
4.2.1	<i>Literaturrecherche</i>	<i>19</i>
4.2.2	<i>Historische Karten und Bilder</i>	<i>19</i>
4.3	Ähnliche Deltas in der Schweiz	22
4.4	Bewertungsmatrix.....	23
4.5	Geschiebemanagement an der Isleten	24
4.6	HEC-RAS Kalibrierung	24
4.7	Variante 1 Seitlicher Ablagerungsraum.....	26
4.7.1	<i>Übersicht.....</i>	<i>26</i>
4.7.2	<i>Technische Ausführung.....</i>	<i>27</i>
4.7.3	<i>Umweltaspekte.....</i>	<i>29</i>

4.7.4	Modellierung mit HEC-RAS.....	29
4.7.5	Kosten und Nutzen.....	30
4.7.6	Bewertung.....	31
4.8	Variante 2 Mäandrierender Isitalerbach.....	33
4.8.1	Übersicht.....	33
4.8.2	Technische Ausführung.....	34
4.8.3	Umweltaspekte.....	36
4.8.4	Modellierung mit HEC-RAS.....	36
4.8.5	Kosten und Nutzen.....	37
4.8.6	Bewertung.....	38
4.9	Variante 3a Deltaaufweitung.....	40
4.9.1	Übersicht.....	40
4.9.2	Technische Ausführung.....	40
4.9.3	Umweltaspekte.....	42
4.9.4	Modellierung mit HEC-RAS.....	42
4.9.5	Kosten und Nutzen.....	43
4.9.6	Bewertung.....	44
4.10	Variante 3b Deltaaufweitung Süden	45
4.10.1	Übersicht	45
4.10.2	Technische Ausführung	45
4.10.3	Umweltaspekte	47
4.10.4	Modellierung mit HEC-RAS.....	47
4.10.5	Kosten und Nutzen.....	48
4.10.6	Bewertung	48
5	Diskussion.....	50
5.1	Beantwortung der Forschungsfragen	50
5.1.1	Forschungsfrage 1	50
5.1.2	Forschungsfrage 2	51
5.1.3	Forschungsfrage 3	51
5.2	Bestvariante und Vergleichbarkeit	51
5.3	Unterschied zu technischem Bericht.....	53
5.4	Entwicklung der Isleten	53
5.5	Berücksichtigung des Klimawandels.....	54
5.6	Kategorisierung Seedeltas und Meeresdeltas.....	55
5.7	Ausblick.....	57
6	Schlussfolgerungen.....	58
	Literaturverzeichnis	59
	Anhang.....	64
	Anhang A: Berechnungen der heutigen Gerinnegeometrie	64
	A1 Gerinnequerschnitte	64

<i>A2 Längenprofil Gerinnesohle.....</i>	<i>67</i>
<i>A3 Neigung linksufrige Böschung</i>	<i>68</i>
Anhang B: Zeitreise – Kartenwerke Isleten aus Swisstopo	71
Anhang C: Luftbilder der ähnlichen Deltas	75
Anhang D: Aufnahmen der Isleten nach dem Hochwasserereignis 2005.....	79
Anhang E: Fliessgeschwindigkeitsmodellierungen.....	81

Abbildungen

Titelbild: Überschwemmungen an der Isleten nach dem Hochwasser 2005. Quelle: (Amt für Tiefbau - Kanton Uri, 2005).....	
Abbildung 1: Lage der Isleten und Einzugsgebiet des Isitalerbachs. Quelle: (Swisstopo, 2024a)...	5
Abbildung 2: Zustand des Isitalerbachs heute. Quelle: (Eigene Aufnahme, 2024).....	7
Abbildung 3: Ökomorphologischer Zustand des Isitalerbachs an der Isleten. Quelle: (Swisstopo, 2024b).....	8
Abbildung 4: Gefahrenkarte Hochwasser für die Isleten. Quelle: (Lisag AG, 2022).	8
Abbildung 5: Überschwemmungen an der Isleten nach dem Hochwasser 2005. Quelle: (Amt für Tiefbau - Kanton Uri, 2005).....	10
Abbildung 6: Bau- und Zonenordnung an der Isleten. Die Zonen werden durch folgende Farben dargestellt: Wald = dunkelgrün, Industriezone = blau, Wohn- und Gewerbezone = violett-gelb, Reservezone = weiss, Zone für öffentliche Bauten und Anlagen = dunkelgrau, Freihaltezone ausserhalb Bauzone = hellgrün. Quelle: (Lisag AG, 2018)	11
Abbildung 7: Übersicht der heutigen Situation an der Isleten anhand des multidirektionalen Reliefs aus swissALTI3D. Zusätzlich sind die Querprofile und das Längenprofil für Geometrieberechnungen eingezeichnet.	18
Abbildung 8: Annäherung des Trapezes für Querprofil 3 zur Berechnung des Gerinnequerschnitts.	19
Abbildung 9: Übersichtskarte der Isleten von 1872 als Grundlage für die Konzession der Jura-Gotthard-Bahn. Quelle: (Burkhardt, 2012).	20
Abbildung 10: Historisches Foto von Adolphe Braun des Schwemmkegels Isleten um 1875. Quelle: (Staatsarchiv Uri, 2024).	21
Abbildung 11: Erste Karte der Isleten aus der Dufourkarte von 1864. Quelle: (Swisstopo, 2024f).	21
Abbildung 12: HEC-RAS Kalibration anhand des Hochwassers 2005. Die Blaue Fläche stellt die Wassertiefe in m dar.	25
Abbildung 13: Visualisierung der Variante 1 Seitlicher Ablagerungsraum.	26
Abbildung 14: Längenprofil rechtes Ufer Isitalerbach. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.	27
Abbildung 15: Längenprofil Geschiebesammler. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.	28
Abbildung 16: Querprofil 6 Geschiebesammler. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.	28
Abbildung 17: Querprofil 7 Abflussmulde und Zufahrtsweg. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.	29
Abbildung 18: Modellierung der Wassertiefe in m anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 1.	30
Abbildung 19: Visualisierung der Variante 2 Mäandrierender Isitalerbach.	33

Abbildung 20: Querprofil 4 Kurve West. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.	35
Abbildung 21: Querprofil 8 Kurve Ost. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.	35
Abbildung 22: Längenprofil neue Gerinnesohle Variante 2 Mäandrierender Isitalerbach.....	36
Abbildung 23: Modellierung der Wassertiefe in m anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 2.....	37
Abbildung 24: Visualisierung der Variante 3a Deltaaufweitung.....	40
Abbildung 25: Querprofil 8 Deltaaufweitung. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.....	41
Abbildung 26: Querprofil 3 Deltaaufweitung. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.....	42
Abbildung 27: Modellierung der Wassertiefe in m anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 3a.	43
Abbildung 28: Visualisierung der Variante 3b Deltaaufweitung Süden.	45
Abbildung 29: Querprofil 6 Deltaaufweitung Süden. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.	46
Abbildung 30: Querprofil 8 Deltaaufweitung Süden. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.	47
Abbildung 31: Modellierung der Wassertiefe in m anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 3b.....	48
Abbildung 32: Visualisierung Projektidee der Isen AG. Es ist erkennbar, dass nur der nördliche Teil der Halbinsel betroffen ist. Die ausgearbeiteten Hochwasserschutz- und Revitalisierungsvarianten dieser Arbeit beanspruchen im Gegensatz dazu nur den südlichen Teil der Halbinsel. Quelle: (Isen AG, 2024b).	54
Abbildung 33: Diagramm zur Kategorisierung von Seedeltas. Die verschiedenen Zustände der Isleten sind rot markiert. Angepasst nach Fourrier et al. (2024).	56
Abbildung 34: Annäherung des Trapezes für Querprofil 3 zur Berechnung des Gerinnequerschnitts.	64
Abbildung 35: Annäherung des Trapezes für Querprofil 5 zur Berechnung des Gerinnequerschnitts.	64
Abbildung 36: Annäherung des Trapezes für Querprofil 5 zur Berechnung des Gerinnequerschnitts.	65
Abbildung 37: Annäherung des Trapezes für Querprofil 5 zur Berechnung des Gerinnequerschnitts.	65
Abbildung 38: Längenprofil der Bachsohle des Isitalerbachs aus swissALTI3D.	67
Abbildung 39: Neigung der Böschung für Querprofil 3; die blaue Linie stellt die gemessene Distanz dar.	68
Abbildung 40: Neigung der Böschung für Querprofil 5; die blaue Linie stellt die gemessene Distanz dar.	68
Abbildung 41: Neigung der Böschung für Querprofil 7; die blaue Linie stellt die gemessene Distanz dar.	69

Abbildung 42: Neigung der Böschung für Querprofil 9; die blaue Linie stellt die gemessene Distanz dar.	69
Abbildung 43: Kartenausschnitt der Isleten aus der Dufourkarte von 1864. Quelle: (Swisstopo, 2024f).	71
Abbildung 44: Kartenausschnitt der Isleten von 1895. Quelle: (Swisstopo, 2024g).	71
Abbildung 45: Kartenausschnitt der Isleten von 1904. Quelle: (Swisstopo, 2024g).	72
Abbildung 46: Kartenausschnitt der Isleten von 1906. Quelle: (Swisstopo, 2024g).	72
Abbildung 47: Kartenausschnitt der Isleten von 1930. Quelle: (Swisstopo, 2024g).	73
Abbildung 48: Kartenausschnitt der Isleten von 1958. Quelle: (Swisstopo, 2024g).	73
Abbildung 49: Kartenausschnitt der Isleten von 1977. Quelle: (Swisstopo, 2024g).	74
Abbildung 50: Kartenausschnitt der Isleten von 2013. Quelle: (Swisstopo, 2024g).	74
Abbildung 51: Luftbild vom Delta Sundlauenen. Quelle: (Swisstopo, 2024h).	75
Abbildung 52: Luftbild vom Delta Au. Quelle: (Swisstopo, 2024h).	76
Abbildung 53: Luftbild vom Delta Sträbetzen. Quelle: (Swisstopo, 2024h).	77
Abbildung 54: Luftbild vom Delta Wissen Brünnen. Quelle: (Swisstopo, 2024h).	78
Abbildung 55: Luftbild der Isleten nach der Überschwemmung 2005. Man erkennt den überschwemmten Parkplatz mit dem Schwemmholz rechts vom Wohnhaus. Am Seeufer erkennt man das Restaurant. Quelle: (Amt für Tiefbau - Kanton Uri, 2005)	79
Abbildung 56: Luftbild der Isleten nach der Überschwemmung 2005. Das Bild wurde mit Blick nach Norden aufgenommen. Man erkennt, dass vor allem der südliche Teil des Deltas stark überschwemmt wurde. Quelle: (Amt für Tiefbau - Kanton Uri, 2005)	79
Abbildung 57: Luftbild der Isleten nach der Überschwemmung 2005. Am unteren Bildrand in der Mitte erkennt man die über-schwemmte Schiffstation. Quelle: (Amt für Tiefbau - Kanton Uri, 2005).	80
Abbildung 58: HEC-RAS Kalibration anhand des Hochwasserereignisses 2005. Die Fliessgeschwindigkeit in m/s wird abgebildet.	81
Abbildung 59: Modellierung der Fliessgeschwindigkeit in m/s anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 1.	81
Abbildung 60: Modellierung der Fliessgeschwindigkeit in m/s anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 2.	82
Abbildung 61: Modellierung der Fliessgeschwindigkeit in m/s anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 3a.	82
Abbildung 62: Modellierung der Fliessgeschwindigkeit in m/s anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 3b.	83

Tabellen

Tabelle 1: Zusammenstellung möglicher Vergleichsdeltas für die Isleten in der Schweiz.	22
Tabelle 2: Bewertungsmatrix für die Beurteilung der ausgearbeiteten Varianten.....	24
Tabelle 3: Kostenaufstellung für Variante 1 Seitlicher Ablagerungsraum.....	31
Tabelle 4: Bewertungsmatrix für Variante 1 Seitlicher Ablagerungsraum. Die erreichte Punktzahl pro Unterkriterium ist grün markiert.	32
Tabelle 5: Kostenaufstellung für Variante 2 Mäandrierender Isitalerbach.	38
Tabelle 6: Bewertungsmatrix für Variante 2 Mäandrierender Isitalerbach. Die erreichte Punktzahl pro Unterkriterium ist grün markiert.	39
Tabelle 7: Kostenaufstellung für Variante 3a Deltaaufweitung.	44
Tabelle 8: Bewertungsmatrix für Variante 3a Deltaaufweitung. Die erreichte Punktzahl pro Unterkriterium ist grün markiert.....	44
Tabelle 9: Kostenaufstellung für Variante 3b Deltaaufweitung Süden.....	48
Tabelle 10: Bewertungsmatrix für Variante 3b Deltaaufweitung Süden. Die erreichte Punktzahl pro Unterkriterium wurde grün markiert.....	49
Tabelle 11: Zusammenfassung der entwickelten Varianten.	52

Glossar

BAFU	Bundesamt für Umwelt
BLN	Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung
QP	Querprofil
LP	Längenprofil
HQ ₃₀	30-jährliches Hochwasser
HQ ₁₀₀	100-jährliches Hochwasser
HQ ₃₀₀	300-jährliches Hochwasser
EHQ	Extremhochwasser
b	Gerinnebreite
m	Meter
m/s	Meter pro Sekunde
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
km	Kilometer
km ²	Quadratkilometer
m. ü. M.	Meter über Meer
HEC-RAS	Hydrological Engineering Center-River Analysis System
1D	Eindimensional
2D	Zweidimensional
A	Area (Fläche)
V	Volumen
Tobel	Enge Schlucht
PLANAT	Nationale Plattform für Naturgefahren Schweiz

1 Einleitung

1.1 Kontext

In der Hochwasserschutzforschung ist heutzutage ein Paradigmenwechsel im Gange (Broggi, 2022). Früher wurde vor allem mit baulichen und technischen Massnahmen versucht, die negativen Auswirkungen von Hochwasser für die Anwohner zu minimieren (Serra-Llobet et al., 2022). In den letzten Jahrzehnten wurden aber durch Überschwemmungen die Grenzen dieser Schutzmassnahmen immer wieder aufgezeigt (Nilsson et al., 2018; Auerswald et al., 2019; Broggi, 2022). Deshalb fokussiert die heutige Forschung zunehmend auf neue Ansätze. Diese kombinieren den Hochwasserschutz mit der Revitalisierung von Fliessgewässern (Habersack et al., 2015; Nilsson et al., 2018; Broggi, 2022; Serra-Llobet et al., 2022; Nordbeck et al., 2023). Einerseits entstehen durch die Schaffung natürlicher Überschwemmungsflächen Retentionsräume, die zur Reduktion von Hochwasserspitzen beitragen können (Broggi, 2022). Andererseits führt die ökologische Aufwertung von Flusslandschaften zur Etablierung zahlreicher Habitatstrukturen, die verschiedenen Tierarten Lebensräume bieten (Opperman et al., 2017; Broggi, 2022). Serra-Llobet et al. (2022) argumentieren, dass es in der Praxis noch immer wenige gut dokumentierte Beispiele für solche kombinierte Projekte gibt. Zudem fehlt es an Studien zu kombinierten Projekten aus Hochwasserschutz und Revitalisierung für kleine alpine Wildbäche. Im Hinblick auf zukünftige Herausforderungen mit dem Klimawandel sind solche anpassungsfähigen Massnahmen von grosser Wichtigkeit.

Hochwasser ist eine Naturgefahr, die global immer wieder zu erheblichen Schäden führt (Dottori et al., 2023). Das jüngste Beispiel der Überschwemmungen vom 12. bis 15. September 2024 in Zentraleuropa, mit 24 Todesopfern und grossen Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen, zeigt die möglichen negativen Auswirkungen dieses Prozesses (Kimutai et al., 2024). Aufgrund des Klimawandels werden solche Ereignisse in Zukunft noch stärker ausfallen und häufiger auftreten (Alfieri et al., 2015; Auerswald et al., 2019; Dottori et al., 2023; Kimutai et al., 2024). Tabari (2020) hat gezeigt, dass die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur dazu führt, dass die Luft mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann und es dadurch mehr Niederschlagsextreme und entsprechend mehr Hochwasser geben wird.

1.2 Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz

Gemäss einer Studie des Bundesamts für Umwelt BAFU (2017a) sind in der Schweiz fast ein Viertel aller Flussstrecken und Bachläufe stark beeinträchtigt und können ihre natürlichen Funktionen nicht mehr ausreichend erfüllen. Heutzutage werden in der Schweiz im Zuge von Hochwasserschutzprojekten meist auch Revitalisierungsmassnahmen umgesetzt, um die Vielfalt der Flusslandschaft zu erhöhen (Müller et al., 2016; Broggi, 2022). Neben dem Vorteil des ökologischen Mehrwerts durch Revitalisierungen besteht auch der Anreiz durch finanzielle Unterstützung vom Bund für geeignete Projekte (BAFU, 2017a). Eine Gerinneaufweitung ist ein mögliches Beispiel, das dem Hochwasserschutz zugutekommt, und gleichzeitig eine Revitalisierungsmassnahme darstellt (Müller et al., 2016).

Die jüngsten Ereignisse (August 2024) aus dem Tessin, Wallis, Graubünden und Berner Oberland zeigen, dass in der Schweiz fluviale Prozesse immer wieder zu hohen Schadenssummen führen.

Aufgrund der Siedlungsentwicklung nahm das Schaden- und Gefahrenpotential stetig zu. Im Jahr 2013 wohnten rund 20% der Schweizer Bevölkerung in Gebieten, die von Überschwemmungen betroffen sein können (BAFU, 2016). Diese Zahl wird aufgrund des Klimawandels und der Zunahme der Bevölkerung in Zukunft weiter steigen (BAFU, 2020). Dass man sich in der Schweiz vor Naturgefahren schützen muss, wurde bereits 1876 mit dem Bundesgesetz über die Forstpolizei und 1877 mit dem Bundesgesetz über die Wasserbaupolizei festgelegt (Löschner und Nordbeck, 2020). Diese Grundlagen sorgten dafür, dass bis in die 1980er Jahre eine sogenannte «Strategie der Gefahrenabwehr» vorherrschte (BAFU, 2016). Dabei ging es darum, mit rein baulichen und technischen Massnahmen die negativen Auswirkungen von Überschwemmungen zu verhindern. Erst nach 1987, ausgelöst durch die schweren Unwetter, fand ein Paradigmenwechsel im Schweizer Hochwasserschutz statt (Broggi, 2022). Es wurde erkannt, dass man für einen umfassenden Schutz vor Hochwassern ein ganzheitliches Risikomanagement anstreben muss (Willi und Eberli, 2006). Dies umfasst unter anderem auch die stärkere Fokussierung auf die Umweltaspekte und deren Auswirkungen.

Das Jahrhunderthochwasser 2005 führte in der gesamten Schweiz zu Schäden in Höhe von circa 2.5 Milliarden Franken (Willi und Eberli, 2006). Insbesondere der Kanton Uri war sehr stark betroffen mit Schäden von über 350 Millionen Franken (Kanton Uri, 2015). Auch auf der Halbinsel Isleten trat der Bach über die Ufer und verursachte in der nahegelegenen Dynamitfabrik erhebliche Beschädigungen. Nach diesem Ereignis wurden im Isentalerbach Sofortmassnahmen umgesetzt, die ein solches Ausufern künftig verhindern sollen. Dabei wurden jedoch keine Revitalisierungsmassnahmen ausgeführt und der Bach fliesst weiterhin in einem begradigten Trapezgerinne mit verbauten Ufern (Wyrsh et al., 2022).

1.3 Motivation

Ausgelöst durch die Pläne des ägyptischen Investors Samih Sawiris gelangte die Isleten zuletzt vermehrt ins öffentliche Interesse. Vertreten durch die Isen AG plant er an der Isleten eine touristische Anlage mit Hotel, Appartements und Bungalows inklusive künstlichem Bootshafen (Isen AG, 2024a). Am 6. April 2022 informierte die Isen AG zusammen mit den Standortgemeinden und dem Kanton Uri die lokale Bevölkerung erstmals über die Projektpläne an der Isleten (Kanton Uri, 2024a). Daraufhin reichten im Jahr 2023 die GRÜNEN Uri die Gegeninitiative «Isleten für alle» ein. Sie forderten darin «eine gesetzliche Regelung zur Nutzung des Deltas des Isentalerbachs». Die Initiative will neue Hotel- und Apartment-Gebäude sowie neue Bootshäfen verbieten. Weiterhin soll die Nutzung bestehender Gebäude im bisherigen Rahmen oder die zonenkonforme Umnutzung erlaubt sein (Grüne Uri, 2024). Nachdem die Initiative eingereicht wurde, präsentierten die Projektbeteiligten Anfangs 2024 eine überarbeitete Version der Pläne (Kanton Uri, 2024a). Am 24. November 2024 hat die Urner Stimmbevölkerung über die «Isleten für alle» abgestimmt. Sie wurde mit 66.42% abgelehnt (Kanton Uri, 2024b). Da die Isleten Teil des Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN) ist, ergeben sich auf der Isleten grössere Interessenskonflikte aus Sicht des Natur- und Heimatschutzes, Hochwasserschutzes und der touristischen Nutzung (BAFU, 2017b).

1.4 Ziele und Forschungsfragen

Im Rahmen dieser Arbeit sollen die Herausforderungen des Hochwasserschutzes an der Isleten anhand eines kombinierten Ansatzes von Hochwasserschutz und Revitalisierung genauer analysiert werden. Das Hauptziel ist es, geeignete Hochwasserschutzmassnahmen für den Isitalerbach mit verschiedenen Entwicklungsszenarien aufzuzeigen. Dabei sollen die Massnahmen möglichst naturnah gestaltet werden, damit der Isitalerbach wieder eine naturnahe Gerinneform aufweist und die ökologische Vielfalt erhöht werden kann. Die verschiedenen Varianten werden mit einem hydraulischen Abflussmodell getestet und anhand einer Bewertungsmatrix beurteilt. Folgende Forschungsfragen sollen in dieser Arbeit beantwortet werden.

1. Wie war der ursprüngliche, unverbaute Zustand des Bachdeltas, bevor die Isleten besiedelt wurde?
2. Welche zeitgemässe und nachhaltige Hochwasserschutz- und Revitalisierungsmassnahme ist an der Isleten möglich, wenn die Rahmenbedingungen nicht verändert werden (d.h. Strassen und Gebäude gelten als starre Grenzen)? Es wird eine konkrete Variante ausgearbeitet.
3. Welche zeitgemässen und nachhaltigen Hochwasserschutz- und Revitalisierungsmassnahmen sind an der Isleten unter Einbezug von Siedlungsentwicklung und Veränderung der Rahmenbedingungen möglich? Es werden zwei konkrete Varianten ausgearbeitet.

2 Untersuchungsgebiet

2.1 Übersicht

Die Isleten ist eine kleine Halbinsel auf der Westseite des Urnersees am Eingang zum Isental (siehe Abbildung 1). Sie wurde durch die kontinuierlichen Ablagerungen des Isitalerbachs im Urnersee aufgebaut. Gesamthaft hat das Delta eine Fläche von ungefähr 95'000 m² und erstreckt sich vom Ufer des Urnersees auf 433.6 m. ü. M. bis zum Eingang der Schlucht auf circa 448 m. ü. M.. Im Norden und im Süden wird die Isleten durch steile Felswände begrenzt, die von Strassentunnels für die Verbindung nach Bauen im Norden und Seedorf im Süden durchbrochen sind.

Der Isitalerbachs fliesst auf der Isleten aus der Schlucht in einem begradigten Trapezgerinne mit einem durchschnittlichen Gefälle von circa 1.4% in den Urnersee. Betrachtet man das gesamte Einzugsgebiet des Bachs entspringt der Isitalerbach dem Blüemlisalpfinn auf ungefähr 2'200 m. ü. M.. Von dort fliesst er durch das Grosstal bis er sich im Bereich des Dorfs Isenthal (ca. 771 m. ü. M.) mit dem Chlitalerbach vereinigt. Anschliessend durchquert er eine steile Schlucht, bis er an der Isleten wieder hervortritt und in den Urnersee fliesst. Gesamthaft weist das Einzugsgebiet eine Fläche von 59.7 km² auf. Die durchschnittliche Höhe beträgt 1'749 m. ü. M. und die durchschnittliche Vergletscherung 6% (Hydrologischer Atlas der Schweiz, 2015).



Abbildung 1: Lage der Isleten und Einzugsgebiet des Isitalerbachs. Quelle: (Swisstopo, 2024a).

2.2 Industrielle Entwicklung

Für den Kanton Uri hat der Schwemmfächer kulturhistorisch eine wichtige Bedeutung, da die Halbinsel als erster Industriestandort des Kantons gilt. Bereits im Jahre 1596 erwarb Hans Jakob Madran die Isleten zur Weiterverarbeitung von im Isenthal gewonnenen Eisenerz (Amt für Raumentwicklung Kanton Uri, 2021). Auch als Umschlagplatz und zur Weiterverarbeitung der Holzlieferungen aus dem Isenthal war die Isleten ein wichtiger Standort. So wurden 1823 zwei Sägereien gebaut. 1853 erwarb der Ingenieur Karl Emanuel Müller die Isleten und errichtete dort eine Papierfabrik (Burkhardt, 2012). Aufgrund der nahen Holzindustrie war es der optimale Standort. Als 1872 mit dem Bau des Gotthardtunnels begonnen wurde, nahm der Bedarf an Sprengstoff rapide zu. Daraufhin kaufte Alfred Nobel 1873 die Isleten und baute eine Fabrik zur Herstellung von Explosivstoffen (Amt für Raumentwicklung Kanton Uri, 2022). Der Standort erlaubte den Transport des Dynamits mit dem Schiff nach Flüelen und anschliessend mit dem Zug direkt nach Göschenen auf die Baustelle. Die Fabrik produzierte weiterhin Sprengstoff bis ins Jahr 2001. Danach wurde bis 2020 noch Nitroglyzerin für pharmazeutische Zwecke hergestellt. Aufgrund von erweiterten touristischen Ansprüchen sowie weltweit sinkendem Bedarf an Nitroglyzerin wurden danach viele Anlagen demontiert und Gebäude und Einrichtungen an Kleinfirmen vermietet (Schweizerische Sprengstoff AG Cheddite, 2023). Auch ein kleiner Campingplatz wurde eingerichtet. 2021 wurde das Gelände vom ägyptischen Investor Samih Sawiris gekauft. Er plant eine touristische Nutzung der Isleten mit Hotels und Appartements (siehe Kapitel 1.3).

2.3 Ökologischer Zustand Isitalerbach

Der Isitalerbach wurde bereits früh kanalisiert und verbaut. Nach einem Rechtsstreit im Jahre 1854 wurde dem damaligen Eigentümer der Isleten, Karl Emanuel Müller, aufgetragen, «den im Delta ausufernden Isenthalerbach zu regulieren» (Burkhardt, 2012). Heute präsentiert er sich in folgender Form (Abbildung 2).



*Abbildung 2: Zustand des Isitalerbachs heute.
Quelle: (Eigene Aufnahme, 2024).*

Es ist erkennbar, dass der Bach nicht mehr naturnah gestaltet ist und seine Struktur stark beeinträchtigt ist. In der Schweiz sind fast ein Viertel aller Bäche und Flüsse künstlich verbaut (BAFU, 2017a). Das bedeutet, dass sie ihre natürliche Funktion nicht mehr ausreichend erfüllen können. Mit der Änderung des Gewässerschutzgesetzes im Jahre 2011 wurde schriftlich festgehalten, dass diese Defizite mit Revitalisierungen behoben werden müssen (BAFU, 2017a). Eine Revitalisierung bedeutet nach Artikel 4 im Gewässerschutzgesetz die «Wiederherstellung der natürlichen Funktion eines verbauten, korrigierten, überdeckten oder eingedolten oberirdischen Gewässers mit baulichen Massnahmen» (Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, 1991). Um den Zustand eines Fliessgewässers zu beurteilen, wurde vom BAFU ein Modul-Stufen-Konzept entwickelt. Dieses erfasst den ökomorphologischen Zustand des Gewässers. Wichtige Kriterien wie die Wasserspiegelbreitenvariabilität, die Verbauung der Sohle oder die Breite und Beschaffenheit des Uferbereiches werden in diesem Konzept berücksichtigt (BAFU, 2009). Die abschliessende Beurteilung mit diesem Konzept teilt dem Gewässerabschnitt eine von vier möglichen Zustandsklassen zu. Dabei bedeutet 1: natürlich/naturnah und 4: naturfremd/künstlich. Abbildung 3 zeigt, dass an der Isleten mit Ausnahme vom Anfang und Ende des Deltas die 3. Zustandsklasse «stark beeinträchtigt» ausgeschieden wurde. Dies bedeutet, dass der Isitalerbach an der Isleten in einem schlechten Zustand und somit revitalisierungsbedürftig ist.



Abbildung 3: Ökomorphologischer Zustand des Isitalerbachs an der Isleten.
Quelle: (Swisstopo, 2024b).

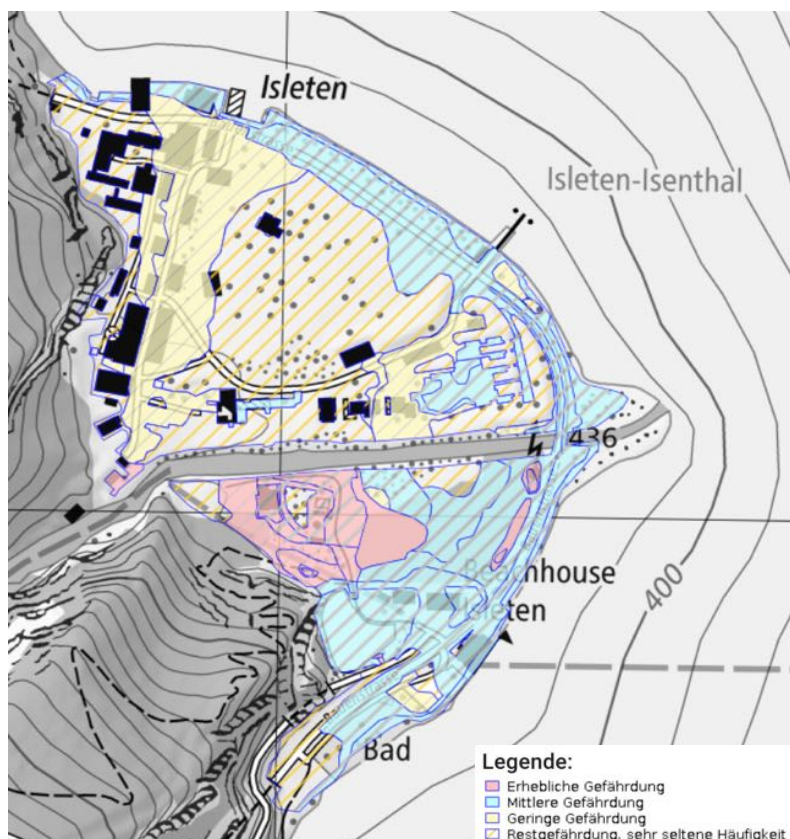


Abbildung 4: Gefahrenkarte Hochwasser für die Isleten.
Quelle: (Lisag AG, 2022).

2.4 Hochwasser des Isitalerbachs an der Isleten

Neben dem ökologischen Defizit im Isitalerbach besteht auch ein Hochwasserschutzdefizit. Vor allem aufgrund der grossen Geschiebefracht gab es in der Vergangenheit zwei grössere Schadensereignisse. Ein Hochwasser im Jahre 1910 und ein weiteres 2005 (Burkhardt, 2012). Bei beiden Ereignissen konnte das Geschiebe infolge des erhöhten Seespiegels nicht im See abgelagert werden und es kam zum Rückstau des Baches (Burkhardt, 2012). Neben diesen zwei grossen Schadensereignissen erwähnen Wyrsh et al. (2022) noch zwei kleinere Ereignisse im Jahr 1981 und 1999. Die Gefahrenkarte Hochwasser zeigt, dass grosse Teile der Isleten auf der orographisch rechten Seite des Isitalerbachs in der blauen oder roten Gefahrenzone und somit im mittleren oder erheblichem Gefährdungsbereich liegen (siehe Abbildung 4). Auch auf der linken Seite des Bachs gibt es einige blaue Zonen, die somit für eine Überbauung nur unter Auflagen zur Verfügung stehen (Bundesamt für Raumentwicklung et al., 2005).

Folgende Angaben zum Hochwasser 1910 stammen alle aus dem Buch von Burkhardt (2012). Nach starken Regenfällen und beschleunigter Schneeschmelze im Frühling 1910 stieg der Seespiegels des Urnersees immer mehr an. Am 14./15. Juni 1910 wurde der stark angeschwollene Isitalerbach vom hohen Seespiegel zurückgestaut. Da eine Überschwemmung der Dynamitfabrik drohte, veranlasste der damalige Direktor der Dynamit Nobel AG den rechten Damm des Baches zu durchbrechen und das Wasser zur Entlastung auf den südlichen Teil der Isleten abzuleiten. Dies bewahrte die Fabrik und die Brücke der Isenthalerstrasse (heutige Bauenstrasse) vor erheblichen Schäden. Dafür wurde jedoch die Strasse beim Holzlagerplatz weggespült. Dieser Abschnitt ist heute noch mit einem Durchlass unter der Isenthalerstrasse markiert.

Die Angaben zum Hochwasser 2005 an der Isleten stammen alle aus dem Bericht zur Überarbeitung der Gefahrenkarte Hochwasser von Wyrsh et al. (2022). Infolge von starken Niederschlägen im August 2005 stieg der Seespiegel des Urnersees sehr stark an. Am 22. August 2005 entlud sich ein starkes Gewitter in der Region Engelberg – Isenthal, welches zu erheblichen Schäden im ganzen Isenthal und an der Isleten führte. Aufgrund des hohen Seespiegels begann sich im Gerinne des Isitalerbachs immer mehr Geschiebe abzulagern. Dabei wurde die Brücke der Bauenstrasse vollständig eingekiest. Die dadurch ausgelösten bachaufwärtsgerichteten Auflandungen führten dazu, dass der Isitalerbach erstmals auf der orographisch linken Seite ausbrechen konnte. Auch eine damals noch bestehende Werksbrücke wurde vollständig eingekiest und führte zu noch grösseren Ausuferungen. Da dieser Auflandungsprozess erst nach Durchgang der Hochwasserspitze auftrat, konnten während des Ereignisses bereits erste Sofortmassnahmen getroffen werden. Durch maschinellen Einsatz wurde beim Turm der Cheddite AG ein Kiesdamm aufgeschüttet, der das weitere Austreten von Wasser in Richtung des Industrieareals verhindern konnte. An dieser Stelle wurde das Gerinne vollständig mit Geschiebe aufgefüllt, was heute noch anhand eines gelben Strichs an der gegenüberliegenden Felswand ersichtlich ist. Abbildung 5 zeigt das Ausmass des Hochwassers 2005 an der Isleten nach dem Ereignis.



*Abbildung 5: Überschwemmungen an der Isleten nach dem Hochwasser 2005.
Quelle: (Amt für Tiefbau - Kanton Uri, 2005).*

2.5 Bau- und Zonenordnung an der Isleten

Die Nutzungsplanung an der Isleten wird durch die Bau- und Zonenordnung der zwei Standortgemeinden Isenthal und Seedorf (früher Bauen) bestimmt. Abbildung 6 bildet die aktuelle Nutzungsplanung ab. Der Grossteil nördlich des Isitalerbachs ist als Industriezone (blau) ausgewiesen. Weiterhin befinden sich zwei kleinere Waldstandorte (dunkelgrün) und Wohn- und Gewerbebezonen (violett-gelb) auf der nördlichen Hälfte der Halbinsel. Entlang des See- und Bachufers sind Reservezonen (weiss) ausgeschieden. Auf der südlichen Seite der Halbinsel erkennt man die grosse Waldfläche, die einzig durch zwei kleine Industriezonen unterbrochen wird. Zudem befinden sich auch im Süden zwei kleinere Wohn- und Gewerbebezonen und zusätzlich eine Freihaltezone ausserhalb Bauzone (hellgrün). Es gilt zu beachten, dass die überarbeitete Gefahrenkarte (gemäss Abbildung 4) in dieser Nutzungsplanung noch nicht integriert wurde.

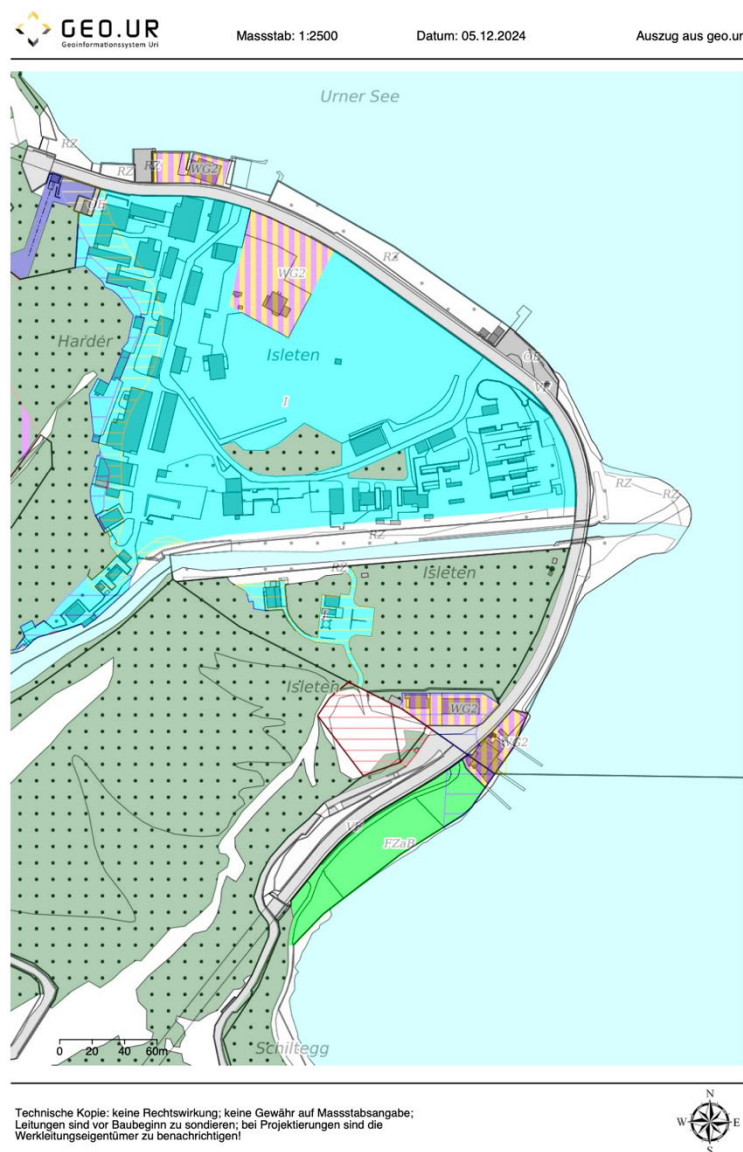


Abbildung 6: Bau- und Zonenordnung an der Isleten. Die Zonen werden durch folgende Farben dargestellt:
Wald = dunkelgrün, Industriezone = blau, Wohn- und Gewerbezone = violett-gelb, Reservezone = weiss, Zone
für öffentliche Bauten und Anlagen = dunkelgrau, Freihaltezone ausserhalb Bauzone = hellgrün.

Quelle: (Lisag AG, 2018)

3 Methodik

3.1 Hochwasserschutz und Revitalisierungen

Um Hochwasserschutz ganzheitlich zu realisieren, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Vorsorgemassnahmen, wie raumplanerische und organisatorische Ansätze, gelten als präventive Möglichkeit um Hochwasserschäden zu vermeiden. Diese können als oberste Stufe betrachtet werden, um einen optimalen Hochwasserschutz in einer Region umzusetzen. Weiterhin gibt es die Möglichkeit von technischen Verbauungen. Diese sollen jedoch nur dort eingesetzt werden, wo bereits eine schützenswerte Nutzung besteht und aufgrund der fehlenden Fläche keine andere Möglichkeit für den Hochwasserschutz besteht. Als dritte und effektivste Massnahme gilt der natürliche Wasserrückhalt. Dieser bezweckt die Erhaltung oder Rückgewinnung natürlicher Überschwemmungsgebiete und damit verbunden die ökologische Aufwertung des Fliessgewässers (Boes, 2022). Im Rahmen dieser Arbeit wird hauptsächlich der natürliche Wasserrückhalt als Massnahme für den Schutz vor Hochwassern an der Isleten untersucht.

3.2 Übersicht und Datengrundlagen

In dieser Arbeit unterscheidet sich die Methodik anhand der drei Forschungsfragen. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Ansätze zusammengefasst und die verwendeten Datengrundlagen vorgestellt. Detailliertere Angaben zur Methodik sind in Kapitel 3.3-3.5 zu finden.

Um die Forschungsfrage 1 (Kapitel 1.4) zu beantworten, wird eine ausführliche historische Analyse der Entwicklung an der Isleten durchgeführt. Alle historischen Dokumente, die sich mit der Isleten befassen und Hinweise zur Entwicklung des Isitalerbach und dem Hochwasserschutz liefern gelten hierfür als Datengrundlage.

Die Methodik zur Beantwortung der Forschungsfrage 2 besteht in einem ersten Schritt in einer Erfassung des heutigen Zustands des Isitalerbachs. Der Bericht von Wyrsh et al. (2022) stellt in diesem Zusammenhang eine wichtige Datengrundlage für die hydrologische und geologische Begebenheiten dar. Topographische Daten von Swisstopo (2024c) werden für die Erstellung von Karten und die Visualisierung von Ergebnissen verwendet. Für das digitale Höhenmodell werden die Daten von swissALTI3D mit einer Auflösung von 0.5 m verwendet (Swisstopo, 2024d). Daraus abgeleitet gilt auch die Reliefschattierung als wichtige Datengrundlage. Anhand der Reliefschattierung sind geomorphologische Strukturen gut erkennbar. Für den Unterwasserbereich werden bathymetrische Daten aus dem Datensatz swissBATHY3D genutzt (Swisstopo, 2024e). Zusätzlich werden kartographische Grundlagen des kantonalen Urner Geoportals verwendet (Lisag AG, 2024). Weiterhin werden die gültigen Zonenpläne der Gemeinde Seedorf und Isenthal betrachtet, um die Bestimmungen für die Bodennutzung zu analysieren. Diese Daten werden angewandt, um den Zustand des Isitalerbachs zu erfassen. Nach Abschluss der Zustandserfassung wird eine vergleichende Analyse anhand von Luftbildern von Swisstopo (2024c) durchgeführt. Das bedeutet, es werden Deltas mit ähnlichen topographischen und hydrologischen Eigenschaften wie an der Isleten gesucht und mit dem Untersuchungsgebiet verglichen. In einem weiteren Schritt wird aufgrund der Resultate eine Variante entwickelt, wie der Hochwasserschutz an der Isleten mit den heutigen Rahmenbedingungen ausgearbeitet werden kann.

Das Vorgehen zur Beantwortung der Forschungsfrage 3 ist analog der obenstehenden Methodik. Für die dritte Forschungsfrage werden zwei Varianten ausgearbeitet. Die Resultate der Rekonstruktion (Forschungsfrage 1) werden als wichtige Grundlage für die Entwicklung der Varianten in dieser Methodik verwendet.

Nach der Ausarbeitung der Varianten aus Forschungsfrage 2 und 3 werden diese mit einem hydraulischen Abflussmodell in Bezug auf den Hochwasserschutz getestet. Diese Modellierung bildet ein integraler Bestandteil in der abschliessenden Beurteilung der Varianten mit der Bewertungsmatrix. Abschliessend kann aufgrund der Beurteilung eine Bestvariante bestimmt werden.

3.3 Rekonstruktion

Die Entwicklung von Hochwasserschutzmassnahmen beinhaltet immer eine Betrachtung der Vergangenheit des Untersuchungsperimeters. Es geht darum zu verstehen, wie häufig gewisse Ereignisse auftreten und welche Verbauungsprojekte schon umgesetzt wurden, um optimale Massnahmen für die Zukunft aufzuzeigen. Für die Ausarbeitung von Hochwasserschutzmassnahmen können sogenannte Leitbilder verwendet werden (Weitbrecht, 2024). Diese zeigen auf, wie der Bachverlauf nach der Umgestaltung aussehen sollte. Eine Möglichkeit ist ein historisches Leitbild, das sich auf den Zustand des Bachs vor signifikanten menschlichen Eingriffen bezieht (Weitbrecht, 2024). Folglich wird eine Rückkehr zum «Originalzustand» des Bachs angestrebt. Die Rekonstruktion des ursprünglichen Zustands der Isleten vor der Besiedlung durch den Menschen dient somit als wichtiger Ausgangspunkt für die Entwicklung potenzieller Hochwasserschutzmassnahmen.

Um den ursprünglichen Zustand der Isleten zu ermitteln, wird in dieser Arbeit eine umfassende historische Analyse mit verschiedenen Mitteln durchgeführt. Eine Methode ist die Literaturrecherche, die sich auf Hochwasserberichte, Zeitungsartikel, Konstruktionspläne, Regierungsbeschlüsse und ähnliche Dokumente bezieht. Dafür werden im Staatsarchiv und in der Kantonsbibliothek Uri Literaturquellen gesucht, die sich mit der Halbinsel an der Isleten befassen. In einem ersten Schritt wird eine Recherche im Online-Archivkatalog anhand von Schlüsselwörtern zur Isleten durchgeführt (Amt für Staatsarchiv, 2023). Anhand der Quellenbeschreibungen werden Dokumente herausgefiltert, die einen Hinweis auf den ehemaligen Bachverlauf an der Isleten liefern können. Danach werden diese physisch im Staatsarchiv bestellt und analysiert. Da im Online-Archivkatalog auch historische Bilder archiviert sind, wird im selben Schritt wie die Literaturrecherche auch eine Bildrecherche zur Isleten durchgeführt. Zusätzlich werden alte Luftbilder und Karten von Swisstopo anhand der Zeitreise-Funktion auf der Webseite untersucht (Swisstopo, 2024c). Diese Funktion bietet den Vorteil, dass sie nicht nur die Begebenheiten an der Isleten zu einem definierten Zeitpunkt zeigen, sondern auch die Entwicklung während der untersuchten Zeitspanne.

Ein weiterer Anhaltspunkt ist das Werk «Dynamit am Gotthard – Sprengstoff in der Schweiz» von Hansjakob Burkhardt (2012). Dieses Buch enthält umfassende Informationen zur geschichtlichen Entwicklung der Isleten. Anhand von Referenzen in diesem Buch werden weitere Werke analysiert.

3.4 Variante mit heutigen Rahmenbedingungen

3.4.1 Hochwasserschutz in der Schweiz

In der Schweiz gibt das Bundesgesetz über den Wasserbau von 1991 die gesetzlichen Bestimmungen für den Hochwasserschutz vor. Es trat am 1. Januar 1993 in Kraft und bildet die strategische Grundlage für die Gefahrenanalyse, die Differenzierung der Schutzziele und die zweckmässige Massnahmenplanung. Ergänzend zum Gesetz regelt die 1994 erlassene Wasserbauverordnung die Umsetzung. Darin werden die Kantone verpflichtet Gefahrengebiete zu bezeichnen und den Raumbedarf der Gewässer festzulegen. Dieser Flächenbedarf wird in der Richt- und Nutzungsplanung der Kantone und der Gemeinden verankert und damit bei allen raumwirksamen Tätigkeiten berücksichtigt (BWG, 2001).

3.4.2 Vorgehen

Nach der Rekonstruktion des ursprünglichen Bachverlaufs werden Hochwasserschutzmassnahmen mit den jetzigen Rahmenbedingungen für den Isitalerbach ausgearbeitet. Dafür wird als erstes der Zustand des jetzigen Gerinnes erhoben. Bedeutende Parameter wie die Uferbreite, Neigung des Gerinnes, Steigung der Dämme, Korngrösse werden ermittelt. Neben der Zustandsanalyse des Deltas wird auch der wichtige Unterwasserbereich entlang des Seeufers miteinbezogen. Dieser Bereich spielt vor allem im Zusammenhang mit Prozessen der Geschiebeverfrachtung und -ablagerung im Urnersee eine wichtige Rolle.

Weiterhin werden in der gesamten Schweiz anhand von Luftbildern und Karten Halbinseln gesucht, die aus geomorphologischer und hydrologischer Perspektive ähnliche Charakteristiken wie die Isleten aufweisen. Diese Zusammenstellung liefert qualitative Hinweise und Entwicklungsmöglichkeiten für den Isitalerbach. Solche Vorbilder bezeichnet Weitbrecht (2024) als «Heutige Leitbilder». Grundsätzlich werden dabei ähnliche Bäche und Flüsse gesucht, die nicht signifikant durch menschlichen Einfluss verändert wurden. In dieser Arbeit wird dieser Ansatz dahingehend erweitert, dass auch Deltas gesucht werden, die bereits durch menschliche Aktivitäten verändert worden sind. Somit können auch Ansätze für die Entwicklung von Varianten mit Veränderung der Rahmenbedingungen an der Isleten (gemäss Forschungsfrage 3) entstehen. Die gefundenen Deltas werden in einer Tabelle zusammengefasst. Weiterhin wird von jedem ausgewählten Delta eine Karte mit dem Luftbild erstellt.

3.5 Varianten mit Veränderung der Rahmenbedingungen

Für die Entwicklungsszenarien gelten nicht mehr die festen Grenzen der Rahmenbedingungen entlang des Gerinnes. Einerseits wird der rekonstruierte Zustand des Isitalerbachs als historisches Leitbild für mögliche Varianten betrachtet. Andererseits wird die Zusammenstellung von Vergleichsdeltas in der Schweiz als Leitbilder für die Entwicklung des Isitalerbachs angewandt. Dabei werden in einem ersten Schritt in der Tabelle die Deltas mit einem natürlichen Gerinnezustand gemäss der ökomorphologischen Klassierung des BAFU (2009) markiert. Anschliessend werden aufgrund der erstellten Luftbilder diese Deltas qualitativ mit der Isleten verglichen. Wichtige Parameter wie die Fläche oder Infrastrukturdichte werden betrachtet. Danach können die ähnlichen Deltas als Vorlage für die Entwicklung des Isitalerbachs herangezogen werden. Auch die politischen Diskussionen rund um die Entwicklung der Isleten werden bei der Ausarbeitung von

Varianten berücksichtigt. Beispielsweise ist für die Umsetzung des Projekts der Isen AG eine Strassenverlegung geplant (Isen AG, 2024a).

3.6 HEC-RAS

HEC-RAS ist eine Simulationssoftware für hydraulische Berechnungen, die von der United States Army Corps of Engineers entwickelt wurde (US Army Corps of Engineers, 2024a). HEC-RAS ist eines der meistgenutzten hydrodynamischen Modelle für Überschwemmungen weltweit (Papaioannou et al., 2017; Lea et al., 2019). Die Software von HEC-RAS kann 1D und 2D Modellierungen erstellen. In dieser Arbeit wird HEC-RAS für die Abschätzung der neuen Hochwassersituation durch die geplanten Hochwasserschutz- und Revitalisierungsmassnahmen verwendet. Die Kalibrierung erfolgt aufgrund des Hochwassers von 2005. Für die Isleten gibt es eine ausreichende Datengrundlage zu diesem Ereignis. Im Bericht von Wyrsh et al. (2022) wird beispielsweise die Hochwasserganglinie detailliert aufgezeigt. Zudem hat das Amt für Tiefbau des Kantons Uri nach dem Hochwasser Luftaufnahmen der Isleten erstellt. Anhand von diesen Luftbildern kann eine Abschätzung der räumlichen Ausdehnung des Hochwassers vorgenommen werden.

3.6.1 Abflussmodellierung

HEC-RAS kann auf der Webseite der US Army Corps of Engineers kostenfrei bezogen werden (US Army Corps of Engineers, 2024b). Nachdem das Programm installiert wurde, wird als erstes eine fiktive Abflusssimulation an der Isleten durchgeführt. Dafür werden neben den offiziellen HEC-RAS Anleitungen auch weitere Instruktionen aus dem Internet verwendet. Aufgrund der Kalibrierungsdaten wird entschieden eine 2D Simulation durchzuführen. In einem ersten Schritt werden die Geländedaten ins Programm importiert. Dafür wurde auf der Webseite von Swisstopo das digitale Höhenmodell der Isleten heruntergeladen (Swisstopo, 2024d). Anschliessend konnten die Daten in HEC-RAS direkt importiert werden. Im nächsten Schritt wird im HEC-RAS definiert, für welche Bereiche Modellrechnungen gemacht werden. Dieser Perimeter wird «2D-Flow Area» genannt. Die «2D-Flow Area» sollte alle Bereiche umfassen, welche überschwemmt werden können. Für die Isleten wurde die ganze Halbinsel ab dem Tobelausgang als «2D-Flow Area» definiert. Die Erstellung erfordert eine Definition der Zellgrösse, welche im vorliegenden Fall als 10m x 10m festgelegt worden ist. Je kleiner diese Zellen definiert werden, desto länger dauert die Berechnungszeit für ein Abflussmodell (US Army Corps of Engineers, 2024c). Als nächstes werden «Boundary Condition Lines» erstellt. Diese definieren, wo das Wasser in die «2D-Flow Area» hineinfliesst, und wo es diese wieder verlässt. In einem weiteren Schritt werden Angaben zum Hydrographen gemacht. Hier können Parameter zur Dauer und Abflussmenge für die entsprechende «Boundary Condition Line» angegeben werden. Im letzten Schritt werden die Parameter zum Berechnungs- und Kartierungsintervall definiert. Danach kann die Modellierung gestartet werden.

3.6.2 Modellkalibrierung

Nachdem fiktive Abflussmodellierung durchgeführt wurde, konnte das Modell anhand des Hochwasserereignis von 2005 kalibriert werden. Am Anfang war vor allem die richtige Definition der Zellgrösse und des Berechnungsintervalls eine grosse Herausforderung. Die standardmässige Auflösung des Höhenmodells swissALTI3D beträgt 0.5 m (Swisstopo, 2024d). Daraus wurde gefolgert, dass die «2D-Flow Area» ebenfalls eine Auflösung von 0.5 m haben muss. Diese genaue Auflösung

resultierte aber in einer Berechnungszeit für einen Modelllauf von über 13 Stunden. Damit konnte keine optimale Kalibration durchgeführt werden und die Zellgrösse der «2D-Flow Area» wurde nach Zwischenschritten auf 10m x 10m festgelegt. Eine weitere Herausforderung bestand darin, den vorgegebenen Hydrographen vom Hochwasserereignis 2005 zu integrieren. Dafür wurde als erstes die graphische Darstellung des Hydrographs aus Wyrsh et al. (2022) in einer Excel Datei numerisch rekonstruiert. Danach konnten die Daten in HEC-RAS übernommen werden. Weitere Informationen zu den Modellläufen sind in den Resultaten unter Kapitel 4.6 aufgeführt.

3.6.3 Anpassungen Höhenmodell

Das Höhenmodell stellt die wichtigste Grundvoraussetzung für die Abflussmodellierung in HEC-RAS dar (US Army Corps of Engineers, 2024d). Für Hochwasserschutz- und Revitalisierungsmassnahmen sind Terrainveränderungen unumgänglich. Damit diese Veränderungen im digitalen Höhenmodell abgebildet werden können, muss das ursprüngliche Höhenmodell swissALTI3D angepasst werden. Die Terrain Modifizierung wird direkt in HEC-RAS durchgeführt. Dafür wird das bestehende Terrain dupliziert und anschliessend abgeändert. Die Veränderung kann anhand von verschiedenen Geometrieformen ausgeführt werden. In dieser Arbeit werden anhand von Linien neue Gerinne und Dämme konstruiert. Sobald eine neue Linie definiert wird, interpoliert HEC-RAS die Terrainveränderung anhand des Start- und Endpunktes der Linie. Die Erhöhung oder Absenkung kann manuell angepasst werden. Als zweite wichtige Geometrieform werden Terrainveränderungen anhand von Polygonen vorgenommen. HEC-RAS interpoliert die Polygonfläche anhand von Höhenkontrollpunkten. Diese können entweder direkt vom ursprünglichen Höhenmodell ausgewählt oder manuell definiert werden. Alle Anpassungen werden in HEC-RAS als Vektorzusätze behandelt. Damit wird sichergestellt, dass nicht bei jeder Veränderung das gesamte Höhenmodell angepasst werden muss (US Army Corps of Engineers, 2024d).

3.7 Bewertungsmatrix

Um die ausgearbeiteten Varianten vergleichbar zu machen, wird in dieser Arbeit eine Bewertungsmatrix erstellt. Die Kriterien für die Matrix werden hauptsächlich durch Beispiele aus der Praxis festgelegt und für die vorliegende Arbeit entsprechend abgeändert. Es werden vier Hauptkriterien formuliert, die mit einer entsprechenden Gewichtung definiert sind. Pro Hauptkriterium gibt es eine bestimmte Anzahl von Unterkriterien. Für jedes Unterkriterium können Punkte zwischen null und zwei vergeben werden. Dabei steht null repräsentativ für «Kriterium wurde nicht erfüllt» und zwei für «Kriterium wurde vollständig erfüllt». Zusammen mit der Gewichtung des Hauptkriteriums resultiert ein abschliessender Wert pro Variante und es kann die Bestvariante mit der höchsten Punktzahl bestimmt werden. Für nähere Informationen siehe Tabelle 2 in Kapitel 4.4.

3.8 Geschiebemanagement

Das Geschiebemanagement ist ein wichtiger Faktor im Umgang mit Revitalisierung und Hochwasserschutzmassnahmen. Nach Schälchli und Kirchhofer (2012) ersetzt das vom Oberwasser zugeführte Geschiebe durch Hochwasser erodiertes Material und führt zu einer regelmässigen Erneuerung von Kiesbänken und Substrat. Insbesondere für die vielfältigen Lebensräume in Gewässernähe ist die ausreichende Geschiebezufuhr aus dem Oberwasser sehr wichtig. Ohne diese Geschiebezufuhr wird das Gerinne zunehmend ausgeräumt und beginnt sich zu vertiefen (Schälchli und

Kirchhofer, 2012). Auch für die Isleten ist die Betrachtung des Geschiebemanagements von hoher Bedeutung, da die beiden Hochwasser von 1910 und 2005 beide Male wesentlich durch die Geschiebeablagerung beeinflusst wurden. Der Bericht von Wyrsh et al. (2022) schätzt die jährliche Geschiebefracht sowie die Geschiebefracht pro Hochwasser (30-, 100-, 300-jährliches Ereignis, Extremhochwasser) ab. Diese Daten werden bei der Ausarbeitung von Hochwasserschutzvarianten berücksichtigt.

4 Resultate

4.1 Relief und Gerinnegeometrie heute

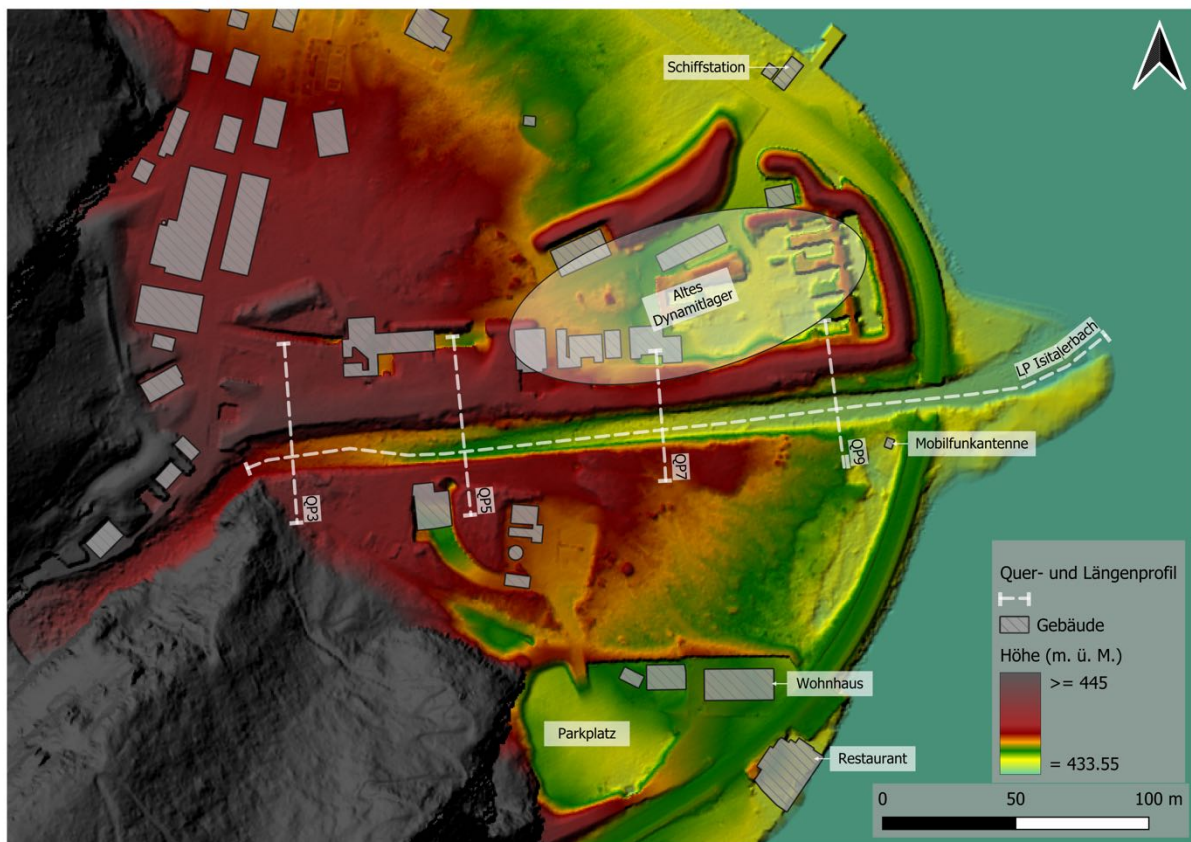


Abbildung 7: Übersicht der heutigen Situation an der Isleten anhand des multidirektionalen Reliefs aus swissALTI3D. Zusätzlich sind die Querprofile und das Längenprofil für Geometrieberechnungen eingezeichnet.

In diesem Abschnitt wird die Berechnung der Gerinnegeometrie genauer beschrieben. Für die vier Querschnitte gemäss Abbildung 7 wurde in HEC-RAS ein Querprofil erstellt. Diese basieren auf dem digitalen Höhenmodell swissALTI3D mit einer Auflösung von 0.5 m (Swisstopo, 2024d). Anschliessend wurde aus jedem Querprofil die mittlere Uferhöhe sowie die Sohlen- und Wasserspiegelbreite bei Vollabfluss abgeleitet. Anhand einer Annäherung der Trapezform wurde danach der Gerinnequerschnitt für jedes Querprofil berechnet. Damit konnte in einem weiteren Schritt ein durchschnittlicher Gerinnequerschnitt von $A \approx 37 \text{ m}^2$ bestimmt werden. Multipliziert mit der Distanz des Längenprofils von 321 m resultiert daraus ein Gesamtvolumen der Gerinneschale von $V \approx 11'860 \text{ m}^3$. Abbildung 8 zeigt die Trapezberechnung für Querprofil 3 exemplarisch auf. Die restlichen Berechnungen sind in Anhang A ersichtlich. Das Längenprofil des Isitalerbachs wurde analog zu den Querprofilen im HEC-RAS erstellt. Hier wurde das Profil in Fliessrichtung, also von Westen nach Osten aufgenommen. Die Berechnung des Gerinnegefälles ergab einen Wert von 1.41% bzw. 0.81° .

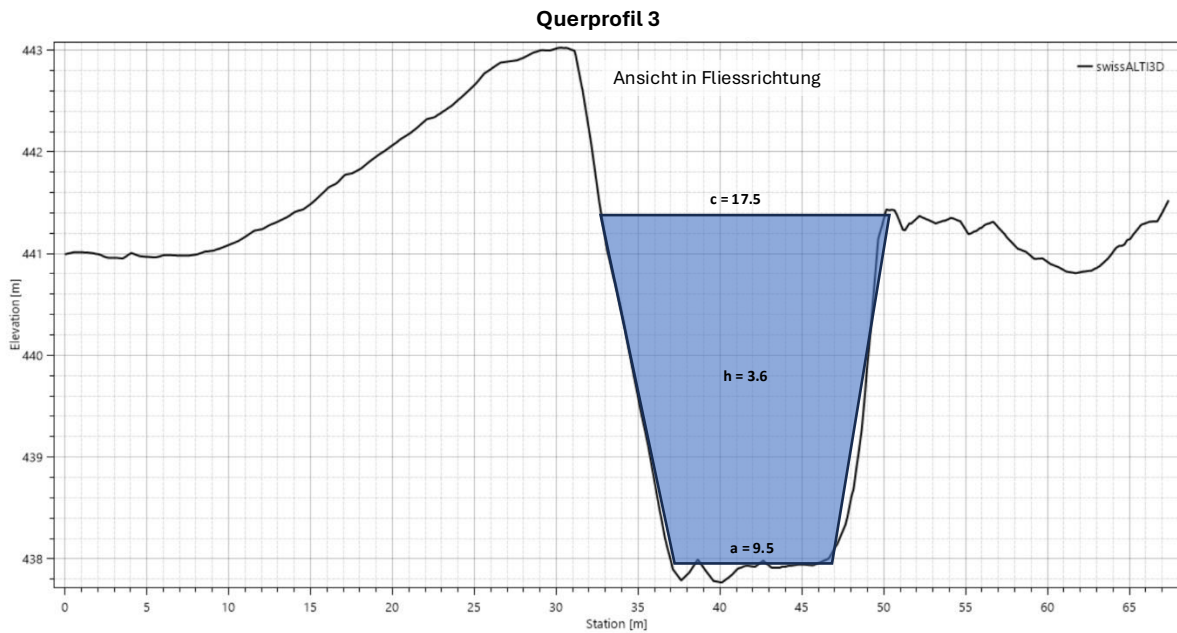


Abbildung 8: Annäherung des Trapezes für Querprofil 3 zur Berechnung des Gerinnequerschnitts.

4.2 Rekonstruktion des Deltas

Die Rekonstruktion des Isitalerbachs hat ergeben, dass der Bach noch bis ungefähr ins Jahr 1900 den gesamten südlichen Teil des Deltas beansprucht hat (Wyrsh et al., 2022) (Burkhardt, 2012). Der ursprüngliche Zustand des Deltas, ohne menschlichen Einfluss, konnte nicht rekonstruiert werden. In den folgenden Kapiteln 4.2.1 und 4.2.2 werden die Resultate der historischen Analyse aufgezeigt.

4.2.1 Literaturrecherche

Im Online-Archivkatalog des Staatsarchivs Uri wurde eine Suche mit dem Schlüsselwort «Isleten» gestartet. Dabei ist die Volltextsuche als Suchstrategie gewählt worden. Diese Strategie gilt als Ausgangspunkt, um zu überprüfen, wie viele Treffer eine Suchanfrage liefert (Staatsarchiv Uri, 2024). Das Schlüsselwort «Isleten» erzielte 186 Treffer in der Datenbank. Durch einen Klick auf den jeweiligen Datensatz ist es möglich, eine kurze Beschreibung des Datensatzes zu erhalten. Da diese Beschreibungen meist kurz und prägnant zusammenfassen, was der Datensatz enthält, wurde entschieden die gesamten 186 Treffer durchzuschauen und nach Hinweisen zum ehemaligen Bachverlauf zu analysieren. So konnten 16 Dokumente herausgefiltert werden, die anschliessend physisch im Staatsarchiv untersucht wurden. Bei acht Dokumenten wurde festgestellt, dass trotz der Beschreibung keine Hinweise zum Verlauf des Isitalerbachs zu finden waren. Die übrigen acht Dokumente wurden für die Ausarbeitung von Hochwasserschutzmassnahmen berücksichtigt.

4.2.2 Historische Karten und Bilder

Im Rahmen der Literaturrecherche wurde auch eine Bild- und Kartenrecherche zur Isleten durchgeführt. Insgesamt konnten im Staatsarchiv Uri acht historische Fotografien gefunden werden, auf denen die Isleten abgebildet ist. Davon zeigt aber lediglich Abbildung 10 eine Übersicht des Bachdeltas mit dem ehemaligen Verlauf des Isitalerbachs. Auf den weiteren sieben Fotografien sind

andere Teile des Deltas festgehalten, auf denen das Gerinne des Bachs nicht erkennbar ist. Abbildung 10 stammt ungefähr aus dem Jahr 1875 und zeigt, dass der Isitalerbach zu dieser Zeit bereits dem heutigen Kanal in den See folgt. Auf der rechten Seite ist ein zweites Gerinne ersichtlich, welches wahrscheinlich regelmässig überflutet wurde. Dieser Zustand kann auch anhand der historischen Karte von 1895 aufgezeigt werden. Abbildung 11 zeigt die erste verfügbare Karte der Isleten aus der Dufourkarte von 1864 (Swisstopo, 2024f). Im Norden des Deltas sind bereits einige Gebäude sichtbar. Der Isitalerbach beschreibt nach dem Tobelausgang eine scharfe Rechtskurve und fliesst der Felswand entlang Richtung See. Die nächste verfügbare Karte von 1895 zeigt, dass der Isitalerbach, analog der Fotografie aus Abbildung 10, kanalisiert und Richtung Urnersee geleitet wurde. Der südliche Seitenarm ist sowohl auf der Karte als auch auf der Fotografie ersichtlich. Erst 1906 wurde gemäss der Karte der südliche Seitenarm entfernt und der Isitalerbach konnte nur noch durch das kanalisierte Gerinne in den Urnersee abfliessen. Die vollständige Entwicklung der Isleten anhand der Karten ist in Anhang B dargestellt.

Eine weitere grafische Abbildung der Isleten ist im Buch von Burkhardt (2012) enthalten. Abbildung 9 zeigt diese Übersichtskarte der Isleten von 1872. Man erkennt den kanalisierten Isitalerbach, der bereits dem heutigen Kanal Richtung Urnersee folgt. Gemäss dieser Karte gibt es nur am nördlichen Ende der Halbinsel einige Gebäude und einen kleinen Hafen. Der Weg ins Isenthal führt von den Gebäuden direkt zum Tobelausgang und quert dort auf dem Kegelhals den Isitalerbach.



Abbildung 9: Übersichtskarte der Isleten von 1872 als Grundlage für die Konzession der Jura-Gotthard-Bahn.
Quelle: (Burkhardt, 2012).



Abbildung 10: Historisches Foto von Adolphe Braun des Schwemmkegels Isleten um 1875.
Quelle: (Staatsarchiv Uri, 2024).



Abbildung 11: Erste Karte der Isleten aus der Dufourkarte von 1864.
Quelle: (Swisstopo, 2024f).

4.3 Ähnliche Deltas in der Schweiz

Die Recherche zu den Vergleichsdeltas für die Isleten in der Schweiz hat folgende Tabelle 1 ergeben. Die ersten fünf Spalten erfüllen den Zweck zur korrekten Verortung des Deltas. Für den Vergleich sind die Spalte sechs und sieben relevant. Spalte sechs gibt die Grösse des Deltas in Quadratmeter an. Diese wurde dann mit der Grösse der Isleten verglichen. Für die siebte Spalte wurde kategorisiert, ob der Bach auf dem Delta «künstlich» oder «natürlich» ist. Dabei wurde die ökomorphologische Beurteilung gemäss BAFU (2009) verwendet. Alle Bäche der Zustandsklasse I und II wurden als «natürlich» klassifiziert, während die Zustandsklassen III, IV und V als «künstlich» gekennzeichnet wurden. Die Tabelle kann als Zusammenfassung der Bilddokumentation der Vergleichsdeltas betrachtet werden. Diese beinhaltet eine Karte mit dem jeweiligen Luftbild für alle aufgelisteten Deltas. Damit kann ein visueller Vergleich mit dem Delta an der Isleten vorgenommen und mögliche Alternativen ausgearbeitet werden.

Tabelle 1: Zusammenstellung möglicher Vergleichsdeltas für die Isleten in der Schweiz.

Kanton	Gemeinde	Ort	See	Fliessgewässer	Grösse Delta (m ²)	Zustand Fliessgewässer
UR	Sisikon	Sisikon	Urnersee	Riemenstalter Bach	140'000	Künstlich
UR	Flüelen	Usserdorf	Urnersee	Gruonbach	420'000	Künstlich
SZ	Ingenbohl	Brünischart	Vierwaldstättersee	-	35'000	Natürlich
SZ	Ingenbohl	Fallenbach	Vierwaldstättersee	Fallenbach	15'000	Natürlich
BE	Oberried am Brienzersee	Oberried	Brienzersee	Hirscherrenbach	510'000	Künstlich
BE	Bönigen	Erschwanden	Brienzersee	Erschwandenbach	40'000	Natürlich
BE	Beatenberg	Sundlauenen	Thunersee	Sundbach	170'000	Natürlich
BE	Sigriswil	Merligen	Thunersee	Grönbach	130'000	Künstlich
BE	Spiez	Unders Chandergrien	Thunersee	Kander	770'000	Natürlich
VD	Montreux	Montreux	Lac Léman	Baye de Montreux	350'000	Künstlich
TI	Brissago	Ponte	Lago Maggiore	Ri valle di Ponte	90'000	Künstlich
TI	Brissago	Brissago	Lago Maggiore	Ri Val del Sacro Monte	100'000	Künstlich
TI	Gambarogno	Gambarogno	Lago Maggiore	Riale Vadina	105'000	Natürlich
TI	Gambarogno	Bustello	Lago Maggiore	Riale di Cedullo	35'000	Künstlich
TI	Gambarogno	Gerra	Lago Maggiore	Torrente di Gerra	50'000	Künstlich
GR	Bregaglia	Isola	Silsersee	Aua da Fedoz	540'000	Natürlich
GR	Silvaplana	Silvaplana	Silvaplanersee	Ova dal Vallun	480'000	Künstlich
SG	Walenstadt	Äuli	Walensee	-	5'000	Natürlich
SG	Quarten	Gand	Walensee	-	25'000	Natürlich
SG	Quarten	Au	Walensee	Aubach	85'000	Natürlich
SG	Quarten	Murg	Walensee	Murgbach	170'000	Künstlich
SG	Weesen	Weesen	Walensee	Flibach	300'000	Natürlich
GL	Glarus Nord	Mühlehorn	Walensee	Meerenbach	75'000	Künstlich
GL	Glarus	Sträbetzen	Klöntalersee	Dunkellauris	135'000	Natürlich

GL	Glarus	Wissen Brünnen	Klöntalersee	-	30'000	Natürlich
----	--------	-------------------	--------------	---	--------	-----------

Für die Ausarbeitung von Varianten für die Isleten wurden die Deltas von Sundlauenen, Au, Sträbetzen und Wissen Brünnen genauer betrachtet (siehe Anhang C). Diese sind als «natürlich» klassiert und weisen eine naturnahe Gerinneform, ohne grössere Einschränkungen auf. Hauptsächlich das Delta Sundlauenen wurde genauer betrachtet, da dieses aufgrund der bestehenden Infrastruktur und Topographie am besten mit der Isleten vergleichbar ist. Sundlauenen liegt am östlichen Ende des Thunersees in der Nähe von Interlaken und wurde durch den Sundbach aufgeschüttet. Auffällig ist, dass die Hauptverkehrsachse dieses Deltas auf dem Kegelhals liegt. Dort fliesst der Sundbach unter der Strassenbrücke durch und in einem rund 18 m breiten Gerinne in einer leichten Rechtskurve in den Thunersee. Vor allem im letzten Abschnitt bildet der Bach eine mäandrierende Form innerhalb des Gerinnebetts. Der Sundbach weist einen grossen Gewässerraum als die Isleten auf und alle Gebäude sind mehr als 55 m entfernt. Als wichtigster Unterschied zur Isleten ist die grössere Neigung aufzuführen. Auf dem Delta weist der Sundbach eine durchschnittliche Neigung von $\approx 12\%$ auf (im Vergleich zum Isitalerbach an der Isleten mit 1.4%). Zudem sind für die Ablagerung des Geschiebes hauptsächlich grosse Murgänge verantwortlich (Devenish, 2017). An der Isleten wird das Geschiebe aufgrund von fluvialen Feststofftransport abgelagert.

4.4 Bewertungsmatrix

Tabelle 2 zeigt die entwickelte Bewertungsmatrix. Diese wurde in Anlehnung ans Variantenstudium von Basler & Hofmann AG (2021) formuliert. Weiterhin ist eine Bewertungsmatrix der Gesundheits-, Sozial- und Umweltdirektion – Amt für Umwelt des Kantons Uri verwendet worden. Diese wurde für das Renaturierungsprojekt am Eyreussli in Erstfeld (UR) entwickelt (Basler & Hofmann AG und Bigler AG, 2019).

Die Bewertungsmatrix wird in dieser Arbeit genutzt, um die ausgearbeiteten Hochwasserschutzvarianten zu vergleichen. Dabei wurden die vier Hauptkriterien Hochwasserschutz, Natur und Landschaft, Wirtschaftlichkeit und Gesellschaft definiert. Jedem Hauptkriterium wird ein Gewichtungswert zugeteilt. Der Hochwasserschutz erhält mit 40% die höchste Gewichtung, da er als Hauptziel für alle Varianten gilt. Die Unterkriterien im Hochwasserschutz bewerten die Eliminierung der Schutzdefizite, den Unterhalt und die Überwachung, das gutmütige Verhalten im Überlastfall und die technische Machbarkeit. Als zweitwichtigstes Kriterium wird die Natur und Landschaft mit 25% gewichtet. Hier wird die Verbesserung der Ökomorphologie, die Verbesserung der natürlichen Gerinnekynamik und die Verbesserung und Vernetzung der Lebensräume bewertet. Das dritte Hauptkriterium Wirtschaftlichkeit wird mit 20% gewichtet. Dabei werden die Kosten und der Nutzen beurteilt. Die Gesellschaft fliesst mit einer Gewichtung von 15% in die Beurteilung ein. Die Unterkriterien sind definiert als die Möglichkeit zur touristischen Nutzung, die Erholungsmöglichkeit für die lokale Bevölkerung und die Schonung des BLN-Gebiets.

Tabelle 2: Bewertungsmatrix für die Beurteilung der ausgearbeiteten Varianten.

		Gewichtung	Bewertung		
			0 Punkte	1 Punkt	2 Punkte
A	Hochwasserschutz	40%			
A1.1	Schutzdefizite werden bestmöglich eliminiert		Keine	Teilweise	Bestmöglich
A1.2	Unterhalt und Überwachung		Jährlich	Nach Ereignis	Nie
A1.3	Überlastfall gutmütiges Verhalten		Versagen	Teilversagen	Gutmütiger Überlastfall
A1.4	Technische Machbarkeit		Sehr komplex	Komplex	Einfach
B	Natur und Landschaft	25%			
B1.1	Ökomorphologie wird verbessert (gemäss BAFU-Kriterien)		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
B1.2	Natürliche Dynamik wird verbessert		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
B1.3	Lebensräume werden verbessert und vernetzt		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
C	Wirtschaftlichkeit	20%			
C1.1	Kosten		Sehr hoch	Hoch	Tief
C1.2	Nutzen		Tief	Hoch	Sehr hoch
D	Gesellschaft	15%			
D1.1	Touristische Nutzung möglich		Keine Nutzung	Teilweise Nutzung	Vollständige Nutzung
D1.2	Erholungsmöglichkeit für lokale Bevölkerung möglich		Keine Erholung	Wenig Erholung	Viel Erholung
D1.3	BLN-Gebiet wird geschont		Grosser Eingriff	Mittlerer Eingriff	Kleiner Eingriff

4.5 Geschiebemanagement an der Isleten

Vergangene Hochwasser an der Isleten haben gezeigt, dass vor allem der Rückstau durch den See und damit die abnehmende Transportkapazität des Isitalerbachs Ursache für Hochwasser waren. Das Geschiebe begann sich im Gerinne abzulagern und führte zu Ausuferungen. Die Modellberechnungen haben diesen Mechanismus bestätigt. Auch das multidirektionale Relief aus swissALTI3D und swissBATHY3D zeigen, dass es sich bei der Isleten um einen natürlichen Schwemmkegel handelt, der durch Materialablagerung des Isitalerbachs aufgebaut worden ist. Aufgrund dieses Gefährdungsbild wurde bei den ausgearbeiteten Varianten darauf geachtet, genügend Raum für das anfallende Geschiebe im Hochwasserfall zu schaffen. Als Grundlage wurden die Geschiebefrachten aus Wyrsh et al. (2022) sowie die heutige Gerinnegeometrie gemäss Kapitel 4.1 analysiert.

4.6 HEC-RAS Kalibrierung

Wie in Kapitel 3.6.2 erklärt, ist HEC-RAS anhand des Hochwassers von 2005 kalibriert worden. Dafür wurde die räumliche Ausdehnung der Überschwemmung mithilfe der Luftaufnahmen nach dem Ereignis abgeschätzt. Abbildung 5 zeigt eine solche Aufnahme; die weiteren Bilder sind in Anhang D ersichtlich.

HEC-RAS ist primär für die Modellierung von Flüssigkeiten geeignet (Wartusch, 2023). Deshalb sind Geschiebeablagerungen im Rahmen dieser Arbeit anhand von Anpassungen des

Höhenmodells simuliert worden. Ein erster Modellauf ohne Anpassung des Höhenmodells ergab, dass das Hochwasser von 2005 nur lokal zu Überschwemmungen geführt hätte. Das Modell zeigt eine Ausuferung im Bereich der Mobilfunkantenne. Von dort fliesst das Wasser aufgrund einer natürlichen Vertiefung westlich der Strasse bis zum Wohnhaus. Um den Zustand vor dem Hochwasser 2005 zu rekonstruieren, werden die Sofortmassnahmen gemäss dem Bericht des Ingenieurbüros DUWAPLAN GmbH (2005) aus dem digitalen Höhenmodell entfernt. Dafür werden folgende Anpassungen gemacht. Einerseits wird der Damm am linken Ufer des Isitalerbachs nach Tobelausgang auf rund 100 m um 1 m abgesenkt. Andererseits wird die Schutzmauer nördlich des Wohnhauses entfernt. Um die Mächtigkeit der Geschiebeablagerungen während des Ereignisses zu reproduzieren, wird im Gerinne des Isitalerbachs das Höhenmodell um rund 1.5 m angehoben. Daraus resultierte die Modellierung mit HEC-RAS in Abbildung 12. Es zeigt sich, dass im Vergleich zu Abbildung 5 der rechtseitige Ausbruch aus dem Gerinne im Modell gut abgebildet ist. Das Wasser tritt rechtsseitig im Bereich der Mobilfunkantenne und weiter bachaufwärts im Bereich der bestehenden Gebäude aus dem Gerinne aus. Danach sammelt sich ein Grossteil des Wassers in der Vertiefung des Parkplatzes. Auch die Überschwemmungen im Wald und im Bereich der Mobilfunkantenne sind dargestellt. Allerdings konnte mit der Modellierung die Überschwemmung auf der linken Seite des Isitalerbachs nicht rekonstruiert werden. Die Luftaufnahmen zeigen, dass beim Hochwasser 2005 der Bach nach dem Tobelausgang und im Bereich des alten Dynamitlagers auch links über die Ufer trat und anschliessend bei der Schiffstation in den Vierwaldstättersee floss.

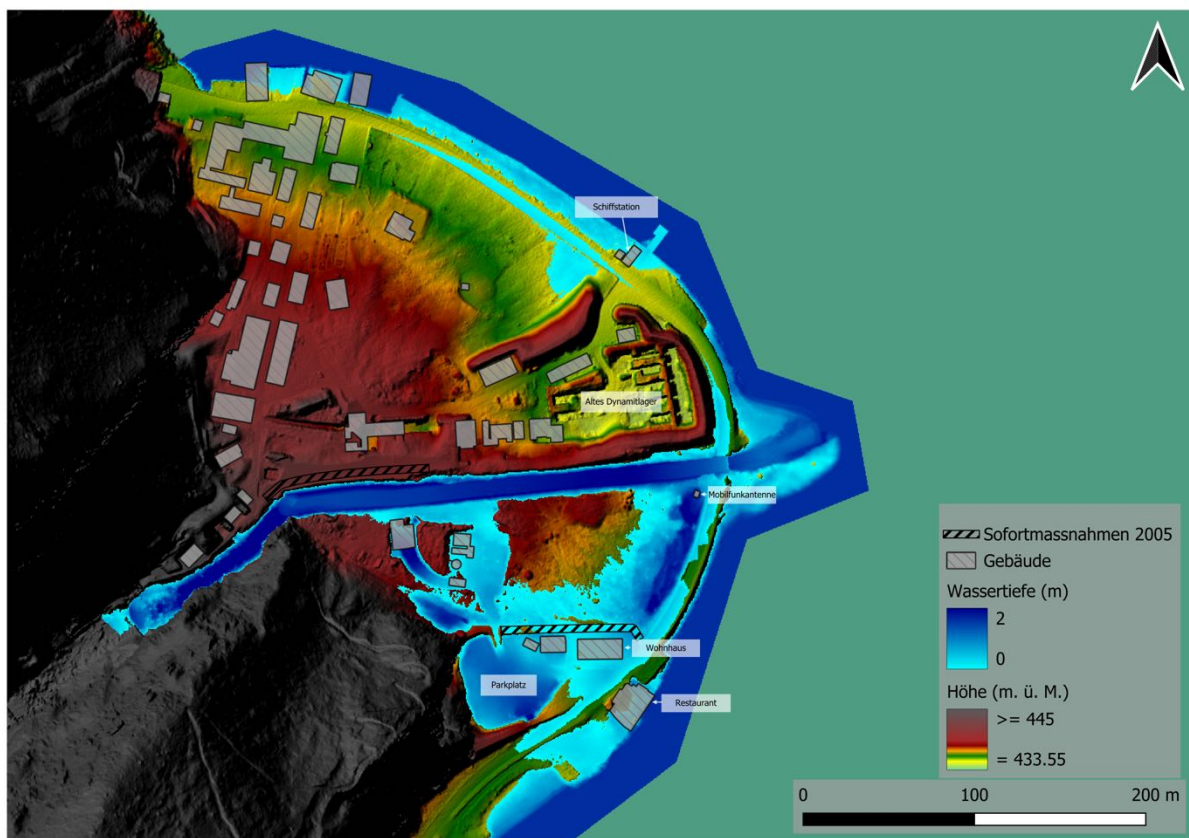


Abbildung 12: HEC-RAS Kalibration anhand des Hochwassers 2005. Die Blaue Fläche stellt die Wassertiefe in m dar.

4.7 Variante 1 Seitlicher Ablagerungsraum

4.7.1 Übersicht

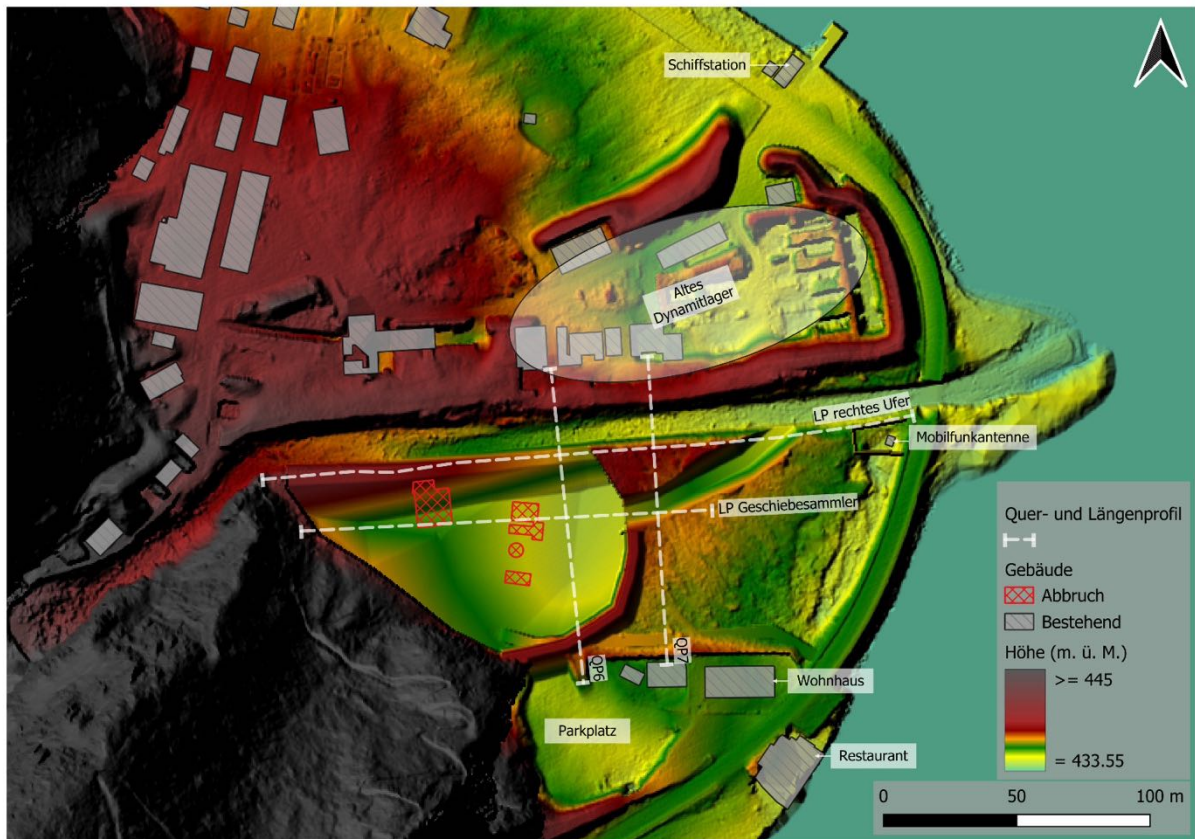


Abbildung 13: Visualisierung der Variante 1 Seitlicher Ablagerungsraum.

Bei der Entwicklung von Variante 1 wurde darauf geachtet, dass sie den Vorgaben der Forschungsfrage 2 (keine Veränderung der Rahmenbedingungen; siehe Kapitel 1.4) entspricht. Während des Erarbeitungsprozess hat sich herausgestellt, dass trotz der Vorgaben teilweise eine Veränderung der Rahmenbedingung vorgenommen muss. Diese Thematik wird in Kapitel 5.1.2 genauer diskutiert.

Das Hochwasser 2005 hat gezeigt, dass hauptsächlich der grosse Geschiebetrieb im Isitalerbach zu Ausuferungen und Überschwemmungen führt (Wyrsh et al., 2022). Damit bei einem zukünftigen Ereignis zusätzliche Ablagerungsfläche zur Verfügung steht, wird in dieser Variante ein Geschiebesammler gebaut. Der Bericht von Wyrsh et al. (2022) hat ergeben, dass rechtsseitig des Isitalerbachs eine natürliche Ablagerungsfläche für Geschiebe vorhanden ist. Dieser Mechanismus soll genutzt werden, indem das rechte Ufer leicht abgesenkt und dahinter eine Vertiefung ausgehoben wird. Das Geschiebe wird bei einem zukünftigen Hochwasser als erstes im Gerinne abgelagert (analog zum Hochwasser 2005). Sobald die maximale Kapazität im Gerinne erreicht ist, springt die rechtsseitige Entlastung an. Das Geschiebe wird nun in dem dafür vorgesehenen Geschiebesammler abgelagert. Bei einer Überflutung des Geschiebesammlers, ab HQ_{100} möglich, kann es zu Überschwemmungen im angrenzenden Wald und der Bauenstrasse kommen. Zudem sind Ausuferungen auf der rechten Seite des Isitalerbachs zu erwarten. Die Mobilfunkantenne wird durch eine Winkelstützmauer geschützt.

4.7.2 Technische Ausführung

Als erste Massnahme wird das rechte Ufer zehn Meter nach Tobelausgang auf einer Länge von circa 115 m abgesenkt. Die Absenkung beträgt durchschnittlich rund einen Meter wie das Längenprofil des rechten Ufers des Isitalerbachs in Abbildung 14 zeigt. Direkt anschliessend wird südlich der Überlaufsektion durch Absenkung des natürlichen Terrains um durchschnittlich 2.3 m auf einer Fläche von 5'900 m² ein zusätzliches Rückhaltevolumen von $\approx 14'000$ m³ realisiert. Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen diese Absenkung anhand eines Längen- und Querprofils. Zusammen mit dem Ablagerungsraum im Gerinne von $\approx 12'000$ m³ kann somit das Volumina des Geschiebes eines HQ₁₀₀ von 25'000 m³ (Wyrsh et al., 2022) im Geschiebesammler und im Gerinne Platz finden. Damit der Dammkörper im Falle einer Überströmung nicht erodiert, wird die luftseitige Neigung mit 1:5 (11.3°) sehr flach gehalten. Weiterhin wird für den Geschiebesammler eine Überlaufmulde geschaffen. Diese erfüllt bei einem Hochwasser die wichtige Funktion das überschüssige Wasser wieder ins natürliche Gerinne zurückzuleiten. Die Terrainanpassung hat eine Länge von 65 m mit einer durchschnittlichen Tiefe von 0.4 m. Zusätzlich wird als Abgrenzung des Geschiebesammlers ein rund 1 m hoher Damm von der Überlaufmulde bis zur Felswand südlich des Geschiebesammlers gebaut (siehe Querprofil 6 in Abbildung 16). Nördlich des Wohnhauses führt die Baupiste von der Bauenstrasse bis in den Geschiebesammler. Nach Abschluss der Bauarbeiten bleibt diese Baupiste bestehen und wird für den Unterhalt genutzt. Abbildung 17 zeigt diesen Zufahrtsweg sowie das Querprofil der Überlaufmulde. Im Anschluss eines Hochwasserereignis können die Maschinen über den Weg in den Geschiebesammler gelangen um das abgelagerte Material auszuräumen. Für den Schutz der Mobilfunkantenne wird eine Winkelstützmauer erstellt. Damit kann der Schutz vor Hochwasser im Vergleich zur heutigen Situation verbessert werden. Die Mauer beseitigt in Richtung Isitalerbach zusätzliche eine bestehende Schwachstelle im Längsprofil des rechten Ufers. Dies ist in Abbildung 14 ersichtlich.

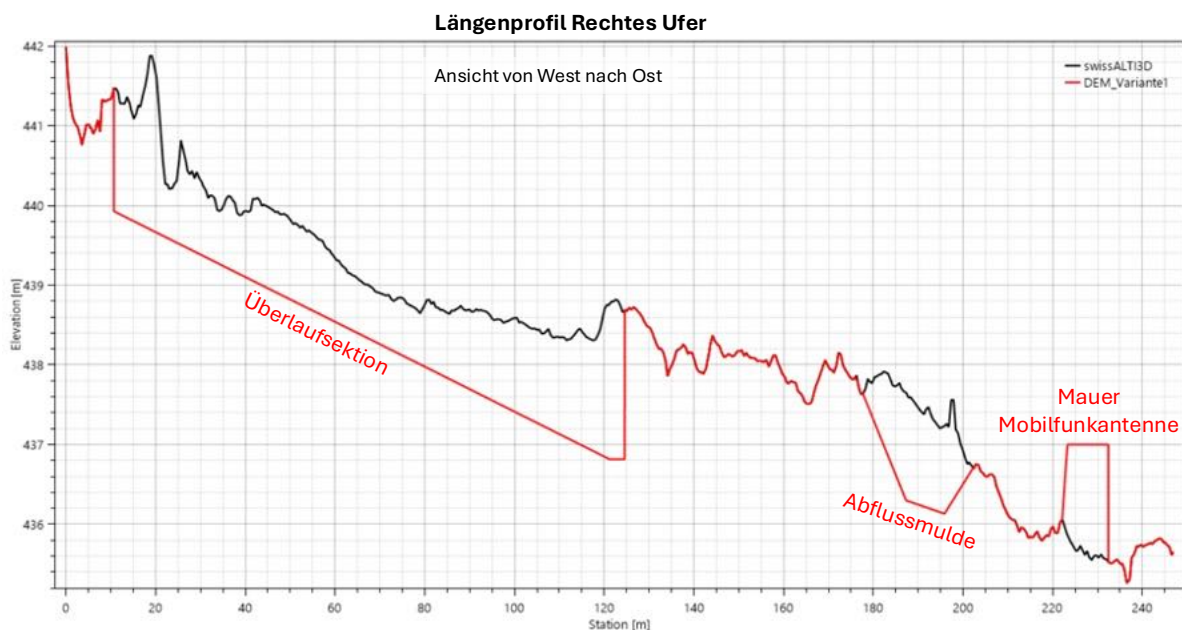


Abbildung 14: Längsprofil rechtes Ufer Isitalerbach. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.

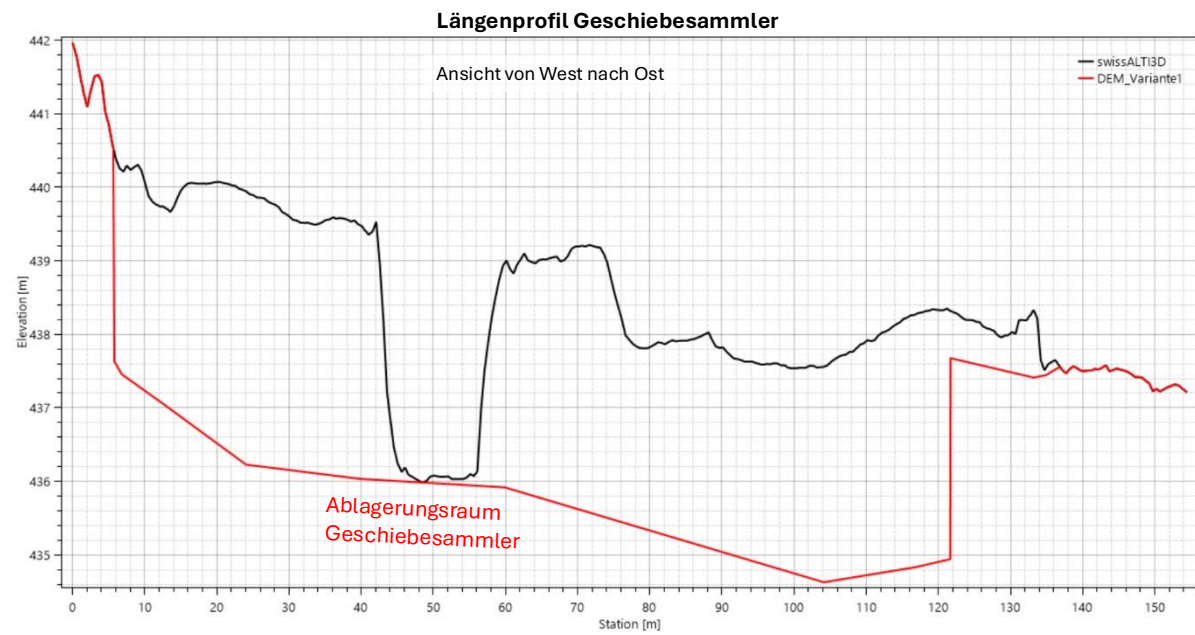


Abbildung 15: Längenprofil Geschiebesammler. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.

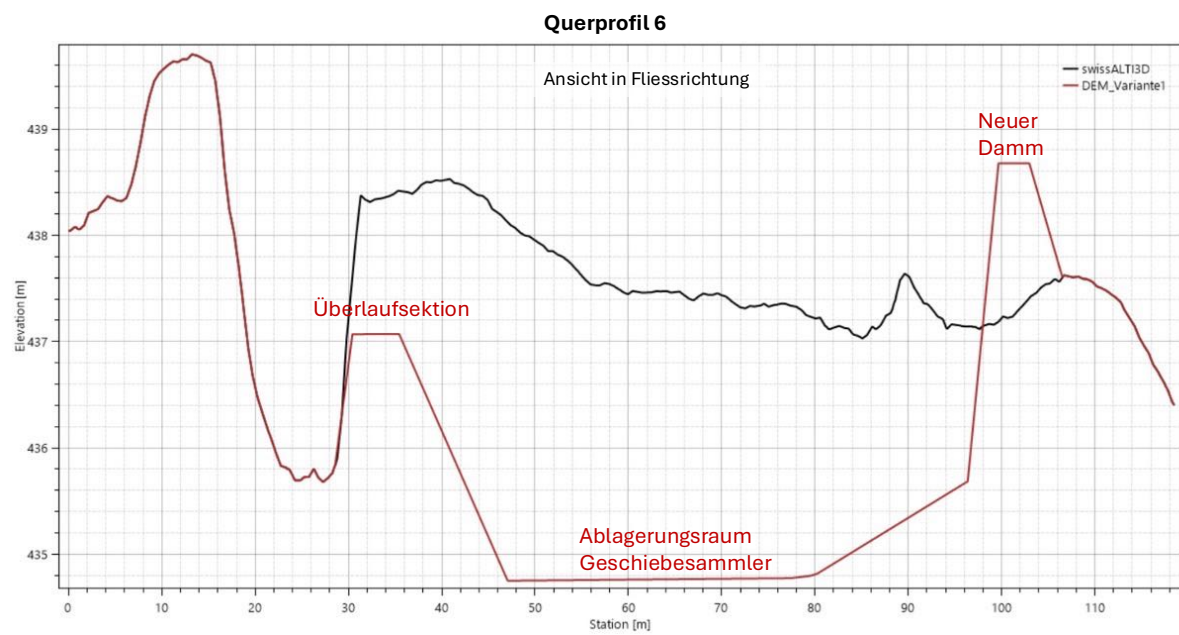


Abbildung 16: Querprofil 6 Geschiebesammler. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.

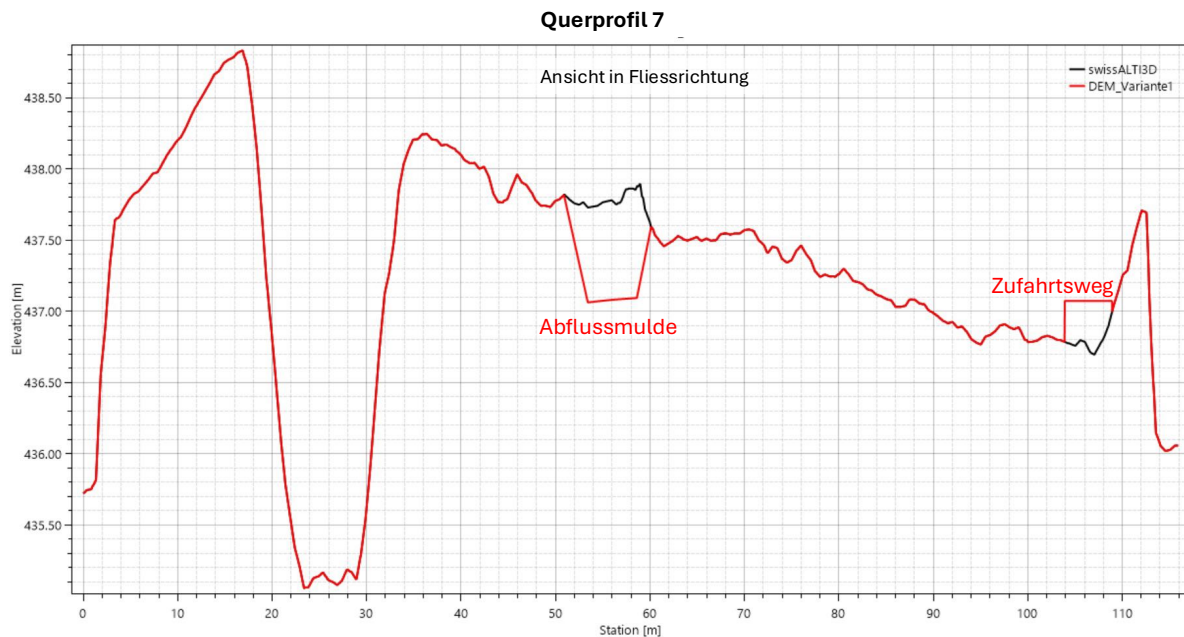


Abbildung 17: Querprofil 7 Abflussmulde und Zufahrtsweg. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.

4.7.3 Umweltaspekte

Dieser Abschnitt behandelt die Vorkehrungen, die getroffen werden, um die Massnahmen möglichst umweltschonend auszuführen. Durch die Abtiefung im Bereich des Geschieberaums entsteht eine grosse Fläche, welche für Ausgleichsmassnahmen genutzt werden soll. Ziel ist es, in diesem Bereich einen Auenwald zu etablieren. Ein Auenwald zeichnet sich durch periodische Wasserstandsschwankungen und Überschwemmungen sowie das Vorhandensein von Tümpeln, Weiher und Totholz aus (Ernst, 2024). Damit die Fläche das ganze Jahr benetzt ist und sich Tümpel und Weiher ausbilden können, wird eine betonierte Blockschwelle im Isitalerbach (quer zur Fliessrichtung) gebaut. Entlang dieser Schwelle wird eine Sickerleitung verlegt, die ein Teil des Wassers in den Geschiebesammler ableitet. Dieses Prinzip der Fassungsmöglichkeit wurde im Kanton Uri bereits zur Renaturierung des Fliessgewässers Eyreussli in Amsteg umgesetzt (Basler & Hofmann AG und Bigler AG, 2019). Zudem wird die Sohle des Geschiebesammlers mit kleinen Geländemodellierungen so angepasst, dass es Mulden und Senken gibt, in denen sich das Wasser sammeln kann. Weiterhin werden nach Bauabschluss erste Setzlinge von typischen Auengehölzen angepflanzt.

Damit der Geschiebesammler gebaut werden kann, muss ein Teil des bestehenden Waldes gerodet werden. Als Ausgleichsmassnahme wird im Bereich des ehemaligen Dynamitlagers eine Walder-satzaufforstung durchgeführt.

4.7.4 Modellierung mit HEC-RAS

Um Variante 1 zu testen, wird in HEC-RAS eine Modellierung mit dem erarbeiteten Höhenmodell durchgeführt. Dafür werden dieselben Modellparameter wie für die Kalibration gemäss Kapitel 4.6 verwendet. Der erste Modelllauf ergab, dass der Geschiebesammler einen zusätzlichen Damm zwischen der Überlaufmulde und der Felswand benötigt, damit das Wasser nicht in den Wald

abfließt. Dieser Damm wurde nachträglich im Höhenmodell eingefügt und ist in Abbildung 13 und Abbildung 16 sichtbar. Mit dieser zusätzlichen Anpassung zeigte sich nach dem Modelllauf Abbildung 18. Die Simulation zeigt, dass die Überlaufsektion mit dem angrenzenden Geschiebesammler gut funktioniert. Da in dieser Modellierung nur der Wasserabfluss modelliert wurde und die Geschiebemodellierung vernachlässigt worden ist, muss diese im Rahmen einer weiteren Studie untersucht werden. Die kleinen Überschwemmungsflächen im Bereich des Parkplatzes können auf Berechnungsfehler zurückgeführt werden. Es ist sichtbar, dass das Wasser im Bereich der Mobilfunkantenne weiterhin aus dem Gerinne austreten kann. Das bedeutet, die konstruierte Mauer konnte in HEC-RAS das Wasser nicht zurückhalten. Es ist davon auszugehen, dass die Mauerbreite erhöht werden müsste, damit HEC-RAS diese als Barriere erkennt. Neben der Fliesstiefe in Abbildung 18 ergab die Modellierung auch eine Karte mit der Fließgeschwindigkeit. Diese ist in Anhang E eingefügt.

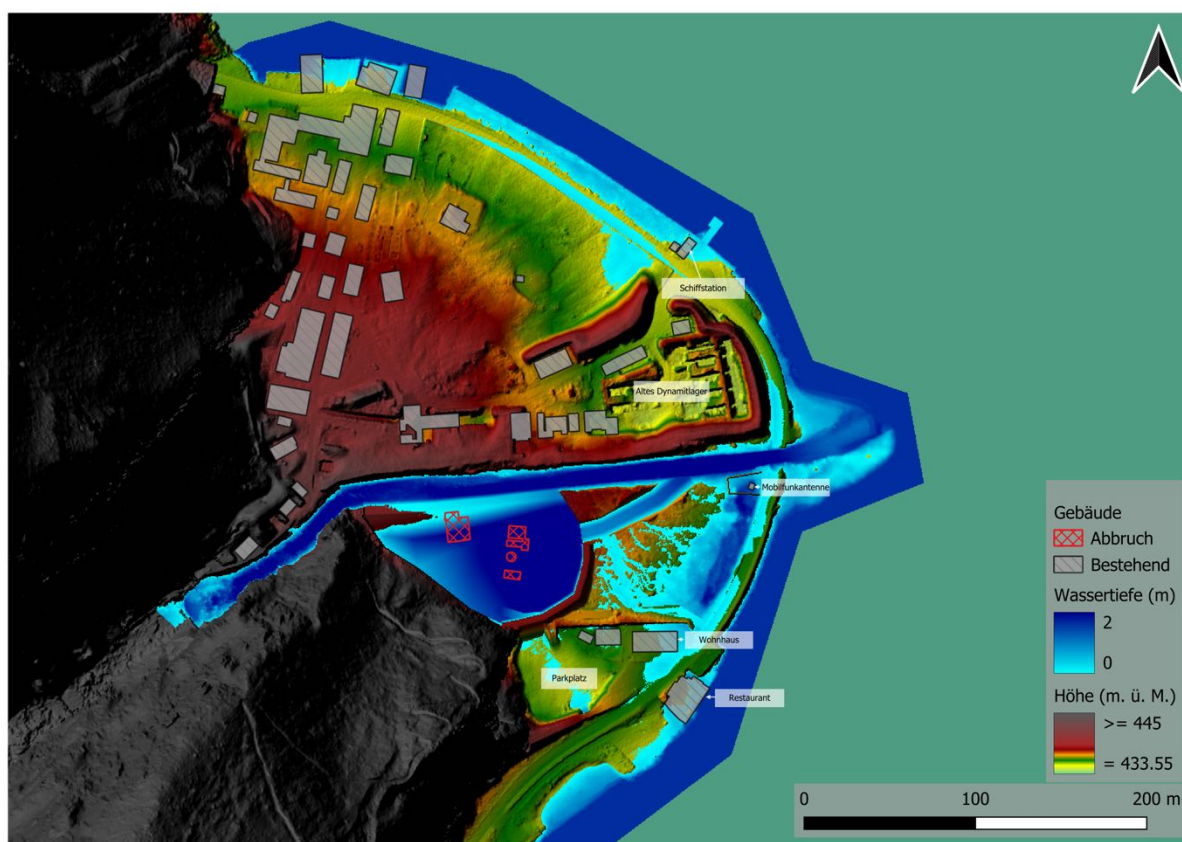


Abbildung 18: Modellierung der Wassertiefe in m anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 1.

4.7.5 Kosten und Nutzen

Die Kostenzusammenstellung in Tabelle 3 zeigt, dass Variante 1 rund 1 Million Franken kosten würde. Die Werte in dieser Zusammenstellung basieren auf verschiedenen Grundlagen. Es wurde ein technischer Bericht und Antrag der Gemeinde Emmen für den Neubau einer Strassenbrücke (Willi und Vogel, 2012), der technische Bericht für die Erstellung einer Forststrasse (Walker und Truttman, 2024) sowie die Analyse und Beurteilung eines Hochwasserschutzprojektes im Aargau (Stürzinger et al., 2022) berücksichtigt. Zusätzlich sind Durchschnittspreise auf Webseiten im Internet gesucht worden (Content Team localsearch, 2019; Ofri Redaktion, 2023; Buildigo AG, 2024;

Swiss Trees GmbH, 2024). Der grösste Kostentreiber in dieser Variante ist die Erstellung des Geschiebesammlers inklusive der Überlaufmulde und dem Zufahrtsweg mit rund 0.5 Millionen Franken. Für die Rodung und Ersatzaufforstung des Waldes muss rund 0.25 Millionen Franken bezahlt werden.

Im Hochwasserschutz wird in der Schweiz ein gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis für die vorgesehenen Massnahmen gefordert (Hepperle, 2011). Betrachtet man die heutige Gefahrenkarte an der Isleten (siehe Abbildung 4) ist ersichtlich, dass rund 14 Gebäude ganz oder teilweise im gelben, fünf Gebäude im blauen und vier Gebäude im roten Gefahrenbereich liegen. Anhand dieser Gefährdungssituation kann davon ausgegangen werden, dass das heutige Schadenspotential höher ist als die berechneten Kosten von 1 Million Franken und deshalb ein gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis resultiert. Betrachtet man den Nutzen im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung der Isleten, ist davon auszugehen, dass sich das Nutzen-Kosten-Verhältnis weiter verbessern würde.

Tabelle 3: Kostenaufstellung für Variante 1 Seitlicher Ablagerungsraum.

Bezeichnung	Einheit	Menge	Einheitspreis	Betrag
Geschiebesammler inkl. Überlaufmulde und Zufahrtsweg	m ³	15'000	30.-	450'000.-
Winkelstützmauer	m ²	50	300.-	15'000.-
Abbruch Gebäude	Gebäude	4	30'000.-	120'000.-
Unterhalt	CHF/a	10	10'000	100'000.-
Rodung Wald und Aufforstung	m ²	12'000	20.-	240'000.-
TOTAL (gerundet)				1'000'000.-

4.7.6 Bewertung

Tabelle 4 zeigt die Bewertungsmatrix für Variante 1. Die erreichte Punktzahl ist grün markiert. Es ist erkennbar, dass diese Variante vor allem im Hauptkriterium Hochwasserschutz gute Ergebnisse erzielt. Auch die Wirtschaftlichkeit wird mit drei von vier möglichen Punkten bewertet. Dagegen kann Variante 1 aber in den Hauptkriterien Natur und Landschaft sowie Gesellschaft nur eine tiefe Punktzahl erzielen. Gesamthaft resultiert ein Wert von 3.7.

Tabelle 4: Bewertungsmatrix für Variante 1 Seitlicher Ablagerungsraum. Die erreichte Punktzahl pro Unterkriterium ist grün markiert.

		Gewichtung	Bewertung		
			0 Punkte	1 Punkt	2 Punkte
A	Hochwasserschutz	40%			
A1.1	Schutzdefizite werden eliminiert		Keine	Teilweise	Bestmöglich
A1.2	Unterhalt und Überwachung		Jährlich	Nach Ereignis	Nie
A1.3	Überlastfall gutmütiges Verhalten		Versagen	Teilversagen	Gutmütiger Überlastfall
A1.4	Technische Machbarkeit		Sehr komplex	Komplex	Einfach
B	Natur und Landschaft	25%			
B1.1	Ökomorphologie wird verbessert (gemäss BAFU-Kriterien)		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
B1.2	Natürliche Dynamik wird verbessert		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
B1.3	Lebensräume werden verbessert und vernetzt		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
C	Wirtschaftlichkeit	20%			
C1.1	Kosten		Sehr hoch	Hoch	Tief
C1.2	Nutzen		Tief	Hoch	Sehr hoch
D	Gesellschaft	15%			
D1.1	Touristische Nutzung möglich		Keine Nutzung	Teilweise Nutzung	Vollständige Nutzung
D1.2	Erholungsmöglichkeit für lokale Bevölkerung möglich		Keine Erholung	Wenig Erholung	Viel Erholung
D1.3	BLN-Gebiet wird geschont		Grosser Eingriff	Mittlerer Eingriff	Kleiner Eingriff

4.8 Variante 2 Mäandrierender Isitalerbach

4.8.1 Übersicht

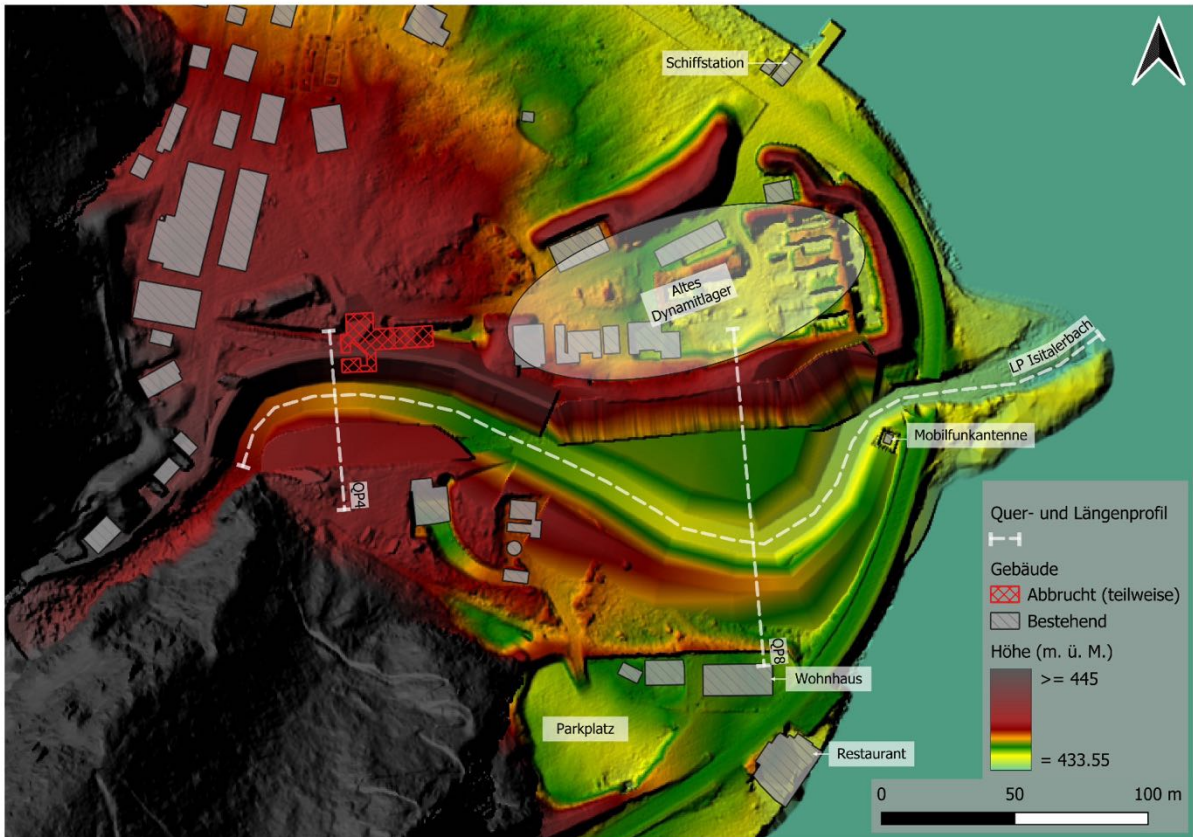


Abbildung 19: Visualisierung der Variante 2 Mäandrierender Isitalerbach.

Während des Erarbeitungsprozess der Variante 1 hat sich gezeigt, dass die Vorgaben der Forschungsfrage 2 (keine Veränderung der Rahmenbedingungen; siehe Kapitel 1.4) nicht vollständig eingehalten werden konnten. Deshalb wurde für die Entwicklung der Variante 2 wiederum versucht die Rahmenbedingungen an der Isleten nicht zu verändern. Weitere Informationen zu dieser Thematik werden in Kapitel 5.1.2 diskutiert.

Um das künstliche Trapezgerinne des Isitalerbachs an der Isleten ökologisch aufzuwerten, wird in dieser Variante ein mäandrierendes Gerinne realisiert. Aufgrund der Fließrichtung am Kegelhals und der Distanz zum See (330 m; siehe Anhang A) ergibt sich die Form einer S-Kurve. So kann der Mäander optimal in die Landschaft eingepasst werden und es muss lediglich ein Gebäude teilweise abgebrochen werden. Nach dem Tobelausgang entsteht eine geschwungene Rechtskurve (im Weiteren Kurve West) mit Ausdehnung Richtung Norden. Danach kreuzt der Bach das heutige Gerinne in einem 30-40° Winkel und macht eine zweite grössere Kurve mit Ausdehnung Richtung Süden (im Weiteren Kurve Ost). Kurz vor der Brücke Bauenstrasse fliesst das Wasser wieder ins alte Bachbett zurück und mündet anschliessend in den Urnersee. In den Mäandern werden naturnahe Vorlandflächen geschaffen, die teilweise mit überdeckten Steinblöcken gesichert werden. Die Vorländer in den Aussenkurven werden bei Hochwasser als Ablagerungsraum für das Geschiebe genutzt. Damit das Wohnhaus beim Parkplatz optimal geschützt werden kann, wird das Ufer am Prallhang der Kurve Ost mithilfe eines Damms leicht erhöht. Die Mobilfunkantenne wird mit einer Winkelstützmauer geschützt.

4.8.2 Technische Ausführung

Wie in Variante 1 wird auch in dieser Variante zusätzlicher Ablagerungsraum für den Geschiebetrieb infolge Hochwasser geschaffen. Der Ablagerungsraum in der Gerinneschale wird durch die Verlängerung des Isitalerbachs von 320 m auf 380 m erweitert. Unter Annahme des gleichbleibenden Gerinnequerschnitts von 37 m^2 können neu $\approx 14'000 \text{ m}^3$ Geschiebe in der Gerinneschale abgelagert werden. Zusätzlich werden mit den Vorlandflächen der Mäander Geschiebeablagerräume geschaffen. Beim Gleithang der Kurve West wird das Gelände auf einer Fläche von $1'400 \text{ m}^2$ um durchschnittlich 1.5 m abgetieft. Abbildung 20 zeigt mit dem Querprofil 4 diese Terrainveränderung exemplarisch auf. Damit entsteht ein Ablagerungsraum von $2'100 \text{ m}^3$. Zusätzlich wird bei Kurve Ost auf einer Fläche von $3'200 \text{ m}^2$ das Terrain um 1.4 m abgesenkt und schafft somit einen weiteren Ablagerungsraum von $4'500 \text{ m}^3$ (siehe Abbildung 21). Die Summe der drei Geschiebeablagerräume beträgt $\approx 22'000 \text{ m}^3$, was annähernd der Geschiebefracht eines HQ_{100} entspricht. Aufgrund der neuen Begebenheiten wird davon ausgegangen, dass ab einem HQ_{100} das Geschiebe als erstes im Bereich der heutigen Mobilfunkantenne auf die Bauenstrasse ausufern wird. Somit kann die Strasse als Ablagerungsraum genutzt werden.

Im Rahmen dieser Variante wird die Neigung im Längsprofil nur unwesentlich von 0.8° (1.4%) auf 0.7° (1.2%) verringert. Das Längenprofil der neuen Gerinnesohle ist in Abbildung 22 dargestellt (zum Vergleich ist das bestehende Längenprofil in Anhang A eingefügt). Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass bei einer Neigungsänderung von $\pm 0.1^\circ$ der Geschiebetrieb weiterhin gewährleistet ist und nicht zu mehr Ablagerung führt (Hunziker, Zarn & Partner AG und A. Kälin AG, 2009). Die Mäanderamplitude (maximale Schwingungsweite der Kurven) und die Mäanderwellenlänge (Strecke zwischen zwei gleichsinnigen Kurven) werden gemäss Zeller (zitiert nach Boes, 2022) konstruiert. Zeller hat die natürliche Mäanderamplitude und -wellenlänge als Funktion der Gerinnebreite b beschrieben. Die Mäanderamplitude sollte $4.5 \cdot b$ betragen. Unter der Annahme einer durchschnittlichen Gerinnebreite b an der Isleten von 17.5 m müsste die Mäanderamplitude also 78.75 m betragen. Die natürliche Mäanderwellenlänge wurde als Produkt von $10 \cdot$ Gerinnebreite b beschrieben. An der Isleten sollte somit eine Mäanderwellenlänge von 170.5 m realisiert werden. Aufgrund der natürlichen Begebenheiten an der Isleten können diese Werte nur näherungsweise erreicht werden. Die ausgearbeiteten Werte sind: 67 m Mäanderamplitude und 230 m Mäanderwellenlänge.

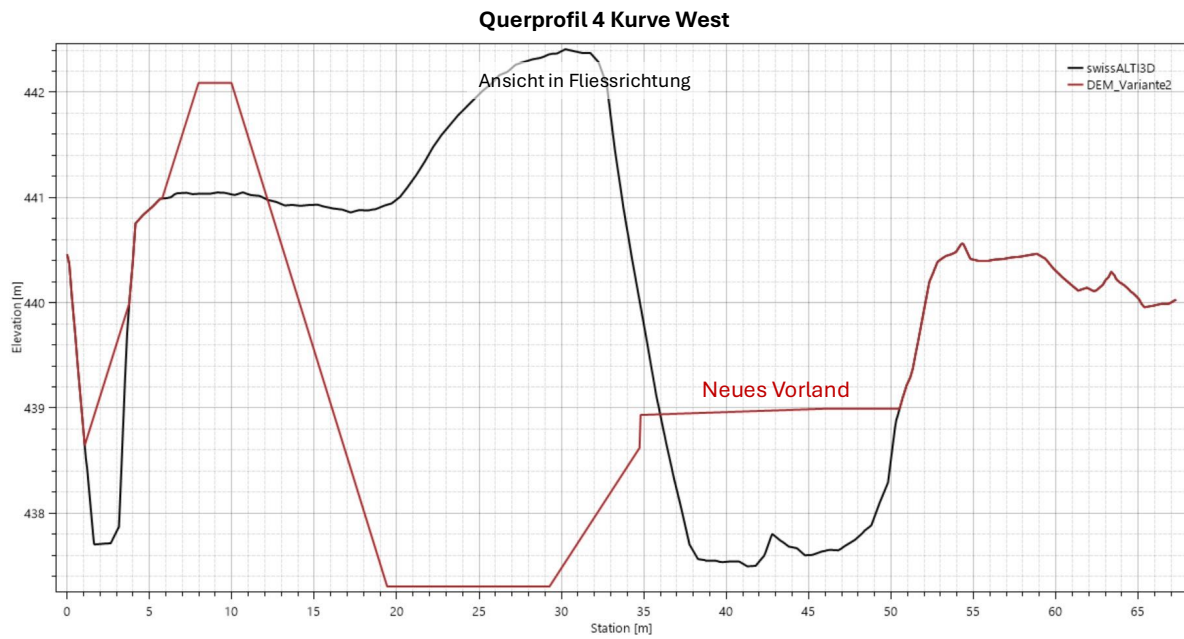


Abbildung 20: Querprofil 4 Kurve West. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.

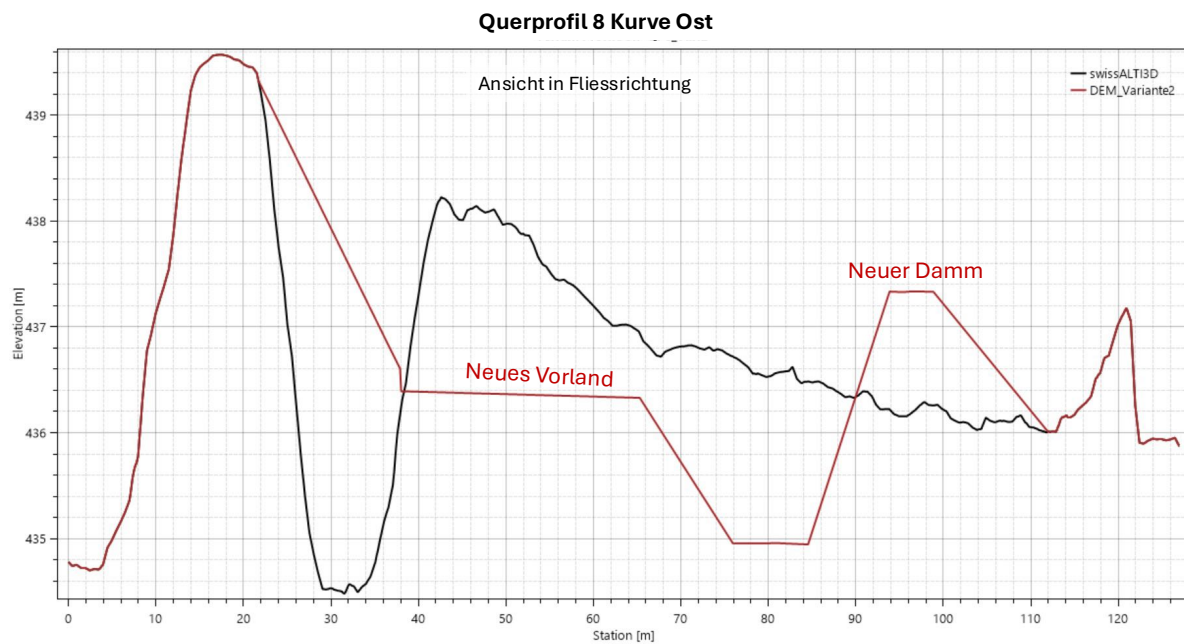


Abbildung 21: Querprofil 8 Kurve Ost. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.

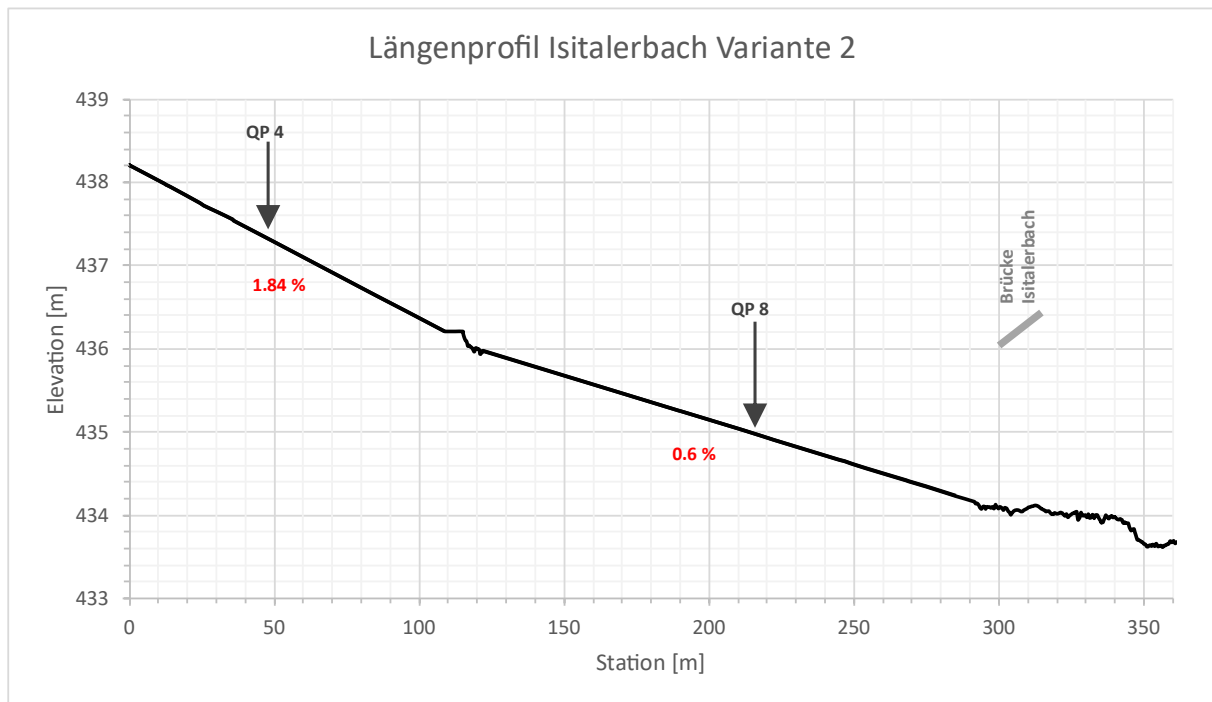


Abbildung 22: Längsenprofil neue Gerinnesohle Variante 2 Mäandrierender Isitalerbach.

4.8.3 Umweltaspekte

Dieser Abschnitt behandelt die ökologischen Aufwertungen, die mit dieser Variante erzielt werden können. Aufgrund der veränderten Gerinneform entsteht eine neue Sedimentdynamik. Es können sich ausgeprägte Sedimentbänke ausbilden und zusätzlichen Lebensraum für Tiere und Pflanzen schaffen. Aufgrund des Übergangs von Gerinnesohle zum Bachufer entsteht in den Mäandern der Kurve Ost und West ein verbreiteter Gewässerraum. Damit wird die horizontale Vernetzung im Uferbereich verbessert. Eine weitere Vorkehrung besteht aus der Abflachung der geplanten Dämme. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass Hochwasserschutzdämme eine Neigung von 2:3 (33.7°) oder weniger haben sollten. Damit kann sichergestellt werden, dass die Steinblöcke ohne Beton versetzt werden können (Hunziker, Zarn & Partner AG und A. Kälin AG, 2009).

Auf den Vorländern wird eine naturnahe Überschwemmungsfläche für Hochwasser geschaffen. Somit kann sich dort ein natürlicher Auenwald mit Hartholz ausbilden. Durch die Bautätigkeiten in Kurve Ost ist davon auszugehen, dass ein Grossteil des Waldes gerodet werden muss. Als Ausgleichsmassnahme wird eine Aufforstung am gegenüberliegenden Ufer, im Bereich des alten Dynamitlagers, geplant. Damit kann die gerodete Waldfläche ersetzt werden.

4.8.4 Modellierung mit HEC-RAS

Das Modellierungsergebnis für Variante 2 in Abbildung 23 zeigt, dass es nur eine kleine Ausuferung im Bereich der Mobilfunkantenne gibt. Dabei fliesst das Wasser auf die Bauenstrasse und von dort weiter bis zum Wohnhaus. Diese Schwachstelle kann gut durch organisatorische Massnahmen wie beispielsweise Sandsäcke, Dammbalkensysteme oder mobile Wassersperren eliminiert werden.

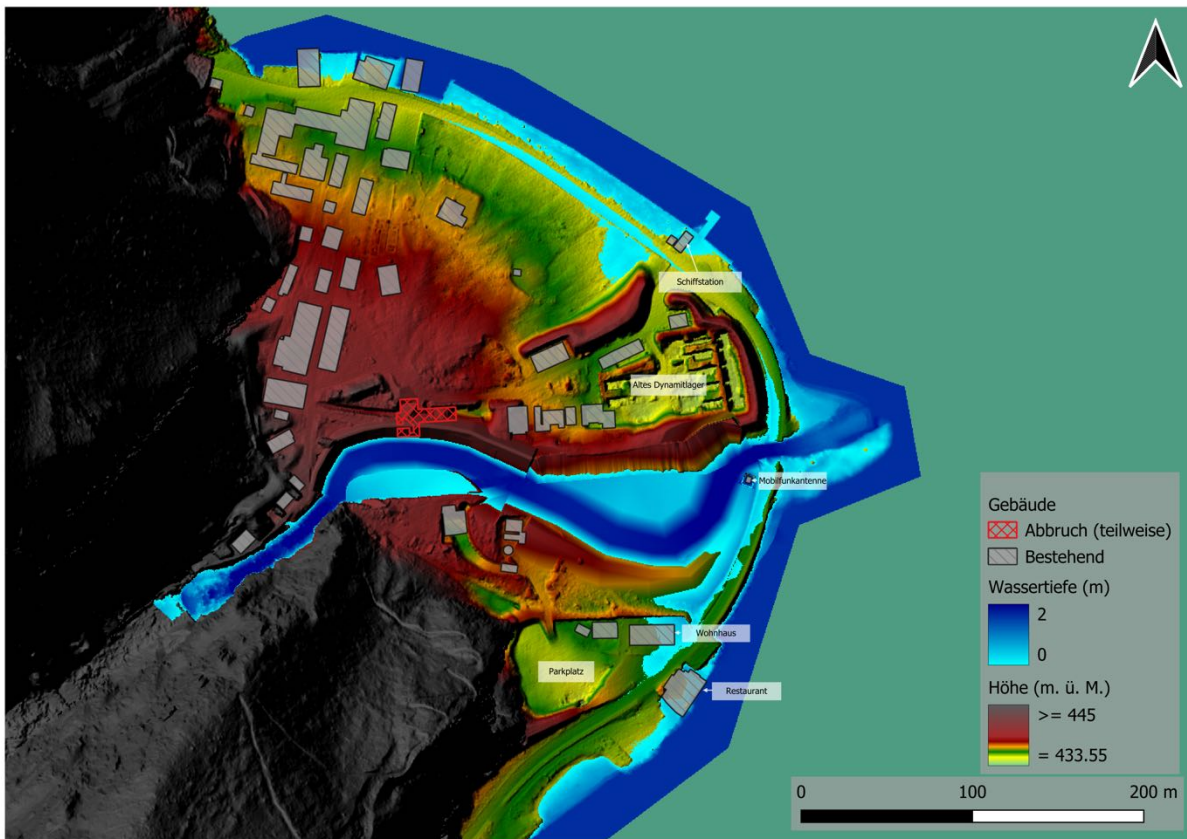


Abbildung 23: Modellierung der Wassertiefe in m anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 2.

4.8.5 Kosten und Nutzen

Tabelle 5 zeigt die Kostenaufstellung für Variante 2. Gesamthaft belaufen sich die abgeschätzten Kosten auf 1.2 Millionen Franken. Die Preisgrundlagen sind analog zu Variante 1 (siehe Kapitel 4.7.5). Mit rund 0.5 Millionen Franken kostet die Anlegung des neuen Gerinnes in mäandrierender Form am meisten. Die Rodung des Waldes inklusive Aufforstung wird mit rund 0.25 Millionen Franken berechnet. Zusätzlich muss für die Auffüllung des alten Gerinnes mit 0.2 Millionen Franken gerechnet werden. Ähnlich hohe Kosten werden für den neuen Damm südlich von Kurve Ost erwartet. Hier wird die Abflachung im nördlichen Bereich noch hinzugerechnet (siehe QP 8 Abbildung 21).

Bei der Betrachtung des Nutzens können ähnliche Überlegung wie für Variante 1 angebracht werden. Aufgrund der heutigen Gefährdungssituation (siehe Gefahrenkarte an der Isleten in Abbildung 4) wird angenommen, dass das Schadenspotential höher ist als die bezifferten Kosten von 1.2 Millionen Franken für Variante 2. Somit dürfte das Nutzen-Kosten-Verhältnis auch für Variante 2 höher als 1 sein. Im Falle einer zukünftigen Entwicklung dürfte sich das Verhältnis weiter verbessern.

Tabelle 5: Kostenaufstellung für Variante 2 Mäandrierender Isitalerbach.

Bezeichnung	Einheit	Menge	Einheitspreis	Betrag
Ausbildung neues Gerinne mit Mäander	m ³	14'000	30.-	420'000.-
Auffüllung altes Gerinne für Vorländer	m ³	7'000	30.-	210'000.-
Damm und Abflachung Kurve Ost	m ³	5'600	30.-	170'000.-
Winkelstützmauer	m ²	50	300.-	15'000.-
Unterhalt	pauschal	10	10'000.-	100'000.-
Rodung Wald und Aufforstung	m ²	12'000	20.-	240'000.-
TOTAL (gerundet)				1'200'000.-

4.8.6 Bewertung

In Tabelle 6 wird die Bewertungsmatrix für Variante 2 gezeigt. Der erreichte Wert ist mit grüner Farbe hervorgehoben. Die Bewertung zeigt, dass diese Variante vor allem im Kriterium Natur und Landschaft sehr gut abschneidet. Sie erreicht dort mit sechs Punkten die maximale Punktzahl. Auch im Hochwasserschutz (fünf von acht möglichen Punkten) und der Wirtschaftlichkeit (drei von vier Punkten) schneidet diese Variante gut ab. Ausserdem wird erkennbar, dass der Mäandrierende Isitalerbach bei jedem Kriterium mindestens einen Punkt holen kann. Der berechnete Gesamtwert für Variante 2 liegt bei 4.7 Punkten.

Tabelle 6: Bewertungsmatrix für Variante 2 Mäandrierender Isitalerbach. Die erreichte Punktzahl pro Unterkriterium ist grün markiert.

		Gewichtung	Bewertung		
			0 Punkte	1 Punkt	2 Punkte
A	Hochwasserschutz	40%			
A1.1	Schutzdefizite werden bestmöglich eliminiert		Keine	Teilweise	Bestmöglich
A1.2	Unterhalt und Überwachung		Jährlich	Nach Ereignis	Nie
A1.3	Überlastfall gutmütiges Verhalten		Versagen	Teilversagen	Gutmütiger Überlastfall
A1.4	Technische Machbarkeit		Sehr komplex	Komplex	Einfach
B	Natur und Landschaft	25%			
B1.1	Ökomorphologie wird verbessert (gemäss BAFU-Kriterien)		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
B1.2	Natürliche Dynamik wird verbessert		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
B1.3	Lebensräume werden verbessert und vernetzt		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
C	Wirtschaftlichkeit	20%			
C1.1	Kosten		Sehr hoch	Hoch	Tief
C1.2	Nutzen		Tief	Hoch	Sehr hoch
D	Gesellschaft	15%			
D1.1	Touristische Nutzung möglich		Keine Nutzung	Teilweise Nutzung	Vollständige Nutzung
D1.2	Erholungsmöglichkeit für lokale Bevölkerung möglich		Keine Erholung	Wenig Erholung	Viel Erholung
D1.3	BLN-Gebiet wird geschont		Grosser Eingriff	Mittlerer Eingriff	Kleiner Eingriff

4.9 Variante 3a Deltaaufweitung

4.9.1 Übersicht

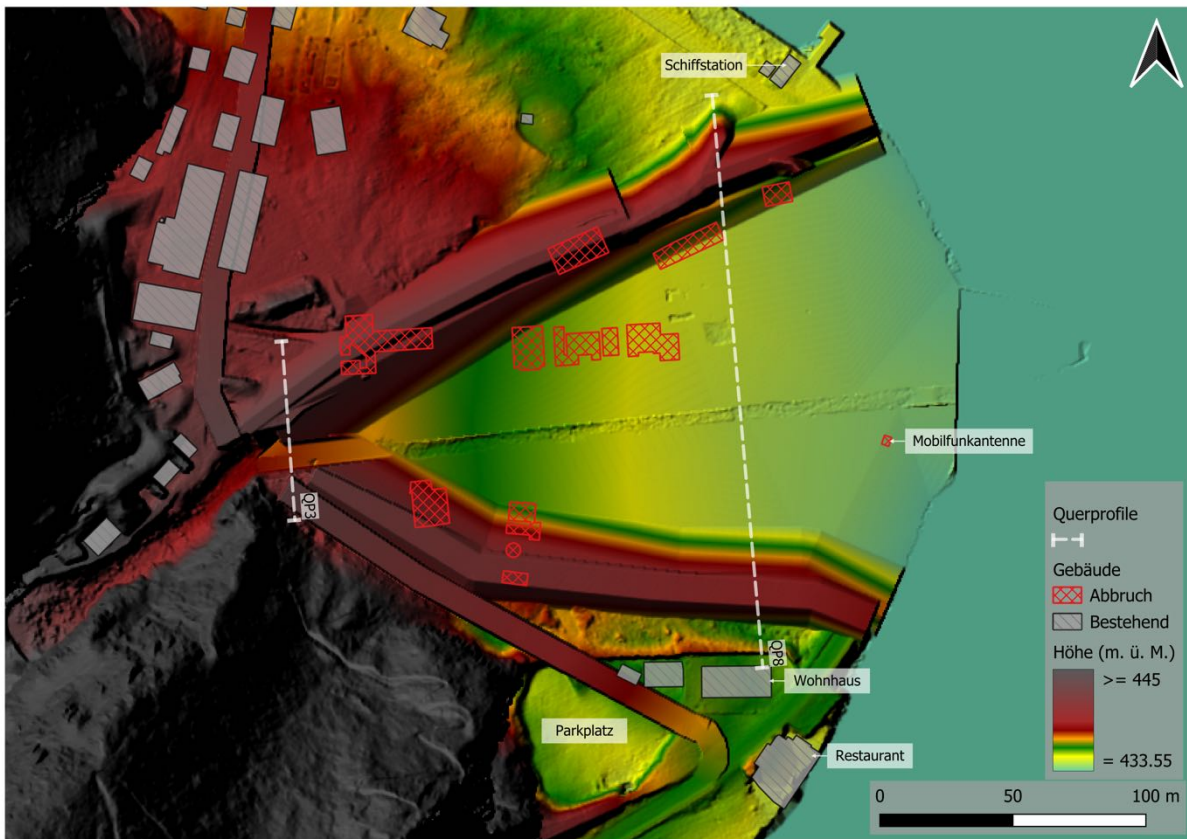


Abbildung 24: Visualisierung der Variante 3a Deltaaufweitung.

Variante 3a wurde entsprechend den Vorgaben der Forschungsfrage 3 entwickelt (Veränderung der Rahmenbedingungen; siehe Kapitel 1.4).

Die Projektpläne der Isen AG sehen eine bergseitige Verlegung der Kantonsstrasse vor (Isen AG, 2024). In Variante 3a wird diese Verlegung aufgegriffen. Der zusätzliche Platz am Seeufer wird genutzt, um das Delta des Isitalerbachs aufzuweiten. Dabei stellt der Schiffsanlegeplatz im Norden und das Wohnhaus im Süden die natürliche Abgrenzung für die Aufweitung dar. Innerhalb der Abgrenzung soll das Terrain im Querschnitt ungefähr auf derselben Höhe sein. Damit wird dem Isitalerbach ermöglicht, seinen eigenen Weg zu suchen und eine natürliche Dynamik zu entwickeln. Die neue Linienführung der Kantonsstrasse führt von der Abzweigung Strasse Isenthal über den Parkplatz Richtung Tobelausgang. Dort wird der Isitalerbach mit einer neuen Brücke überquert (nicht dargestellt in Abbildung 24). Anschliessend führt die Strasse durch das ehemalige Industrieareal Richtung Norden und vor dem Harderbandtunnel wieder in die alte Strasse.

4.9.2 Technische Ausführung

Für diese Variante muss die Bauenstrasse auf rund 290 m rückgebaut werden. Auch die heutige Brücke Bauenstrasse wird abgebrochen. Die Brücke wird bachaufwärts um circa 260 m zum Tobelausgang verschoben. Zudem muss die Kantonsstrasse gesamthaft auf rund 450 m neu gebaut werden. Der erste Abschnitt führt auf 200 m von der Abzweigung Isenthalerstrasse über den Parkplatz bis zum Tobelausgang. Dort wird die neue Brücke über den Isitalerbach gebaut. Nach der

Brücke braucht es auf dem zweiten Abschnitt durch das ehemalige Industrieareal auf 450 m eine neue Strasse. Da aufgrund der Strassenverlegung am Seeufer mehr Platz vorhanden ist, wird das Bachdelta aufgeweitet. Auf der nördlichen Seite der Halbinsel wird, ausgehend vom Tobelausgang, ein ungefähr 160 m langer Damm mit einer Höhe von 4.8 m aufgeschüttet. Dieser schliesst im Bereich des ehemaligen Dynamitlagers an den heute bestehenden Damm an. Nach dem bestehenden Damm von 60 m Länge muss erneut ein Damm von 60 m Länge aufgeschüttet werden, um die Schiffsanlegestelle vor Hochwassern zu schützen. Analog dazu wird auf dem südlichen Teil der Halbinsel ein rund 3 m hoher Damm vom Tobelausgang bis auf Höhe des Restaurants aufgeschüttet. Das entspricht einer Länge von rund 220 m. Die Fläche zwischen dem Damm Nord und Damm Süd wird ungefähr auf die Höhe der heutigen Bachsohle abgetieft. Abbildung 25 zeigt diese Terrainveränderung anhand von Querprofil 8. Dabei wird ein Niederwassergerinne mit derselben Gerinnebreite wie heute geschaffen. Diese gestalterische Massnahme hat keinen Einfluss auf den Geschiebetrieb. Die neue Schwachstelle am Tobelausgang wird in Abbildung 26 mit Querprofil 3 dargestellt (neues Brückenbauwerk nicht eingezeichnet). Schlussendlich wird die gesamte Fläche sich selbst überlassen und es soll sich eine natürliche Geschiebedynamik ausbilden können. Das gesamte Volumen der freigewordenen Fläche von 120'000 m³ (30'000 m² mit einer Tiefe von durchschnittlich 4 m) wird im Hochwasserfall für die Ablagerung des anfallenden Geschiebes genutzt. Somit könnte die Geschiebemenge eines EHQ von 42'000 m³ rund dreimal abgelagert werden. Das bedeutet, dass die gesamte Halbinsel über ein EHQ hinaus vor Hochwassern geschützt werden kann.

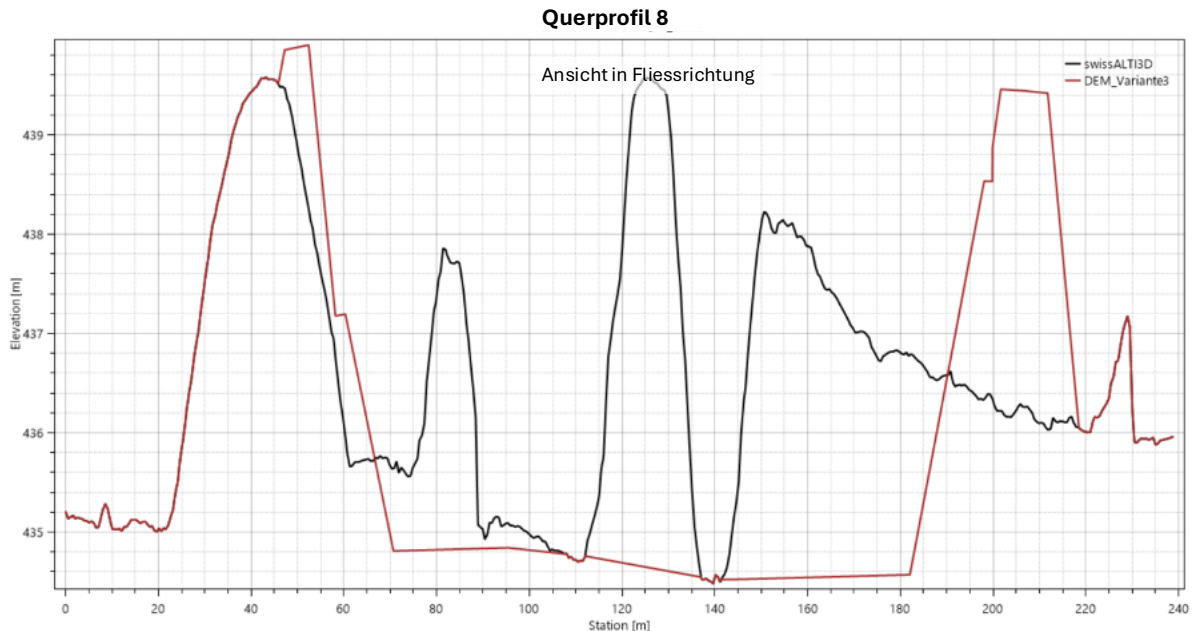


Abbildung 25: Querprofil 8 Deltaaufweitung. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.

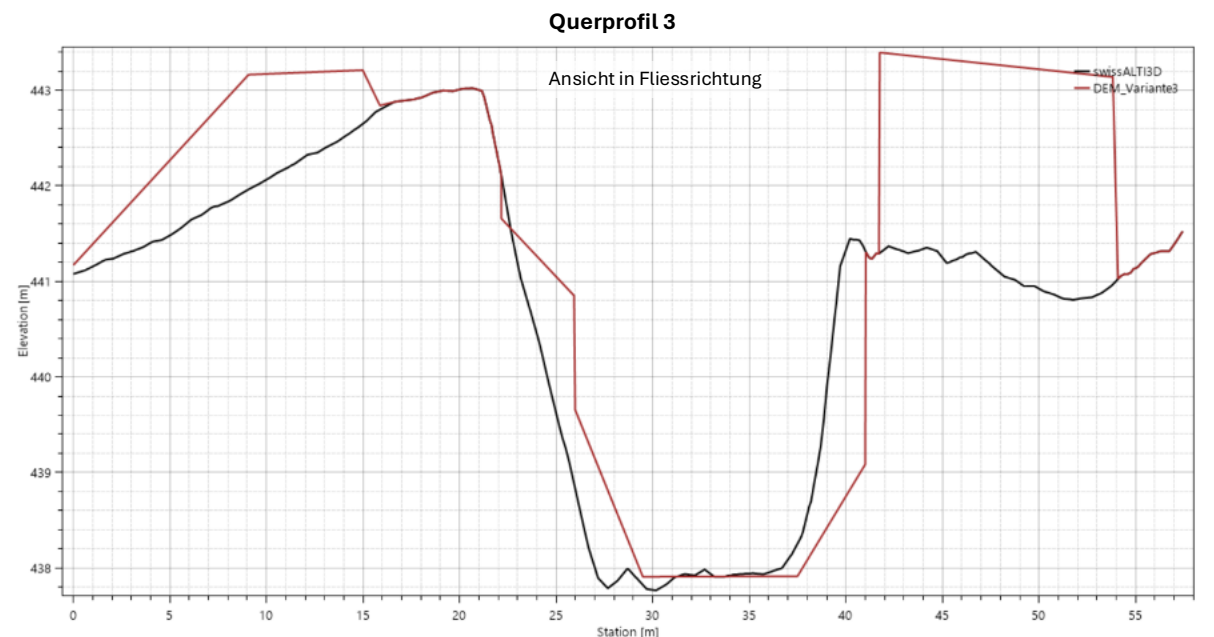


Abbildung 26: Querprofil 3 Deltaaufweitung. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.

4.9.3 Umweltaspekte

Wie in Variante zwei werden auch hier die Dämme mit möglichst geringen Neigungen gebaut. Dabei hat der Damm Süd auf der Luftseite eine Neigung von 1:2 (26.6°) und auf der Wasserseite eine Neigung von 1:3 (18.4°). Damit können die Dämme ohne grosse Blöcke oder den Gebrauch von Beton gebaut werden. Zudem wird der direkte Zugang für die Bevölkerung in den Ablagerungsraum ermöglicht. Durch den erweiterten Raum innerhalb der Dämme kann sich der Isitalerbach künftig seinen eigenen Weg suchen und damit eine natürliche Flusslandschaft ausbilden. Es entstehen neue Sedimentbänke, die Laichplätze für Fische aus dem Urnersee bieten. Zudem wird innerhalb des Perimeters die horizontale und die vertikale Vernetzung der Lebensräume gefördert. Eine ökologische Aufwertung wird auch im Uferbereich des Urnersees stattfinden.

Jedoch entstehen neben der ökologischen Aufwertung auch erhebliche landschaftliche Eingriffe. Ein grosser Teil des Deltas muss im Rahmen dieser Variante umstrukturiert werden. Dies bedeutet einen massiven landschaftlichen Eingriff und das anfallende Material muss entsprechend entsorgt werden. Auch die bestehende Strasse inklusive der Brücke muss abgebrochen und fachgerecht entsorgt werden.

4.9.4 Modellierung mit HEC-RAS

Abbildung 27 zeigt das Modellierungsergebnis für Variante 3a. Es ist erkennbar, dass sich das abfliessende Wasser ab der Deltaaufweitung gleichmässig auf die offene Fläche verteilt und Richtung See abfließt.

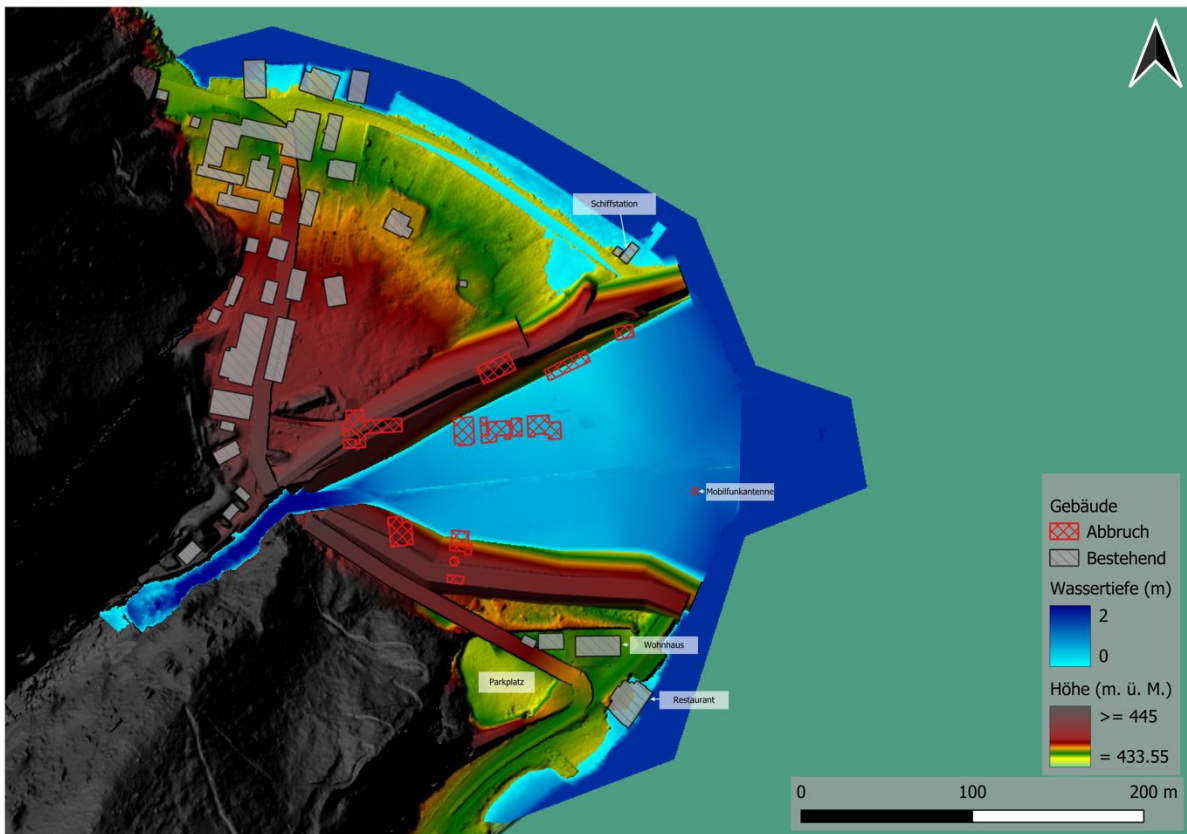


Abbildung 27: Modellierung der Wassertiefe in m anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 3a.

4.9.5 Kosten und Nutzen

Die Kostenaufstellung für Variante 3a ist in Tabelle 7 abgebildet. Total belaufen sich die abgeschätzten Kosten auf 14 Millionen Franken. Die Preisgrundlagen sind analog zu Variante 1 und 2 (Kapitel 4.7.5 und 4.8.5). Zusätzlich wurden die Kosten für die Verlegung der Kantonsstrasse inklusive der Brücke miteingerechnet. Diese sind im Rahmen der Initiative «Isleten für alle» in der Abstimmungsbotschaft mit 8.8 Millionen Franken veranschlagt worden (Kanton Uri, 2024c).

Für den Nutzen der Variante muss das heutige Schadenspotential betrachtet werden. Wie bereits in Variante 1 und 2 erwähnt, liegen momentan zahlreiche Gebäude im Gefährdungsbereich des Isitalerbachs. Aufgrund einer gutachterlichen Abschätzung des Schadenspotentials kann davon ausgegangen werden, dass sich die Investitionskosten von 14 Millionen nicht auszahlen und das Nutzen-Kosten-Verhältnis tiefer als 1 ausfallen würde. Geht man davon aus, dass eine Entwicklung des Gebiets Isleten stattfinden wird, dürfte sich das Schadenspotential erhöhen und entsprechend würde sich das Nutzen-Kosten-Verhältnis verbessern.

Tabelle 7: Kostenaufstellung für Variante 3a Deltaaufweitung.

Bezeichnung	Einheit	Menge	Einheitspreis	Betrag
Absenkung Delta	m ³	100'000	30.-	3'000'000.-
Damm rechts	m ³	19'000	30.-	570'000.-
Damm links	m ³	30'000	30.-	900'000.-
Abbruch Gebäude	Gebäude	10	30'000.-	300'000.-
Rodung Wald und Aufforstung	m ²	12'000	20.-	240'000.-
Strassenverlegung (inkl. Brücke)	pauschal	1		8'800'000.-
TOTAL (gerundet)				14'000'000.-

4.9.6 Bewertung

Tabelle 8 zeigt die Bewertungsmatrix für Variante 3a. Der erreichte Wert ist mit grüner Farbe hervorgehoben. Die Bewertung zeigt, dass diese Variante sowohl beim Kriterium Hochwasserschutz (drei von acht möglichen Punkten) als auch bei der Wirtschaftlichkeit (null von vier) schlecht abschneidet. Andererseits wird das Kriterium Natur und Landschaft mit fünf von sechs möglichen Punkten als sehr gut bewertet. Auch die Gesellschaft erhält eine gute Bewertung (vier von sechs). Insgesamt erreicht Variante 3a einen Wert von 3.05.

Tabelle 8: Bewertungsmatrix für Variante 3a Deltaaufweitung. Die erreichte Punktzahl pro Unterkriterium ist grün markiert.

		Gewichtung	Bewertung		
			0 Punkte	1 Punkt	2 Punkte
A	Hochwasserschutz	40%			
A1.1	Schutzdefizite werden eliminiert		Keine	Teilweise	Bestmöglich
A1.2	Unterhalt und Überwachung		Jährlich	Nach Ereignis	Nie
A1.3	Überlastfall gutmütiges Verhalten		Versagen	Teilversagen	Gutmütiger Überlastfall
A1.4	Technische Machbarkeit		Sehr komplex	Komplex	Einfach
B	Natur und Landschaft	25%			
B1.1	Ökomorphologie wird verbessert (gemäss BAFU-Kriterien)		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
B1.2	Natürliche Dynamik wird verbessert		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
B1.3	Lebensräume werden verbessert und vernetzt		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
C	Wirtschaftlichkeit	20%			
C1.1	Kosten		Sehr hoch	Hoch	Tief
C1.2	Nutzen		Tief	Hoch	Sehr hoch
D	Gesellschaft	15%			
D1.1	Touristische Nutzung möglich		Keine Nutzung	Teilweise Nutzung	Vollständige Nutzung
D1.2	Erholungsmöglichkeit für lokale Bevölkerung möglich		Keine Erholung	Wenig Erholung	Viel Erholung
D1.3	BLN-Gebiet wird geschont		Grosser Eingriff	Mittlerer Eingriff	Kleiner Eingriff

4.10 Variante 3b Deltaaufweitung Süden

4.10.1 Übersicht

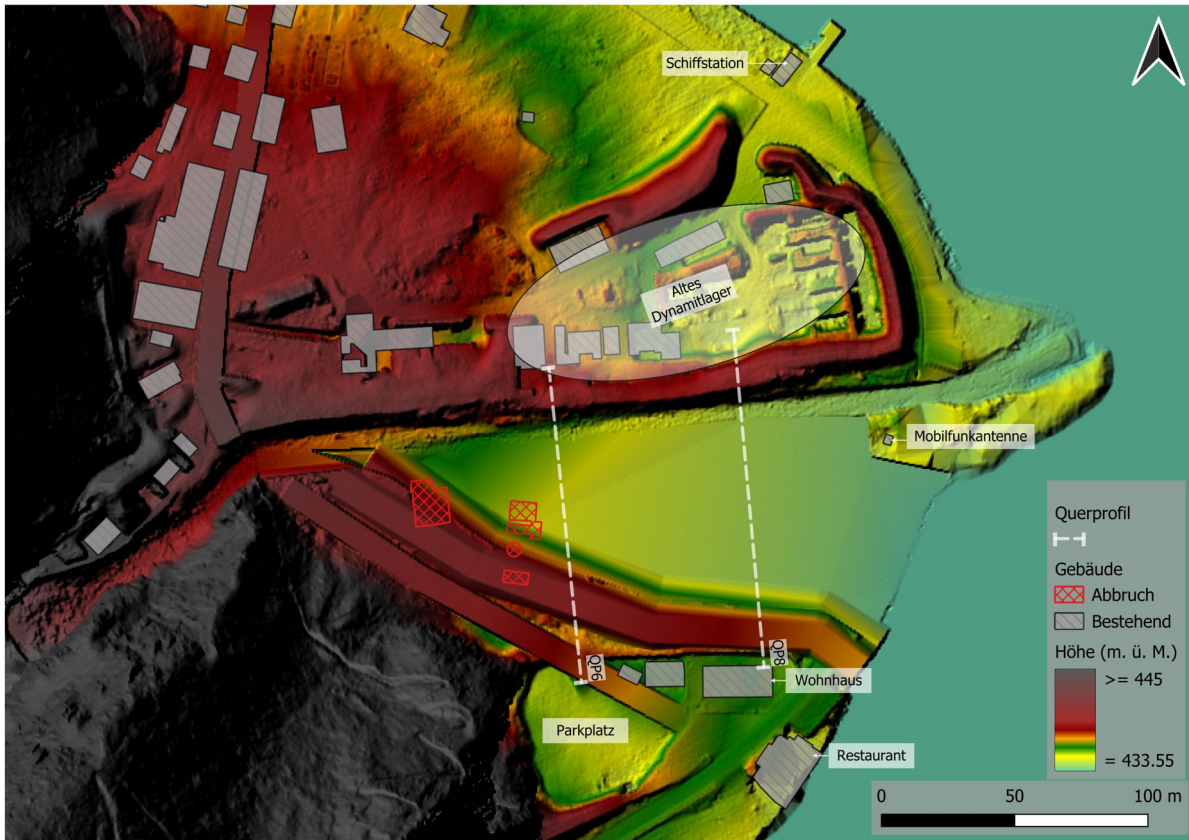


Abbildung 28: Visualisierung der Variante 3b Deltaaufweitung Süden.

Aufgrund des massiven baulichen und landschaftlichen Eingriffs wurde entschieden Variante 3a zu verkleinern. Die neue Variante 3b sieht wiederum eine Deltaaufweitung vor. Dabei orientieren sich die neuen Massnahmen am Zustand vor der Kanalisierung des Isitalerbachs um 1880 (siehe Abbildung 10). Der Bereich zwischen Wohnhaus und dem linken Ufer des Isitalerbachs wird bis auf die Höhe des Gerinnes abgetieft. Der Bach wird von heute rund 7.5 m auf 25 m bis 72 m verbreitert und erhält dadurch die Möglichkeit sich in eine Form mit alternierenden Kiesbänken oder Mäandern zu entwickeln (Hunzinger et al., 2008). Aufgrund der zunehmenden Breite werden im Bach unterschiedliche Wassertiefen und Fliessgeschwindigkeiten vorherrschen. Dadurch können neue Lebensräume für seltene und gefährdete Tier- und Pflanzenarten entstehen. Mit der Aufweitung wird der Mündungsbereich verlagert. Somit entsteht ein neues Delta und ein neuer Ablagebereich für die Geschiebefracht. Damit das Wohnhaus in dieser Variante optimal geschützt werden kann, wird ein Damm vom Tobelausgang bis zum Seeufer gebaut. Die Kantonsstrasse muss in dieser Variante zwischen der Schiffstation und dem Wohnhaus abgebrochen werden. Dasselbe gilt für die Brücke über den Isitalerbach. Diese wird neu direkt beim Tobelausgang gebaut. Die Mobilfunkantenne wird am heutigen Standort belassen, da von einer Standortgebundtheit ausgegangen wird (BAFU et al., 2010).

4.10.2 Technische Ausführung

Der Rückbau und die Verlegung der Kantonsstrasse ist analog zur Variante 3a. Die Strasse muss auf dem Abschnitt zwischen Wohnhaus und Schiffstation abgebrochen werden. Gesamthaft muss

die Strasse auf 290 m rückgebaut und die Brücke abgebrochen werden. Die Verlegung der Strassenbrücke erfordert beim Tobelausgang ein grosses neues Bauwerk. Aus Sicht der Hochwassergefahr ist der Standort am Kegelhals im Vergleich zu der aktuellen Lage der Brücke nahe dem Seeufer ungünstiger. Hauptsächlich die Verklausungsgefahr muss im Rahmen einer weiteren Studie abgeklärt werden. Die neue Brücke am Kegelhals befindet sich im Einflussbereich des neu geschaffenen Geschiebeablagerungsraumes. Aufgrund der Gerinneaufweitung und des Gefällsknicks kann sich bereits unterhalb der neuen Brücke Geschiebematerial ablagern und den Durchlass unter der Brücke sukzessive verkleinern. Deshalb sind Unterhaltsmassnahmen in Form eines Monitorings und Geschieberäumungen insbesondere nach Hochwasserereignissen vorgesehen.

Da aufgrund der neuen Gerinnegeometrie das Verhalten des Isitalerbachs im Hochwasserfall schwierig abzuschätzen ist und Unsicherheiten beim Ablagerungsprozess bestehen, muss nördlich des Wohnhauses ein Schutzdamm gebaut werden. Dieser führt vom Seeufer bis zum Tobelausgang und ist rund 2 m höher als das jetzige Terrain (siehe Abbildung 29 und Abbildung 30). Damit kann eine neue Ablagerungsfläche des Geschiebes von circa 11'780 m² geschaffen werden. Ausgehend von einer durchschnittlichen Tiefe von 4 m kann neu also rund 47'000 m³ Material im Falle eines Hochwassers abgelagert werden. Dies übertrifft die Geschiebefracht eines EHQs um 5'000 m³ (Wyrsh et al., 2022).

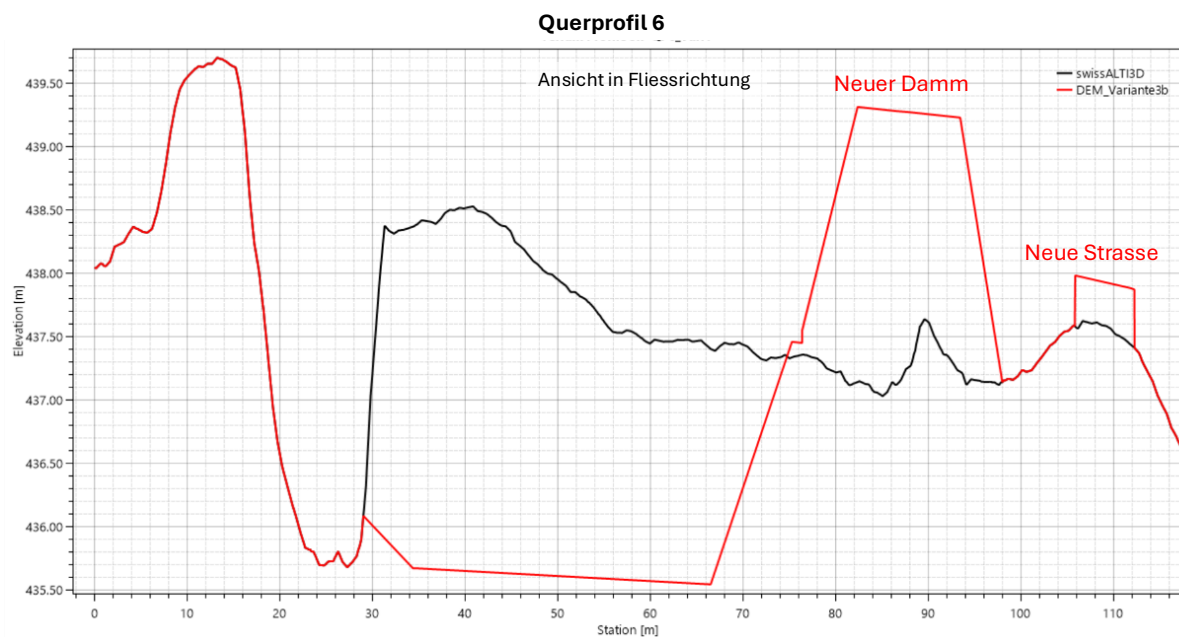


Abbildung 29: Querprofil 6 Deltaaufweitung Süden. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.

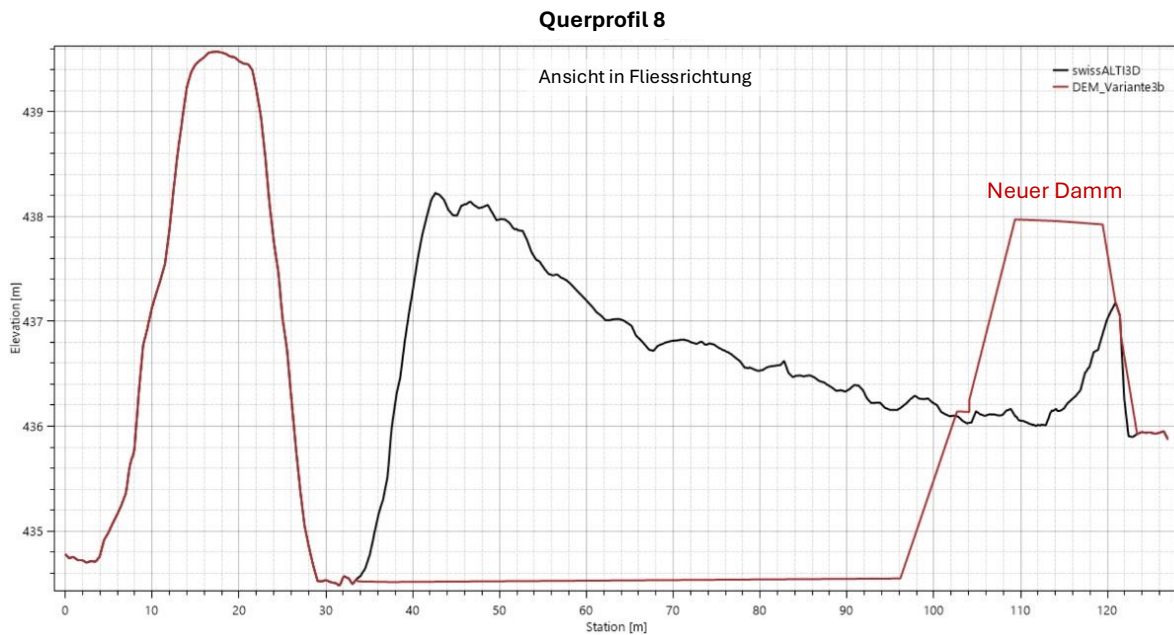


Abbildung 30: Querprofil 8 Deltaaufweitung Süden. Schwarze Linie: Höhenmodell swissALTI3D, rote Linie: neues Höhenmodell.

4.10.3 Umweltaspekte

Damit eine naturnahe und robuste Bauweise des Damms sichergestellt werden kann, wird darauf geachtet, dass die Neigungen flacher als 2:3 (33.7°) sind. Luftseitig weist der Damm eine Neigung von 1:2 (26.6°) auf. Wasserseitig wird die Neigung mit 1:3 (18.4°) noch flacher gehalten. Dies fördert die horizontale und vertikale Vernetzung. Der fliessende Übergang vom Gerinne zum Uferbereich ermöglicht die Ansiedlung von verschiedenen Tier- und Pflanzenarten.

Der neu geschaffene Raum zwischen den Dämmen wird mehrheitlich dem Isitalerbach überlassen. Somit kann sich der Bach sein eigenes Gerinne ausbilden und den Weg zum See selbst suchen. Dies ermöglicht eine neue Eigendynamik und fördert die Wiederherstellung von gewässertypischen Prozessen. Insgesamt kann damit die Landschaft des Bachdeltas stark aufgewertet werden.

4.10.4 Modellierung mit HEC-RAS

Die Modellierung des Hochwasserereignisses von 2005 resultierte für Variante 3b in Abbildung 27. Wie in Variante 3a verteilt sich das Wasser nach der Verbreiterung des Gerinnes und die Abflusstiefe nimmt kontinuierlich ab. Der Bereich der Mobilfunkantenne wird nur leicht überschwemmt. Das bedeutet, die Infrastruktur kann gemäss dieser Modellierung am jetzigen Standort belassen werden.

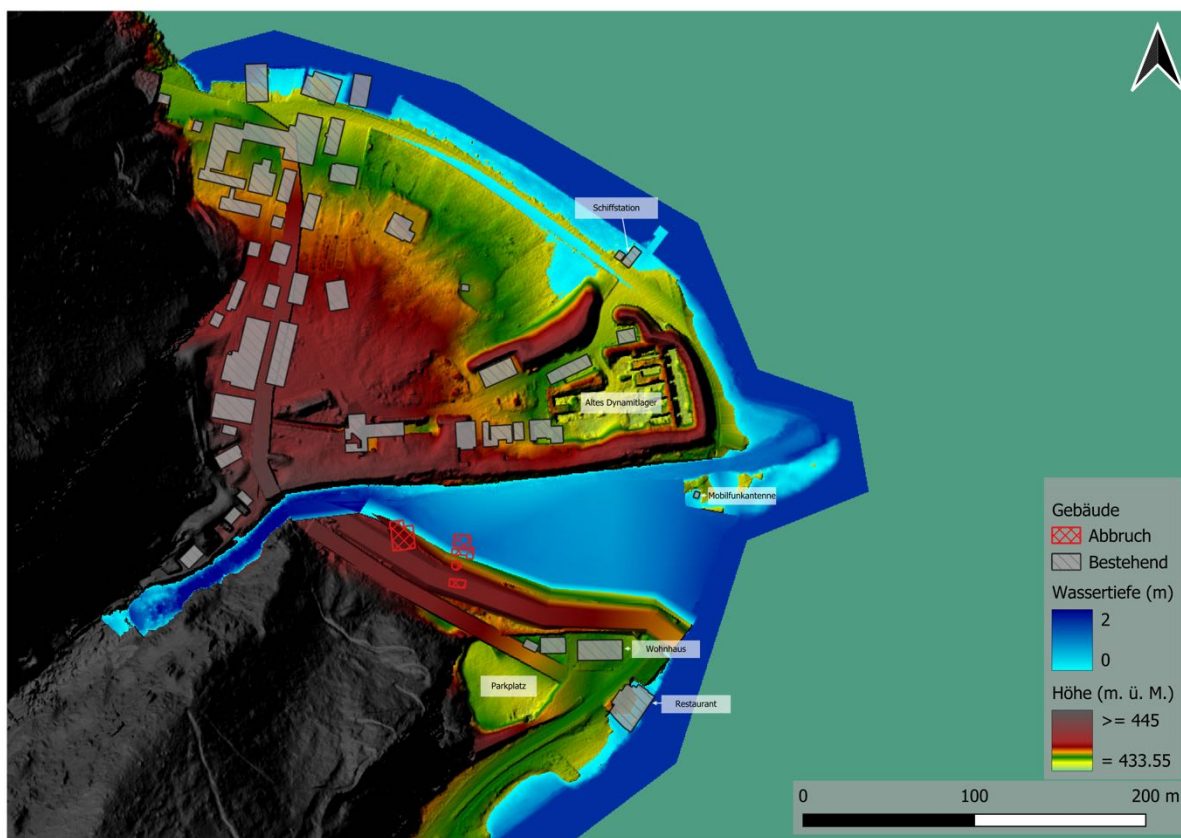


Abbildung 31: Modellierung der Wassertiefe in m anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 3b.

4.10.5 Kosten und Nutzen

Tabelle 9 zeigt die Kostenaufstellung für Variante 3b. Total belaufen sich die abgeschätzten Kosten auf 11 Millionen Franken. Die Preisgrundlagen sind analog zu Variante 3a (Kapitel 4.9.5). Auch für den Nutzen wird auf Variante 3a verwiesen. Die Überlegungen können entsprechend übernommen werden.

Tabelle 9: Kostenaufstellung für Variante 3b Deltaaufweitung Süden.

Bezeichnung	Einheit	Menge	Einheitspreis	Betrag
Absenkung Delta	m ³	30'000	30.-	900'000.-
Damm rechts	m ³	19'000	30.-	570'000.-
Abbruch Gebäude	Gebäude	4	30'000.-	120'000.-
Rodung Wald und Aufforstung	m ²	12'000	20.-	240'000.-
Strassenverlegung (inkl. Brücke)	pauschal	1		8'800'000.-
TOTAL (gerundet)				11'000'000.-

4.10.6 Bewertung

In Tabelle 10 ist die Bewertungsmatrix für Variante 3b dargestellt. Die erreichte Punktzahl ist bei allen Unterkriterien, ausser bei der Schonung des BLN-Gebiets, dieselbe wie in Variante 3a (Kapitel 4.9.6). Die Variante 3b wird als mittlerer Eingriff in das BLN-Gebiet beurteilt und erhält deshalb einen Punkt. Insgesamt erreicht die vorliegende Variante eine Punktzahl von 3.2.

Tabelle 10: Bewertungsmatrix für Variante 3b Deltaaufweitung Süden. Die erreichte Punktzahl pro Unterkriterium wurde grün markiert.

		Gewichtung	Bewertung		
			0 Punkte	1 Punkt	2 Punkte
A	Hochwasserschutz	40%			
A1.1	Schutzdefizite werden eliminiert		Keine	Teilweise	Bestmöglich
A1.2	Unterhalt und Überwachung		Jährlich	Nach Ereignis	Nie
A1.3	Überlastfall gutmütiges Verhalten		Versagen	Teilversagen	Gutmütiger Überlastfall
A1.4	Technische Machbarkeit		Sehr komplex	Komplex	Einfach
B	Natur und Landschaft	25%			
B1.1	Ökomorphologie wird verbessert (gemäss BAFU-Kriterien)		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
B1.2	Natürliche Dynamik wird verbessert		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
B1.3	Lebensräume werden verbessert und vernetzt		Keine Verbesserung	Mittlere Verbesserung	Starke Verbesserung
C	Wirtschaftlichkeit	20%			
C1.1	Kosten		Sehr hoch	Hoch	Tief
C1.2	Nutzen		Tief	Hoch	Sehr hoch
D	Gesellschaft	15%			
D1.1	Touristische Nutzung möglich		Keine Nutzung	Teilweise Nutzung	Vollständige Nutzung
D1.2	Erholungsmöglichkeit für lokale Bevölkerung möglich		Keine Erholung	Wenig Erholung	Viel Erholung
D1.3	BLN-Gebiet wird geschont		Grosser Eingriff	Mittlerer Eingriff	Kleiner Eingriff

5 Diskussion

In diesem Kapitel werden die erzielten Resultate der vorangegangenen Kapitel verglichen und kritisch diskutiert. Dafür werden als erstes die Forschungsfragen beantwortet. Danach wird die Bestvariante vorgestellt und mit den restlichen Varianten verglichen. Anschliessend wird aufgezeigt, wie sich die vorliegende Masterarbeit von einem technischen Bericht für ein Hochwasserschutzprojekt unterscheidet. Weiterhin wird diskutiert, wie die ausgearbeiteten Varianten zu der Entwicklung an der Isleten passen und wie diese im Kontext des Klimawandels eingebettet werden können. Zum Schluss werden die Resultate noch in einen grösseren Kontext gesetzt, indem die Kategorisierung von Seedeltas mit der Kategorisierung von Meeresdeltas verglichen wird. Im abschliessenden Ausblick werden die neuen Fragen und offenen Punkte dieser Arbeit aufgezeigt.

5.1 Beantwortung der Forschungsfragen

5.1.1 Forschungsfrage 1

«Wie war der ursprüngliche, unverbaute Zustand des Bachdeltas, bevor die Isleten besiedelt wurde?»

Der Übersichtsplan (Abbildung 9) und das historische Foto der Isleten (Abbildung 10) sowie die Dufourkarte (Abbildung 11) aus Kapitel 4.2 zeigen die ältesten verfügbaren graphischen Dokumente zum Isitalerbach an der Isleten. Diese erlauben eine präzise Erfassung der Entwicklung des Gerinneverlaufs. Ausgehend von der Dufourkarte 1864 erkennt man, dass der Isitalerbach nach dem Tobelausgang eine Richtungsänderung nach Süden beschreibt und der Felswand entlang in den Urnersee fliesst. Vergleicht man das historische Foto von 1875 und die Übersichtskarte von 1872 erkennt man, dass der Isitalerbach bereits auf der Karte von 1872 dem heutigen Kanal Richtung Seeufer folgt und es keinen zweiten Seitenarm mehr gibt. Im Gegensatz dazu zeigt das Foto von 1875 aber noch immer den Altarm des Bachs, der dem ursprünglichen Gerinne am Südende des Deltas folgt. Betrachtet man die alten Karten der Isleten (Anhang B) ist dieser Altarm noch bis 1904 eingezeichnet. Eine mögliche Erklärung für diese Ungenauigkeit auf der Karte von 1872 könnte sein, dass der heutige Gerinnekanal irgendwann zwischen 1864 und 1872 gebaut wurde. Zwischen 1872 und 1875 könnte es zu einer Ausuferung des Bachs auf die rechte Seite gekommen sein und der Altarm wurde wieder reaktiviert. Eine weitere Erklärung könnte die falsche Datierung der historischen Karte und des aufgenommenen Fotos sein. Dies konnte mit den gefundenen Quellen nicht eindeutig belegt werden.

Mit den recherchierten Grundlagen ist es nicht möglich den Zustand des Bachdeltas vor der Besiedlung darzustellen. Aufgrund der natürlichen Entwicklung eines Deltas ist aber davon auszugehen, dass der Isitalerbach sich im Laufe der Jahrhunderte immer wieder einen neuen Weg in den See gesucht hat und so das Delta in alle Richtungen sukzessive vergrössert hat. Dies wird durch die gleichmässige Halbkreisform der Isleten verdeutlicht. Zudem zeigen die ersten Gebäude im Norden des Deltas, dass der Isitalerbach in den letzten 200 Jahren eher in Richtung Süden des Deltas floss.

5.1.2 Forschungsfrage 2

«Welche zeitgemässe und nachhaltige Hochwasserschutz- und Revitalisierungsmassnahme ist an der Isleten möglich, wenn die Rahmenbedingungen nicht verändert werden (d.h. Strassen und Gebäude gelten als starre Grenzen)? Es wird eine konkrete Variante ausgearbeitet.»

Die ausgearbeiteten Varianten zeigen, dass bei jeder Variante mindestens ein Gebäude tangiert wird. Für Variante 2 (Kapitel 4.8) muss jedoch nur ein einzelnes Gebäude teilweise abgebrochen werden. Gemäss dem eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) handelt es sich um ein Industriegebäude ohne Wohnnutzung (Bundesamt für Statistik und Swisstopo, 2024). Für die Beantwortung der Forschungsfrage 2 wird daher auf Variante 2 mit dem Mäandrierenden Isitalerbach verwiesen.

Wobei auch für Variante 1 argumentiert werden kann, dass keine Veränderung der Rahmenbedingungen stattfindet. Wie Abbildung 13 zeigt, müssen vier Gebäude für die Realisierung des Geschiebesammlers abgebrochen werden. Diese Gebäude befinden sich alle in der roten Gefahrenzone und können somit nur noch in ihrer bestehenden Nutzung unterhalten werden (Kanton Uri, 2020). Gemäss GWR handelt es sich bei diesen Gebäuden ebenfalls um Industriegebäude ohne Wohnnutzung (Bundesamt für Statistik und Swisstopo, 2024), welche nach der Schliessung der Cheddite AG nicht mehr genutzt werden. Deshalb könnte auch Variante 1 zur Beantwortung der Forschungsfrage 2 herangezogen werden.

5.1.3 Forschungsfrage 3

«Welche zeitgemässen und nachhaltigen Hochwasserschutz- und Revitalisierungsmassnahmen sind an der Isleten unter Einbezug von Siedlungsentwicklung und Veränderung der Rahmenbedingungen möglich? Es werden zwei konkrete Variante ausgearbeitet.»

Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage wird auf Variante 1 «Seitlicher Geschiebesammler» (Kapitel 4.7) sowie auf Variante 3a «Deltaaufweitung» (Kapitel 4.9) und Variante 3b «Deltaaufweitung Süden» (Kapitel 4.10) verwiesen. Dabei kann Variante 1, wie oben beschrieben, zur Beantwortung von Forschungsfrage 2 und 3 verwendet werden.

5.2 Bestvariante und Vergleichbarkeit

Tabelle 11 fasst die Kennzahlen für die erarbeiteten Varianten zusammen. Zeile zwei beschreibt die Variante anhand von kurzen Stichworten. Zeile drei und vier fassen die Resultate aus der Bewertung und der Kostenzusammenstellung zusammen. Die letzte Zeile rangiert die Varianten anhand der erzielten Punktzahl.

Die Bewertung der Varianten hat gezeigt, dass Variante 2 die höchste Punktzahl (4.7 Punkte) erhält. Dahinter folgt Variante 1 mit 3.7 Punkten anschliessend Variante 3b mit 3.2 Punkten und Variante 3a mit 3.05 Punkten. Variante 2 schneidet vor allem im Hauptkriterium «Natur und Landschaft» sehr gut ab. Die mäandrierende Form in dieser Variante ermöglicht eine starke Verbesserung der Ökomorphologie. Mit der Gestaltung der überschwemmbareren Vorlandflächen wird die natürliche Dynamik des Isitalerbachs stark aufgewertet. Auch begünstigt der fliessende Übergang von Fliessgewässer zum Ufer eine Verbesserung und stärkere Vernetzung der bestehenden Lebensräume. Die Forschung bestätigt diese ökologisch wertvolle morphologische Form einer mäandrierenden Flusslandschaft (Guzelj et al., 2020). Diese Form mit mehreren Kurven und Richtungsänderungen ermöglicht verschiedene Fliessgeschwindigkeiten innerhalb des

Fliessgewässers und erfüllt so die Ansprüche für unterschiedliche Lebensräume (Nakamura et al., 2014). Zudem führen diese Strömungsunterschiede zu unterschiedlichen Ablagerungs- und Erosionsbereichen von Sedimenten und ermöglichen damit eine Selbstregulierung des Flusssystems (Guzelj et al., 2020).

Tabelle 11: Zusammenfassung der entwickelten Varianten.

	Variante 1	Variante 2	Variante 3a	Variante 3b
Beschreibung	Seitlicher Geschiebesammler	Mäandrierender Isitalerbach	Deltaaufweitung inkl. Strassenverlegung	Deltaaufweitung Süden inkl. Strassenverlegung
Bewertung (Anzahl Punkte)	3.7	4.7	3.05	3.2
Kosten (CHF)	1'000'000.-	1'200'000.-	14'000'000.-	11'000'000.-
Rang	2.	1.	4.	3.

Vergleicht man Variante 2 mit Variante 3b erkennt man, dass Variante 3b im Hauptkriterium «Wirtschaftlichkeit» weniger Punkte erhält als Variante 2. Dies wird auch in Tabelle 11 anhand des Kostenvergleichs deutlich. Die hohen Kosten entstehen hauptsächlich durch die kostenintensive Strassen- inklusive Brückenverlegung in Variante 3b (siehe Tabelle 9). Im Falle der Ausarbeitung eines Bauprojekts dürften diese Kosten noch genauer diskutiert werden. In dieser Arbeit sind die maximalen Kosten vollumfänglich dem Hochwasserschutz zugerechnet worden. In der Praxis würde wahrscheinlich ein Kostenteiler ausgehandelt werden, der nur einen Teil dieser Kosten dem Hochwasserschutz zurechnen würde. Für Variante 3a gelten dieselben Überlegungen.

Betrachtet man die entwickelten Varianten unter dem Gesichtspunkt des Hochwasserschutzes erkennt man, dass Variante 3a und 3b die Schutzdefizite an der Isleten bestmöglich eliminieren können. Sie bieten beide genügend Ablagerungsraum damit auch im Falle eines EHQs die gesamte anfallende Geschiebemenge gemäss Wyrsh et al. (2022) abgelagert werden kann. Dies gilt nicht für Variante 1 und 2. Bei den weiteren Kriterien im Hauptkriterium «Hochwasserschutz» können Variante 1 und 2 aber stärker punkten als 3a und 3b. Für Variante 1 und 2 gibt es im Überlastfall ein gutmütiges Verhalten. Das bedeutet, die bestehenden Schutzmassnahmen versagen im Falle eines Hochwassers, das die Bemessungsgrösse überschreitet, nicht komplett und können teilweise immer noch ihre Schutzfunktion erfüllen (Boes, 2022). Vor allem im Hinblick auf die Zunahmen von Extremereignissen im Zuge des Klimawandels sind diese Überlegungen sehr zentral (Rudolf-Miklau et al., 2014). Für Variante 3a und 3b ist mit einem kompletten Versagen der Schutzmassnahmen zu rechnen.

5.3 Unterschied zu technischem Bericht

Dieses Kapitel soll die Limitierungen dieser Arbeit und den Unterschied zu einem technischen Bericht für ein Hochwasserschutzprojekt aufzeigen.

Wasserbauprojekte tangieren zahlreiche Akteure mit unterschiedlichen Bedürfnissen (BAFU, 2019). Deshalb ist es essenziell die Betroffenen möglichst früh in den Planungsprozess miteinzu beziehen, um so die Akzeptanz für die Massnahmen zu erhöhen. Das Bundesamt für Umwelt hat dafür ein Handbuch für die Partizipation bei Wasserbauprojekten herausgegeben (BAFU, 2019). Darin wird erläutert, wie die Betroffenen zu Beteiligten gemacht werden können. Die Partizipation für Wasserbauprojekte ist in der Schweiz gesetzlich verankert und wird finanziell unterstützt (BAFU, 2019). Dieser Schritt der Partizipation konnte im Rahmen der vorliegenden Arbeit aufgrund von fehlenden zeitlichen und finanziellen Ressourcen nicht durchgeführt werden. Der einzige Aspekt, der teilweise auf diese Thematik abzielt, findet sich in der Bewertungsmatrix unter dem Hauptkriterium «Gesellschaft». Hier wurde anhand von drei Kriterien gutachterlich abgeschätzt, was für Auswirkungen für die Gesellschaft zu erwarten sind.

Ein weiterer Punkt, der im Rahmen dieser Arbeit nicht abgedeckt werden konnte, ist die genaue Abschätzung der Hochwassergefährdung nach Umsetzung der Massnahmen. Konkret geht es darum zu evaluieren, wie die Gefahrenkarte nach Massnahmen aussehen würde. Im Rahmen dieser Arbeit wurde lediglich das Hochwasser von 2005 mit einem hydraulischen Abflussmodell rekonstruiert und aufgezeigt, wie die Überschwemmung von 2005 mit den ausgearbeiteten Varianten ausgesehen hätte. Nach Wyrsh et al. (2022) handelte es sich beim Hochwasser 2005 um ein circa 100-jährliches Hochwasser. Für die Veränderung der Gefahrenkarte müsste zudem noch die Veränderung der Auswirkung eines 30- und 300-jährlichen Hochwassers aufgezeigt werden. Im Zuge dieser Limitierung ist darauf hinzuweisen, dass im Rahmen dieser Arbeit nur der Wasseranteil der Überschwemmung modelliert werden konnte. Auch wenn für jede Variante versucht wurde den Ablagerungsraum für die Geschiebemenge eines HQ₁₀₀ zur Verfügung zu stellen, kann daraus keine Aussage über die Verteilung und Mächtigkeit der Geschiebefracht abgeleitet werden. Das bedeutet in einem weiteren Schritt muss auf jeden Fall die Geschiebekomponente in die hydraulische Modellierung miteinbezogen werden, da diese einen erheblichen Einfluss auf die potenziellen Überschwemmungen an der Isleten hat.

5.4 Entwicklung der Isleten

Wie in Kapitel 1.3 bereits angetönt, ist die Entwicklung an der Isleten weiterhin Bestandteil politischer Diskussionen. Die mögliche Entwicklung spielt hauptsächlich für die Wirtschaftlichkeit der ausgearbeiteten Varianten eine wichtige Rolle. Eine Umgestaltung wird zwangsläufig zu einem höheren Schadenspotential führen. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass auch das Nutzen-Kosten-Verhältnis der ausgearbeiteten Varianten im Falle einer Infrastrukturentwicklung an der Isleten höher ausfallen wird. Vor allem für Variante 3a und 3b sind diese Überlegung sehr zentral, da diese hauptsächlich aufgrund der hohen Kosten und komplexen Ausführung eine schlechtere Bewertung erhalten haben. Wie die Verantwortlichen der Isen AG nach der Ablehnung der Initiative «Isleten für alle» mitgeteilt haben, werden sie die Projektidee weiterhin verfolgen und versuchen ein Projekt vorzulegen, das die allermeisten zufriedenstellt (SRF, 2024). Ausgehend von den heutigen Plänen würden, aufgrund der bergseitigen Strassenverlegung, vor allem Variante 3a und 3b

zum Projekt passen. Diese beinhalten ebenfalls eine Strassenverlegung und somit genügend Raum für eine Deltaaufweitung. Betrachtet man nur die Hochwasserschutzthematik kann auch argumentiert werden, dass Variante 1 und 2 keinen Widerspruch zum Isleten-Projekt bilden. Alle geplanten Neubauten und Anlagen beschränken sich auf den nördlichen Teil der Halbinsel, während die vorgestellten Hochwasserschutz- und Revitalisierungsvarianten 1 und 2 nur südlich des Isitalerbachs Fläche beanspruchen (Vergleich Abbildung 32 mit Abbildung 13 oder Abbildung 19).



Abbildung 32: Visualisierung Projektidee der Isen AG. Es ist erkennbar, dass nur der nördliche Teil der Halbinsel betroffen ist. Die ausgearbeiteten Hochwasserschutz- und Revitalisierungsvarianten 1 und 2 dieser Arbeit beanspruchen im Gegensatz dazu nur den südlichen Teil der Halbinsel. Quelle: (Isen AG, 2024b).

Grundsätzlich gilt es zu erwähnen, dass bei Bauprojekten und Entwicklungsprozessen auf Deltas die Thematik Hochwasserschutz immer eine zentrale Rolle einnimmt. Aufgrund der oftmals begrenzten Platzkapazität müssen Entwicklungen sorgfältig geplant werden. Bei Umstrukturierungen von Deltas sollte darauf geachtet werden, dass dem vorhandenen Fließgewässer genügend Raum gegeben wird, damit negative Auswirkungen von Hochwassern mit ökologisch sinnvollen Massnahmen minimiert werden können. Dabei sollte der Fokus vermehrt auf einer Kombination aus Hochwasserschutz- und Revitalisierungsmassnahmen liegen.

5.5 Berücksichtigung des Klimawandels

Im Hinblick auf die Zunahme von Extremereignissen (siehe Kapitel 1.1) müssen heute vermehrt Überlegungen zum Klimawandel bei der Gefahrenprävention gemacht werden. Das BAFU hat dafür in enger Zusammenarbeit mit Fachpersonen aus Wissenschaft, Verwaltung und Praxis einen Vorgehensvorschlag erarbeitet, wie die Auswirkungen des Klimawandels strukturiert abgeklärt und nachvollziehbar dokumentiert werden können (BAFU, 2023). Dieses Dokument zeigt auf, dass der Klimawandel zu Veränderung der Häufigkeit und dem Ausmass eines Naturgefahrenprozesses führen kann. Zudem sind neue Naturgefahrenprozesse, Prozesswechsel und Prozessverkettungen

möglich, die bisher so nicht aufgetreten sind. Solche neuen Gefährdungsbilder können spezifisch an der Isleten aber auch allgemein auf weiteren Deltas auftreten und zu erheblichen Schäden führen. Die Zusammenstellung aus Tabelle 1 zeigt, dass bei zwölf der gesamthaft 25 betrachteten Deltas aus der Schweiz die Kategorie «künstlich» ausgeschieden wurde. Diese sind, ähnlich wie die Isleten, stark verbaut und die Bäche können ihre ökologische Funktion nicht mehr vollständig erfüllen. Damit die Auswirkungen durch Extremereignissen verringert werden können, müssen auch für diese Deltas Überlegungen gemacht werden, wie naturnahe Hochwasserschutzmassnahmen umgesetzt werden können.

Auch global gibt es viele Ansätze, wie der Klimawandel in der Gefahrenprävention berücksichtigt werden kann. In den Niederlanden wurde beispielsweise zwischen 2006 und 2015 das «Delta Programm» begründet (Wang et al., 2022). Dabei handelt es sich um ein Strategiepaket, das die Niederlande langfristig vor Hochwassern im Hinblick auf den Klimawandel schützen soll (Van Alphen, 2016). Die langfristige Perspektive, mit einem Zeithorizont bis ins Jahr 2100, ermöglicht eine schrittweise Anpassung an den Klimawandel und die damit verbundenen Herausforderungen. Die Unsicherheit in Bezug auf die Entwicklung des Klimas werden in diesem Programm mit vier möglichen Szenarien adressiert. Dabei wurde bereits Mitte der Neunziger Jahre die Massnahme «Raum für Flüsse» eingeführt. Das gesamte Programm gilt als Teil der «nature-based solutions» (NBS), die von der Europäischen Union entwickelt wurde (European Commission, 2015). Die Fokussierung auf naturnahen Hochwasserschutz zeigt, dass solche Massnahmen wichtig sind, um die Herausforderungen des Klimawandels in der Gefahrenprävention zu adressieren. Die Ergebnisse dieser Masterarbeit tragen einen Teil zur konkreten Umsetzung solcher Massnahmen bei. Beispielsweise zeigt die Ausarbeitung von Variante 2, dass bereits ein kleiner Eingriff, ohne Veränderung der Rahmenbedingungen, den Hochwasserschutz wesentlich verbessern kann. Dabei wird nicht nur der Hochwasserschutz verbessert, sondern es gibt auch eine Verbesserung des ökomorphologischen Zustands eines Fließgewässers und damit auch des gesamten Ökosystems des Deltas.

5.6 Kategorisierung Seedeltas und Meeresdeltas

Eine kürzlich veröffentlichte Studie von Fourrier et al. (2024) präsentiert eine Möglichkeit, um das Renaturierungspotential für Seedeltas zu bestimmen. Dafür wird die historische mit der heutigen Morphologie verglichen. Anhand der Gerinneneigung oberhalb des Deltas («upstream slope») und dem Öffnungswinkel («opening angle») kann das untersuchte Delta einer Kategorie zugeordnet werden. Die vier in dieser Studie vorgeschlagenen Kategorien sind: «alluvial fan» (Schwemmkegel), «river-mouth bar» (Flussmündung mit Schotterbänken), «no sediment deposits» (keine Sedimentablagerungen) und «uniform sediment deposit» (gleichförmige Deltaablagerungen; meist ursprüngliche Morphologie nicht mehr sichtbar). Anhand eines Datensatzes von 209 untersuchten Deltas konnte ein Diagramm mit den vier Kategorien entwickelt werden (Abbildung 33). Dies erlaubt eine effiziente Abschätzung des heutigen und der historischen Zustände eines Deltas. Der Vergleich dieser morphologischen Zustände ermöglicht schlussendlich das Renaturierungspotentials eines Seedeltas zu bestimmen.

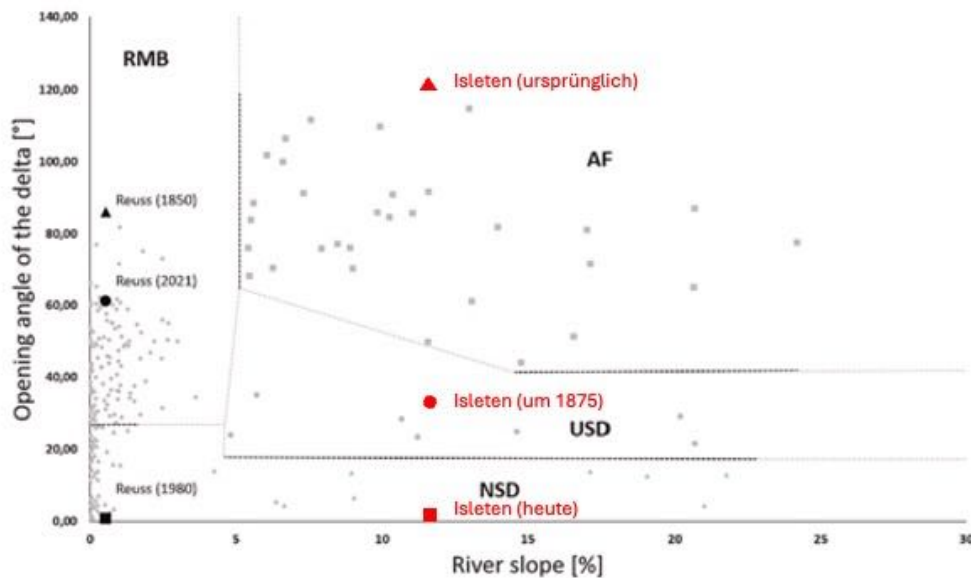


Abbildung 33: Diagramm zur Kategorisierung von Seedeltas. Die verschiedenen Zustände der Isleten sind rot markiert. Angepasst nach Fourier et al. (2024).

Diese Kategorisierung von Fourier et al. (2024) wurde auf die Resultate der vorliegenden Arbeit angewandt und direkt in Abbildung 33 eingefügt. Ursprünglich war der Öffnungswinkel des Isitalerbachs auf das gesamte Delta (circa 120°) ausgeweitet. Durch die Kanalisierung inklusive dem bestehenden Altarm betrug er um 1875 noch ungefähr 30°. Heutzutage beträgt der Öffnungswinkel nur noch 0-1° und deshalb kann das Delta der Kategorie «no sediment deposit» zugeordnet werden. Es ist also erkennbar, dass eine Öffnung des Deltas um circa 20° den ökologischen Wert des Deltas verbessern würde.

Versucht man allgemein Seedeltas mit den ungemein grösseren Meeresdeltas zu vergleichen, müssen folgende Überlegungen beachtet werden. Hsü und Kelts (1985) argumentieren, dass Seen kleinere Modelle von Ozeanen darstellen und so die Prozesse der Deltabildung miteinander verglichen werden können. Für die Kategorisierung von Meeresdeltas wird meist die von Galloway (1975) vorgestellte Klassifikation verwendet. Gemäss dieser können Meeresdeltas in Fluvial-dominierte, Wellen-dominierte oder Gezeiten-dominierte Deltas eingeteilt werden. Offensichtlich spielen Gezeiten für die morphologische Charakterisierung von Seedeltas keine Rolle. Wellen können je nach lokalem Klima einen grossen Einfluss auf ein Seedelta haben. So führt das lokale Windphänomen Föhn an der Isleten immer wieder zu starkem Wellengang und damit zu Erosionerscheinungen am Seeufer (Burkhardt, 2012). Oftmals weisen Seedeltas aber Fluvial-dominierte Charakteristiken auf. Die mitgeführte Sedimentfracht wird durch den Fluss je nach Möglichkeit auf dem Delta abgelagert oder direkt in den See transportiert. Aufgrund dieser morphologischen Gemeinsamkeit können einige Resultate dieser Arbeit auch zur Forschung von Meeresdeltas beitragen. Beispielsweise hat die Entwicklung von Variante 3a und 3b gezeigt, dass eine Deltaöffnung eine effektive Massnahme darstellt, wie der Hochwasserschutz verbessert und gleichzeitig eine Aufwertung der ökologischen Lebensräume erreicht werden kann. Diese Massnahme wurde bereits für ein prominentes Delta im Kanton Uri umgesetzt. 1986 wurde die kanalisierte Reussmündung geöffnet und so die Deltalandschaft aufgewertet (Jäggi und Peter, 1983). Solche Öffnungen von Flussmündungen können auch für Meeresdeltas umgesetzt werden.

5.7 Ausblick

Dieses Kapitel thematisiert die offenen Punkte und neuen Fragen dieser Arbeit und ermöglicht einen Ausblick.

Weltweit gehören Deltas zu den ökonomisch und ökologisch wertvollsten Landschaften (Volker et al., 1993; Nienhuis et al., 2020). Trotzdem fokussieren Revitalisierungsprojekte aquatischer Ökosysteme eher auf Flussabschnitte und stehende Gewässer (Fourrier et al., 2024). In der Schweiz wurden beispielsweise ambitionierte Ziele für die Revitalisierung von Flüssen und Seeufer formuliert (Fourrier et al., 2024). Es fehlen jedoch konkrete Ansätze für die Revitalisierung von Flussmündungen in Seen. Meist werden Revitalisierungen dort erst umgesetzt, wenn im Bereich der Mündung ein grösseres Projekt geplant ist (Fourrier et al., 2024). Die Resultate dieser Arbeit zeigen verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten auf lokaler Ebene für eine Flussmündung. In Zukunft braucht es jedoch noch mehr solche Beispiele, um die wertvollen Deltalandschaften zu schützen. Ein offener Punkt dieser Arbeit bezieht sich auf die fehlende Geschiebefracht in den HEC-RAS Modellierungen. Für die Kalibrierung des Modells konnten die gemessenen Sedimentablagerungen des Hochwassers 2005 anhand von Veränderungen im Höhenmodell simuliert werden. Für die Ausarbeitung der Varianten war dies jedoch nicht möglich. Somit müssen die vorgestellten Varianten nochmals mit einer weiteren hydraulischen Modellierungssoftware geprüft werden.

Weiterhin sollte die Thematik des Schadenspotentials an der Isleten mit einer zukünftigen Entwicklung beachtet werden. Ein höheres Schadenspotential führt zu einem besseren Nutzen-Kosten-Verhältnis der vorgestellten Massnahmen und damit zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit. Für die gesellschaftliche Akzeptanz der entwickelten Massnahmen muss in einem weiteren Schritt eine Akteursanalyse durchgeführt werden. Dabei sollten die wichtigsten Anspruchsgruppen identifiziert und ihre Erwartungen an das Hochwasserschutzprojekt abgeklärt werden.

Eine Fragestellung, die aufgrund der vorgestellten Resultate noch genauer untersucht werden sollte, ist das Zusammenspiel zwischen Transportkapazität des Isitalerbachs, Höhe des Seespiegel und Ausuferungen. Diese komplexe Interaktion erschwert die Rekonstruktion eines Hochwassers durch hydrologische Abflussmodelle (Wyrsh et al., 2022). Ohne geeignete numerische Berechnungsmodelle stellt die Abschätzung von zukünftigen Szenarien und die Umsetzung von entsprechenden Massnahmen eine grosse Herausforderung dar.

6 Schlussfolgerungen

Das Ziel dieser Arbeit war es Hochwasserschutzvarianten für verschiedene Entwicklungsszenarien an der Isleten (UR) zu entwickeln. Dazu wurde als erstes der historische Zustand des Deltas rekonstruiert. Danach wurde der heutige Zustand erfasst und mit ähnlichen Deltas aus der Schweiz verglichen. Aus diesen Grundlagen wurden vier verschiedene Varianten ausgearbeitet. Dabei lag der Fokus auf naturnahen Projekten, um die Vorteile aus kombinierten Hochwasserschutz- und Revitalisierungsmassnahmen zu nutzen (Habersack et al., 2015; Nilsson et al., 2018; Broggi, 2022; Serra-Llobet et al., 2022; Nordbeck et al., 2023).

Folgende Varianten wurden entwickelt. Variante 1 «Seitlicher Ablagerungsraum» stellt zusätzlichen Ablagerungsraum für die anfallende Geschiebemenge zur Verfügung. Variante 2 «Mäandrierender Isitalerbach» sieht eine geschwungene S-Kurve im Bereich des heutigen Fliessgewässers vor. Für Variante 3a «Deltaaufweitung» wird eine bergseitige Verlegung der Kantonsstrasse vorgesehen. Die freigewordene Fläche wird für eine Aufweitung des Deltas genutzt. Variante 3b «Deltaaufweitung Süden» ist eine verkleinerte Version der Deltaaufweitung von Variante 3a.

Die Bewertung der Varianten hat ergeben, dass Variante 2 «Mäandrierender Isitalerbach» am besten abschneidet. Vor allem die starke Verbesserung im Bereich der Natur und Landschaft sprechen für diese Variante. Die naturnahe Form des mäandrierenden Bachs ermöglicht einen fliessenden Übergang des Fliessgewässers zum Uferbereich. Zudem können die Vorlandflächen in den Mäandern als natürliche Puffer zur Hochwasserreduktion genutzt werden. Die Modellierungsergebnisse zeigten, dass das Hochwasser von 2005 mit diesen Massnahmen weniger Schäden verursacht hätte. Diese Modellierungen basieren jedoch nur auf dem hydrologischen Aspekt der Überschwemmung und vernachlässigen den Sedimentanteil. Dieser Einfluss muss in Form von weiteren Studien vertieft abgeklärt werden.

Für die zukünftige Entwicklung an der Isleten muss das Schadenspotential berücksichtigt werden, um allenfalls eine Neueinschätzung des Nutzen-Kosten-Verhältnis pro Variante vorzunehmen. Zudem müssen zukünftige Herausforderungen aufgrund des Klimawandels abgeschätzt und in die Gefahrenprävention an der Isleten miteinbezogen werden.

Die ausgearbeiteten Varianten präsentieren erste Möglichkeiten, wie der Hochwasserschutz an der Isleten mit unterschiedlichen Entwicklungsszenarien verbessert werden kann. Damit leistet die Arbeit einen wichtigen Beitrag zur Debatte über die Entwicklung an der Isleten und rückt den Hochwasserschutz sowie die Renaturierung des Flussdeltas in den Mittelpunkt.

Literaturverzeichnis

- Alfieri, L., Burek, P., Feyen, L., Forzieri, G., 2015. Global warming increases the frequency of river floods in Europe. *Hydrol Earth Syst Sci* 19, 2247–2260. <https://doi.org/10.5194/hess-19-2247-2015>
- Amt für Raumentwicklung Kanton Uri, 2022. Ziele und Anforderungen des Kantons an die Entwicklung der Isleten. Altdorf.
- Amt für Raumentwicklung Kanton Uri, 2021. KE.1204.05 Dynamitfabrik Isleten; Fabrikgebäude “Nobel”. Kantonales Schutzinventar.
- Amt für Staatsarchiv, 2023. Staatsarchiv Uri - Online-Archivkatalog [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.staur.ch/RECHERCHE/Online-Archivkatalog/index.php/> (Zugriff 10.29.24).
- Amt für Tiefbau - Kanton Uri, 2005. Hochwasser Isleten 2005.
- Auerswald, K., Moyle, P., Paul Seibert, S., Geist, J., 2019. HESS Opinions: Socio-economic and ecological trade-offs of flood management - benefits of a transdisciplinary approach. *Hydrol Earth Syst Sci* 23, 1035–1044. <https://doi.org/10.5194/hess-23-1035-2019>
- BAFU, 2023. Umgang mit dem Klimawandel im Bereich gravitative Naturgefahren in der Schweiz. Bern.
- BAFU, 2020. Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz - Bericht zum Stand der Umsetzung des Integralen Risikomanagements von Naturgefahren. Bern.
- BAFU, 2019. Handbuch für die Partizipation bei Wasserbauprojekten. Betroffene zu Beteiligten machen. Umwelt-Wissen 1915.
- BAFU, 2017a. Gewässer aufwerten - für Mensch und Natur. Sieben Beispiele aus der ganzen Schweiz zeigen, wie Kantone und Gemeinden bei Revitalisierungsprojekten vorgehen. Bern.
- BAFU, 2017b. BLN 1606 Vierwaldstättersee mit Kernwald, Bürgenstock und Rigi. Bern.
- BAFU, 2016. Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz - Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats 12.4271 Darbellay 14.12.2012. Bern.
- BAFU, Bundesamt für Kommunikation BAKOM, Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Schweizerische Bau- Planungs- und Umweltdirektoren-Konferenz (BPUK), Schweizerischer Städteverband (SSV), Schweizerischer Gemeindeverband, 2010. Leitfaden Mobilfunk für Gemeinden und Städte. Bern.
- Basler & Hofmann AG, 2021. Hochwasserschutz Lauerzersee: Überarbeitung Bewertung Variantenstudium - Technischer Bericht ergänzend zur Machbarkeitsstudie. Schwyz.
- Basler & Hofmann AG, Bigler AG, 2019. Integrales Aufwertprojekt Eyreussli - Technischer Bericht zum Vorprojekt.
- Boes, R., 2022. Hochwasserschutz - Vorlesungsmanuskript. ETH Zürich - Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW), Zürich.
- Broggi, M.F., 2022. Die Inn-Wiederbelebung im Oberengading - Ein Leuchtturmprojekt. *Aqua & Gas* 4, 46–51.
- Buildigo AG, 2024. Abbrucharbeiten Kosten: Alles was Sie wissen müssen [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.buildigo.ch/de/article/abbrucharbeiten-kosten> (Zugriff 12.9.24).
- Bundesamt für Raumentwicklung, Bundesamt für Wasser und Geologie, Bundesamt für Umwelt, W. und L., 2005. Empfehlung - Raumplanung und Naturgefahren. Bern.

- Bundesamt für Statistik, Swisstopo, 2024. Eidg. Gebäude- und Wohnungsregister: Gebäudestatus [WWW Dokument]. Online. URL https://api3.geo.admin.ch/rest/services/ech/MapServer/ch.bfs.gebaeude_wohnungs_register/502240422_0/extendedHtmlPopup?lang=de (Zugriff 12.28.24).
- Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2009. Strukturen der Fliessgewässer in der Schweiz. Zustand von Sohle, Ufer und Umland (Ökomorphologie); Ergebnisse der ökomorphologischen Kartierung. Bern.
- Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, 1991. Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer. (Gewässerschutzgesetz, GSchG). Schweiz.
- Burkhardt, H., 2012. Dynamit am Gotthard - Sprengstoff in der Schweiz. Eine Geschichte der Sprengstoffindustrie in der Schweiz am Beispiel von Isleten am Urnersee., 2. ed. hier + jetzt, Baden.
- BWG, 2001. Hochwasserschutz an Fliessgewässern - Wegleitung des BWG. Bern.
- Content Team localsearch, 2019. Abbrucharbeiten: Kosten & Preise in der CH [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.local.ch/de/c/bh/bau-handwerk/aussenarbeiten/abbrucharbeiten-kosten-schweiz> (Zugriff 12.9.24).
- Devenish, N., 2017. Am Sundbach rumort es wieder [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.plattformj.ch/artikel/152048/> (Zugriff 12.5.24).
- Dottori, F., Mentaschi, L., Bianchi, A., Alfieri, L., Feyen, L., 2023. Cost-effective adaptation strategies to rising river flood risk in Europe. *Nat Clim Chang* 13, 196–202. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01540-0>
- DUWAPLAN GmbH, 2005. Massnahmenvorschläge nach dem Hochwasserereignis vom 22./23. Aug. 2005. Altdorf.
- Ernst, B., 2024. Natur und Landschaft der Region Basel - Auenwälder [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.regionatur.ch/Themen/Naturnahe-Lebensraeume/Auenwaelder> (Zugriff 11.21.24).
- European Commission, 2015. Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities: Final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities': (full version). Brussels. <https://doi.org/10.2777/765301>
- Fourrier, A., Launay, M., André, S., De Cesare, G., 2024. Morphological processes and potential for lacustrine delta restoration. *Ecol Eng* 199. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107149>
- Galloway, W.E., 1975. Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional system. Austin.
- Grüne Uri, 2024. Initiative "Isleten für alle" [WWW Dokument]. Online. URL <https://gruene-uri.ch/isleten-initiative#nutzung> (Zugriff 4.28.24).
- Guzelj, M., Hauer, C., Egger, G., 2020. The third dimension in river restoration: how anthropogenic disturbance changes boundary conditions for ecological mitigation. *Sci Rep* 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69796-0>
- Habersack, H., Schober, B., Hauer, C., 2015. Floodplain evaluation matrix (FEM): An interdisciplinary method for evaluating river floodplains in the context of integrated flood risk management. *Natural Hazards* 75, 5–32. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0842-4>
- Hepperle, E., 2011. Rechtliche Verankerung des integralen Risikomanagements beim Schutz vor Naturgefahren. Rechtsgutachten. Bern.
- Hsü, K.J., Kelts, K., 1985. Swiss Lakes as a Geological Laboratory Part I: Turbidity Currents. *Naturwissenschaften* 72, 315–321.

- Hunziker Zarn & Partner AG, A. Kälin AG, 2009. Hochwasserschutz Andermatt - Technischer Bericht.
- Hunzinger, L., Rohde, S., Fäh, R., Requena, P., 2008. Aufweitungen [WWW Dokument]. Online. URL https://www.wsl.ch/land/products/rhone-thur/aufweitungen/aufw_p3.php (Zugriff 12.23.24).
- Hydrologischer Atlas der Schweiz, 2015. Daten und Analyseplattform [WWW Dokument]. URL [https://hydromaps.ch/#de/12/46.8844/8.5278/bl_hds--a06_a06v1_0\\$undefi-ned+0/191458](https://hydromaps.ch/#de/12/46.8844/8.5278/bl_hds--a06_a06v1_0$undefi-ned+0/191458) (Zugriff 9.9.24).
- Isen AG, 2024a. Factsheet Projektidee Isleten 2024.
- Isen AG, 2024b. Isen AG – Willkommen bei der Isen AG [WWW Dokument]. Online. URL <https://isenag.ch/> (Zugriff 1.17.25).
- Jäggi, M., Peter, W., 1983. VAW Mitteilung Nr. 68: Naturnahe Gestaltung einer Flussmündung - Hydraulische Modelluntersuchungen für das Projekt eines Reussdeltas am Urnersee. Zürich.
- Kanton Uri, 2024a. Entwicklung Isleten [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.ur.ch/raumumwelttb/5588> (Zugriff 11.25.24).
- Kanton Uri, 2024b. Eidgenössische und kantonale Abstimmungen [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.ur.ch/abstimmungen/termine/39667> (Zugriff 11.25.24).
- Kanton Uri, 2024c. Abstimmungsvorlage Kantonale Volksinitiative «Isleten für alle».
- Kanton Uri, 2020. Richtlinien zur Ausarbeitung und Umsetzung von Gefahrenkarten und Gefahrenzonenplänen. Altdorf.
- Kanton Uri, 2015. Hochwasser: Uri ist besser gewappnet denn je [WWW Dokument]. URL <https://www.ur.ch/newsarchiv/27804> (Zugriff 8.21.24).
- Kimutai, J., Vautard, R., Tolasz, R., Clarke, B., Haslinger, K., Stephens, E., Cloke, H., Raju, E., Baumgart, N., Chojnicki, B., Otto, F., 2024. Climate change and high exposure increased costs and disruption to lives and livelihoods from flooding associated with exceptionally heavy rainfall in Central Europe.
- Lea, D., Yeonsu, K., Hyunuk, A., 2019. Case study of HEC-RAS 1D-2D coupling simulation: 2002 Baeksan flood event in Korea. Water (Switzerland) 11. <https://doi.org/10.3390/w11102048>
- Lisag AG, 2024. geo.ur [WWW Dokument]. Online. URL <https://geo.ur.ch/?center=962589%2C5922132&zoom=12> (Zugriff 11.5.24).
- Lisag AG, 2022. geo.ur [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.geo.ur.ch/?base-map=PKGRAU¢er=956669%2C5928745&layers=GK%20Prozess%20Hochwasser&opacity=1&rotation=0&visibility=true&zoom=17> (Zugriff 4.21.24).
- Lisag AG, 2018. geo.ur [WWW Dokument]. Online. URL <https://geo.ur.ch/?base-map=AVGRAU¢er=956707%2C5928821&layers=Gemeindliche%20Nutzungsplanung&opacity=0.4&visibility=true&zoom=16> (Zugriff 12.5.24).
- Löschner, L., Nordbeck, R., 2020. Switzerland's transition from flood defence to flood-adapted land use – A policy coordination perspective. Land use policy 95, 103873. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2019.02.032>
- Müller, M., Billeter, P., Mende, M., Zahno, M., Fahrni, A., 2016. Modern flood protection and rehabilitation concepts at pre-alpine alluvial rivers. Lucerne.
- Nakamura, F., Ishiyama, N., Sueyoshi, M., Negishi, J.N., Akasaka, T., 2014. The significance of meander restoration for the hydrogeomorphology and recovery of wetland organisms in the Kushiro River, a lowland river in Japan. Restor Ecol 22, 544–554. <https://doi.org/10.1111/rec.12101>

- Nienhuis, J.H., Ashton, A.D., Edmonds, D.A., Hoitink, A.J.F., Kettner, A.J., Rowland, J.C., Törnqvist, T.E., 2020. Global-scale human impact on delta morphology has led to net land area gain. *Nature* 577, 514–518. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1905-9>
- Nilsson, C., Riis, T., Sarneel, J.M., Svavarsdóttir, K., 2018. Ecological Restoration as a Means of Managing Inland Flood Hazards. *Bioscience*. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix148>
- Nordbeck, R., Seher, W., Grüneis, H., Herrnegger, M., Junger, L., 2023. Conflicting and complementary policy goals as sectoral integration challenge: an analysis of sectoral interplay in flood risk management. *Policy Sci* 56, 595–612. <https://doi.org/10.1007/s11077-023-09503-8>
- Ofri Redaktion, 2023. Abriss - Kosten und Preise in der Schweiz [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.ofri.ch/kosten/abris> (Zugriff 12.9.24).
- Opperman, J.J., Moyle, P.B., Larsen, E.W., Florsheim, J.L., Manfree, A.D., 2017. *Floodplains: Processes and Management for Ecosystem Services*, 1st ed. University of California Press, Oakland.
- Papaioannou, G., Vasiliades, L., Loukas, A., Aronica, G.T., 2017. Probabilistic flood inundation mapping at ungauged streams due to roughness coefficient uncertainty in hydraulic modelling. *Advances in Geosciences* 44, 23–34. <https://doi.org/10.5194/adgeo-44-23-2017>
- Rudolf-Miklau, F., Pichler, A., Suda, J., Rimböck, A., Höhne, R., Mazzorana, B., Papež, J., 2014. *Beständigkeit von Schutzsystemen gegen Alpine Naturgefahren*. Wien.
- Schälchli, U., Kirchhofer, A., 2012. *Sanierung Geschiebehaushalt Strategische Planung*. Bern.
- Schweizerische Sprengstoff AG Cheddite, 2023. Cheddite - Geschichte [WWW Dokument]. URL <https://www.cheddite.ch/geschichte3> (Zugriff 4.9.24).
- Serra-Llobet, A., Jähnig, S.C., Geist, J., Kondolf, G.M., Damm, C., Scholz, M., Lund, J., Opperman, J.J., Yarnell, S.M., Pawley, A., Shader, E., Cain, J., Zingraff-Hamed, A., Grantham, T.E., Eisenstein, W., Schmitt, R., 2022. Restoring Rivers and Floodplains for Habitat and Flood Risk Reduction: Experiences in Multi-Benefit Floodplain Management From California and Germany. *Front Environ Sci* 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.778568>
- SRF, 2024. Initiative abgelehnt: Stimmvolk stellt sich hinter Sawiris-Pläne - News - SRF [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.srf.ch/news/schweiz/abstimmungen-24-november-2024/abstimmung-kanton-uri-initiative-abgelehnt-stimmvolk-stellt-sich-hinter-sawiris-plaene> (Zugriff 1.17.25).
- Staatsarchiv Uri, 2024. Archivkatalog [WWW Dokument]. Online. URL <https://scope.ur.ch/scopeQuery/suchinfo.aspx> (Zugriff 10.29.24).
- Stürzinger, T., Fuchs, L., Nagel, N., Haas, J., Bissig, S., 2022. *Regionaler Hochwasserschutz Bünztal - Analyse und kritische Beurteilung eines Hochwasserschutzprojekts*. Zürich.
- Swiss Trees GmbH, 2024. Was kostet eigentlich unser Wald? Und wer bezahlt? [WWW Dokument]. Online. URL <https://swiss-trees.ch/was-kostet-eigentlich-unser-wald-und-wer-bezahlt/> (Zugriff 12.6.24).
- Swisstopo, 2024a. Bundesamt für Landestopographie [WWW Dokument]. Online. URL <https://map.geo.admin.ch/> (Zugriff 9.4.24).
- Swisstopo, 2024b. Bundesamt für Landestopographie [WWW Dokument]. Online. URL https://map.geo.admin.ch/#/?map?lang=de¢er=2687975.98,1197133.49&z=9.595&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe&to-pic=ech&swissearch=%C3%96komorphologie+F+-+Abschnitte&layers=ch.swisstopo.zeitreihen@year=1864,f;ch.bfs.gebaeude_wohnungs_register,f;ch.bav.haltestellen-oef,f;ch.swisstopo.swisstlm3d-wanderwege,f;ch.astra.wanderland-sperrungen_umleitungen,f;ch.bafu.oekomorphologie-f_abschnitte (Zugriff 9.2.24).

- Swisstopo, 2024c. Bundesamt für Landestopographie [WWW Dokument]. Online. URL <https://map.geo.admin.ch/#/map?lang=de¢er=2687700.82,1197186.16&z=7.345&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe&topic=ech&layers=ch.swisstopo.zeitreihen@year=1864;ch.swisstopo.swissimage-product@year=1946&featureInfo=default> (Zugriff 10.29.24).
- Swisstopo, 2024d. swissALTI3D [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.swisstopo.admin.ch/de/hoeihenmodell-swissalti3d> (Zugriff 11.5.24).
- Swisstopo, 2024e. swissBATHY3D [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.swisstopo.admin.ch/de/hoeihenmodell-swissbathy3d> (Zugriff 11.5.24).
- Swisstopo, 2024f. Dufourkarte [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.swisstopo.admin.ch/de/dufourkarte> (Zugriff 11.20.24).
- Tabari, H., 2020. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Sci Rep* 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>
- US Army Corps of Engineers, 2024a. HEC-RAS [WWW Dokument]. URL <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/> (Zugriff 4.28.24).
- US Army Corps of Engineers, 2024b. HEC-RAS Downloads [WWW Dokument]. Online. URL <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/download.aspx> (Zugriff 6.2.24).
- US Army Corps of Engineers, 2024c. HEC-RAS River Analysis System Model Accuracy, Stability, And Sensitivity.
- US Army Corps of Engineers, 2024d. HEC-RAS River Analysis System Terrain Modification.
- Van Alphen, J., 2016. The Delta Programme and updated flood risk management policies in the Netherlands, in: *Journal of Flood Risk Management*. Blackwell Publishing Inc., pp. 310–319. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12183>
- Volker, A., Boekelman, R.H., de Haas, A.W., van Koppen, P.C., Mulder, M.A.A., Ogink, H.J.M., Schiereck, G.J., Minns, A.W., Verkade, G.J., Agema, J.F., 1993. *Hydrology and Water - Management of Deltaic Areas*. Gouda.
- Walker, J., Truttman, A., 2024. *Erschliessung Intschiwald - Technischer Bericht*. Altdorf.
- Wang, L., Cui, S., Li, Y., Huang, H., Manandhar, B., Nitivattananon, V., Fang, X., Huang, W., 2022. A review of the flood management: from flood control to flood resilience. *Heliyon* 8. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11763>
- Wartusch, J., 2023. *Erstellung einer Übungseinheit zur Anwendung von HEC-RAS 2D*. Darmstadt.
- Weitbrecht, V., 2024. *Vorlesung River Restoration: River Morphology and changes due to river widening*. ETH Zürich - Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW), Zürich.
- Willi, H.-P., Eberli, J., 2006. Differenzierter Hochwasserschutz an der Engelberger Aa. *Tec21* 132, 4–7. <https://doi.org/10.5169/seals-107984>
- Willi, T., Vogel, P., 2012. 25/12 Bericht und Antrag betreffend Neubau Brücke Rathausen Bruttokredit Fr. 3'600'000.00.
- Wyrsh, F., Hürlimann, T., Greber, C., 2022. *Isitalerbach, Isleten - Überarbeitung der Gefahrenkarte Hochwasser*. Zürich.

Anhang

Anhang A: Berechnungen der heutigen Gerinnegeometrie

A1 Gerinnequerschnitte

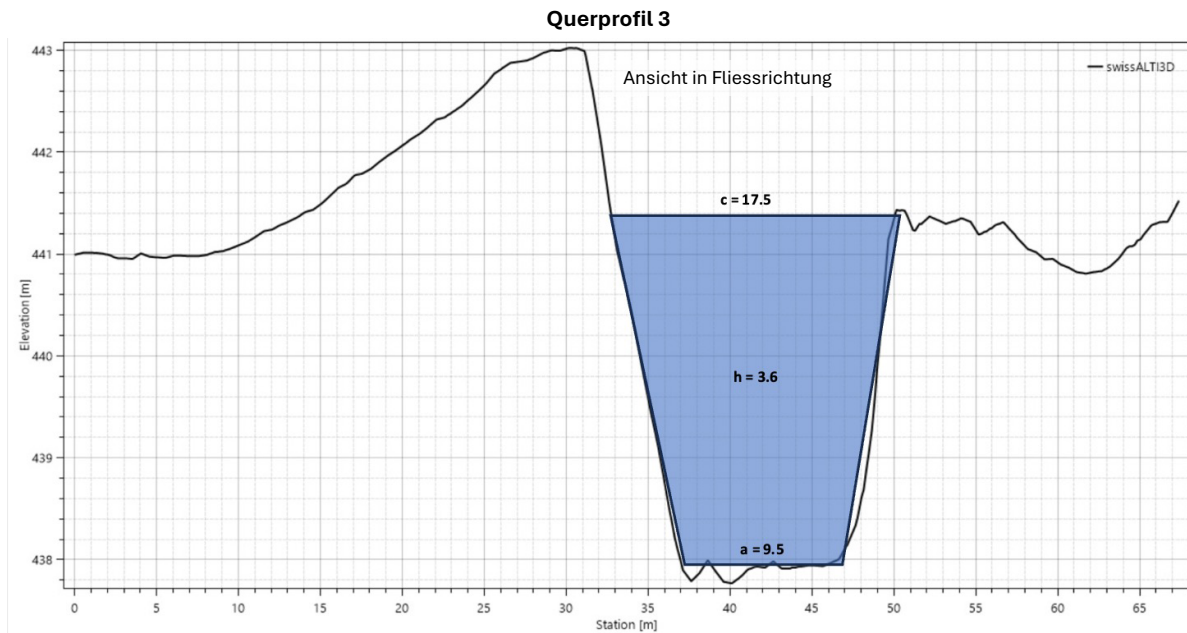


Abbildung 34: Annäherung des Trapezes für Querprofil 3 zur Berechnung des Gerinnequerschnitts.

Fläche des Gerinnequerschnitts QP3:

$$A = \frac{1}{2} (a + c) * h = \frac{1}{2} (9.5 + 17.5) * 3.6 = 48.6 \text{ m}^2$$

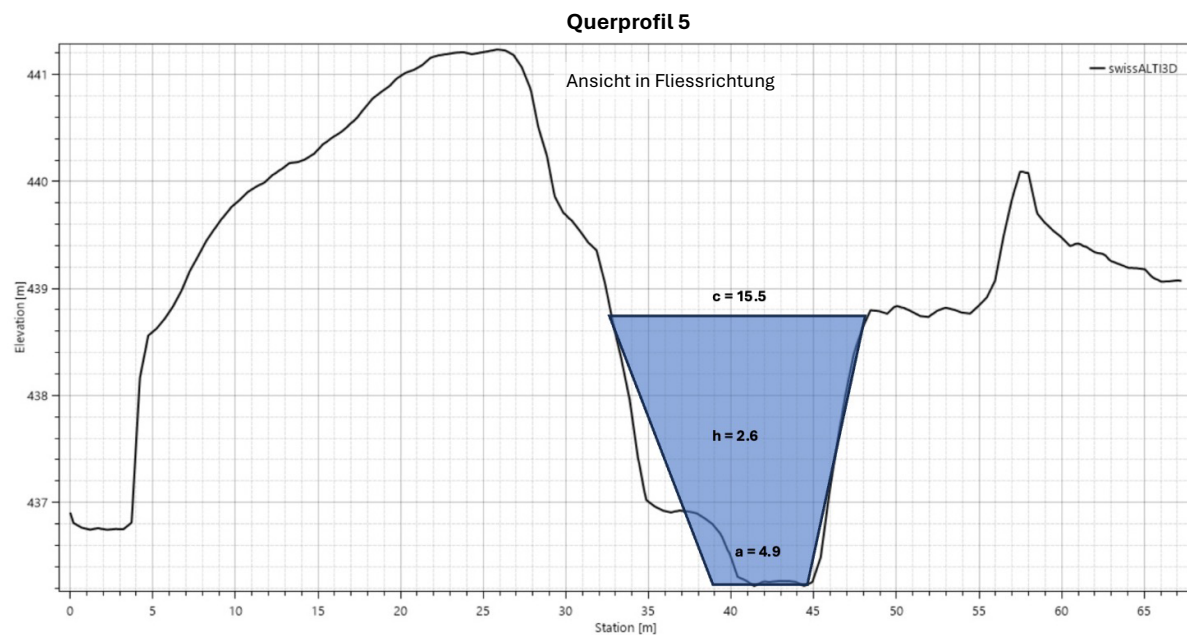


Abbildung 35: Annäherung des Trapezes für Querprofil 5 zur Berechnung des Gerinnequerschnitts.

Fläche des Gerinnequerschnitts QP5:

$$A = \frac{1}{2} (a + c) * h = \frac{1}{2} (4.9 + 15.5) * 2.6 = 26.52 \text{ m}^2$$

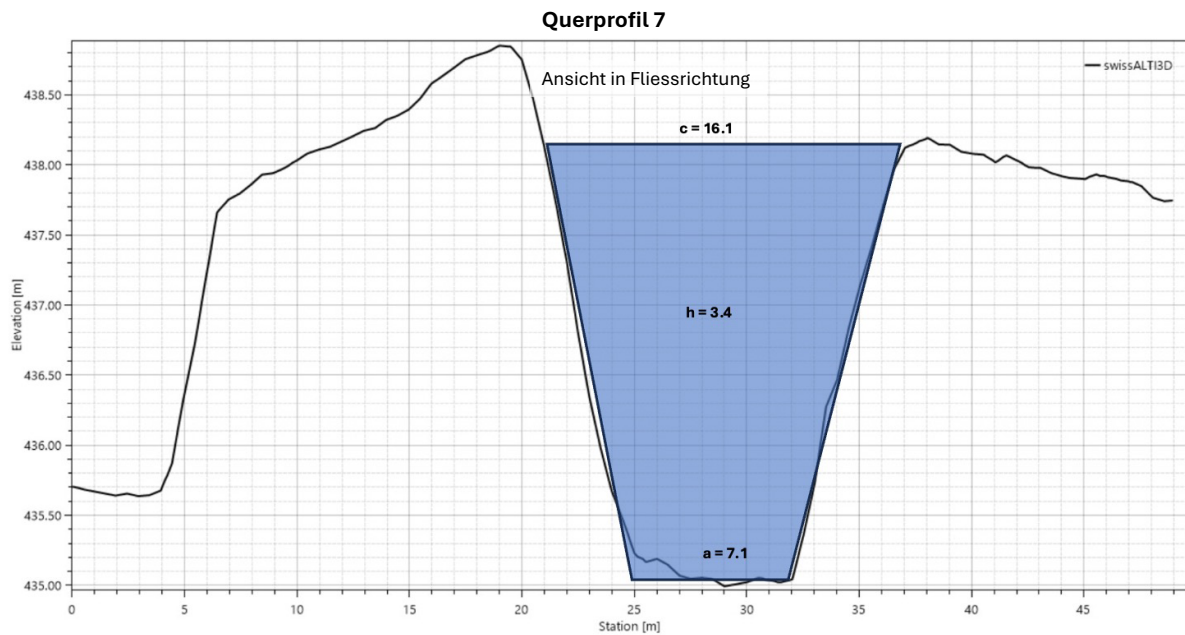


Abbildung 36: Annäherung des Trapezes für Querprofil 5 zur Berechnung des Gerinnequerschnitts.

Fläche des Gerinnequerschnitts QP7:

$$A = \frac{1}{2} (a + c) * h = \frac{1}{2} (7.1 + 16.1) * 3.4 = 39.44 \text{ m}^2$$

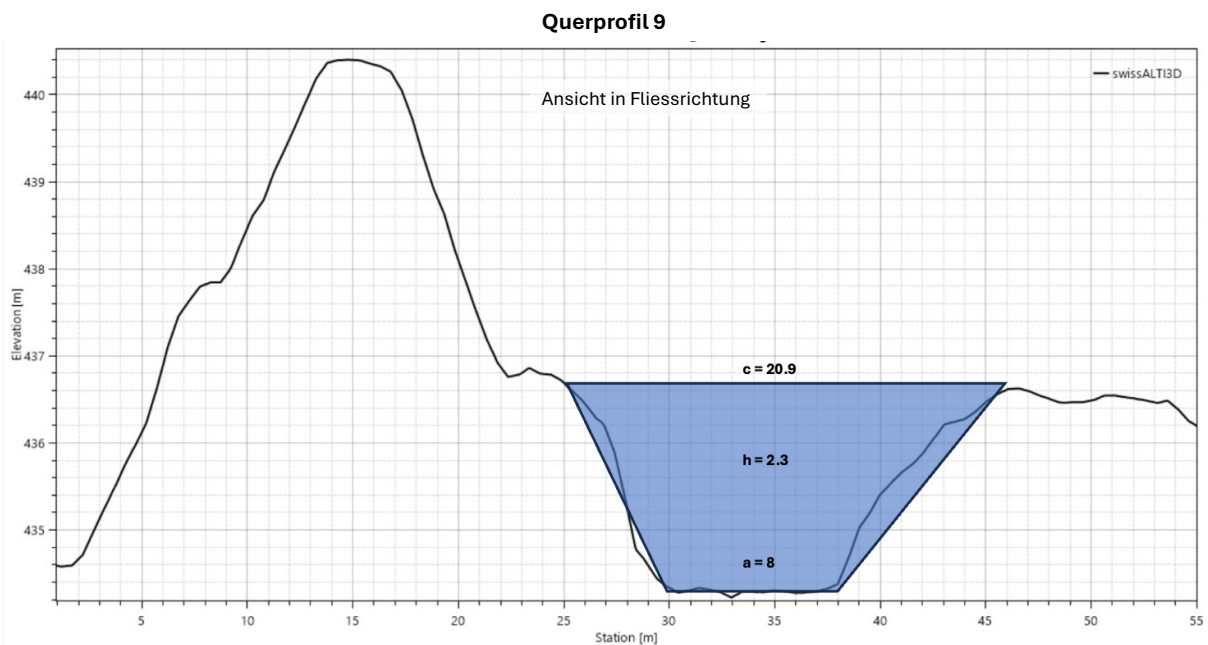


Abbildung 37: Annäherung des Trapezes für Querprofil 5 zur Berechnung des Gerinnequerschnitts.

Fläche des Gerinnequerschnitts QP9:

$$A = \frac{1}{2} (a + c) * h = \frac{1}{2} (8 + 20.9) * 2.3 = 33.235 \text{ m}^2$$

Aus den obenstehenden Formeln wurden folgende Werte berechnet.

Durchschnittlicher Gerinnequerschnitt:

$$A = \frac{48.6 \text{ m}^2 + 39.44 \text{ m}^2 + 26.52 \text{ m}^2 + 33.235 \text{ m}^2}{4} = 36.95 \text{ m}^2$$

Volumen der Gerinneschale von Tobelausgang bis See:

$$V = 321 \text{ m} * 36.95 \text{ m}^2 = 11'860.95 \text{ m}^3$$

(gemäss Wyrsh et al.: 9'000-14'000 m³)

Durchschnittliche Gerinnehöhe:

$$h = \frac{3.6 \text{ m} + 3.4 \text{ m} + 2.6 \text{ m} + 2.3 \text{ m}}{4} = 2.975 \text{ m}$$

Durchschnittliche Gerinnebreite bei Vollabfluss:

$$b = \frac{17.5 \text{ m} + 16.1 \text{ m} + 15.5 \text{ m} + 20.9 \text{ m}}{4} = 17.5 \text{ m}$$

Durchschnittliche Gerinnebreite:

$$b = \frac{\frac{9.5 \text{ m} + 17.5 \text{ m}}{2} + \frac{4.9 \text{ m} + 15.5 \text{ m}}{2} + \frac{7.1 \text{ m} + 16.1 \text{ m}}{2} + \frac{8 \text{ m} + 20.9 \text{ m}}{2}}{4} = 12.44 \text{ m}$$

Durchschnittliche Gerinnebreite an der Bachsohle

$$b = \frac{9.5 \text{ m} + 4.9 \text{ m} + 7.1 \text{ m} + 8 \text{ m}}{4} = 7.375 \text{ m}$$

A2 Längenprofil Gerinnesohle

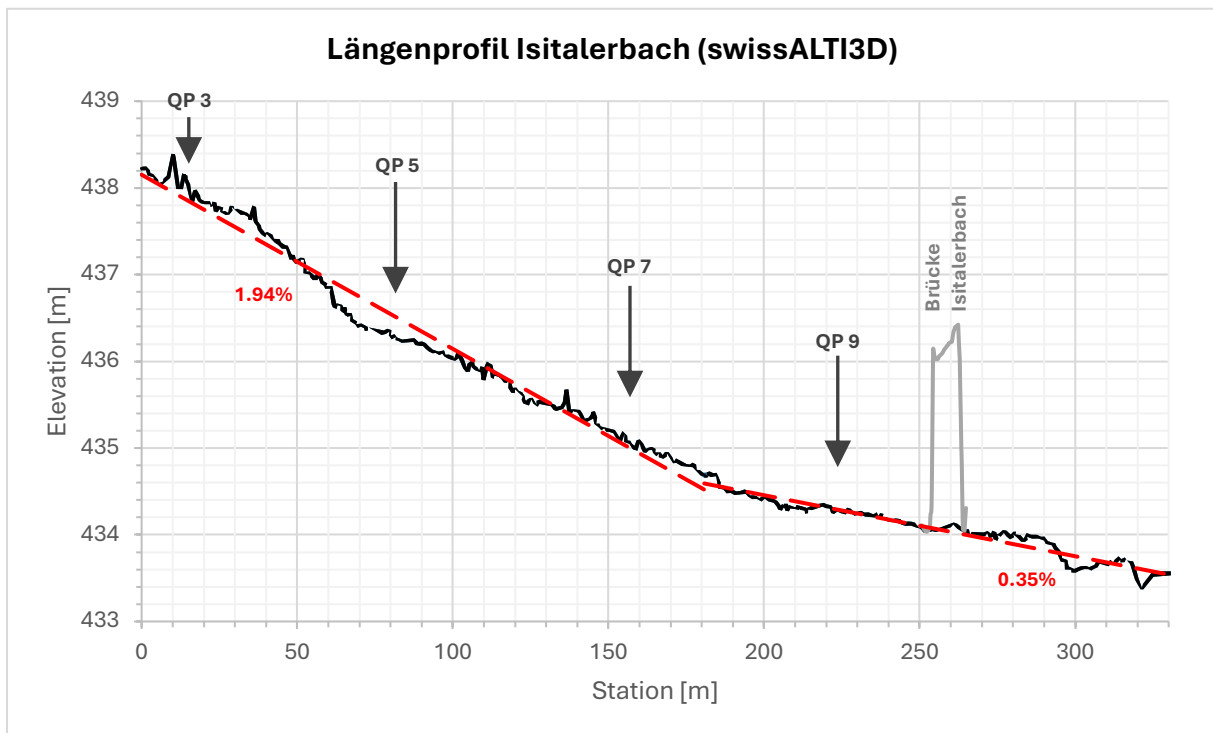


Abbildung 38: Längenprofil der Bachsohle des Isitalerbachs aus swissALTI3D.

Gefälle Isitalerbach (Isleten gesamt):

$$\frac{\text{Höhendifferenz}}{\text{Horizontale Strecke}} * 100 = \frac{438.225 - 433.555}{330.71} * 100 = 1.41\% \rightarrow 0.81^\circ$$

Gefälle Isitalerbach (Abschnitt 1):

$$\frac{\text{Höhendifferenz}}{\text{Horizontale Strecke}} * 100 = \frac{438.225 - 434.725}{180.813} * 100 = 1.94\% \rightarrow 1.11^\circ$$

Gefälle Isitalerbach (Abschnitt 2):

$$\frac{\text{Höhendifferenz}}{\text{Horizontale Strecke}} * 100 = \frac{434.725 - 433.555}{330.71} * 100 = 0.35\% \rightarrow 0.201^\circ$$

A3 Neigung linksufrige Böschung

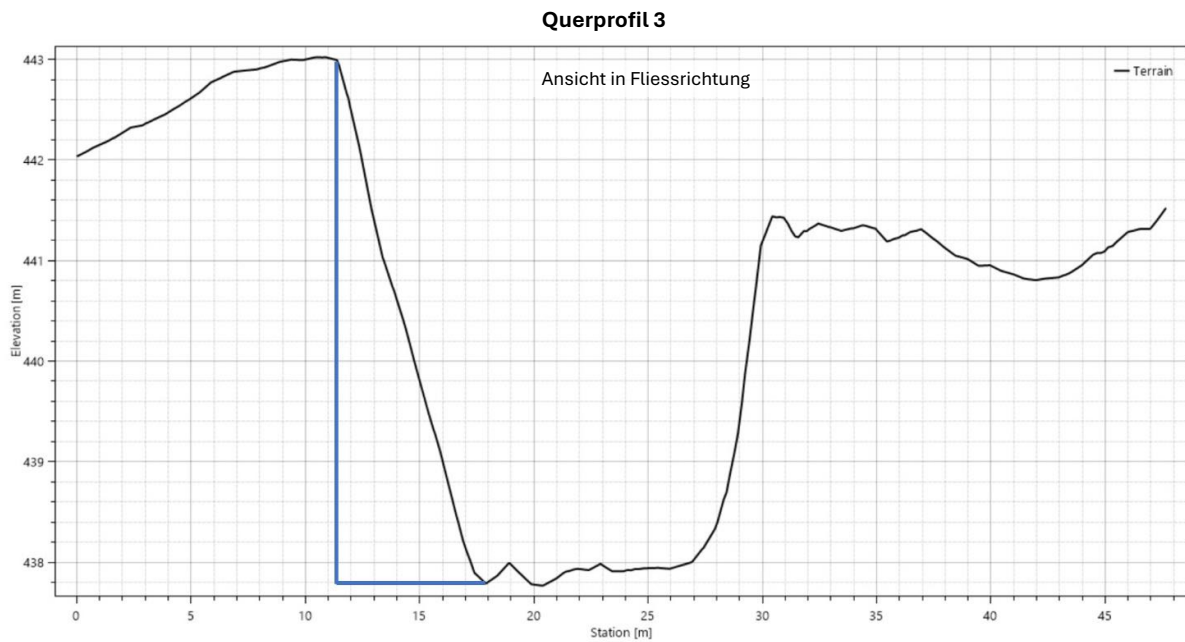


Abbildung 39: Neigung der Böschung für Querprofil 3; die blaue Linie stellt die gemessene Distanz dar.

Die Neigung wurde jeweils in Prozent (%) und in Grad (°) berechnet:

$$\text{Neigung (\%)} = \frac{\text{Höhendifferenz}}{\text{Horizontale Strecke}} * 100 = \frac{5.2 \text{ m}}{6.5 \text{ m}} * 100 = 80\%$$

$$\text{Neigung (°)} = \tan^{-1} \frac{\text{Höhendifferenz}}{\text{Horizontale Strecke}} = \tan^{-1} \frac{5.2 \text{ m}}{6.5 \text{ m}} = 38.66^\circ$$

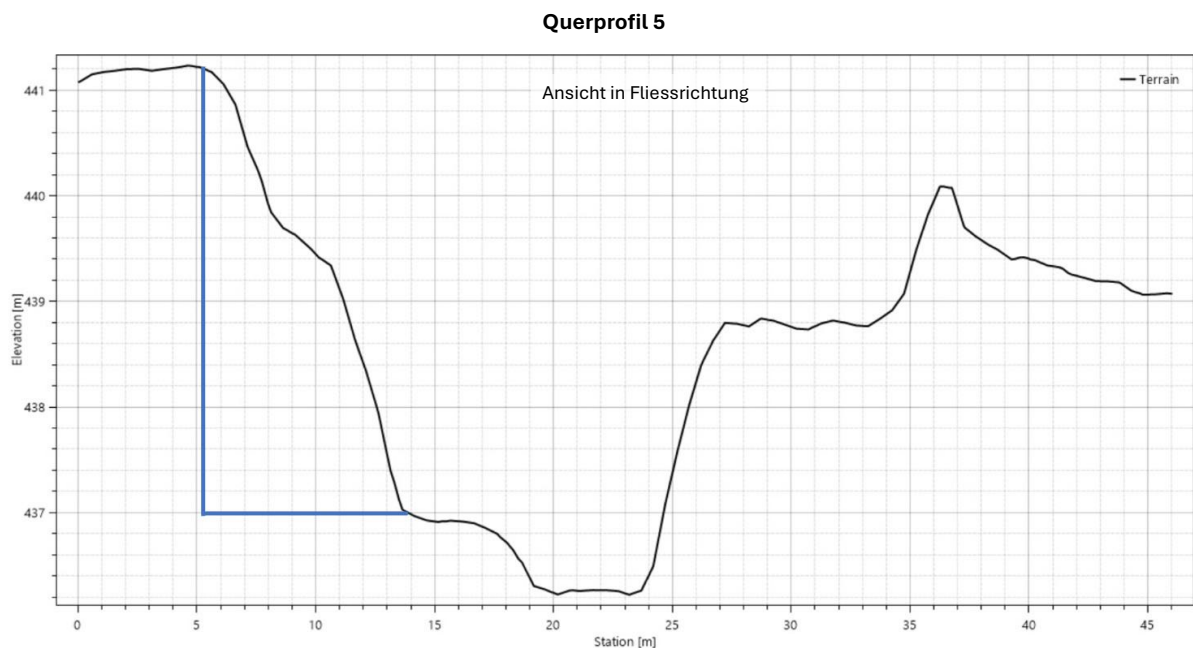


Abbildung 40: Neigung der Böschung für Querprofil 5; die blaue Linie stellt die gemessene Distanz dar.

$$\text{Neigung } (\%) = \frac{\text{Höhendifferenz}}{\text{Horizontale Strecke}} * 100 = \frac{4.2 \text{ m}}{8.8 \text{ m}} * 100 = 44.73\%$$

$$\text{Neigung } (^\circ) = \tan^{-1} \frac{\text{Höhendifferenz}}{\text{Horizontale Strecke}} = \tan^{-1} \frac{4.2 \text{ m}}{8.8 \text{ m}} = 25.51^\circ$$

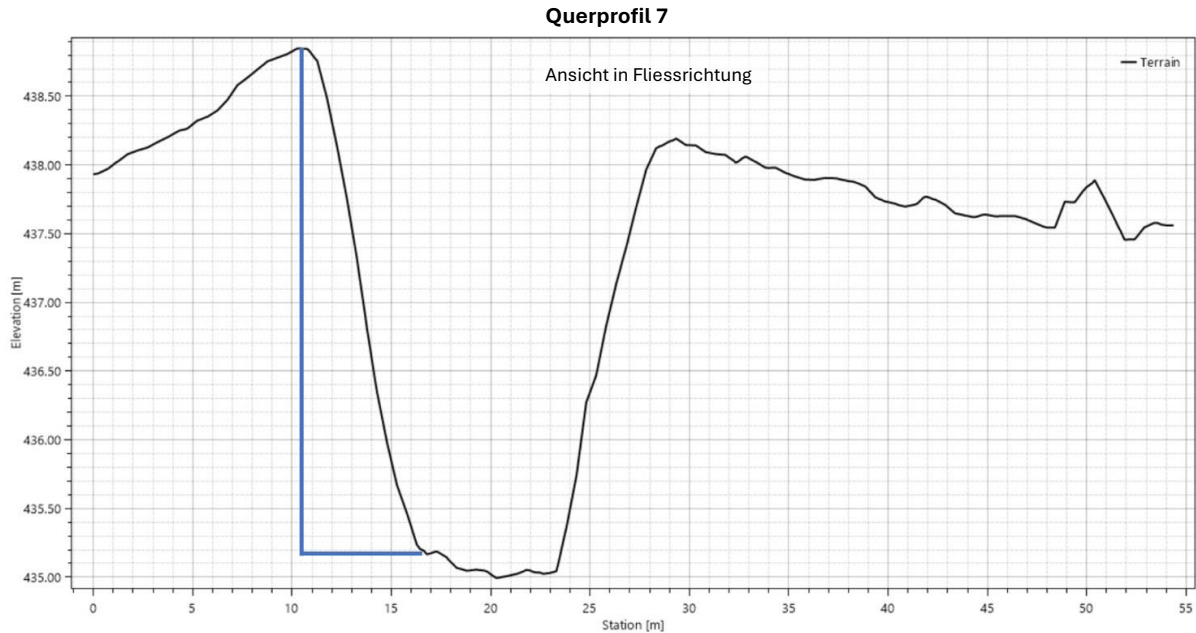


Abbildung 41: Neigung der Böschung für Querprofil 7; die blaue Linie stellt die gemessene Distanz dar.

$$\text{Neigung } (\%) = \frac{\text{Höhendifferenz}}{\text{Horizontale Strecke}} * 100 = \frac{3.65 \text{ m}}{6 \text{ m}} * 100 = 60.83\%$$

$$\text{Neigung } (^\circ) = \tan^{-1} \frac{\text{Höhendifferenz}}{\text{Horizontale Strecke}} = \tan^{-1} \frac{3.65 \text{ m}}{6 \text{ m}} = 31.31^\circ$$

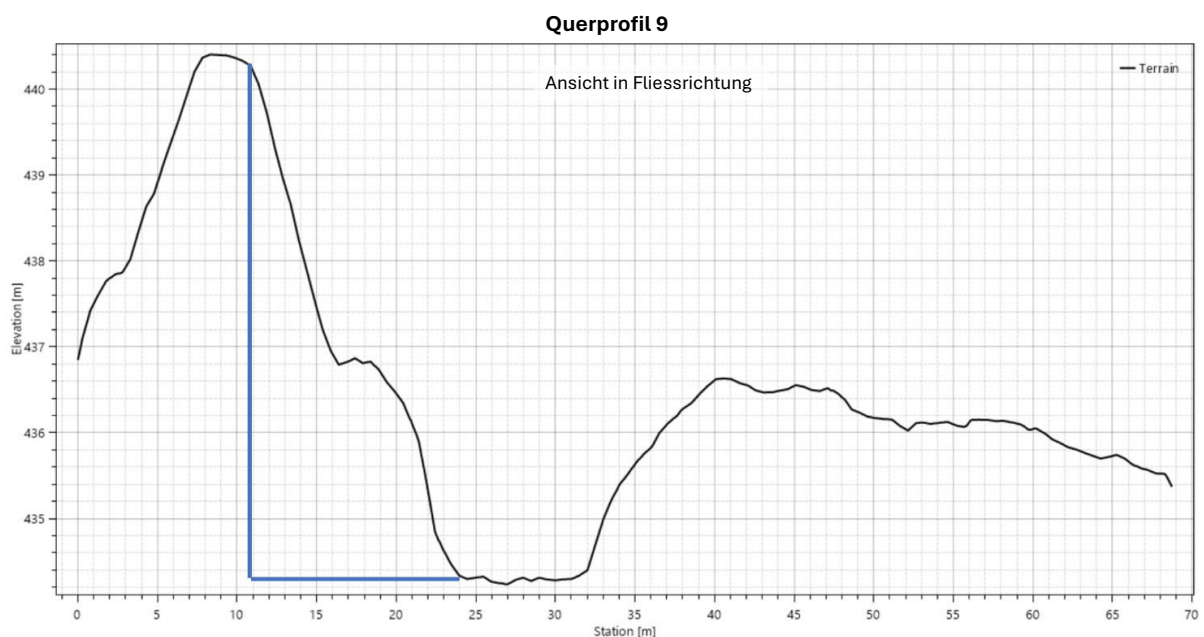


Abbildung 42: Neigung der Böschung für Querprofil 9; die blaue Linie stellt die gemessene Distanz dar.

$$\mathbf{Neigung} \text{ (}\%) = \frac{\text{Höhendifferenz}}{\text{Horizontale Strecke}} * 100 = \frac{6 \text{ m}}{13 \text{ m}} * 100 = 46.15\%$$

$$\mathbf{Neigung} \text{ (}^\circ) = \tan^{-1} \frac{\text{Höhendifferenz}}{\text{Horizontale Strecke}} = \tan^{-1} \frac{6 \text{ m}}{13 \text{ m}} = 24.78^\circ$$

Anhang B: Zeitreise – Kartenwerke Isleten aus Swisstopo



Abbildung 43: Kartenausschnitt der Isleten aus der Dufourkarte von 1864. Quelle: (Swisstopo, 2024f).

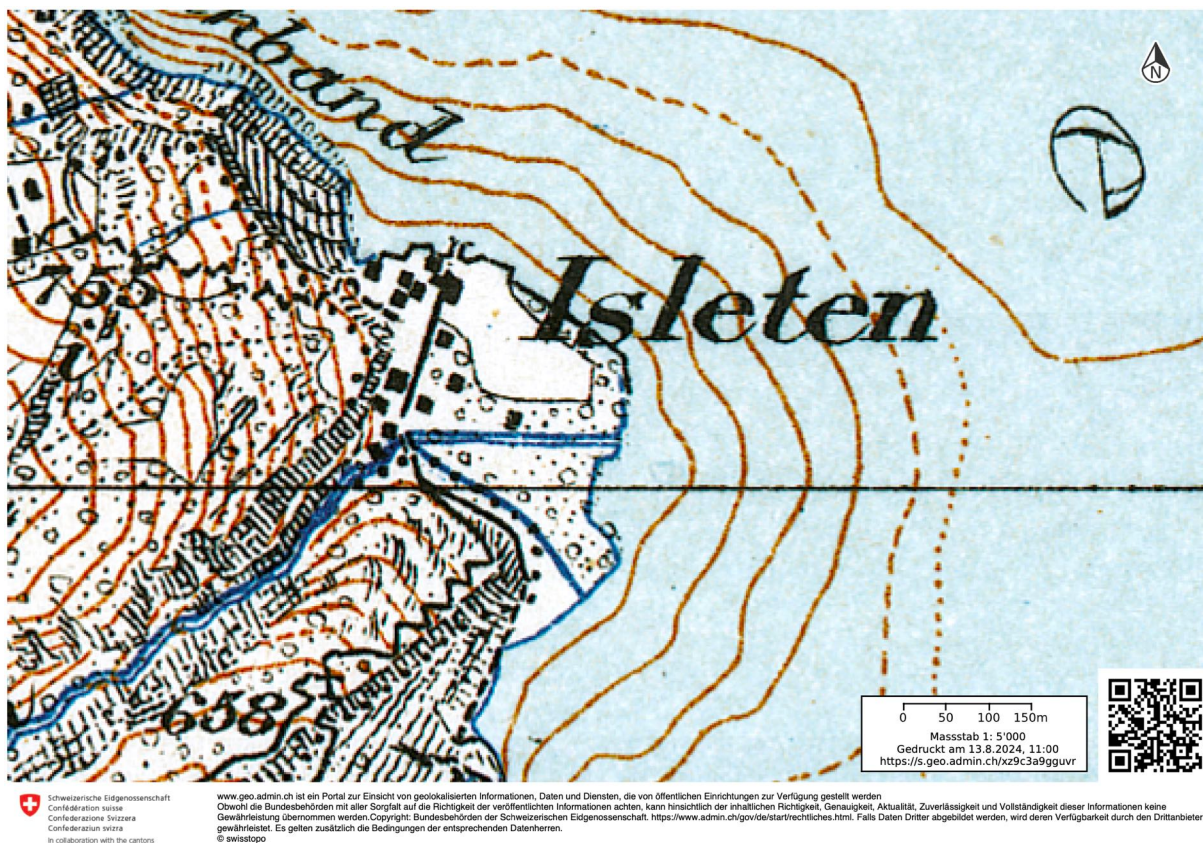


Abbildung 44: Kartenausschnitt der Isleten von 1895. Quelle: (Swisstopo, 2024g).

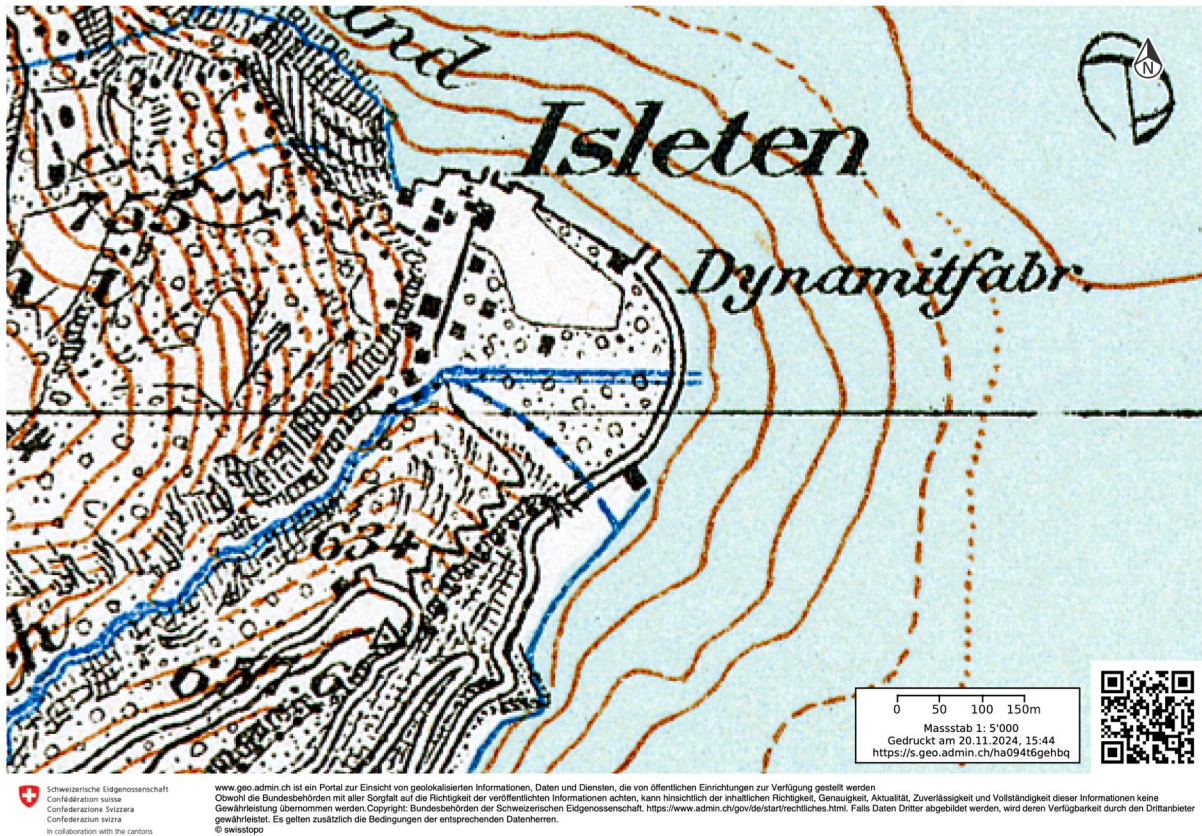


Abbildung 45: Kartenausschnitt der Isleten von 1904. Quelle: (Swisstopo, 2024g).

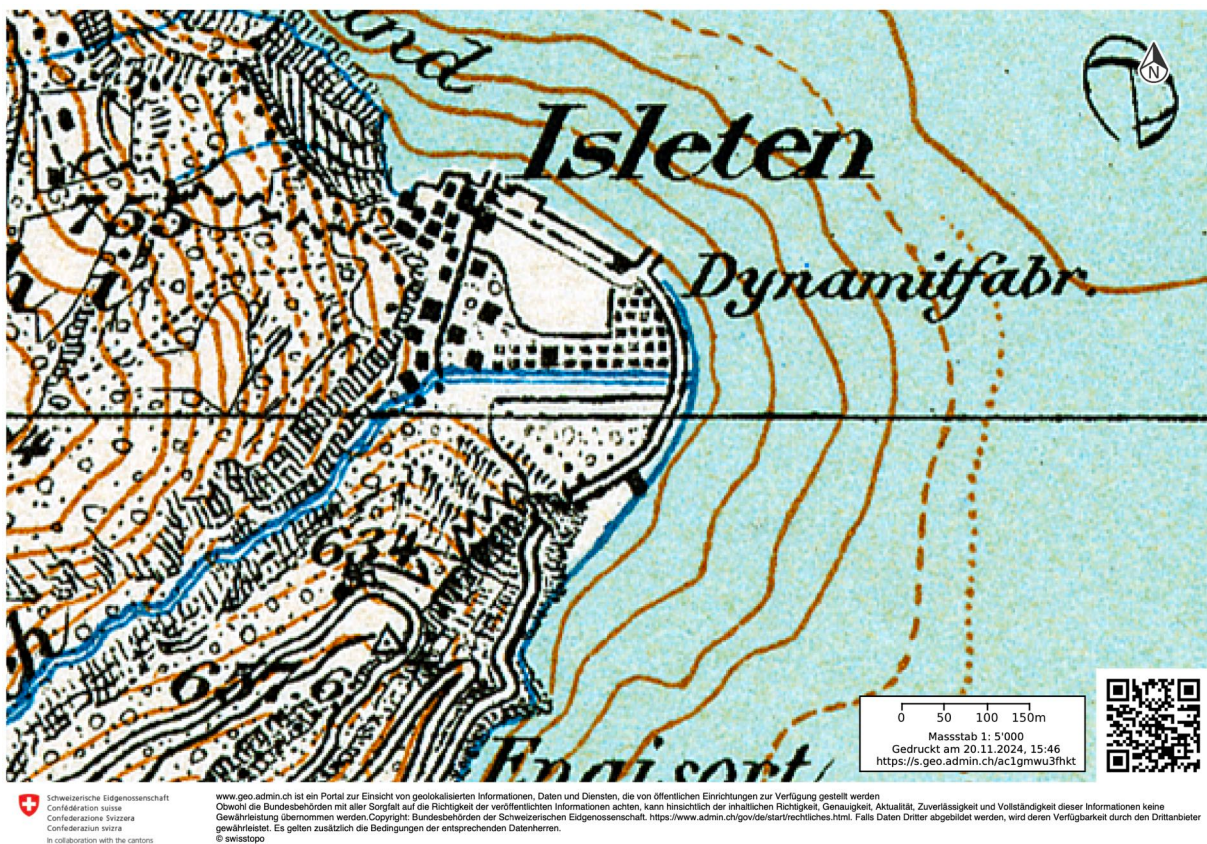


Abbildung 46: Kartenausschnitt der Isleten von 1906. Quelle: (Swisstopo, 2024g).

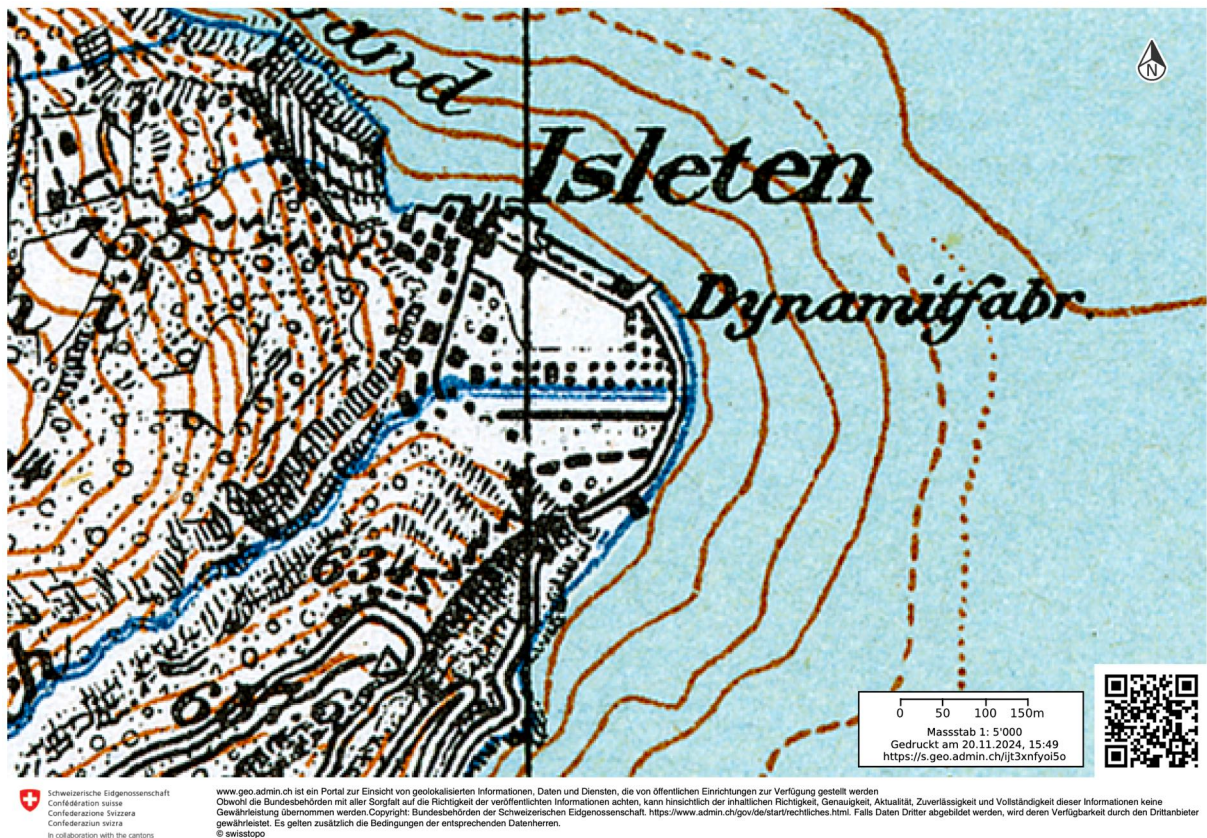


Abbildung 47: Kartenausschnitt der Isleten von 1930. Quelle: (Swisstopo, 2024g).

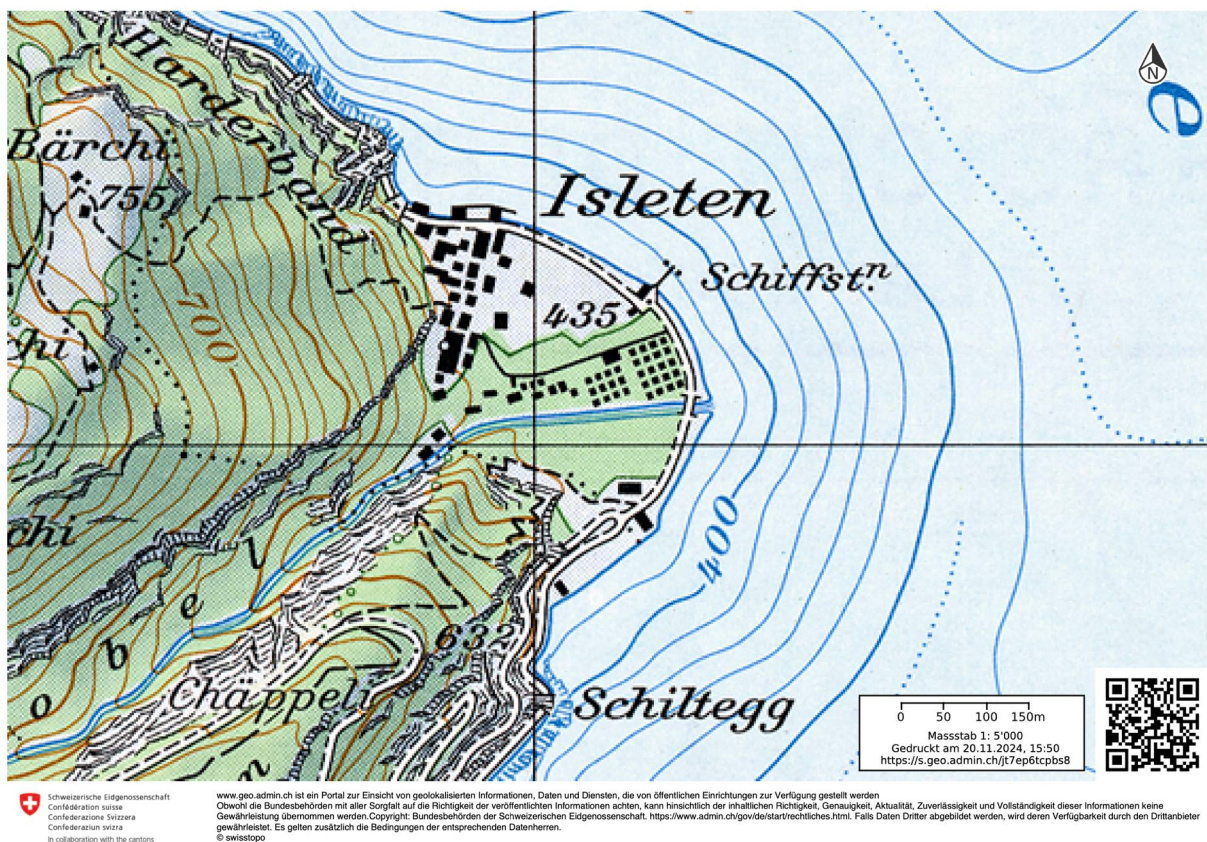


Abbildung 48: Kartenausschnitt der Isleten von 1958. Quelle: (Swisstopo, 2024g).

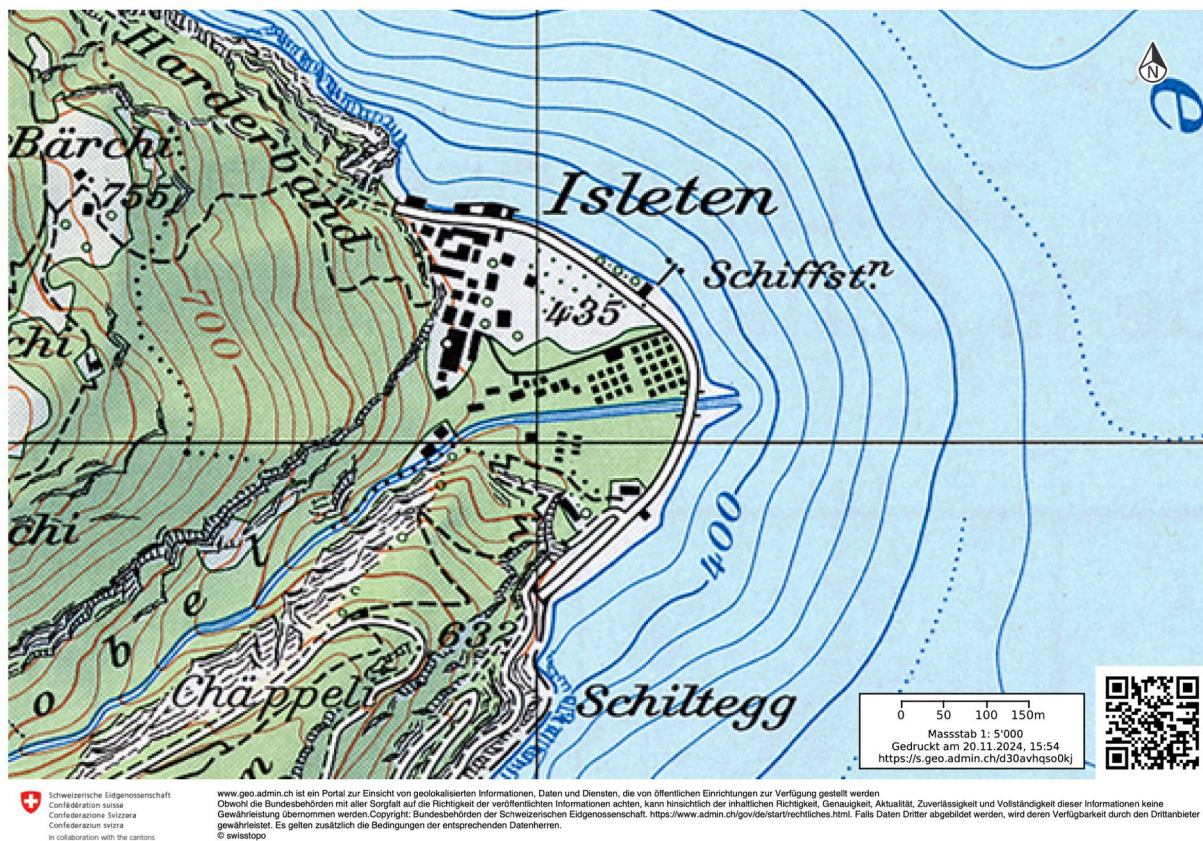


Abbildung 49: Kartenausschnitt der Isleten von 1977. Quelle: (Swisstopo, 2024g).

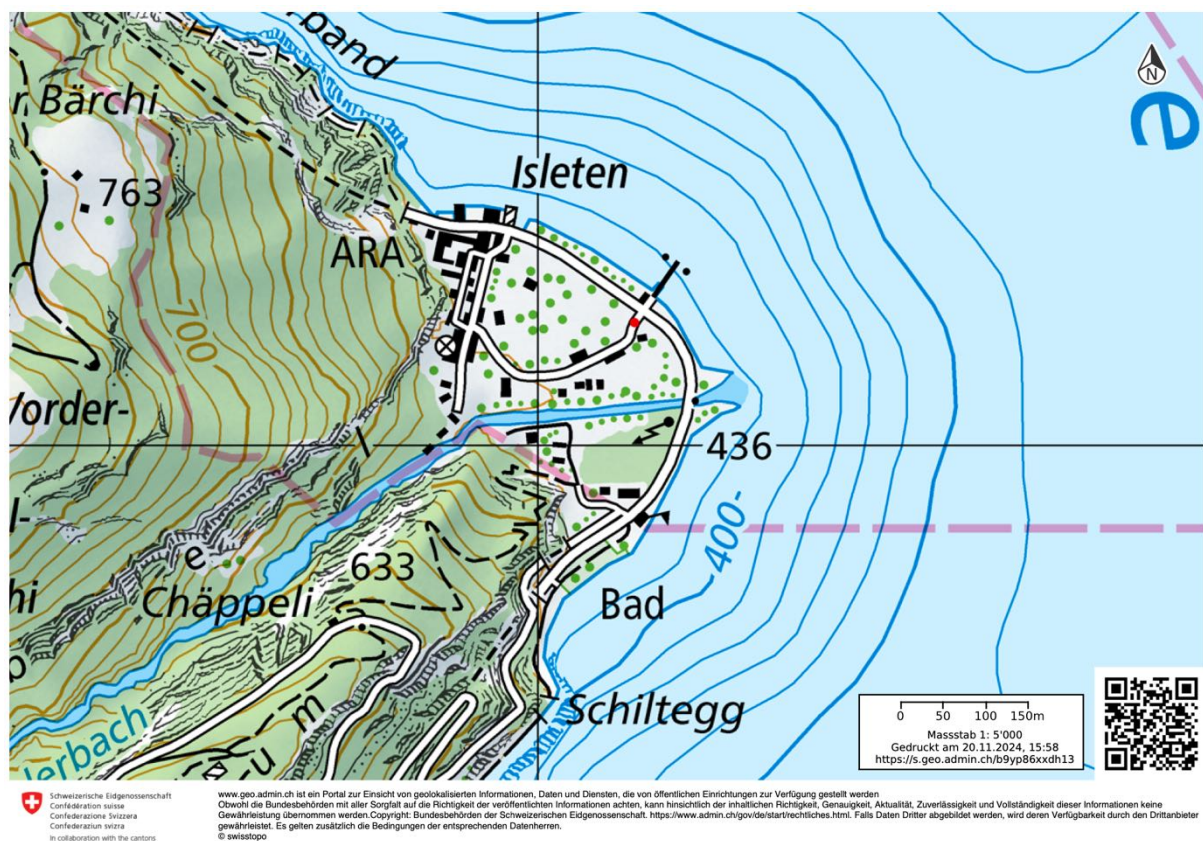


Abbildung 50: Kartenausschnitt der Isleten von 2013. Quelle: (Swisstopo, 2024g).

Anhang C: Luftbilder der ähnlichen Deltas



Abbildung 51: Luftbild vom Delta Sundlauenen. Quelle: (Swisstopo, 2024h).




 Schweizerische Eidgenossenschaft
 Confédération suisse
 Confederazione Svizzera
 Confederaziun svizra
 In collaboration with the cantons

www.geo.admin.ch ist ein Portal zur Einsicht von geolokalisierten Informationen, Daten und Diensten, die von öffentlichen Einrichtungen zur Verfügung gestellt werden.
 Obwohl die Bundesbehörden mit aller Sorgfalt auf die Richtigkeit der veröffentlichten Informationen achten, kann hinsichtlich der inhaltlichen Richtigkeit, Genauigkeit, Aktualität, Zuverlässigkeit und Vollständigkeit dieser Informationen keine Gewährleistung übernommen werden. Copyright: Bundesbehörden der Schweizerischen Eidgenossenschaft. <https://www.admin.ch/gov/de/start/rechtliches.html>. Falls Daten Dritter abgebildet werden, wird deren Verfügbarkeit durch den Drittanbieter gewährleistet.

Abbildung 52: Luftbild vom Delta Au. Quelle: (Swisstopo, 2024h).



Abbildung 53: Luftbild vom Delta Sträbetzen. Quelle: (Swisstopo, 2024h).



www.geo.admin.ch ist ein Portal zur Einsicht von gedigitalisierten Informationen, Daten und Diensten, die von öffentlichen Einrichtungen zur Verfügung gestellt werden. Obwohl die Bundesbehörden mit aller Sorgfalt auf die Richtigkeit der veröffentlichten Informationen achten, kann hinsichtlich der inhaltlichen Richtigkeit, Genauigkeit, Aktualität, Zuverlässigkeit und Vollständigkeit dieser Informationen keine Gewährleistung übernommen werden. Copyright: Bundesbehörden der Schweizerischen Eidgenossenschaft. <https://www.admin.ch/gov/de/start/rechtliches.html>. Falls Daten Dritter abgebildet werden, wird deren Verfügbarkeit durch den Drittanbieter gewährleistet. Es gelten zusätzlich die Bedingungen der entsprechenden Datenherren.
 © CNES, Spd Image, swisstopo, NPOC

Schweizerische Eidgenossenschaft
 Confédération suisse
 Confederazione Svizzera
 Confederaziun svizra
 In collaboration with the cantons

Abbildung 54: Luftbild vom Delta Wissen Brinnen. Quelle: (Swisstopo, 2024h).

Anhang D: Aufnahmen der Isleten nach dem Hochwasserereignis 2005



*Abbildung 55: Luftbild der Isleten nach der Überschwemmung 2005. Man erkennt den überschwemmten Parkplatz mit dem Schwemmholz rechts vom Wohnhaus. Am Seeufer erkennt man das Restaurant.
Quelle: (Amt für Tiefbau - Kanton Uri, 2005)*



*Abbildung 56: Luftbild der Isleten nach der Überschwemmung 2005. Das Bild wurde mit Blick nach Norden aufgenommen. Man erkennt, dass vor allem der südliche Teil des Deltas stark überschwemmt wurde.
Quelle: (Amt für Tiefbau - Kanton Uri, 2005)*



Abbildung 57: Luftbild der Isleten nach der Überschwemmung 2005. Am unteren Bildrand in der Mitte erkennt man die über-schwemmte Schiffstation. Quelle: (Amt für Tiefbau - Kanton Uri, 2005).

Anhang E: Fliessgeschwindigkeitsmodellierungen

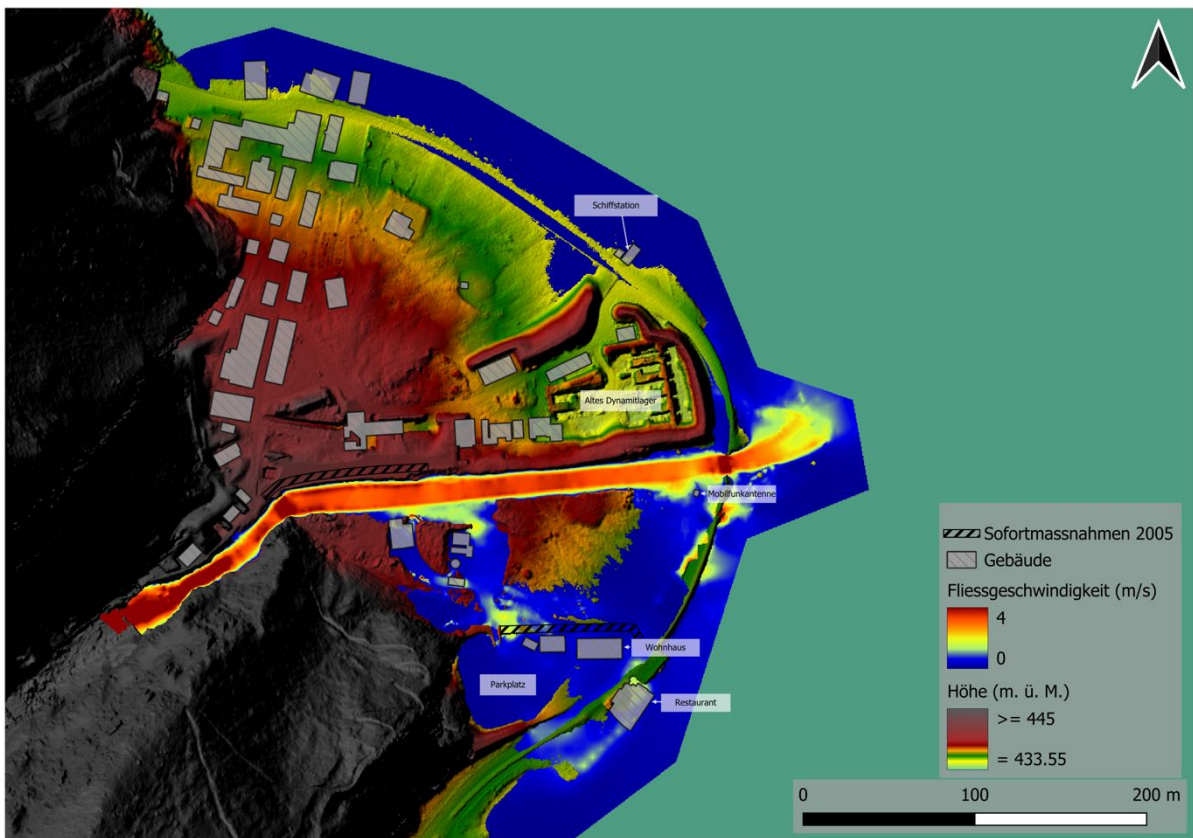


Abbildung 58: HEC-RAS Kalibration anhand des Hochwasserereignisses 2005. Die Fliessgeschwindigkeit in m/s wird abgebildet.

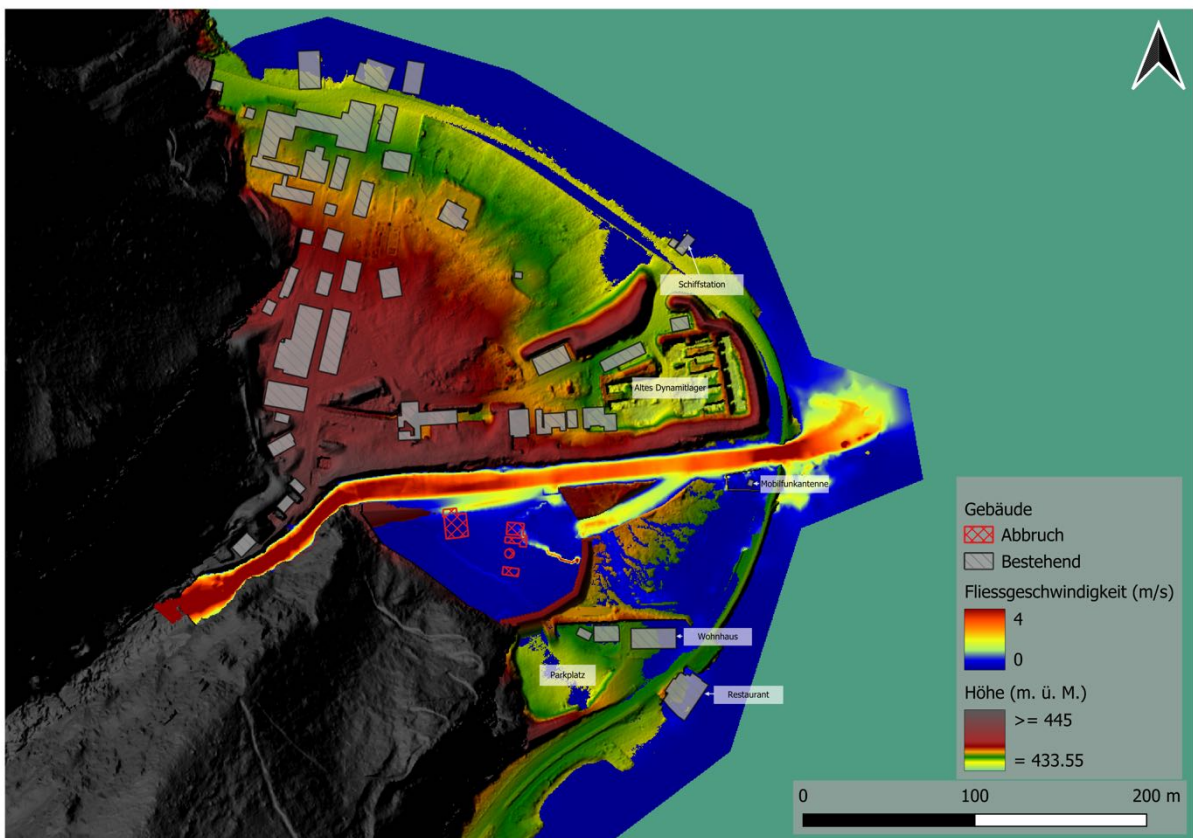


Abbildung 59: Modellierung der Fliessgeschwindigkeit in m/s anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 1.

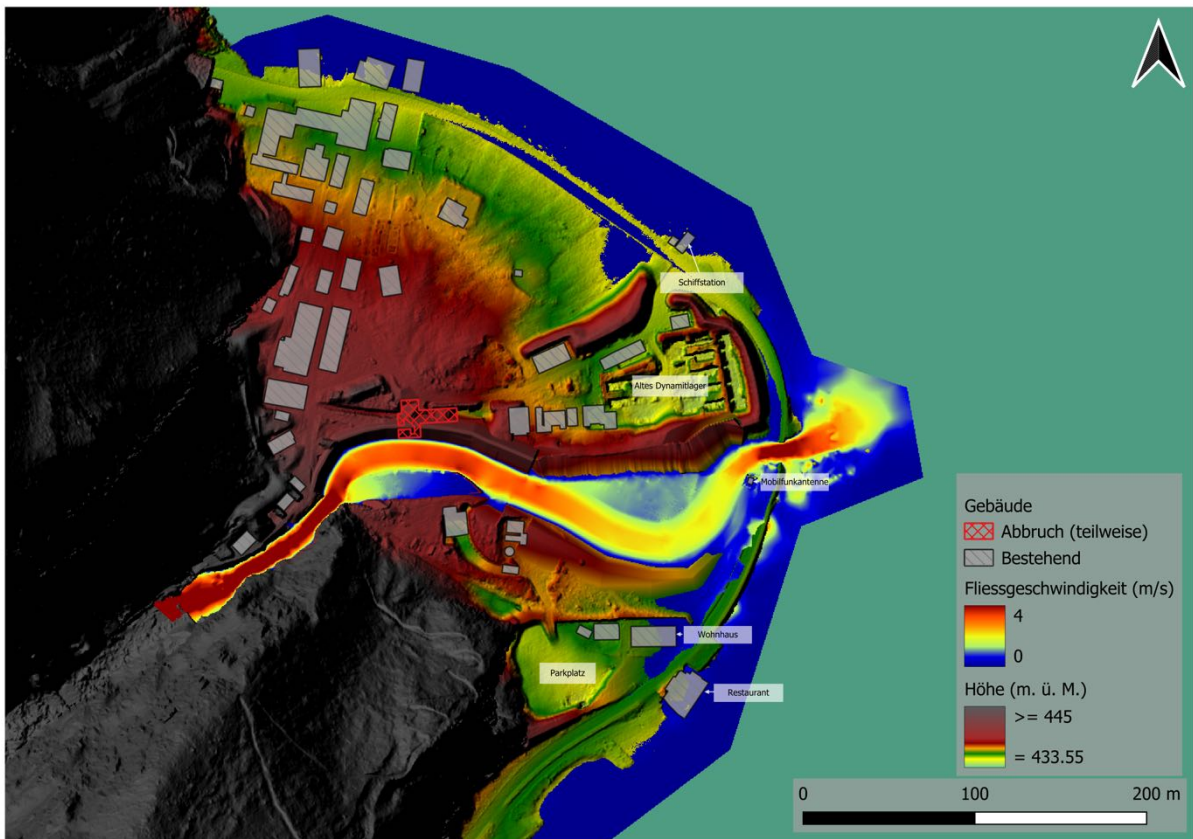


Abbildung 60: Modellierung der Fließgeschwindigkeit in m/s anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 2.

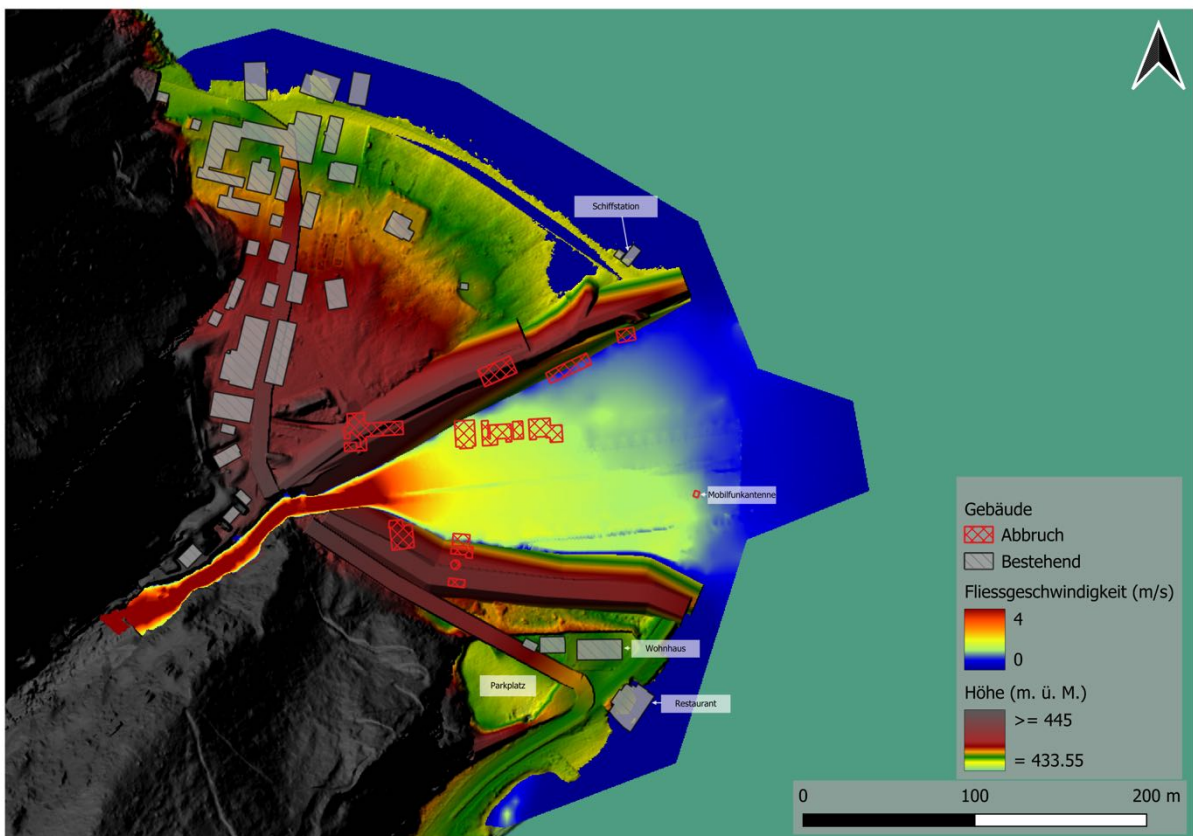
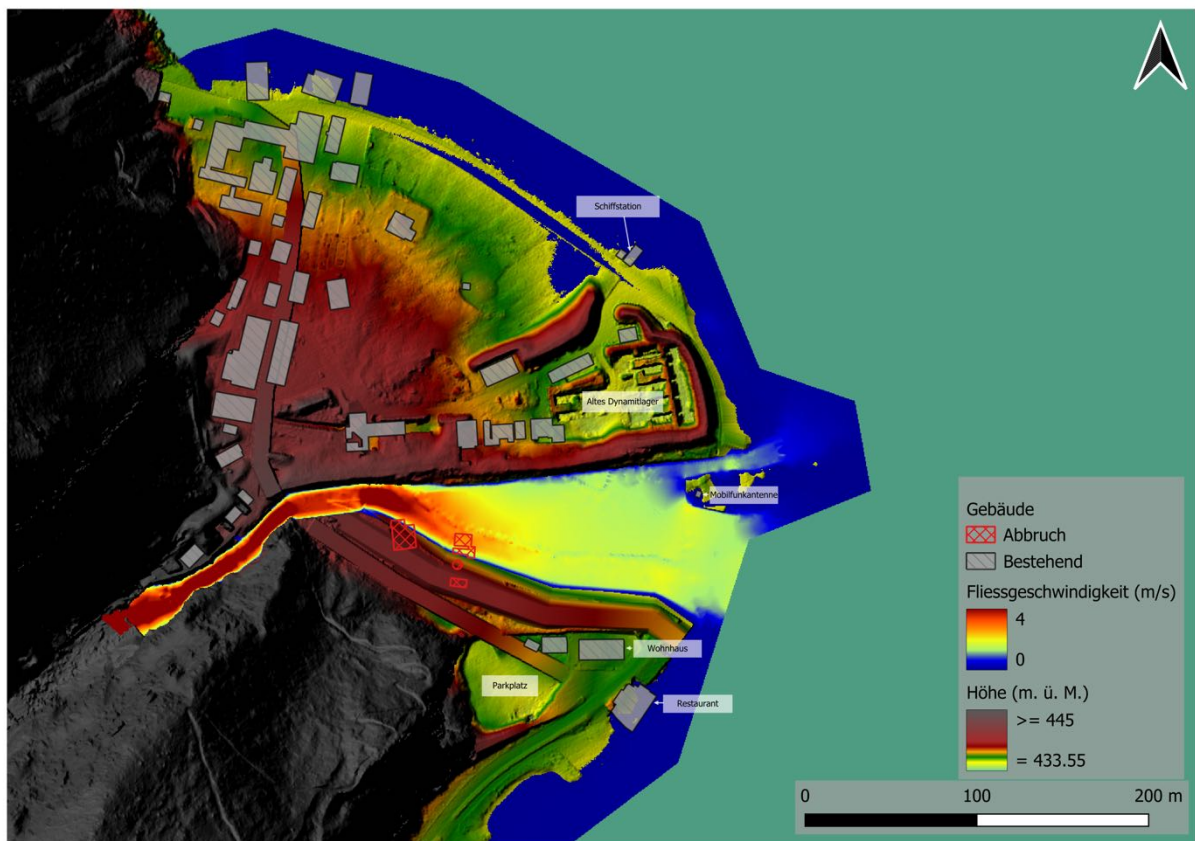


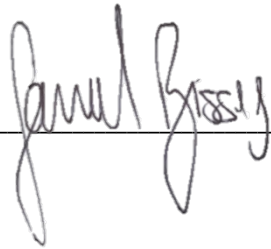
Abbildung 61: Modellierung der Fließgeschwindigkeit in m/s anhand des Hochwasserereignisses 2005 für Variante 3a.



Persönliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Altdorf, 30.01.2025



A handwritten signature in dark ink, appearing to read "Daniel Gysin", is written over a horizontal line. The signature is fluid and cursive, with the first name "Daniel" and the last name "Gysin" clearly distinguishable.